

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

Fakulta životního prostředí

Katedra vodního hospodářství a environmentálního  
modelování

**Stanovení nejistot při výpočtu odtoku z povodí  
pomocí CN křivek**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jiří Pavlásek, Ph.D.

Vypracoval: Marek Zobal

**2010**

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: **Stanovení nejistot při výpočtu odtoku z povodí pomocí CN křivek** vypracoval samostatně a za použití zdrojů, které cituji a uvádím v příloženém seznamu literatury.

V Praze dne 27.4.2011

-----  
podpis autora práce

## **Poděkování**

Rád bych tímto poděkoval svým nejbližším za podporu a trpělivost. Dále svým kolegům a nadřízeným za projevenou vstřícnost. Zejména bych chtěl ovšem poděkovat svému vedoucímu práce panu Jiřímu Pavláskovi za věcné připomínky a ochotu vést mou práci přes značnou zaneprázdněnost a vytíženost.

## Abstrakt

Předkládaná diplomová práce se zabývá posouzením přesnosti metody CN křivek (SCS-CN). Metoda se využívá k odhadu velikosti odtoku na malých povodích o velikosti do 10 km<sup>2</sup>, pro které nejsou k dispozici měřená data, a využívá vstupních parametrů, které lze získat z dostupných zdrojů. Práce řeší přesnost jednotlivých vstupních parametrů metody, jejich vzájemný vztah a vliv, který mají na určení hodnoty odtokových křivek CN a přímý odtok Q. Vstupní parametry metody jsou počáteční ztráta, typ půdy dle rychlosti infiltrace a předchozí vláhové podmínky ve sledovaných povodích.

V rešeršní části práce byla zpracována historie a postupný vývoj metody, jejíž vznik se datuje od roku 1952. Byly popsány všechny vstupní parametry s ohledem na dostupné literární zdroje. V závěru rešeršní části byly popsány nejznámější metody výpočtů přesnosti, které s danou problematikou souvisí.

V praktické části práce byly jednotlivé parametry vyhodnoceny z hlediska přesnosti a vlivu. Byly určeny průměrné hodnoty parametrů a procentuelní odchylky krajních hodnot od těchto průměrů. Z důvodu vzájemné závislosti jednotlivých parametrů ve výpočtu, nebylo možné stanovit nejistoty jednoznačně a jejich velikost se měnila s rozsahem dalších zúčastněných parametrů. Vliv počáteční ztráty na odtok byl v intervalu 4,5% – 21,6%. Nejistota stanovení hodnoty čísla CN na základě půdního typu byla 3,11% - 20,91%. Nejistota stanovení hodnoty čísla CN na základě předchozích vláhových podmínek byla 2,85% - 31,89%.

Měnicí se rozsahy jednotlivých parametrů prokázaly, že přesnost metody SCS-CN stoupá s výškou srážek a rostoucí hodnotou odtokové křivky.

## **Abstract**

This dissertation deals with the assessment of the accuracy of the method of CN curves (SCS-CN). The method is used to estimate the runoff of small watersheds of up to 10 km<sup>2</sup>, of which there are no measured data, using input parameters that can be obtained from available sources. The work addresses the accuracy of input parameters of methods, their relationship and the impact they have on the value of CN curves runoff and direct discharge Q. The input method's parameters are the initial loss, soil type and infiltration rate as the previous moisture conditions in selected watersheds.

In search of work there was the treatment of history and gradual development of the method, the origin of which dates from 1952. There Have been described all the input parameters with respect to their availability. At the end of the search there were described the best known methods of computation accuracy, which is related to this topic.

In the practical part the different parameters have been evaluated in terms of accuracy and impact. There were determined average values of the parameters and percentage deviation from the extremes of these averages. Because of the interdependence of parameters in the calculation, the uncertainty could not be established unambiguously, and their size varied with a range of other parameters involved. Influence of initial runoff losses was in the range 4.5% - 21.6%. The uncertainty of determining the value of the CN number by soil type was 3.11% - 20.91%. The uncertainty of determining the value of CN numbers based on past moisture conditions was 2.85% - 31.89%.

Changing the range of parameters showed that the accuracy of the method SCS-CN increases with increasing altitude and rainfall runoff value curve.

# Obsah

Abstrakt .....	4
1. Úvod .....	8
2. Cíle práce .....	9
3. Literární přehled .....	9
3.1. Srážko-odtokový proces .....	9
3.2. Metoda SCS-CN .....	11
3.2.1. Historie a vývoj metody .....	11
3.2.2. Zdrojová data .....	15
3.2.3. Problematika využití .....	15
3.3. Počáteční ztráta $I_a$ .....	17
3.4. Typ půdy .....	19
3.5. Využití půdy .....	22
3.6. Vláhové podmínky .....	23
3.7. Nepřesnost metody CN křivek .....	26
3.7.1. Analýza přesnosti prvního řádu .....	27
3.7.2. Konvenční analýza citlivosti .....	28
3.7.3. Další limity přesnosti CN křivek .....	35
4. Metodika .....	37
4.1. Změna odtoku v závislosti na počáteční ztrátě $I_a$ .....	37
4.2. Změna odtoku v závislosti na hodnotě křivky CN .....	39
4.2.1. Změna hodnoty křivky CN závislá v závislosti na typu a využití půdy .....	39
4.2.2. Změna hodnoty křivky CN závislá v závislosti na předchozích vláhových podmínkách AMC .....	41
5. Výsledky a diskuse .....	43
5.1. Vliv rozsahu počáteční ztráty $I_a$ .....	43
5.2. Vliv změny hodnoty křivky CN .....	45
5.2.1. Změna hodnoty křivky CN závislá v závislosti na typu a využití půdy .....	47
5.2.2. Změna hodnoty křivky CN závislá v závislosti na vláhových podmínkách AMC .....	50

5.3. Velikost nejistoty výpočtu .....	52
6. Závěr .....	53
7. Přehled literatury a použitých zdrojů .....	55
8. Přílohy .....	60
9. DVD	

# 1 Úvod

Všechny regiony ČR zasáhne v průměru 5 až 6 přívalových dešťů ročně. Jedná se o události s jednorázovými úhrny srážek přesahujícími 10 mm. Právě tyto události vyvolávají zvýšený přímý a zejména povrchový odtok, protože významně překračují počáteční schopnost půdy zadržovat srážkovou vodu. Odhadnout poměrně složitý srážko-odtokový vztah je důležité pro celou řadu oblastí lidského zájmu od vodohospodářství, přes zemědělství, stavitelství až k ochraně půd před erozí.

Hydrologické studie vycházejí obvykle z dlouhodobých dat měřených v uzávěrových profilech povodí. Pro malé povodí ale tyto údaje většinou nejsou k dispozici a nezbyvá tedy jiná možnost než odhadnout parametry odtoku některým z numerických hydrologických modelů (Janál a Starý, 2009).

Metoda CN křivek (SCS-CN) je empirickým modelem publikovaným Službou na ochranu půd (Soil Conservation Service) již v roce 1954. Vychází z velkého množství dat získaných na sledovaných experimentálních povodích v USA. Pro nenáročnost na vstupní data je široce používaná v oblasti výpočtů srážko-odtokových parametrů malých povodí o rozloze 5-10 km<sup>2</sup> a pracuje s ní řada moderních počítačových hydrologických programů. Umožňuje odhadnout velikost odtoku z povodí na základě dílčích parametrů, kterými jsou počáteční ztráta  $I_a$ , typ půdy, typ vegetace a stupeň nasycení půdy předchozími srážkami.

Pro svoji jednoduchost je hojně využívána v nejrůznějších srážko-odtokových modelech. V minulosti bylo vyvinuto mnoho modifikací metody SCS-CN za účelem jejího zpřesnění, což se ale odrazilo na složitosti výpočtů a požadavků na množství vstupních dat.

V ČR se tato metoda používá v souladu s ČSN 75 1300. Její aplikace ovlivňuje projekční práce a rozhodování jak u odborné veřejnosti, tak zejména v oblasti samospráv. Jelikož se jedná o metodu empirickou, kde většina použitých parametrů je dána jako průměr či medián naměřených hodnot, může se podle situace výpočet často významně lišit od skutečnosti.



## 2 Cíle práce

Cílem práce je stanovení nejistot resp. možné chyby při výpočtu odtoku z povodí pomocí metody CN křivek.

Díličními cíli práce jsou:

- Posoudit variabilitu jednotlivých vstupních parametrů.
- Posoudit vliv těchto nejistot na výsledný výpočet.
- Porovnat získané údaje s dostupnou literaturou.

## 3 Literární přehled

### 3.1 Srážko-odtokový proces

Všechny srážky, které spadnou v rámci daného povodí, vstupují do jeho hydrologické bilance. Jedná-li se o povodí uzavřené, je z dlouhodobého hlediska jeho hydrologická bilance vyrovnaná. Celkový vstup se tedy rovná celkové ztrátě. V našich geografických podmínkách je téměř celý vstup tvořen vertikálními atmosférickými srážkami. V menší míře pak srážením vzdušné vlhkosti v podobě rosy či mlhy, tedy srážkami horizontálními. Celková ztráta je dána odtokem, který zahrnuje odtok povrchový, hypodermický a podzemní, a dále odtokovou ztrátou, zahrnující intercepci, výpar a transpiraci (obr. 1).

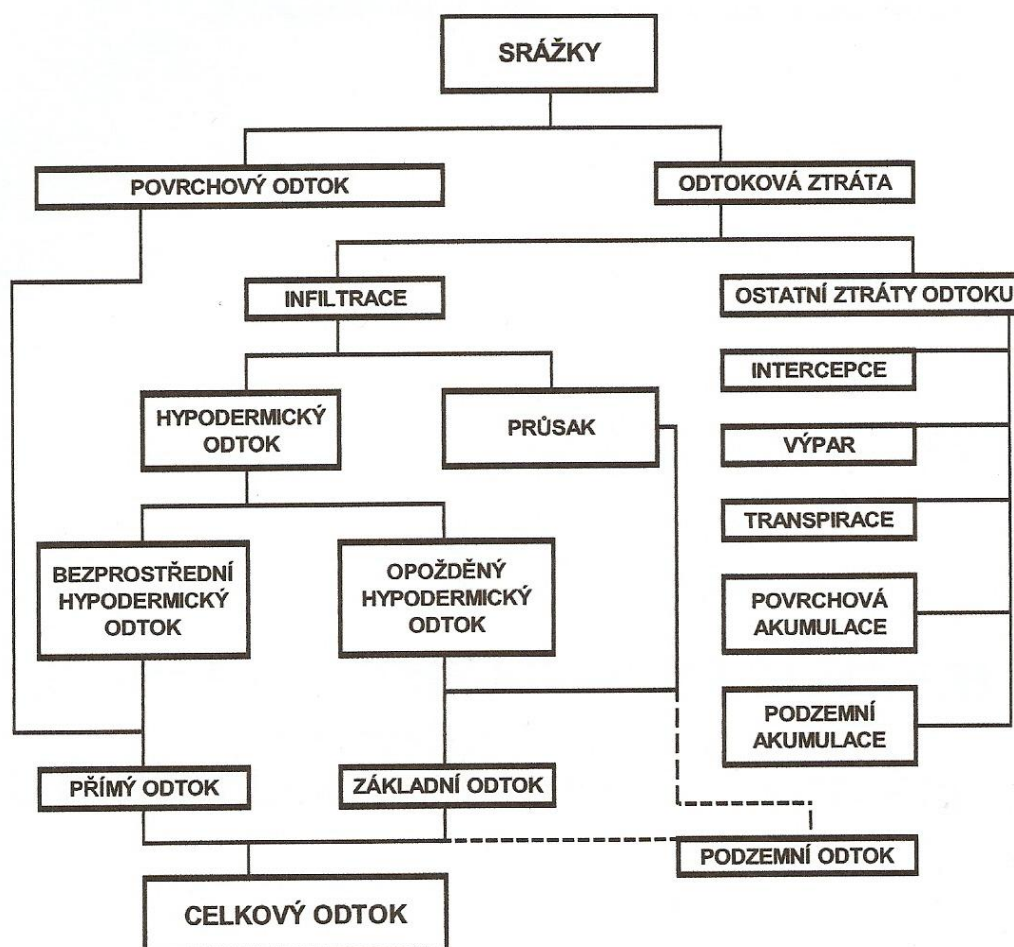
Intercepce je množství vody, které je zadrženo na povrchu rostlin a předmětů. Tato voda je zde vázaná a dále nevstupuje do odtokové části vztahu. Výparem se rozumí množství vody, které mění svoje skupenství na plynné. Transpirací je myšlena voda, kterou rostliny čerpají kořenovým systémem a povrchem listů ji uvolňují zpět do vzduchu v plynné podobě. Ze srážek, které se dostanou na půdní povrch, část vody infiltruje do půdy. Zčásti této vody vzniká podpovrchový (hypodermický) odtok. V rámci podpovrchového odtoku se voda pohybuje v nenasycené půdní zóně, kde na ni působí síly adsorbční, kapilární a zejména gravitační. Zde může stékat po mělké nepropustné vrstvě a vyvěrat opět na povrch. Tento jev je označován za bezprostřední hypodermický odtok, který se účastní přímého odtoku z povodí. Část vody se pohybuje v hlubším horizontu často sahajícím až k hladině podzemní vody. V tomto případě se jedná o opožděný

hypodermický odtok, který se již přímého odtoku neúčastní. Pokud se část infiltrované vody dostane až do vody podzemní, bývá to označováno jako průsak. Pokud množství vody přesáhne infiltrační kapacitu půdy, odchází voda z povodí ve formě povrchového odtoku. Zprvu dochází k plošnému odtoku, který přechází v soustředěný odtok o malé hloubce a nakonec se voda akumuluje ve vodních korytech (Bumerl, 2003).

Stanovit vztah mezi srážkami a odtokem se snažil již před více než 300 lety P. Perreault, který v roce 1674 popsal vztah mezi srážkami a průtokem řeky Seine. Z dlouhodobého měření tehdy stanovil tento vztah:

$$Q_a = \frac{P_a}{6} \quad (1)$$

popisující situaci, kdy průtok řeky  $Q_a$  odpovídal šestině srážek v oblasti  $P_a$  (Linsley a kol., 1982). Tento jednoduchý vzorec, ačkoli je dávno překonán, předznamenal vznik celé zájmové oblasti zabývající se empirickými odhady srážko-odtokového procesu, vycházejícími z dlouhodobých měření a záznamů.



**Obr. 1:** Schéma odtokového procesu v uzavřeném povodí (Bumerl, 2003)

## 3.2 Metoda SCS-CN

### 3.2.1 Historie a vývoj metody

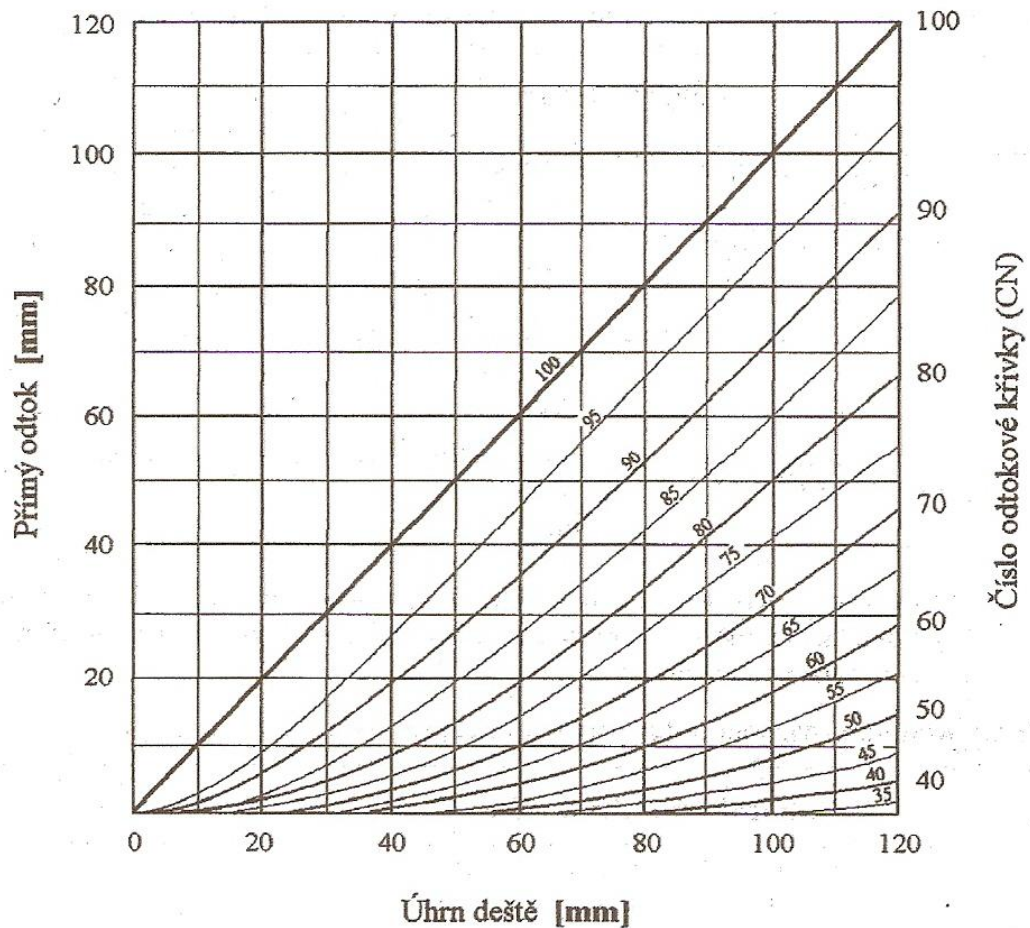
Metoda odtokových křivek SCS-CN vznikla v první polovině 20. století v USA. Publikována byla ve čtvrté části metodické příručky (NEH-4) Služby na ochranu půdy v roce 1954. V srpnu téhož roku byla metoda zahrnuta do veřejného zákona (Public law 83-566) v části na ochranu povodí a ochranu před povodněmi. Revizemi zahrnujícími nové poznatky prošla příručka v letech 1964, 1965, 1971, 1972, 1985 a 1993 (Mishra a Singh, 2003).

Prvním, komu se relativně úspěšně podařilo odhadnout srážko-odtokový vztah, byl v roce 1919 L. Mead. Jeho metoda se ovšem zabývala pouze kratšími časovými úseky v řádu jednoho až tří měsíců. S využitím křivek a hledáním vzájemné závislosti mezi množstvím srážek a velikostí odtoku jsou spojeny práce (Hortona, 1933, Hornera, 1940, Shermana, 1942 a Mockuse, 1949). Horton (1933) jako první charakterizoval infiltrační kapacitu za pomoci křivek. Horner (1940) se zaměřil na výzkum infiltrační kapacity na malých povodích. Sherman (1942) ve svém modelu pro poměr mezi srážkami a odtokem využil odtokové křivky konstruované zvlášť pro každý měsíc v roce, které souvisely s tabulkou očekávaných srážek. Mockus (1949) se při práci s křivkami zaměřil také na výzkum procesů na malých povodích a pro popsání vztahu srážek a velikosti odtoku použil graficky znázorněný korelační diagram (Hjelmfelt, 1991).

V roce 1954, kdy Andrews (1954) zpracoval infiltrační data a zjednodušil práci Mockuse (1949) byla představena metoda CN křivek (SCS-CN). Ta měla základ ve velkém množství dat naměřených v předchozích dvaceti letech. Tato jednoduchá metoda využívala pro stanovení odtokové křivky pouze čtyři základní vstupní parametry:

- Počáteční ztrátu  $I_a$  kterou navíc stanovila pevným koeficientem  $I_a = 0,2S$ , kde  $S$  je potenciální retence.
- Hydrologické vlastnosti půdy, které se dělily do čtyř základních typů A, B, C, D podle rychlosti infiltrace vody. Rychlost infiltrace je měřena na povrchu půdy bez vegetačního pokryvu a po dlouhodobém sycení vodou.
- Využití půdy, typ a vzrůst vegetačního pokryvu půdy, včetně způsobu obdělávání.
- Vlhkost půdy určenou na základě předchozích srážek a rozdělenou do tří základních stupňů AMC I, AMC II a AMC III.

Číslo takto konstruované odtokové křivky udává pravděpodobnost, s jakou se jedná o přímý odtok. Čím je číslo CN křivky vyšší, tím větší je i podíl přímého odtoku z povodí (obr. 2).

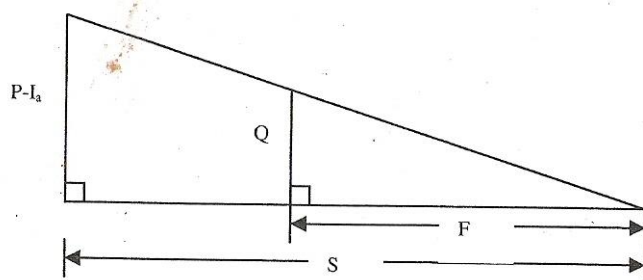


**Obr. 2:** Závislost přímého odtoku na úhrnu deště a čísle CN křivky (Janeček a kol., 2006).

Metoda vychází ze dvou základních předpokladů v bilančním vztahu (obr. 3):

$$P = I_a + F + Q \quad (2)$$

Kde  $P$  je celkový úhrn srážek,  $I_a$  je počáteční ztráta,  $F$  je aktuální infiltrace a  $Q$  je výška přímého odtoku z povodí.



**Obr. 3:** Princip proporcionality (Mishra a Sing 2004)

Znázorňuje základní bilanční vztah metody CN křivek, kde  $S$  je potenciální retence,  $F$  kumulativní aktuální retence bez  $I_a$ ,  $Q$  je přímý odtok a  $P$  je celkový srážkový úhrn.

První hypotéza

$$\frac{Q}{P - I_a} = \frac{F}{S} \quad (3)$$

a tedy

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (4)$$

předpokládá, že výška přímého odtoku  $Q$  k celkovému úhrnu deště  $P$  bez počáteční ztráty  $I_a$ , je stejný, jako poměr aktuální retence  $F$  (vody zadržené v půdě) k maximální potenciální retenci povodí  $S$ .

Druhá hypotéza

$$I_a = 0,2S \quad (5)$$

$$(I_a = \lambda S)$$

vychází z předpokladu, že počáteční ztrátu  $I_a$  lze vyjádřit jako konstantu vztaženou k maximální potenciální retenci  $S$ . Přičemž dlouhodobý průměr daný velkým množstvím záznamů počítá s konstantou  $\lambda = 0,2$  (Mishra a Singh, 1999).

Na základě těchto tezí se stanovuje odtok jako:

$$Q_o = 1000 * Q * H_p \quad (\text{m}^3) \quad (6)$$

$$Q = \frac{(P - 0,2S)^2}{(P + 0,8S)} \quad (7)$$

Při omezení:  $Q = 0$  pro  $P \leq I_a$

Kde:  $Q_o$  je přímý odtok v  $\text{m}^3$ ,  $H_p$  je plocha povodí v  $\text{km}^2$ ,  $Q$  je výška přímého odtoku v mm a  $S$  je potenciální retence vyjádřená pomocí čísel odtokových křivek (CN):

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (\text{inches}) \quad (8)$$

po převedení na mm:

$$S = 25,4 \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (\text{mm}) \quad (9)$$

(Janeček a kol., 2006)

Za krátkou dobu po zveřejnění získala metoda plnou podporu federálních úřadů a byla zakomponována do státní legislativy USA. Vzhledem k tomu se poměrně rychle prosadila i do hydrologické praxe a začala být široce využívána jak v USA, tak i v některých dalších zemích.

Plná podpora této metody způsobila do jisté míry její izolaci od jiných alternativních metod. Všeobecně se za jediný správný postup považovala varianta uvedená v metodické příručce (NEH-4), která byla revidována zhruba jednou za deset let. Z těchto důvodů nebyla metoda nikdy přepracována a změněna. Jednotlivé revize, které v sobě zahrnovaly poznatky posledních let, neměnily metodu do jiné podoby, ale většinou jen zpřesňovaly ty parametry, se kterými metoda pracovala již od svého vzniku v roce 1954 (Ponce a Hawkins, 1996).

### 3.2.2 Zdrojová data

Ve třicátých letech 20. století vyvstala v USA potřeba hydrologických dat pro návrhy projektů v oblasti vodního hospodářství. Z tohoto důvodu byla pod americkým Ministerstvem zemědělství (United States Department of Agriculture – USDA), zřízena služba pro ochranu půd (Soil Conservation service – SCS). Hlavním úkolem SCS byly návrhy a realizace projektů určených k ochraně půdy a ochraně před povodněmi. Do tohoto období spadá také počátek intenzivního měření dat na několika experimentálních povodích v různých lokalitách.

Zdrojová data pro metodu SCS – CN pocházejí z databáze U.S. Department of Agriculture - Agricultural Research Service (USDA - ARS). Jain a kol. (2006) uvádějí jako základ měřicí sítě přes 200 měřících stanic na 165 experimentálních povodích ležících ve státech Texas, Oklahoma, Arkansas a Louisiana. Délka záznamů na jednotlivých povodích byla 1 až 50 let a celkem bylo zaznamenáno 47263 srážko-odtokových událostí.

Za účelem vytvoření metody byly také, přímo na povodích pomocí Springlerových infiltrometrů, provedeny tisíce infiltračních testů. Povodí se nejčastěji rozkládala na zemědělské půdě, méně na pastvinách a na smíšeně využívaných půdách. (Mishra a kol., 2007).

Soubory dat z experimentálních povodí jsou přístupné z internetových stránek Agricultural Research Service (ARS):

<http://www.ars.usda.gov>

Přímý odkaz na zkušební povodí:

<http://www.ars.usda.gov/Main/docs.htm?docid=9696>

### 3.2.3 Problematika využití

Metoda SCS-CN má pro uživatele řadu výhod, díky kterým je velmi často využívána. Zároveň ale čelí několika problémům, které vycházejí z její konstrukce a je nutné brát je v potaz při jejím použití.

Z výhod se jedná zejména o její jednoduchost, protože pro použití metody SCS-CN není potřeba žádných složitých výpočtů ani velkého množství vstupních dat. Dalšími výhodami jsou předvídatelnost a stabilita. Již na základě hlavních údajů jsme schopni predikovat přibližný výsledek a je předpoklad, že od výsledku získaného výpočtem se nebude příliš lišit. Za další výhodu lze považovat fakt, že

metoda pracuje pouze s jedním neznámým parametrem a tím je číslo odtokové křivky.

Za hlavní nevýhodu je považována nízká přesnost, nebo přesněji nízká citlivost metody na změny vnějších podmínek. Nedostatků je celá řada. Některé z nich popsal Mockus (1964):

- Metoda neuvažuje o proměnných z hlediska času. Pracuje se srážko-odtokovými událostmi, maximálními denními průtoky a srážkami, ale nepočítá s dobou trvání srážkové události.
- Metoda ignoruje vliv intenzity deště a jeho nerovnoměrného rozložení jak v čase, tak v prostoru. Přitom je z pohledu infiltrace zcela jistě rozdíl mezi deštěm přerušovaným a trvalým, či mezi krátkým intenzivním deštěm a dlouhým vytrvalým deštěm o nízké intenzitě. Nehledě na to, že i intenzita deště se v čase může měnit.

Rallison a Miller (1982) označili za limitní nedostatky metody tyto:

- Nedostatečné určení infiltrace a textury půdy na základě půdního typu. Při obrovské variabilitě půdních komplexů, počítá metoda pouze se čtyřmi variantami závislými na rychlosti infiltrace. Přičemž rychlost infiltrace nemusí být vždy vázána na infiltrační kapacitu.
- Geografické a environmentální podmínky. Metoda byla vyvinuta a zkoušena v centrální a jihovýchodní oblasti USA. Ta je samozřejmě svým způsobem specifická a použití metody v jiných geografických podmínkách bude pravděpodobně zatížené velkou chybou. Nutnost zásadních úprav metody pro použití v oblastech s odlišnými geografickými podmínkami dokládá řada prací (např. Hussain, 1996, Terzoudi a kol. ,2007).

Mezi další nedostatky můžeme zařadit neexistenci jasného návodu, jak určit či spočítat předchozí vláhové podmínky AMC I, AMC II a AMC III. NEH-4 označuje AMC II jako průměrné (běžné) podmínky. Nejedná se tedy o kvantitativní definici. Dále při jejich určení vychází z tzv. „median CN“ která je ale určena na základě dat z Amicolola Creek v Georgii. Nelze ale předpokládat zcela shodnou „median CN“ na jiném povodí. Dále NEH-4 v revizi z roku 1985 udává tabulky s předchozím pětidenním deštěm, ale již v roce 1986 byly změněny na předchozí odtokové podmínky (Hjelmfelt, 1991).

Fixní konstanta počáteční ztráty  $I_a = 0,2 S$ , nemá žádné matematické zdůvodnění. Neexistuje přesné odůvodnění, proč je závislá na maximální retenci a proč je retence  $S$  počítána včetně počáteční ztráty. Z čehož vychází problém, že



odtoková rovnice je zároveň rovnicí infiltrace, což neodpovídá běžně přijímaným hydrologickým teoriím (Ponce a Hawkins, 1996).

Posledním zmíněným nedostatkem metody je její specializace. Jedná se o empirickou metodu, vzniklou na základě měření velkého množství dat na experimentálních povodích. Jelikož tato metoda vznikala pro potřeby zemědělské půdy, má poměrně dobré výsledky právě na povodích se zemědělskou půdou. Ačkoli existují modifikace pro použití metody ve městech či lesích, je její použití pro obydlené oblasti označováno za nepřesné a pro lesy za velmi nepřesné (Hjelmfelt, 1983).

Na téma přesnosti a možnosti aplikace metody CN křivek byla napsána řada prací (Hjelmfelt, 1991, Hussein, 1996, McCuen, 2002, Michel a kol., 2005, Im a kol., 2007, Mishra a Singh, 1999, Jain a kol. 2006, Mishra a Singh, 2004, Mishra a kol, 2004, Mishra a kol, 2006, Mishra a kol., 2008, Tezourdi a kol., 2007, Jeníček, 2009, Sahu a kol., 2010). Většina z nich se shoduje v tom, že při aplikaci metody SCS-CN v podmínkách, které jsou stejné nebo podobné podmínkám (klimatickým, půdním, vegetačním), v nichž metoda vznikala, dosahuje metoda dobrých a poměrně přesných výsledků (např. Hjelmfelt, 1991, Mishra a Singh, 1999, McCuen, 2002, Jain a kol. 2006). Naopak v klimaticky a pedologicky odlišných oblastech metoda zpravidla selhává, i přes pokusy o její nejrůznější modifikace (Hussein, 1996, Im a kol., 2007, Tezourdi a kol., 2007).

### 3.3 Počáteční ztráta $I_a$

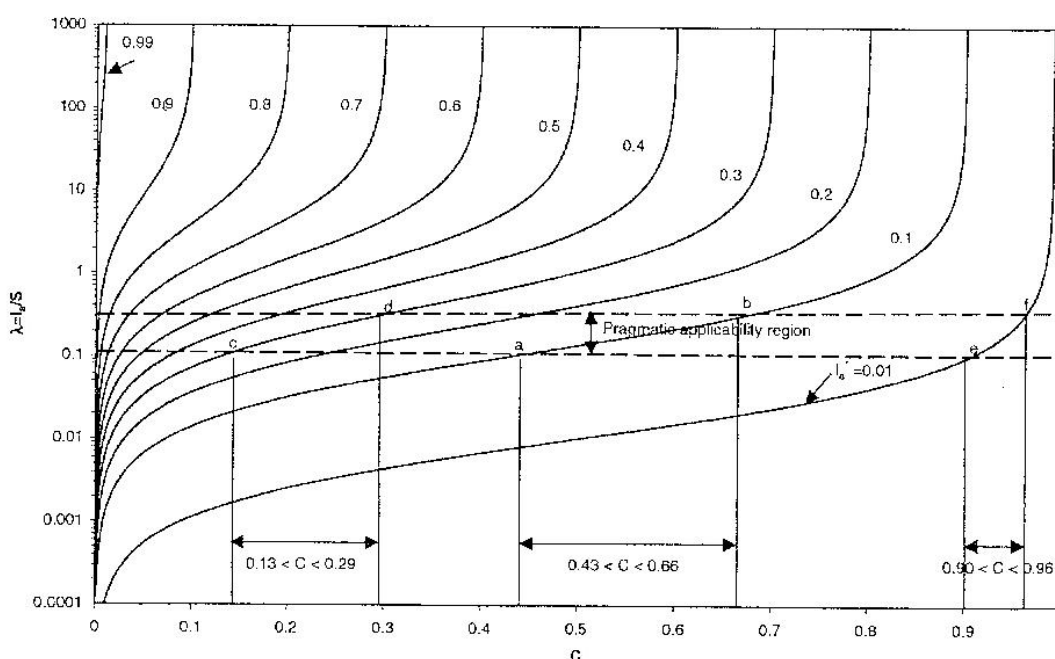
Počáteční ztráta (initial abstraction) zahrnuje ve srážko-otokovém procesu hlavně ztráty způsobené intercepací, infiltrací, evapotranspirací a akumulací v povrchových depresích v počáteční fázi srážkové události. Může být využita při pozorování procesu na malých povodích, kde je zpoždění odtoku minimální a srážková událost bezprostředně předchází zvýšenému odtoku (NEH, 2004). Pro vztahy (3) a (4) pak platí omezení dané velikostí počáteční ztráty:

$$Q = 0 \text{ pro } P \leq I_a \quad (10)$$

$I_a$  je vyjádřena jako podíl potenciální retence  $S$ :

$$I_a = \lambda S \quad (11)$$

Hodnota  $I_a$  byla dle metodiky NEH-4 stanovena na základě dlouhodobého průměru mnoha měření jako konstanta  $\lambda = 0,2$ , což je hodnota, se kterou základní rovnice metody SCS-CN nejčastěji počítá. Běžně se ale hodnota  $\lambda = 0,2$  udává jen u CN křivek s hodnotou větší než 40. Pro celkový rozsah CN mezi 1 a 100 se udává parametr  $\lambda$  jako variabilní s rozsahem 0 až 0,3. Ve skutečnosti navíc může parametr nabývat jakékoli hodnoty v intervalu  $(0, \infty)$ , přičemž všeobecně platí, že čím je nižší číslo CN tím vyšší může být parametr  $\lambda$  (obr. 4). Velká variabilita je dána silnou závislostí na klimatických podmínkách, vlhkostních podmínkách a velikosti srážkové události. (Mishra a kol. 2007).

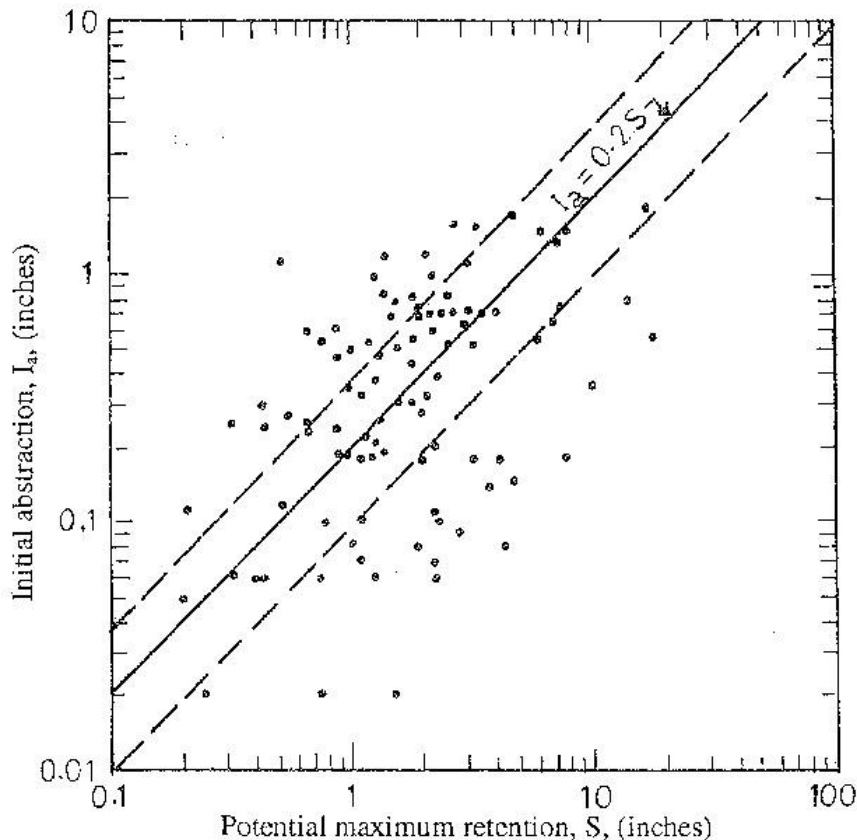


**Obr. 4:** Změna koeficientu  $\lambda$  (Mishra a Sing, 2003).

Obr. 4 Ukazuje variabilitu koeficientu počáteční ztráty  $\lambda$  k odtokovému faktoru  $C$ . Kde  $C = Q/P$ .  $Q$  je přímý odtok,  $P$  je celkový srážkový úhrn  $I_a$  je počáteční ztráta a  $S$  je potenciální retence. Z uvedeného grafu je patrné, proč někteří autoři při výpočtech častěji používají  $I_a$  o velikosti 0,1 případně 0. Je zřejmé, že při vyšších hodnotách CN křivek je nižší než průměrná hodnota  $I_a$  blíže skutečnosti. Jelikož u CN křivek do velikosti CN 30 téměř nikdy nevzniká povrchový odtok, není potřeba se jejich vyšším koeficientem počáteční ztráty nijak zabývat (Bosznay 1989). Limitní hranice, při které metoda CN selhává, nelze jednoznačně stanovit, ale obecně platí, že tato hranice závisí na čísle CN a  $I_a$ . Přičemž čím je vyšší hodnota CN, tím je vyšší pravděpodobnost vzniku povrchového odtoku. A lze tedy říci, že při vyšší hodnotě

křivky CN může vzniknout měřitelný odtok již při menší velikosti srážek. (Vološ, 2007).

Vyjádření počáteční ztráty  $I_a$  ve vztahu k maximální retenci  $S$ , na které není nijak pevně závislá, způsobuje velký rozptyl vzájemné závislosti daných parametrů (obr. 5). Revize metody v (NEH-4 1985) udává, že při měření vztahu daných parametrů bylo pouze v 50 % měření  $I_a$  v rozsahu  $(0,095 \leq \lambda \leq 0,38) S$ .

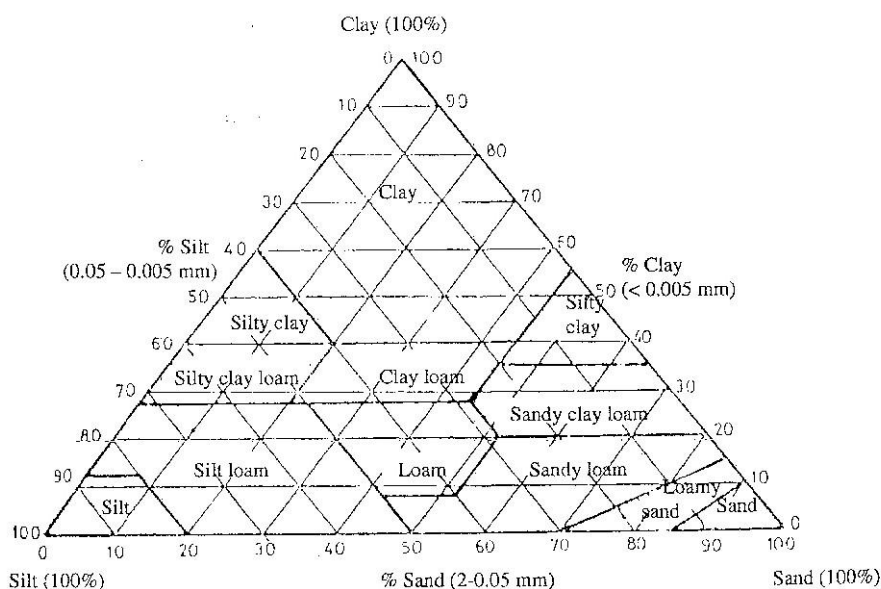


**Obr. 5:** Korelační diagram vztahu mezi maximální potenciální retencí  $S$  a počáteční ztrátou  $I_a$ . Středová přímka zobrazuje hodnoty  $I_a$  na úrovni  $0,2S$ . Krajní přerušované přímky zobrazují hranice hodnot  $I_a$  na úrovni  $0,095S$  a  $0,38S$  (NEH-4, 2004).

### 3.4 Typ půdy

Metodika SCS-CN zařazuje půdy do čtyř kategorií s označením A, B, C, D, podle jejich propustnosti a rychlosti infiltrace. Všeobecně jsou půdy rozdělovány na jílovité, hlinité, písčité a prachovité, nebo různé přechody mezi nimi (obr. 6). Nепropustné jsou zejména jíly a břidlice, které zabraňují pohybu vody. Jíly samy jsou sice schopny pohltit velké množství vody, kterou váží kapilárními silami, poté

jsou ale prakticky nepropustné. Za propustné se naopak považují půdy s vyšším podílem písku a vápence s obsahem jílovitých částí pod 25% (Uhlířová a Mazín, 2005). Rychlost infiltrace vody závisí na velikosti půdních zrn, textuře, struktuře, povrchovém napětí a hydraulické vodivosti.



**Obr. 6:** Rozdělení půdní textury (Mishra a Sing 2004).

Na základě několika tisíc infiltračních testů rozřazuje NEH-4 (2004) stovky druhů půd do následujících skupin.

- A. Půdy s nízkým odtokovým potenciálem a s vysokou infiltrací i při vysoké vlhkosti. Obsahují hlavně hluboké, silně odvodněné písky nebo šterky, s velkou rychlostí pohybu vody. Rychlost infiltrace se u této skupiny půd udává  **$11,43 \text{ mm/h} \geq i \geq 7,62 \text{ mm/h}$**
- B. Tato skupina obsahuje půdy se středními infiltračními hodnotami při vysoké vlhkosti. Jedná se o půdy středně hluboké až hluboké a středně dobře až silně odvodněné. S hrubou až středně hrubou texturou a střední rychlostí pohybu vody. Rychlost infiltrace se u této skupiny půd udává  **$7,62 \text{ mm/h} \geq i \geq 3,81 \text{ mm/h}$** .
- C. V této skupině jsou půdy s nízkým infiltračním potenciálem při zvýšené vlhkosti. Jedná se zejména o půdy s vrstvou bránící prosakování a pohybu vody a půdy s jemnou texturou. Tyto půdy mají mírnou infiltrační rychlost udávanou jako  **$3,81 \text{ mm/h} \geq i \geq 1,27 \text{ mm/h}$** .

D. Jedná se o půdy s vysokým odtokovým potenciálem a velmi nízkými infiltračními hodnotami. Zahrnuje hlavně nasycené jíly a půdy s trvale vysokou hladinou podzemní vody. Pronikání vody brání vrstva jílu nebo jílovité půdy. V případě jiných typů půd se jedná vždy o mělké půdy ležící na vrstvě nepropustného materiálu. Rychlost infiltrace u této skupiny půd se udává  $1,27 \text{ mm/h} \geq i$ .

U uváděných hodnot rychlosti infiltrace se vždy počítá s půdou bez vegetačního pokryvu a po dlouhodobém sycení vodou. Rozdělení půd v ČR se řídí dle platné metodiky a podle čísla BPEJ, respektive části označující hlavní půdní jednotku (Janeček, 2006).

Rychlost infiltrace, kterou popisujeme metody CN křivek je blízká nasycené hydraulické vodivosti při maximální infiltraci. Pokud se měří kumulativní infiltrace jako funkce času, tak pro její rychlost ( $v$ ) v čase blížící se 0 platí, že se rychlost limitně blíží  $v(t) \rightarrow \infty$  a pro velmi dlouhý čas platí, že se limitně rychlost blíží  $v \rightarrow K_h$ .  $K_h$  je tedy koeficient který by relativně přesně odpovídat rychlosti infiltrace jednotlivých typů půd (Kutílek a kol., 2004). Tento koeficient je rozdílný pro odlišné textury půdy. Orientační hodnoty dle Dingmana (2002) jsou uvedeny v tab 1.

**Tab. 1:** Koeficienty infiltrace dle rozdělení půdní textury (Dingman, 2002).

<b>Půdní textura</b>	<b>pórovitost</b>	<b>koeficient infiltrace <math>K_h</math></b>
Písek	0,056	$1,76 \times 10^{-2}$
Hlinitý písek	0,068	$1,56 \times 10^{-2}$
Písčítá hlína	0,086	$3,47 \times 10^{-3}$
Prašná hlína	0,059	$7,20 \times 10^{-4}$
Hlína	0,078	$6,95 \times 10^{-4}$
Písčítá jílovitá hlína	0,059	$6,30 \times 10^{-4}$
Prašná jílovitá hlína	0,057	$1,70 \times 10^{-4}$
Jílovitá hlína	0,053	$2,45 \times 10^{-4}$
Písčitý jíl	0,057	$2,17 \times 10^{-4}$
Prašný jíl	0,064	$1,03 \times 10^{-4}$
Jíl	0,050	$1,28 \times 10^{-4}$

### 3.5 Využití půdy

Třetím vstupním údajem při určení čísla CN křivky jsou půdní podmínky. Ty zahrnují zejména způsob obdělávání půdy a její ulehlost, dále množství organických zbytků v půdě, typ a vzrůst vegetačního pokryvu půdy. Vegetační pokryv půdy ovlivňuje rychlost infiltrace, retenční kapacitu, rychlost a rozložení odtoku v čase. Při tom platí, že se zvyšující se velikostí srážky vliv vegetačního pokryvu na velikost přímého odtoku klesá (Jeníček, 2009).

Dle využití půdy se jedná o (Janeček a kol., 2006):

- úhor
- širokořádkové plodiny
- úzkořádkové plodiny
- pícniny a luštěniny
- pastviny
- louky
- křoviny
- sady
- lesy
- urbanizované zpevněné plochy
- způsob střídání ploch s různými druhy plodin.

Způsob obdělávání rozlišuje:

- orbu po spádnici
- orbu příčnou
- orbu vrstevnicovou
- přítomnost posklizňových zbytků na povrchu půdy.

Hydrologické podmínky se odvíjejí od množství organických zbytků v půdě a na jejím povrchu, zapojení porostu během roku, procentuálního zastoupení jetelotrav a drsnosti povrchu. Dobré hydrologické podmínky počítají s větším než 30% pokrytím půdy, střední s 10 – 30% pokrytím a špatné s nižším než 10% pokrytím. Čím horší jsou hydrologické podmínky, tím je nižší infiltrace vody do půdy a zvyšuje se povrchový odtok.

Takto stanovená čísla CN křivek jsou dlouhodobými průměry a je potřeba brát v úvahu sezónní změny během vegetačního období. Stanovená čísla křivek

odpovídají přibližně období vzrůstu plodin. Období orby, setí a počátečního vzrůstu se blíží hodnotám úhoru. Pro období vrcholového vzrůstu lze využít vztah kde:

$CN \text{ výsledná} = 2 \times CN \text{ průměrná} - CN \text{ úhoru}$ .

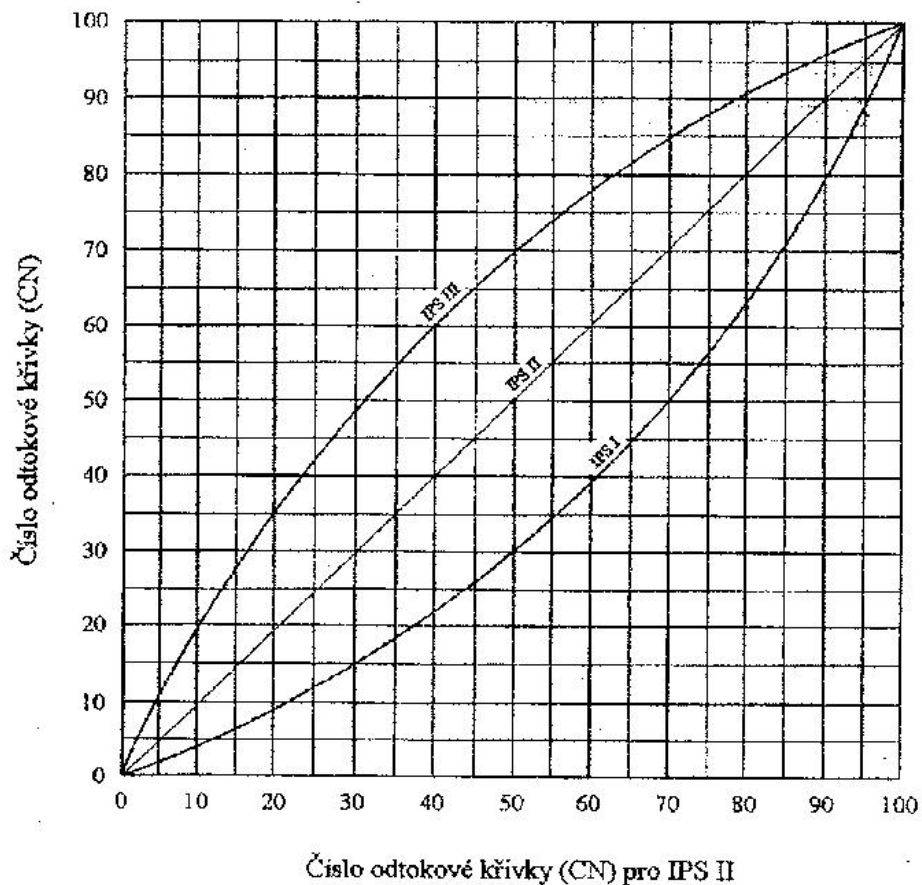
V období po sklizni pak hodnota CN křivky závisí na zakrytí povrchu posklizňovými zbytky. V případě pokrytí méně než dvou třetin povrchu se čísla CN křivky blíží úhoru, v případě většího pokrytí se čísla CN křivky blíží průměru (Janeček a kol., 2006).

### 3.6 Vláhové podmínky

Očekávané vláhové podmínky popisují stupeň nasycení půdy vodou z předchozích dešťů. Na základě předchozího pěti-denního úhrnu srážek určují vlhkost povrchu půdy, množství vody v půdě a tím i možnosti dalšího sycení půdy při začátku deště. Předpokládá se, že při plném nasycení půdy je celý srážkový úhrn přeměněn na odtok bez infiltrační ztráty a naopak při suché půdě je pravděpodobné celkové zachycení srážkového úhrnu v půdě.

Metodika SCS-CN počítá s třemi stupni očekávaných vláhových podmínek (AMC – antecedent moisture condition): AMC I, AMC II a AMC III, které jsou určeny na základě nasycení půdy vodou z předchozího 5-denního srážkového úhrnu (tab. 2). Hydrologická literatura využívá řadu indexů očekávaných srážek (API, ABFI, SMI), které počítají s různými délkami předchozích úhrnů srážek v rozmezí 5-30 dní. Právě index API (antecedent moisture index) se využívá pro jeho jednoduchost a snadnou aplikovatelnost u SCS konceptů AMC (Mishra a kol., 2008).

AMC I odpovídá suché půdě, AMC II je využíván pro průměrné vlhkostní podmínky a stupeň AMC III odpovídá vysokému nasycení půdy vodou (obr. 7). Statisticky vyjádřeno je kumulativní pravděpodobnost výskytu povrchového odtoku u AMC I 10 %, u AMC II 50 % a u AMC III 90 %. Vlhkostní podmínky samozřejmě nejsou veličinou diskrétní, ale spojitou, a proto je potřeba si uvědomit že stupně AMC představují pouze určité výpočetní křivky. Vlhkostní podmínky ve vztahu k odtoku mohou ale limitně nabývat jakýchkoli hodnot od 0 do 100 % (Jain a kol., 2005).



**Obr. 7:** Vliv nasycení půdy na změnu hodnoty CN křivky (Janeček a kol., 2006).

Vztah stupně nasycení AMC a předchozích spadlých srážek udává následující tabulka.

**Tab. 2:** Určení vlhkostního stupně na základě předchozích srážek

AMC	Celkový předchozí 5-denní úhrn srážek (mm)	
	Nevegetační období	Vegetační období
I	méně než 13	méně než 36
II	13 až 28	36 až 53
III	více než 28	více než 53

Výstupem rozdílu mezi jednotlivými stupni AMC je následný přepočít, který udává pro každý stupeň AMC odlišné číslo CN křivky. NEH-4 využívá pro přepočít čísla CN křivky dle odlišného stupně AMC tabulku (tab. 3) vycházející z poměru různé výšky odtoku při stejné srážkové události.



**Tab. 3:** přepoččet stupňů AMC, upraveno z (NEH-4)

AMC	CN	Výška odtoku v mm	% úhrnu srážek	% odtoku pro AMC II
I	55	17	15,1	35,6
II	74	46	42,5	100
III	88	76	69,8	164

Jelikož stupeň vlhkosti půdy silně ovlivňuje výsledný výpočet odtoku, byl přepoččet jednotlivých stupňů AMC přepracován mnoha autory (Mishra a kol, 2006 ex. Sobhani, 1975, Hawkins, 1985, Chow, 1988), kteří prezentovali vlastní formulace, jež měly více odpovídat realitě než základní metoda SCS – CN. Všechny metody vycházejí z předpokladu, že stupeň AMC II jsou běžné průměrné podmínky a proto se stupně AMC I a AMC III vyjadřují ve vztahu právě k AMC II. Níže uvedené hodnoty  $CN_I$ ,  $CN_{II}$  a  $CN_{III}$  odpovídají přepočtu čísla CN křivky, dle příslušného stupně AMC I, AMC II a AMC III (Mishra a kol, 2006).

Sobhaniho metoda z roku 1975 předpokládá existenci lineárního vztahu mezi jednotlivými stupni AMC. Použitelná je pro CN křivky v rozsahu CN (55, 95).

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{2,334 - 0,01334 * CN_{II}} \quad (12)$$

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0,4036 + 0,005964 * CN_{II}} \quad (13)$$

Hawkinsova metoda z roku 1985 je opět využitelná pro rozsah křivek CN (55,95) Využívá stanovení základní chyby a derivací jednotlivých CN křivek.

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{2,281 - 0,01281 * CN_{II}} \quad (14)$$

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0,427 + 0,00573 * CN_{II}} \quad (15)$$

Chow ve své metodě z roku 1988 použil stejný základní princip jako předchozí dvě metody, ale našel vztah, který vyhovuje celé šířce rozsahu CN křivek (1,100).

$$CN_I = \frac{4,2 * CN_{II}}{10 - 0,058 * CN_{II}} \quad (16)$$

$$CN_{III} = \frac{23 * CN_{II}}{10 + 0,13 * CN_{II}} \quad (17)$$

Navrhované vyjádření převodního vzorce dle NEH-4 (1985) je vytvořené na základě empirických údajů a doporučeno je pro rozsah CN křivek (55,95).

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{2,2754 - 0,012754 * CN_{II}} \quad (18)$$

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0,430 + 0,0057 * CN_{II}} \quad (19)$$

Přesnost jednotlivých metod posoudili ve své studii S.K.Mishra a kol. (2006). Jednotlivé nepřesnosti stanovili na základě určení relativní střední kvadratické chyby RMSE mezi skutečností a vypočtenou hodnotou z měření na 82 povodích. Studie prokázala pouze minimální rozdíly. Chyby dané jednotlivými metodami se lišily o méně než 4 %.

### 3.7 Nepřesnost metody CN křivek

U stanovení přímého odtoku Q je často potřeba znát, jak přesně dokážeme spočítat Q při měnících se aktuálních hodnotách  $\lambda$ , P a CN. Analýza přesnosti popisuje chování metody při větším rozsahu podmínek, než které mohou u jednotlivých parametrů nastat.

Základní dvě metody, které se problematikou zabývají, je analýza přesnosti prvního řádu a konvenční analýza přesnosti (Chen, 1982).

### 3.7.1 Analýza přesnosti prvního řádu

Vychází z upravené základní rovnice pro stanovení přímého odtoku:

$$Q = 25,4 * \frac{\left[ P - \lambda \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right) \right]^2}{P + (1 - \lambda) \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right)} \quad (20)$$

Takto vyjádřený přímý odtok Q je funkcí g úhrnu deště P, počáteční ztráty  $\lambda$  a čísla odtokové křivky CN.

$$Q = g(P, \lambda, CN) \quad (21)$$

Protože parametry P,  $\lambda$ , CN jsou odlišné od jejich průměrných hodnot  $\bar{P}, \bar{\lambda}, \bar{CN}$ , platí tedy:

$$\bar{Q} = g(\bar{P}, \bar{\lambda}, \bar{CN}) \quad (22)$$

Analýza dále pracuje s derivacemi funkce g podle všech tří parametrů. Jestliže je druhá či vyšší derivace zanedbatelná, vyplývá z derivace prvního řádu výraz pro chybu v přímém odtoku Q.

$$E = Q - \bar{Q} = \sum_i^3 \left( \frac{\partial g}{\partial x_i} \right) (x_i - \bar{x}_i) \quad (23)$$

pro zjednodušení je dosazeno  $P = x_1, \lambda = x_2, CN = x_3$

Rozsah této chyby je pak vyjádřen jako střední kvadratická chyba:

$$S_Q^2 = E[(Q - \bar{Q})^2] \quad (24)$$

a ve vyjádření rozsahu chyb jednotlivých parametrů funkce g jako:

$$S_Q^2 = \left( \frac{\partial g}{\partial P} \right)^2 S_P^2 + \left( \frac{\partial g}{\partial \lambda} \right)^2 S_\lambda^2 + \left( \frac{\partial g}{\partial CN} \right)^2 S_{CN}^2 \quad (25)$$

Konečný výraz pro výpočet chyby touto metodou je:

$$S_Q^2 = \frac{\left[ P - \lambda \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right) \right]^2}{\left[ P + (1 - \lambda) \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right) \right]^4} * \left\{ \left[ P + (2 - \lambda) \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right) \right]^2 S_P^2 + \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right)^2 \right. \\ \left. \left[ (1 + \lambda)P + \lambda(1 - \lambda) \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right) \right]^2 S_\lambda^2 + \frac{10^6}{CN^4} \left[ (1 + \lambda)P + \lambda(1 - \lambda) \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right) \right]^2 S_{CN}^2 \right\} \quad (26)$$

Tento způsob určení chyby odtoku střední kvadratickou chybou je využitelný zejména pro výpočty pracující s určitou procentuální možnou odchylkou jednotlivých parametrů P, λ, CN od střední hodnoty.

### 3.7.2 Konvenční analýza přesnosti

Počítá s citlivostí odtokového faktoru C (C=Q/P) na změny parametrů úhrnu deště P, počáteční ztráty λ a čísla odtokové křivky CN. Opět vychází ze základního vzorce pro odtok (20) upraveného pro výpočet odtokového faktoru C:

$$C = \frac{\left[ 1 - \frac{\lambda}{P} \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right) \right]^2}{1 + \frac{(1 - \lambda)}{P} \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right)} \quad (27)$$

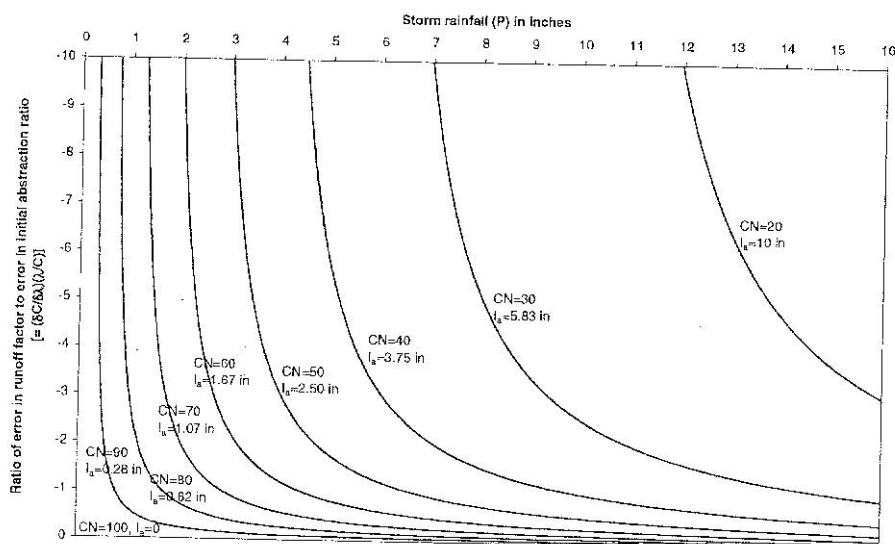
Konvenční analýza opět využívá derivace a celková derivace faktoru C je dána jako součet dílčích derivací, respektujících P, λ, CN.

$$dC = \frac{\partial C}{\partial \lambda} d\lambda + \frac{\partial C}{\partial P} dP + \frac{\partial C}{\partial CN} dCN \quad (28)$$

Citlivost na počáteční ztrátu je vyjádřena ve vzorci:

$$\frac{\partial C}{\partial \lambda} \frac{\lambda}{C} = - \frac{\frac{I_a}{P} \left[ 1 + \frac{2(1 - \lambda) I_a}{\lambda P} - \frac{2 - \lambda}{\lambda} \left( \frac{I_a}{P} \right)^2 \right]}{\left( 1 - \frac{I_a}{P} \right)^2 \left( 1 + \frac{1 - \lambda}{\lambda} \frac{I_a}{P} \right)} \quad (29)$$

Vliv rozsahu počáteční ztráty na parametr odtokového faktoru C je ve výsledku negativní. To zohledňuje fakt, že čím je větší parametr  $\lambda$  tím je parametr C menší a zase naopak. S rostoucím deštěm P a odtokem Q se zvyšuje číslo odtokové křivky CN a snižuje se citlivost parametru C na počáteční ztrátu  $\lambda$ . Přehledně tuto citlivost vyjadřuje (obr. 8).

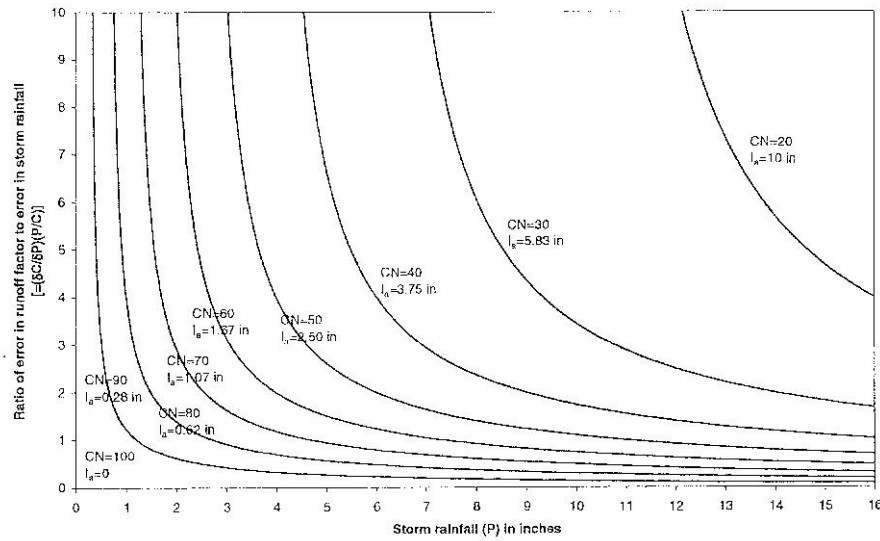


**Obr. 8:** Citlivost odtokového faktoru C na počáteční ztrátě  $\lambda$  (Mishra a Singh 2003).

Citlivost faktoru C na chybu velikosti úhrnu srážek P je dána vztahem:

$$\frac{\partial C}{\partial P} \frac{P}{C} = - \frac{\frac{1}{\lambda} \frac{I_a}{P} \left[ 1 + \lambda + (1 - \lambda) \frac{I_a}{P} \right]}{\left( 1 - \frac{I_a}{P} \right) \left( 1 + \frac{1 - \lambda}{\lambda} \frac{I_a}{P} \right)} \quad (30)$$

Promítnutí chyby při stanovení úhrnu srážek  $P$  na chybu odtokového faktoru  $C$  je znázorněno na (obr. 9). Z obrázku je patrné, že čím je vyšší číslo křivky  $CN$  a čím je vyšší i úhrn srážek  $P$ , tím je vliv chyby faktoru  $P$  na chybu faktoru  $C$  nižší.

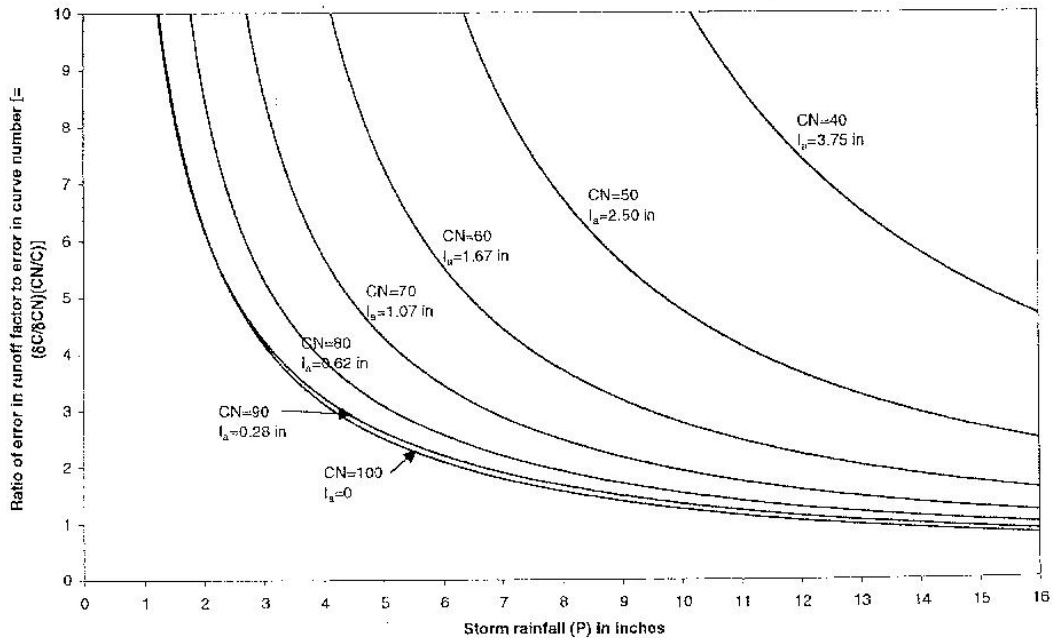


**Obr. 9:** Citlivost odtokového faktoru  $C$  na úhrnu srážek  $P$  (Mishra a Singh 2003).

Citlivost faktoru  $C$  na velikost odtokové křivky  $CN$  je vyjádřena jako:

$$\frac{\partial C}{\partial CN} \frac{CN}{C} = - \frac{\left( \frac{I_a}{\lambda} + 10 \right) \left[ \frac{1 + \lambda}{P} + \frac{1 - \lambda}{\lambda} \left( \frac{I_a}{P} \right)^2 \right]}{\left( 1 - \frac{I_a}{P} \right) \left( 1 + \frac{1 - \lambda}{\lambda} \frac{I_a}{P} \right)} \quad (31)$$

Z následujícího obrázku (obr. 10) je zřejmé, že čím vyšší je číslo odtokové křivky CN, tím je citlivost odtokového faktoru C nižší. Tedy u vyšších hodnot přímého odtoku Q se možná chyba snižuje.



**Obr. 10:** Citlivost odtokového faktoru C na čísle CN křivky (Mishra a Singh 2003).

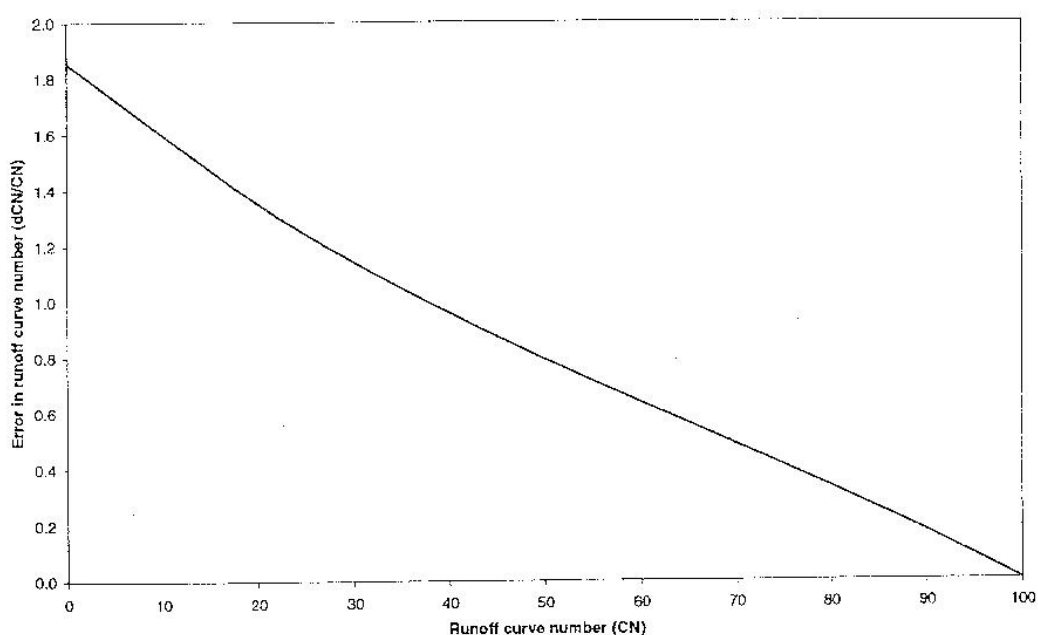
Přes 10 % rozsahu hodnot CN křivek je dáno rozdíly v očekávaných vlhkostních podmínkách AMC (Chen, 1982). Citlivost odtokového parametru C na velikost chyby vychází ze základních rovnic (14) a (15) pro stanovení podmínek  $AMC_I$  a  $AMC_{III}$ . Jejich následnou derivací (32) získáme rovnici (33). Výraz CN bez označení čísla podmínky je vždy brán jako hodnota středních podmínek  $CN_{II}$ .

$$\frac{dCN}{CN} = \frac{CN_{III} - CN_I}{CN_{II}} \quad (32)$$

$$\frac{dCN}{CN} = \frac{0,001854CN \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right)}{(0,427 + 0,00573CN)(2,281 - 0,01281CN)} \quad (33)$$

**Tab. 4:** Rozsah maximální chyby ve stanovení CN při měnících se podmínkách AMC (Mishra a Singh, 2003).

CN	dCN	dCN/CN	CN	dCN	dCN/CN
100	0	0	40	38,3	0,959
90	15,7	0,174	30	34,3	1,142
80	26,7	0,333	20	27,1	1,353
70	34	0,485	10	16	1,6
60	38,2	0,636	0	0	1,854
50	39,6	0,792			



**Obr. 11:** Citlivost odtokové křivky CN na předchozí vlhkostní podmínky AMC (Mishra a Singh 2003).

Z výše uvedeného je patrné, že citlivost čísla CN křivky na vlhkostní podmínky je vysoká u nižších hodnot křivek a s rostoucím číslem odtokové křivky vliv vlhkosti klesá (obr. 11). Vzhledem k tomu, že se vznikem přímého odtoku se počítá až u křivek s hodnotou  $CN \geq 50$ , je pro nás podstatná možná chyba v pravé části grafu. I v této oblasti, ale může chyba přesnosti dosahovat téměř 40 % (tab. 4).

Následující tabulky (tab. 5, tab. 6 a tab. 7) vyjadřují výpočet citlivosti přímého odtoku získaný metodou konvenční analýzy přesnosti. Výpočty počítají s třemi různými úhrny deště a pro každý úhrn s křivkami CN 50, CN 75 a CN 95. Tím pokrývají pro výpočty nejdůležitější oblast.



**Tab. 5:** Výpočet citlivosti přímého odtoku při počáteční ztrátě  $\lambda$  0,1 (Mishra a Singh, 2003). Hodnoty úhrnu srážky P, velikosti počáteční ztráty  $I_a$ , odtoku Q a chyby odtoku Q jsou uvedeny v palcích. % chyba Q je uvedena v procentech. Ostatní parametry jako konstanta  $\lambda$  počáteční ztráty, číslo křivky CN, odtokový parametr C a derivace odtokového parametru  $\partial C/C$  jsou bezrozměrné.

Proměnná	Výpočet								
$\lambda$	0,1								
<b>P</b>	5			10			15		
<b>CN</b>	50	75	95	50	75	95	50	75	95
$I_a$	1,00	0,33	0,05	1,00	0,33	0,05	1,00	0,33	0,05
<b>C</b>	0,06	0,22	0,66	0,08	0,023	0,67	0,09	0,24	0,67
<b>Q</b>	0,32	1,09	3,32	0,81	2,34	6,71	1,31	3,59	10,11
$\partial C/C$	0,59	0,27	0,22	0,29	0,15	0,12	0,19	0,11	0,08
<b>Chyba Q</b>	0,51	1,39	4,07	1,04	2,69	7,50	1,56	3,97	10,90
<b>% chyba Q</b>	58,93	27,38	22,44	28,65	15,30	11,64	19,35	10,69	7,86

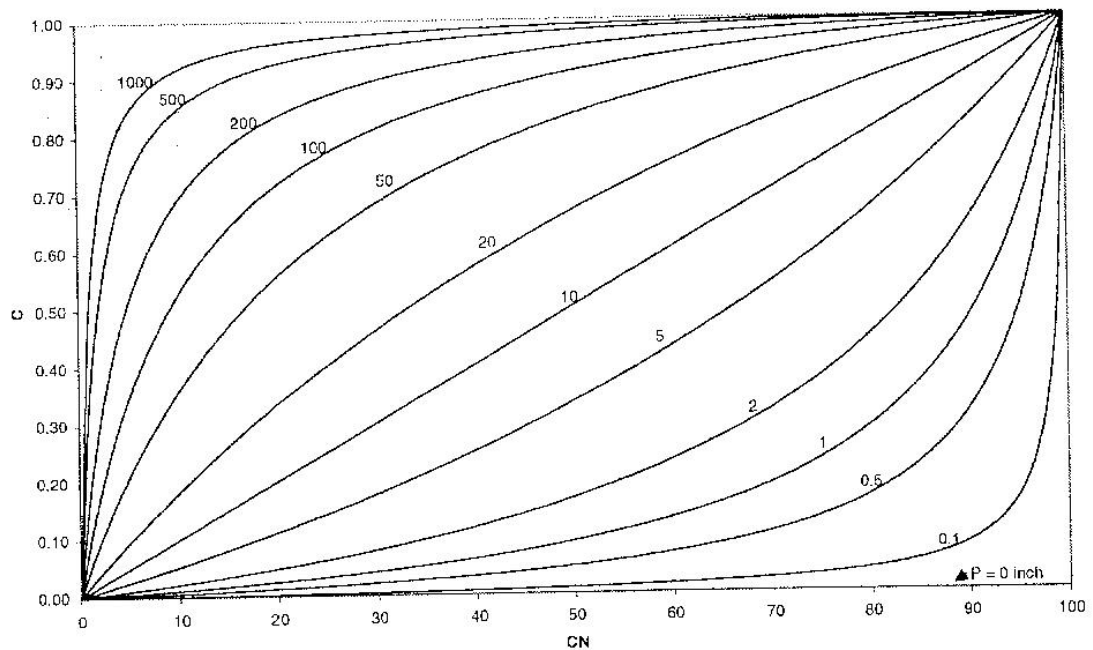
**Tab. 6:** Výpočet citlivosti přímého odtoku při počáteční ztrátě  $\lambda$  0,2 (Mishra a Singh, 2003). Hodnoty úhrnu srážky P, velikosti počáteční ztráty  $I_a$ , odtoku Q a chyby odtoku Q jsou uvedeny v palcích. % chyba Q je uvedena v procentech. Ostatní parametry jako konstanta  $\lambda$  počáteční ztráty, číslo křivky CN, odtokový parametr C a derivace odtokového parametru  $\partial C/C$  jsou bezrozměrné.

Proměnná	Výpočet								
$\lambda$	0,2								
<b>P</b>	5			10			15		
<b>CN</b>	50	75	95	50	75	95	50	75	95
$I_a$	2,00	0,67	0,11	2,00	0,67	0,11	2,00	0,67	0,11
<b>C</b>	0,04	0,20	0,67	0,07	0,24	0,69	0,08	0,25	0,69
<b>Q</b>	0,20	1,02	3,37	0,71	2,38	6,89	1,25	3,74	10,41
$\partial C/C$	1,21	0,36	0,25	0,44	0,18	0,13	0,27	0,12	0,09
<b>Chyba Q</b>	0,44	1,39	4,21	1,03	2,81	7,77	1,59	4,19	11,30
<b>% chyba Q</b>	120,51	35,56	24,95	44,44	18,17	12,80	27,09	12,30	8,61

**Tab. 7:** Výpočet citlivosti přímého odtoku při počáteční ztrátě  $\lambda$  0,3 (Mishra a Singh, 2003). Hodnoty úhrnu srážky P, velikosti počáteční ztráty  $I_a$ , odtoku Q a chyby odtoku Q jsou uvedeny v palcích. % chyba Q je uvedena v procentech. Ostatní parametry jako konstanta  $\lambda$  počáteční ztráty, číslo křivky CN, odtokový parametr C a derivace odtokového parametru  $\partial C/C$  jsou bezrozměrné.

Proměnná	Výpočet								
$\lambda$	0,3								
P	5			10			15		
CN	50	75	95	50	75	95	50	75	95
$I_a$	3,00	1,00	0,16	3,00	1,00	0,16	3,00	1,00	0,16
C	0,02	0,19	0,69	0,06	0,24	0,71	0,08	0,26	0,72
Q	0,10	0,96	3,43	0,61	2,43	7,08	1,20	3,92	10,73
$\partial C/C$	2,38	0,45	0,28	0,63	0,21	0,14	0,35	0,14	0,09
Chyba Q	0,34	1,39	4,37	1,00	2,94	8,07	1,62	4,47	11,74
% chyba Q	237,50	44,70	27,54	63,03	21,12	13,98	35,23	19,92	9,37

Z (tab. 5, tab. 6 a tab. 7) lze odvodit jistou závislost chyby odtoku na základě měnících se parametrů. S rostoucí konstantou  $\lambda$  roste i chyba odtoku Q, zejména při nižších srážkových úhrnech P a nižší hodnotě CN křivky. Výsledný vztah faktoru C k číslu CN křivky je zobrazen na obr. 12.



**Obr. 12:** Závislost odtokového parametru C na úhrnu deště a čísle CN křivky (Mishra a Singh 2003).

### 3.7.3 Další limity přesnosti CN křivek

Další nepřesnosti při stanovení čísla odtokové křivky CN vycházejí ze snahy ARS o co největší zjednodušení metody pro snadný a rychlý výpočet. Metoda obsahuje několik zjednodušujících prvků.

- intenzita deště je po celou dobu srážkové události stejná.
- srážky jsou v celé oblasti rozmístěny stejnoměrně
- hodnotu CN křivky při kombinaci různých parametrů (vegetace, typ půdy, vláhové podmínky) lze vypočítat jako vážený průměr.

Z výše uvedeného vyplývá, že metoda nepočítá se základními hydrologickými předpoklady. Intenzita deště během srážkové události většinou rychle stoupá k maximu a potom pozvolna klesá ke konci srážkové události. Rovnoměrné rozložení srážek je pravděpodobné jen u velmi malých povodí (Ponce a Hawkins, 1996).

Ve třetím bodu vychází metodika v (NEH-4) z prostého váženého průměru. Jestliže je povodí rozděleno na plochy x a y, je výsledná hodnota CN křivky pro celé povodí vypočítána ze vztahu:

$$CN = CN_x F_1 + CN_y F_2 \quad (34)$$

Kde CN je výslednou hodnotou křivky, F je jednotkovou plochou povodí za předpokladu, že celková plocha povodí je součtem dílčích ploch povodí  $F = F_1 + F_2 = 1$ .

Tento typ výpočtu popsany v NRSC (1986) nezohledňuje ani směr odtoku ani intenzitu deště, kterou pokládá za konstantní. Moglen (2000) ve svých metodách  $\alpha$  a  $\beta$  ale prokázal, že pokud odtok prochází nejdříve plochou x s nižší hodnotou CN a následně plochou y s vyšší hodnotou CN, je výsledný odtok Q výrazně vyšší, než pokud by procházel plochou, která je součtem ploch x a y a měla by hodnotu CN rovnu váženému průměru hodnot CN křivek pro plochy x a y. Naopak pokud odtok prochází nejdříve plochou y s vyšší hodnotou CN a následně plochou x s nižší hodnotou CN, je výsledný odtok Q nižší, než kdyby procházel plochou, která je součtem ploch x a y a měla by hodnotu CN rovnu váženému průměru hodnot CN křivek pro plochy x a y. Tyto rozdíly odtoku pak mohou být až v řádu desítek procent.

## 4 Metodika

Pro potřeby výpočtů práce vychází z předpokladu, že metoda SCS-CN je sama o sobě nastavena přesně a chyba ve výpočtu je dána pouze rozsahem vstupních parametrů.

### 4.1 Změna odtoku v závislosti na počáteční ztrátě $I_a$

Pro potřeby stanovení změny odtoku v závislosti na změně faktoru počáteční ztráty byl použit rozsah koeficientu  $\lambda$  od 0,095S do 0,38S (obr. 5). Tento rozsah je 50kvantilem faktoru  $I_a$ . Byla počítána změna v hodnotách křivek CN 50, 60, 70, 80 a 90 s cílem pokrýt z hlediska odtoku většinu důležité oblasti.

Při pohledu na konstrukci základních rovnic (4), (9) metody SCS-CN, je patrné, že výsledný odtok ovlivňují tři různé proměnné. Jedná se o srážkový úhrn  $P$ , počáteční ztrátu  $I_a$  a číslo křivky CN, na které je závislý výpočet potenciální retence  $S$ . Z té je možné za pomoci koeficientu  $\lambda$  vypočítat hodnotu počáteční ztráty  $I_a$ .

Aby bylo možné odvodit vztah mezi změnou odtoku  $Q$  a změnou hodnoty  $I_a$ , je třeba zbývající proměnné zafixovat na vybrané pevné hodnoty a teprve následně sledovat změny vztahu  $Q/I_a$ . Pro potřeby ověření rozsahu byly zvoleny srážkové úhrny  $P$  (mm) o hodnotách 75, 100, 125, 150, 175 a křivky CN 50, 60, 70, 80, 90. Proměnné  $P$  a CN byly k sobě fixovány v kombinacích (tab. 8) a zároveň byly počítány změny odtoku  $\Delta Q$  při minimální a maximální hodnotě počáteční ztráty  $I_{a1}(0,095)$ ,  $I_{a2}(0,38)$ .

**Tab. 8:** Kombinace proměnných úhrnu deště  $P$  a hodnoty křivky CN fixovaných pro potřeby zjištění vlivu počáteční ztráty na velikost odtoku.

P	CN				
	50	60	70	80	90
75	$P_1, CN_1$	$P_1, CN_2$	$P_1, CN_3$	$P_1, CN_4$	$P_1, CN_5$
100	$P_2, CN_1$	$P_2, CN_2$	$P_2, CN_3$	$P_2, CN_4$	$P_2, CN_5$
125	$P_3, CN_1$	$P_3, CN_2$	$P_3, CN_3$	$P_3, CN_4$	$P_3, CN_5$
150	$P_4, CN_1$	$P_4, CN_2$	$P_4, CN_3$	$P_4, CN_4$	$P_4, CN_5$
175	$P_5, CN_1$	$P_5, CN_2$	$P_5, CN_3$	$P_5, CN_4$	$P_5, CN_5$

Změna odtoku byla počítána jako rozdíl výsledných odtoků při stejných vstupních podmínkách P a CN s rozdílnými vstupními hodnotami  $I_a$  (35). Procentuelní velikost vlivu počáteční ztráty  $V_{la}$  (36) na celkový odtok byl vypočten podílem změny odtoku  $\Delta Q$  a maximálního odtoku  $Q_{\max}$ , který byl roven úhrnu deště P. Průměrnou velikost vlivu počáteční ztráty na odtok, vypočteme (38) podílem sumy vlivů  $V_{la}$  a jejich počtem, který odpovídá počtu výpočtů a tedy počtu kombinací zafixovaných parametrů.

$$\Delta Q = Q_{la1} - Q_{la2} \quad (35)$$

$$V_{la} = \Delta Q / Q_{\max} \quad (36)$$

$$Q_{la1} = \frac{(P_{xi} - I_{a1})^2}{P_{xi} - I_{a1} + S} \quad (37-1)$$

$$Q_{la2} = \frac{(P_{xi} - I_{a2})^2}{P_{xi} - I_{a2} + S} \quad (37-2)$$

$$\overline{V_{la}} = \frac{\sum V_{la}}{xV_{la}} \quad (38)$$

## 4.2 Změna odtoku v závislosti na hodnotě křivky CN

Z hodnoty odtokové křivky CN je dána velikost retence S a tím i velikost počáteční ztráty  $I_a$ , která je vypočtena z retence přepočtem přes koeficient  $\lambda$ . Hodnoty křivek CN tvoří jádro metody SCS-CN a mají na výsledný odtok Q zcela zásadní vliv. Např. při srážkovém úhrnu  $P=100$  mm je velikost odtoku Q při křivce CN 90 přibližně 70 mm. Při křivce CN 50 je odtok přibližně 7 mm.

Při stanovení vlivu hodnoty křivky CN na výsledný odtok, byl uvažován rozsah vlivu v hodnotách CN 50, 60, 70, 80 a 90. Pro každou z těchto hodnot byly zafixovány zbývající dva parametry (tab. 9) vstupující do rovnice odtoku (4). Tím získáme řadu výpočtů (39) a (40) s fixními hodnotami úhrnu deště P a minimální a maximální velikosti počáteční ztráty  $I_a$ . Následně z hodnot vlivu CN na výsledný

odtok při daném dešti a minimální a maximální počáteční ztrátě spočítáme průměrný vliv při daném úhrnu deště a hodnotě křivky CN (41).

**Tab. 9:** Kombinace fixací jednotlivých parametrů úhrnu deště P a počáteční ztráty I<sub>a</sub>

I <sub>a</sub> (Λ)	P					
	50	75	100	125	150	175
0	I <sub>a1</sub> P <sub>1</sub>	I <sub>a1</sub> P <sub>2</sub>	I <sub>a1</sub> P <sub>3</sub>	I <sub>a1</sub> P <sub>4</sub>	I <sub>a1</sub> P <sub>5</sub>	I <sub>a1</sub> P <sub>6</sub>
0,095	I <sub>a2</sub> P <sub>1</sub>	I <sub>a2</sub> P <sub>2</sub>	I <sub>a2</sub> P <sub>3</sub>	I <sub>a2</sub> P <sub>4</sub>	I <sub>a2</sub> P <sub>5</sub>	I <sub>a2</sub> P <sub>6</sub>
0,38	I <sub>a3</sub> P <sub>1</sub>	I <sub>a3</sub> P <sub>2</sub>	I <sub>a3</sub> P <sub>3</sub>	I <sub>a3</sub> P <sub>4</sub>	I <sub>a3</sub> P <sub>5</sub>	I <sub>a3</sub> P <sub>6</sub>

Ve vzorcích (39) a (40) je uveden výpočet jednotlivých odtoků při měnící se hodnotě deště a I<sub>a</sub> a hodnotě CN křivky 50. Stejně výpočty byly provedeny i pro ostatní hodnoty CN křivek.

$$Q_{Pxd2CN50} = \frac{(P_x - I_{a2})^2}{P_x - I_{a2} + S_{cn50}} \quad (39)$$

$$Q_{Pxd3CN50} = \frac{(P_x - I_{a3})^2}{P_x - I_{a3} + S_{cn50}} \quad (40)$$

Průměrný vliv křivky CN 50 na celkový odtok Q, při měnící se hodnotě úhrnu deště byl spočítán následujícím způsobem:

$$V_{PxCN50} = \frac{\frac{P_x - Q_{Pxd2CN50}}{P_x} + \frac{P_x - Q_{Pxd3CN50}}{P_x}}{2} \quad (41)$$

#### 4.2.1 Změna hodnoty křivky CN v závislosti na typu a využití půdy

Základní hodnotu CN křivky pro další výpočet byl získán z metodické příručky na základě vegetačního porostu, který je na sledované lokalitě. Vliv vegetačního pokryvu je důležitým údajem, který zásadně ovlivňuje vstupní velikost hodnoty křivky CN. Ta může nabývat hodnot 30 až 98. Tato hodnota je následně

modifikována podle skupiny půd A, B, C, D, které se liší na základě hodnot rychlosti infiltrace při vysokém nasycení. Každý z typů půd má svůj rozsah rychlosti infiltrace.

- $11,43 \text{ mm/h} \geq A \geq 7,62 \text{ mm/h}$
- $7,62 \text{ mm/h} \geq B \geq 3,81 \text{ mm/h}$
- $3,81 \text{ mm/h} \geq C \geq 1,27 \text{ mm/h}$
- $1,27 \text{ mm/h} \geq D \geq 0 \text{ mm/h}$

Hodnota křivky CN, kterou lze odečíst z metodické příručky, odpovídá přibližně středu uvedeného rozsahu rychlosti infiltrace. Krajním hodnotám rozsahů musí ale logicky odpovídat odlišná hodnota křivky CN. Pro získání uvedených krajních hodnot a tedy i vlivu, který může mít typ půdy na hodnotu CN, lze použít zjednodušenou formu metodické tabulky (tab. 10) hodnot CN, jejíž plná forma je v příloze této práce.

**Tab. 10:** Průměrná hodnota křivek CN pro uvedené druhy vegetace a daný typ půdy

Druh vegetace	Typ půdy			
	A	B	C	D
Úhor	76	85	90	93
Louka	30	58	71	78
Les	37	61	74	80
Okopaniny	66	75	83	86
Obilniny	62	73	81	84
Luštěniny	59	72	81	85
Sady	43	65	76	82
Křoviny s trávou	30	48	65	73

Při výpočtu vlivu je třeba vyjít z předpokladu, že uvedené hodnoty CN odpovídají středním hodnotám infiltrace dané půdy. Byly tedy nalezeny střední hodnoty infiltrační rychlosti:

$$V_{(A,B,C,D)str} = \frac{V_{(A,B,C,D)min} + V_{(A,B,C,D)max}}{2} \quad (42)$$

Těmto středním hodnotám byly přiřazeny hodnoty křivek CN dle tab. 9. Následně byly dopočítány hodnoty CN v krajních oblastech infiltrace (43). Pak bylo zjištěno,



jak se liší krajní vypočtené hodnoty od hodnot středových (44). Ve výpočtech byl využit fakt, že minimální hodnota infiltrace jedné skupiny půd, je zároveň maximální hodnotou infiltrace další skupiny např.  $CN_{B \max} = CN_{A \min}$ .

$$CN_{B \max} = \frac{CN_{Bstr} - CN_{Astr}}{2} + CN_{Astr} \quad (43)$$

$$\Delta CN_A = \frac{CN_{A \min} - CN_{A \max}}{CN_{Astr}} \quad (44)$$

$CN_{A \max}$  je hodnotou CN při maximální infiltrační rychlosti půdy typu A.  $CN_{Astr}$  je hodnotou CN odpovídající střední rychlosti infiltrace půdy typu A.  $CN_{A \min}$  je hodnotou CN při minimální infiltrační rychlosti půdy typu A a zároveň maximální infiltrační rychlosti půdy typu B.  $\Delta CN_A$  je procentuelní rozsah hodnoty CN daného typu půdy.

Maximální vliv půdy na změnu hodnoty CN křivky byl zjištěn z rozdílu nejnižší hodnoty infiltrace půdy typu D a maximální hodnoty infiltrace půdy typu A (45). Tento rozdíl je jiný pro každý druh vegetace. Celkový vliv půdy byl spočítán jako průměr jednotlivých rozdílů:

$$\Delta CN_{celkem} = \frac{CN_{D \min} - CN_{A \max}}{\left( \frac{CN_{D \min} + CN_{A \max}}{2} \right)} \quad (45)$$

$$\overline{\Delta CN}_{celkem} = \sum_{typvegeta\acute{e}} \Delta CN_{celkem} \quad (46)$$

#### 4.2.2 Změna hodnoty křivky CN v závislosti na vláhových podmínkách AMC

Základní hodnota čísla křivky CN je upravována podle předchozích vláhových podmínek (tab. 2). Tři existující stupně AMC I, AMC II a AMC III určují přepočtení původní hodnoty, přičemž stupeň AMC II odpovídá základnímu číslu CN křivky a stupně AMC I a AMC III se přepočítávají podle vzorců (18) a (19). Tento zjednodušený přístup umožňuje pouze tři hodnoty čísla CN pro podmínky nízké, střední a vysoké vlhkosti. Metoda nepracuje s rozsahem podmínek a tedy s tím, že křivky mohou nabývat i jiných hodnot mezi extrémy danými AMC I a AMC III.

Pro potřeby určení variability hodnot CN byly určeny středové hodnoty (47, 48)  $AMC_{1/2}$  a  $AMC_{2/3}$ , ležící mezi jednotlivými stupni AMC, pro hodnoty CN křivek 50, 60, 70, 80, 90:

$$AMC_{1/2} = \frac{AMCII - AMCI}{2} + AMCI \quad (47)$$

$$AMC_{2/3} = \frac{AMCIII - AMCII}{2} + AMCII \quad (48)$$

Ze získaných hodnot byly spočítány možné odchylky a tedy i rozsah jednotlivých stupňů AMC při všech hledaných původních hodnotách CN (49, 50, 51). A následně byl spočítán i jejich průměr (52):

$$\Delta AMCII = \frac{AMC_{2/3} - AMC_{1/2}}{AMCII} \quad (49)$$

$$\Delta AMCIII = \frac{AMCIII - AMC_{2/3}}{AMCIII} \quad (50)$$

$$\Delta AMCI = \frac{AMC_{1/2} - AMCI}{AMCI} \quad (51)$$

$$\overline{\Delta AMCI} = \frac{\Delta AMCI_{CN50} + \Delta AMCI_{CN60} + \Delta AMCI_{CN70} + \Delta AMCI_{CN80} + \Delta AMCI_{CN90}}{5} \quad (52)$$

Dále bylo třeba zjistit, jaký je celkový průměrný vliv AMC na hodnotu čísla CN křivky. Hodnota byla získána výpočtem (53) rozsahů AMCI a AMCIII v poměru k hodnotám AMCII.

$$\overline{\Delta AMCI} = \sum_{(50,60,70,80,90)}^i \frac{AMCIII_i - AMCI_i}{AMCII_i} \quad (53)$$

## 5 Výsledky a diskuse

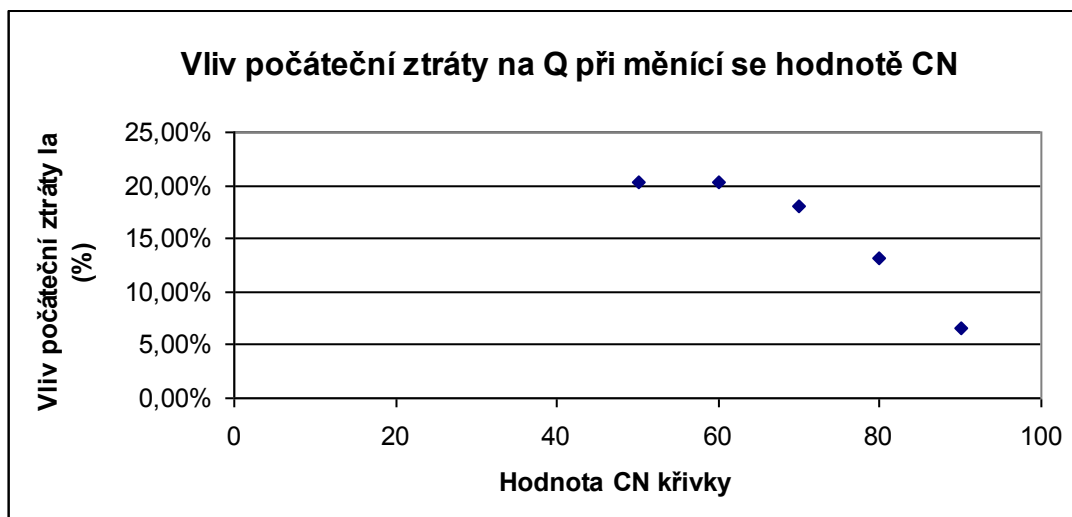
### 5.1 Vliv rozsahu počáteční ztráty

Dle kapitoly 4.1 byla pro jednotlivé dvojice fixovaných údajů hodnoty CN a velikosti úhrnu srážek P (tab. 8) vypočtena velikost změny odtoku Q mezi nejnižší a nejvyšší hodnotou počáteční ztráty  $I_a$ . Výsledné hodnoty změny odtoku udává tab. 11.

**Tab. 11:** Maximální vliv měnícího se faktoru  $I_a$  na celkový odtok Q. Pro hodnotu CN 50/P75 nejsou využitelná data, protože hodnota počáteční ztráty přesahuje dešťový úhrn.

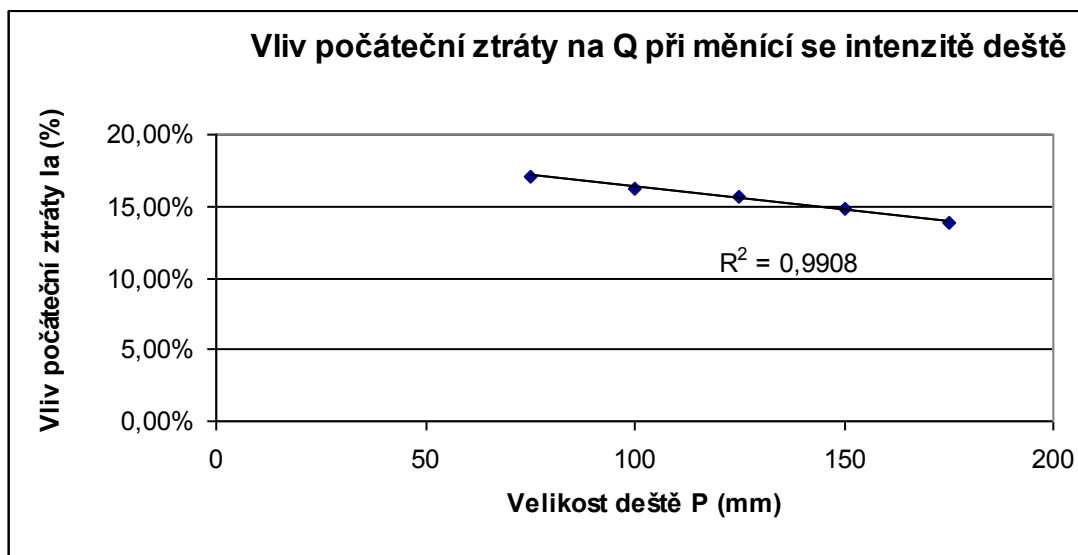
P	CN					průměr
	50	60	70	80	90	
75	$I_a \geq P$	19,43%	21,54%	17,71%	9,81%	17,12%
100	17,40%	21,60%	19,97%	14,77%	7,61%	16,27%
125	20,64%	21,31%	17,98%	12,53%	6,20%	15,73%
150	21,60%	20,24%	16,15%	10,83%	5,22%	14,81%
175	21,54%	18,97%	14,56%	9,50%	4,50%	13,82%
Průměr	20,30%	20,31%	18,04%	13,07%	6,67%	<b>15,48%</b>

Z vypočtených dat lze odvodit několik faktů o závislosti odtoku na velikosti počáteční ztráty. S rostoucí hodnotou křivky CN vliv počáteční ztráty  $I_a$  na velikost odtoku klesá, jak vidět na obr.13. Tento pokles vlivu je poměrně výrazný a jeho změna se rostoucí hodnotou CN zvyšuje. To lze zdůvodnit z upravené rovnice (2) ve tvaru  $Q = P - I_a - F$ . Z té je zřejmé, že hodnota odtoku Q je nulová, dokud úhrn srážek nepřesáhne velikost počáteční ztráty a aktuální infiltrace. Po překonání této hranice odtok roste. Množství vody, které je půda ještě schopná pojmout, se postupně snižuje a výsledný odtok stejným tempem roste.



**Obr. 13:** Změna vlivu počáteční ztráty  $I_a$  na velikost odtoku  $Q$  při měnící se hodnotě křivky CN.

Ze získaných údajů je dále patrné, že vliv počáteční ztráty s rostoucím úhrnem deště pozvolna klesá. Pokles ukazuje obr. 14 a jeho změna není zdaleka tak prudká jako u změny hodnot CN. Zde se jedná o pokles, při kterém změna zůstává konstantní a který je téměř lineární ( $R^2 = 0,9908$ ). Tento vztah lze vysvětlit opět upraveným základním odtokovým vztahem (2)  $Q = P - I_a - F$ . Jelikož byla v tomto případě fixována hodnota křivky CN, zůstává velikost infiltrace  $F$  a tedy i počáteční ztráta konstantní. Téměř lineární vztah získávají ve své práci i Mishra a Singh (1999), kteří pracují s rozsahem počáteční ztráty  $I_a$  v intervalu  $(0, S)$  a vyjadřují závislost deště právě na velikosti  $I_a$  a potenciální retence  $S$ .

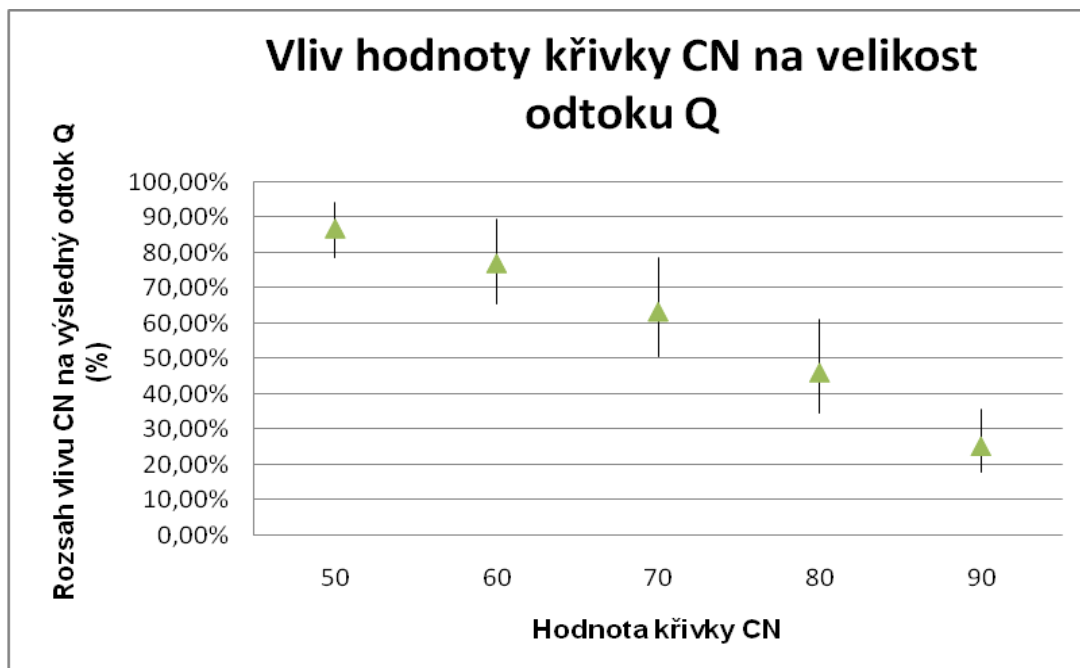


**Ob. 14:** Změna vlivu počáteční ztráty  $I_a$  na velikost odtoku  $Q$  při měnící se úhrnu deště  $P$ . ( $y = 0,0003x + 0,1959$ ).

Celkový vliv počáteční ztráty na velikost odtoku ve sledované oblasti dat se pohybuje v intervalu 4,5 % až 21,6 %. Průměrný vliv všech hodnot v oblasti je 15,48 %, což je zhruba trojnásobek spočítaného minima. Sledovaná oblast rozsahu počáteční ztráty (0,095; 0,38) byla vhodná z důvodu, že zdroje (NEH-4) tento interval uvádějí jako 50kvantil parametru  $\lambda$ . Pro praktické využití uvádějí Ponce a Hawkins (1996) jako vhodný interval  $\lambda$  (0; 0,3) a to z důvodu, že modus koeficientu  $\lambda$  se nachází pod průměrnou hodnotou  $\lambda = 0,2$ , která je ovlivněna vyššími naměřenými hodnotami. V oblasti, kterou zvolili Ponce a Hawkins (1996), by samozřejmě byl vliv počáteční ztráty na výsledný odtok nižší.

## 5.2 Vliv změny hodnoty křivky CN

Základní princip metody SCS-CN vychází z předpokladu, že čím je větší číslo odtokové křivky CN při konstantních podmínkách, tím je vyšší pravděpodobnost vzniku odtoku (Janeček, 2006). Výpočet vlivu hodnoty křivky CN na výsledný odtok tento princip potvrzuje a uvádí (obr. 15), do jaké míry ovlivňuje číslo CN křivky velikost odtoku při fixovaném rozsahu počáteční ztráty  $I_a$  (0,095, 0,38). Jednotlivé rozsahy jsou zobrazeny v tab. 12.



**Obr. 15:** Vliv čísla CN křivky na výsledný odtok udává o kolik procent je výsledný odtok Q nižší oproti úhrnu srážek P.

**Tab. 12:** Vliv čísla odtokových křivek CN na velikost přímého odtoku Q.

P	CN				
	50	60	70	80	90
<b>75,00</b>	94,34%	89,44%	78,64%	60,98%	35,54%
<b>100,00</b>	91,25%	83,00%	69,49%	51,31%	28,36%
<b>125,00</b>	87,38%	76,55%	61,94%	44,21%	23,59%
<b>150,00</b>	83,00%	70,70%	55,75%	38,81%	20,19%
<b>175,00</b>	78,64%	65,52%	50,64%	34,57%	17,64%
<b>max.</b>	94,34%	89,44%	78,64%	60,98%	35,54%
<b>min.</b>	78,64%	65,52%	50,64%	34,57%	17,64%
<b>průměr</b>	86,92%	77,04%	63,29%	45,98%	25,06%

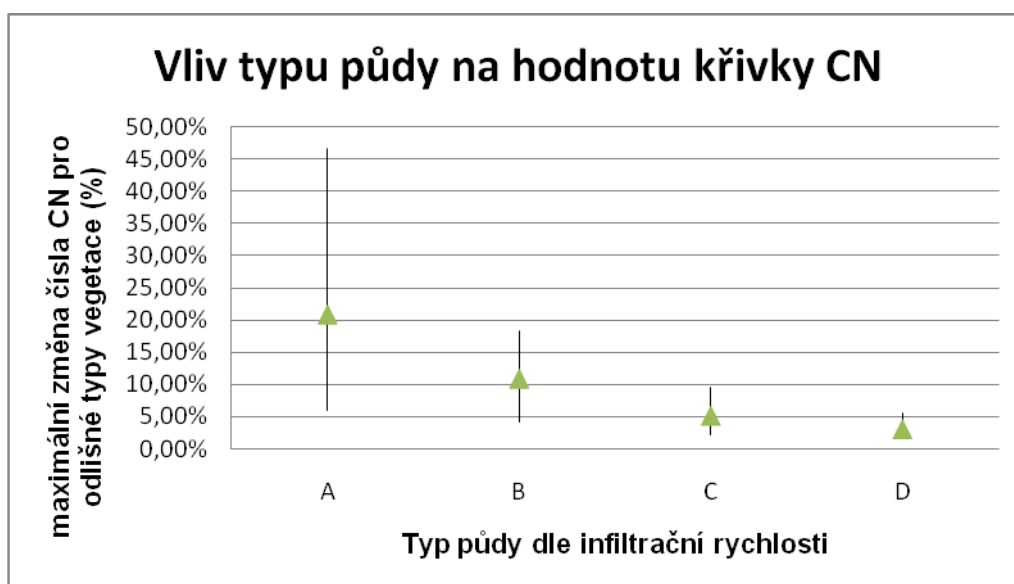
Uvedené procentuelní hodnoty vlivu udávají, o kolik procent je výsledný odtok nižší oproti maximu. Za maximální odtok je vždy považován úhrn srážek P. Z výsledků je patrné, že s rostoucím úhrnem deště P se vliv jednotlivých křivek pozvolna snižuje. To lze vysvětlit tím, že každá hodnota křivky CN představuje určitou rezistenci vzniku přímého odtoku. Čím je hodnota křivky nižší, tím je rezistence větší. V okamžiku kdy dešťový úhrn přesáhne tuto rezistentní hranici, vzniká odtok, který roste o poměrnou část dešťového úhrnu.

S rostoucím číslem CN křivky, se vliv na výsledný odtok výrazně snižuje. Tato změna odpovídá klasickému tvaru křivek CN (obr. 2).

Hodnoty v tab. 12 potvrzují základní princip metody SCS-CN uvedený v (NEH-4). McCuen (2002) ve své práci o intervalech CN křivek uvádí rozsah vlivu CN křivek mezi maximální a minimální hranicí v intervalu 15-35 %. Tento rozsah přibližně odpovídá i výsledkům zobrazeným v (tab. 12), v které jsou rozsahy spočítaných intervalů přibližně na hodnotách 16-26 %. Rozdíl rozsahu přesnosti McCuena je způsoben výpočty s vyšším limitem pravděpodobnosti.

### 5.2.1 Změna hodnoty křivky CN v závislosti na typu a využití půdy

Maximální možná odchylka hodnoty CN křivky od hodnoty původní je po započtení vlivu půdy zobrazena na obr. 16. Rozdělení maximálních odchylek dle typu půd s ohledem na vegetační pokryv je uvedeno v tab. 13.



Obr. 16: Maximální úprava čísla CN křivky a s ohledem na skupinu půd.

**Tab. 13:** Maximální změna hodnoty CN křivky v dané skupině půd.

Vegetační pokryv	Typ půdy			
	A	B	C	D
úhor	5,92%	4,12%	2,22%	1,62%
louky	46,67%	17,67%	7,04%	4,49%
les	32,43%	15,17%	6,42%	3,75%
okopaniny	6,82%	5,67%	3,32%	1,75%
obilniny	8,87%	6,51%	3,40%	1,79%
luštěniny	11,02%	7,64%	4,01%	2,36%
sady	25,58%	12,69%	5,59%	3,66%
křoviny + tráva	30,00%	18,23%	9,62%	5,48%
<b>Max</b>	<b>46,67%</b>	<b>18,23%</b>	<b>9,62%</b>	<b>5,48%</b>
<b>Min</b>	<b>5,92%</b>	<b>4,12%</b>	<b>2,22%</b>	<b>1,62%</b>
<b>Průměr</b>	<b>20,91%</b>	<b>10,96%</b>	<b>5,20%</b>	<b>3,11%</b>

Z výpočtů uvedených v tab. 13 je zřejmé, že nejvíce se hodnota čísla CN křivky mění ve skupině půd A, které mají nejvyšší infiltrační rychlost. Se snižující se rychlostí infiltrace klesá rozsah maximální změny čísla CN. Tento jev lze zdůvodnit tím, že půdy typu A mají nejenom největší infiltrační rychlost, ale také největší hodnotový rozsah této rychlosti. Pokud si hodnoty infiltrační rychlosti představíme jako úsečku s krajními hodnotami  $A_{max}$  a  $D_{min}$ , bude skupina půd A zabírat třetinu této úsečky. Logicky lze tedy očekávat, že hodnoty křivek CN mezi dvěma krajními body skupin půdy A se budou lišit více než hodnoty křivek CN mezi krajními body skupiny půd D, které zabírají pouze osminu maximálního infiltračního rozsahu.

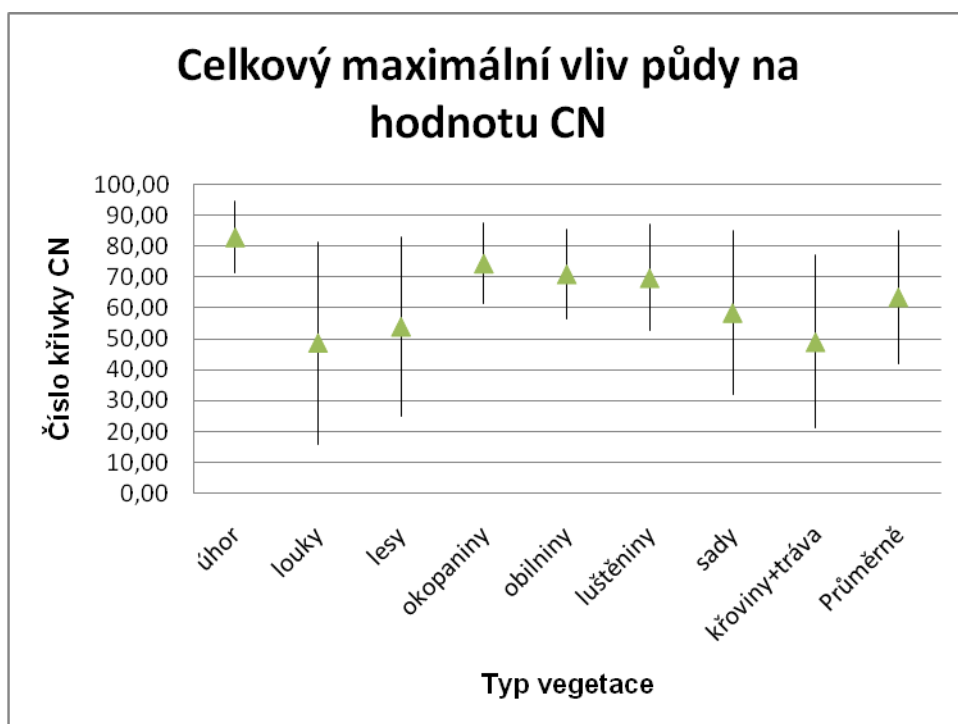
Půdám typu A s vysokou infiltrační rychlostí odpovídají nejnižší hodnoty křivek CN, které mají nízkou pravděpodobnost vzniku povrchového odtoku. Je tedy zřejmé, že v tomto případě je nepřesnost stanovení čísla CN tím větší, čím menší je pravděpodobnost vzniku povrchového odtoku. Celková průměrná hodnota vlivu typu půd na číslo křivky CN je 10,05 %. Tuto hodnotu je ale nutno brát jako velmi nepřesnou protože je zatížena vysokou odchylkou. Je zhruba šestinásobkem minima a zároveň čtvrtinou maxima ve sledované oblasti.

Maximální rozsah hodnot CN pro dané typy vegetačního porostu vychází z celkového rozsahu skupin půd od minimální k maximální infiltraci. Z (tab. 14) a (obr. 17) lze vyčíst, že větší rozsah hodnot CN mají vegetační pokryvy s nižší střední hodnotou CN. Jedná se zejména o zatravněné plochy, které nabývají v závislosti na infiltrační kapacitě půdy velmi rozdílných hodnot. V takovém případě se dá předpokládat, že vliv vegetace na stanovení konečného čísla CN není nijak vysoký.



**Tab. 14:** Maximální a minimální hodnoty křivek CN pro odlišné typy vegetačního porostu v celém rozsahu skupin půd.

úhor	louky	lesy	okopaniny	obilniny	luštěniny	sady	křoviny	Průměrně	
94,50	81,50	83,00	87,50	85,50	87,00	85,00	77,00	<b>85,13</b>	<b>Max.</b>
71,50	16,00	25,00	61,50	56,50	52,50	32,00	21,00	<b>42,00</b>	<b>Min.</b>
83,00	48,75	54,00	74,50	71,00	69,75	58,50	49,00	<b>63,56</b>	<b>Střed</b>



**Obr. 17:** Rozsah možných hodnot křivek CN při daném vegetačním porostu v celém rozsahu skupin půd.

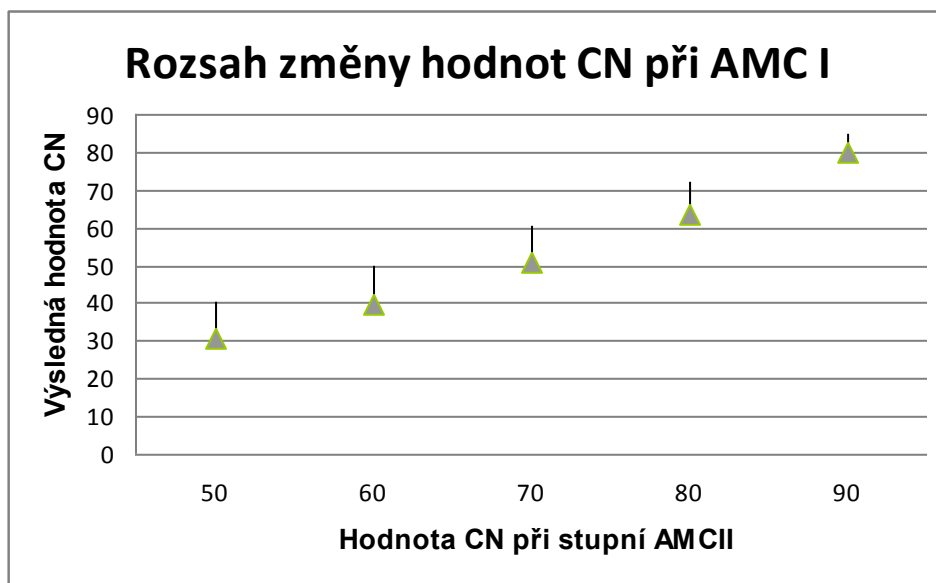
Zde je možné opět prohlásit, že nepřesnost stanovení čísla CN je tím větší, čím menší je pravděpodobnost vzniku povrchového odtoku. Ponce a Hawkins (1996) ve své práci o využitelnosti metody SCS-CN uvádějí, že metoda je tím přesnější, s čím vyššími hodnotami CN křivek a srážkových úhrnů P pracuje. Oproti tomu uvádějí, že křivky s nízkým číslem jsou většinou velmi nepřesné. Výše uvedené výpočty tato zjištění potvrzují.

## 5.2.2 Změna hodnoty křivky CN v závislosti na vláhových podmínkách AMC

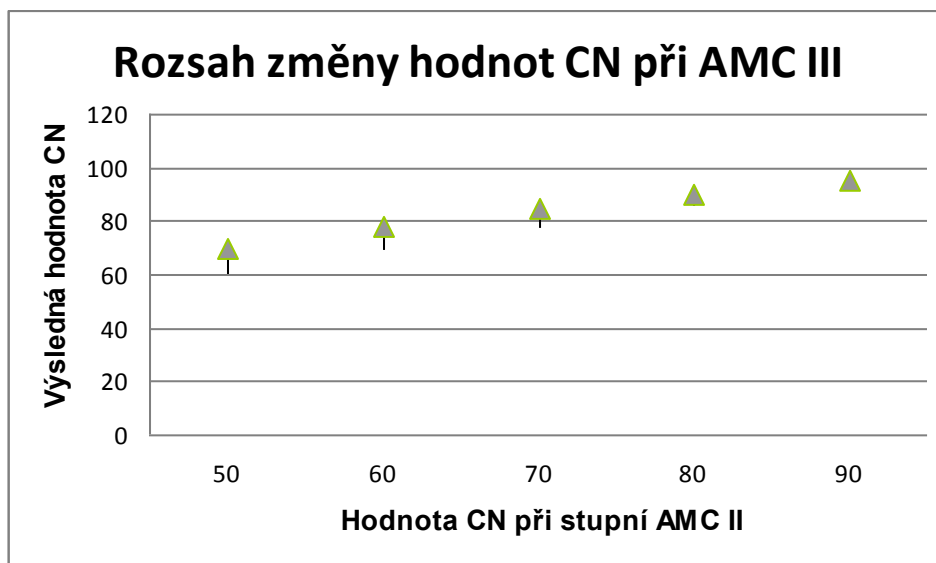
Metodika NEH-4 počítá pouze se třemi hodnotami pro modifikaci čísla CN křivky podle vlhkostních podmínek. AMC I, AMC II, AMCIII. Výsledky výpočtů uvedené v tab. 15 určují o kolik procent se může číslo CN křivky lišit, aniž by byl změněn stupeň předchozích vláhových podmínek AMC. Velikost odchylky vychází z předpokladu, že i vlhkostní podmínky lišící se desítky procent mohou spadat do stejného stupně AMC. Základní vlhkostní křivky jsou zobrazeny na obr.7. Jelikož křivky AMCI a AMCIII představují extrém s pravděpodobností výskytu 10 % a 90 %, je zřejmé že jejich odchylka směřuje pouze k středové hodnotě. AMC I tedy nabývá pouze základní nebo vyšší hodnoty čísla CN (obr. 17), AMC III pouze základní nebo nižší hodnoty čísla křivky CN (obr. 18). U střední hodnoty AMC II nabývá vyšších i nižších hodnot čísla CN (obr. 19).

**Tab. 15:** Maximální možná změna čísla CN křivky v uvedeném stupni vlhkostních podmínek AMC.

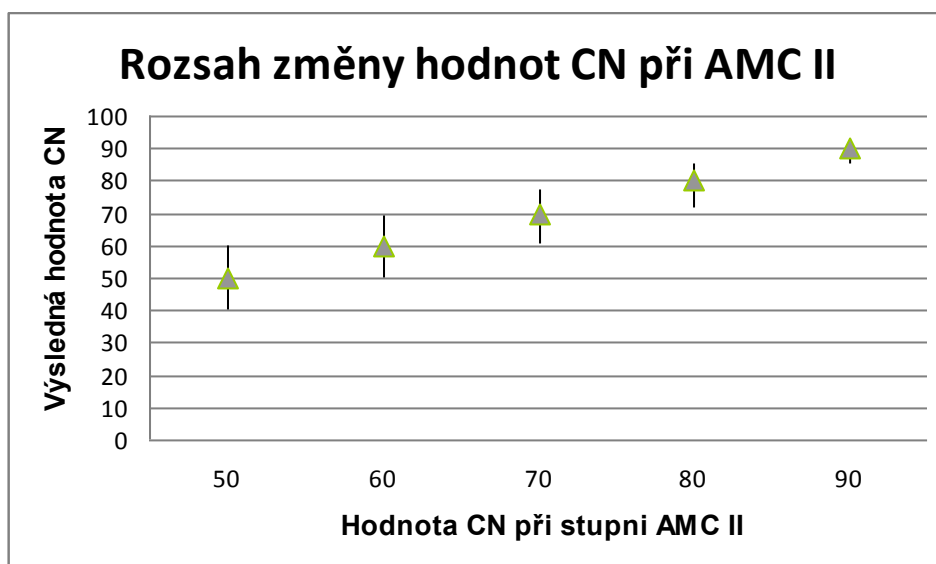
	CN				
	50	60	70	80	90
<b>AMC I</b>	31,89%	25,51%	19,13%	12,75%	6,38%
<b>AMC II</b>	19,70%	15,83%	12,08%	8,30%	4,34%
<b>AMC III</b>	14,25%	11,40%	8,55%	5,70%	2,85%



**Obr. 17:** Rozsah hodnot čísla CN křivek při vlhkostních podmínkách AMC I.



**Obr. 18:** Rozsah hodnot čísla CN křivek při vlhkostních podmínkách AMC III.



**Obr. 19:** Rozsah hodnot čísla CN křivek při vlhkostních podmínkách AMC II.

Z uvedených grafů je vidět, že s rostoucí velikostí vstupní hodnoty čísla CN klesá variabilita jednotlivých stupňů AMC. To odpovídá metodice NEH-4, která na obr.7 zobrazuje rozsah stupňů AMC. Z metodiky lze odvodit, že největšího rozsahu hodnot dosahují CN křivky v blízkosti CN 50. Nejmenší variabilita je udávána v oblasti blížící se krajním hodnotám křivek CN 1 a CN 100. Průměrná hodnota maximální změny pro celý rozsah AMC je 12,05%. Opět se ale jedná o velmi nepřesný údaj, který je přibližně čtyřnásobkem minima a zároveň třetinou maxima ve sledované oblasti.

### 5.3 Velikost nejistoty výpočtu

Pokud byla maximální možná odchylka metody počítána jako součin maximálních odchylek jednotlivých parametrů, dosahovala díky velké variabilitě jednotlivých parametrů k několika-násobku původně vypočtených hodnot odtoku. Chyba tedy ve výpočtu zahrnovala celý rozsah odtoku  $Q$ . Pravděpodobnost takového vývoje srážkové události je ovšem nepatrná. Lepších hodnot bylo dosaženo výpočtem s průměrnými odchylkami jednotlivých parametrů. A výpočtem s odchylkami jednotlivých částí parametrů. V takovém případě se součin chyb výpočtu pohyboval v rámci hraničních hodnot  $\pm 36\%$ .

Hjermfelt (1991) uvádí ve své práci hranici nejistoty výpočtu, na přibližné úrovni 50 %. Zde je ovšem nutné poznamenat, že autorovy výpočty pracují s fixní konstantou počáteční ztráty  $I_a$  na hodnotě 0,1 a také s vyšší pravděpodobností výskytu, než je 50kvantil s kterým počítá tato práce. Užší rozsah dat, zde logicky vede k menší pravděpodobnosti jejich výskytu. Vološ (2007) zkoumal pro potřeby vytvoření modelu odchylku odtoku spočítaného metodou CN od reálně naměřených dat. Odchyly mezi spočtenými a změřenými odtoky dosahovaly v závislosti na vstupních podmínkách maximálních velikostí 55% až 88 %. Další často citovanou hranicí nejistoty stanovení odtoku na malých povodích je 60 % (Ponce a Hawkins 1996).

## 6 Závěr

Předkládaná práce měla za cíl posoudit variabilitu jednotlivých vstupních parametrů metody SCS-CN a zhodnotit vliv těchto nejistot na výsledné výpočty CN a Q. Při posouzení celkového vlivu parametrů na stanovení hodnoty CN je možné počítat s hodnotami průměrných maximálních průměrných odchylek každého parametru. Ty jsou pro typ půdy spočteny na 10,05% a pro vlhkostní podmínky na 12,05%. V takovém případě bude rozsah změny původního čísla CN v intervalu 79% až 123% původní hodnoty. Což odpovídá přibližnému vlivu na výsledný odtok Q v rozmezí  $\pm 20\%$ . Se započtenou odchylkou na základě počáteční ztráty  $I_a$  (15,8%) je rozmezí střední chyby přibližně  $\pm 36\%$ . Jedná se ale o hodnoty velmi nepřesné, které určují nejpravděpodobnější odchylku ve výpočtu.

Přesnějšího výpočtu dosahuje metoda při použití průměrů z rozsahu jednotlivých částí parametrů. Ty u daného typu půdy dosahují 3,11% - 20,91%, u úpravy čísla CN vlhkostními podmínkami AMC je rozsah změny 2,85% - 31,89%. A vliv počáteční ztráty na velikost odtoku je v rozmezí 4,5% - 31,6%. Takto získaný výpočet bude mnohem blíže realitě, ačkoli maximální rozsah nejistoty bude v extrémních případech větší.

Mnozí autoři se ve své práci zamýšlejí nad využitelností a budoucností metody SCS-CN v dnešní době. Metodě je vytýkána řada nepřesností a zjednodušení. Je uvažováno, zda její největší výhoda, kterou je bezesporu jednoduchost výpočtu, není v době moderní výpočetní techniky překonána. Jak ale upozorňují Mishra a Singh (1999), velkou výhodou metody i v dnešní době, je nenáročnost na vstupní data. Informace potřebné pro výpočet lze snadno a rychle získat bez vlastních měření.

Tato diplomová práce poukázala na další výraznou výhodu metody a tím je měnící se variabilita. Ve všech sledovaných parametrech bylo zjištěno, že velikost nejistot klesá s rostoucí velikostí úhrnu deště a rostoucí velikostí čísla CN. Zatímco při nízkém úhrnu deště a nízkém čísle CN křivky, kdy většinou povrchový odtok nevzniká, je nejistota stanovení přesných hodnot vysoká. V oblasti vysokých srážkových úhrnů a čísel CN křivek, která je z důvodu vzniku povrchového odtoku pro sledování výrazně důležitější, nejistota stanovení velikosti odtoku klesá.

## **Zkratky**

CN	Curve Number
SCS – CN	Soil Conservation service – Curve Number
USDA	United States Department of Agriculture
ARS	Agricultural Research Service
NEH-4	National Engineering Handbook – Part 4
BPEJ	Bonitovaná půdně-ekologická jednotka
AMC	Antecedent moisture condition
API	Antecedent moisture index
NRSC	Natural Resources Conservation Service

## 7 Přehled literatury a použitých zdrojů

AGRICULTURAL RESEARCH SERVICE, (2011): ARS Water database. [online] Praha. [cit 20.2.2011]. Dostupný z WWW: <http://www.ars.usda.gov/Main/docs.htm?docid=9696>

ANDREWS, R. G., (1954): The use of relative infiltration indices in computing runoff. (unpublished) Soil Conservation Service, Forth Worth Texas

BOSZNAY, M., (1989): Generalization of CSC Curve number method. Journal of Irrigation and drainage Engineering. 115(1), 139-144s.

BUMERL, M., (2003): Hydrologie. Veselí nad Lužnicí. 38s

DINGMAN, S., L., (2002): Physical Hydrology. University of New Hampshire. 235s. Second edition.

HJELMFELT, A., T., (1983): Curve Number: A personal Interpretation. Proceeding of the Specialty Conference on Advances in Irrigation and Drainage. Wyoming, July 20-22. 208-215s

HJELMFELT, A.T.Jr. (1991): Investigation of curve number procedure. Journal of Hydraulics Engineering Vol.117 No.(6), 725-737s.

HORNER, W.,W.,(1940): The analysis of hydrologic data for small watersheds. Soil conservation service Technical paper 30, s.30.

HORTON, R.E. (1933): "The role of infiltration in the hydrological cycle." Trans. American Geophys. Union, 14: 446-460.

HUSSEIN, M., H., (1996): An analysis of rainfall, runoff and erosion in the low rainfall zone of northern Iraq. Journal of Hydrology 181,105-126s.

CHEN, C.L. (1982): Infiltration formulas by curve number procedure. Journal of Hydrologic. Dir., ASCE, 108 (447), s. 823-829.

IM, B.S., PARK, S., JANG, T. (2007): Application of SCS Curve Number Method for Irrigated Paddy Field. *Journal of Civil Engineering* 11 (1), s. 51-56.

JAIN, M., K., MISHRA, S., K., a SINGH, V., P., (2006): Evaluation of AMC – Dependent SCS – CN – Based models using watershed characteristics. *Water Resources Management* 20, s. 531-552.

JANÁL, P., STARÝ, M. (2009): Fuzzy Model for Prediction of Runoff from River Basin in the Case of Flash Floods. In *Proceedings - InterTech* 139-140s.

JANEČEK, M., a kol., (2006): Ochrana zemědělské půdy před erozí. ISV nakladatelství, Praha, 195 s.

JENÍČEK, M., (2009): Runoff changes in areas differing in land-use in the Blanice river basin – application of the deterministic model. *Journal of Hydrol. Hydromech.* 57, 154-161s.

KUTÍLEK, M., KURÁŽ, V., CÍSLEROVÁ, M., (2004): *Hydropedologie 10. Skriptum ČVUT*, 176 s.

LINSLEY, R. K.; Kohler, M. A.; Paulhus, J. L. (1982): *Hydrology for engineers*. Third edition. New York: McGraw-Hill Book Company. 508s.

MCCUEN, R., H., (2002): Approach to Confidence interval estimation for Curve Number. *Journal of Hydrologic engineering* 7(1). 43-48s.

MICHEL, C., ANDREASSIAN, V., PERRIN, CH. (2005): Soil Conservation Service Curve Number method: How to mend a wrong soil moisture accounting procedure? *Water Resources Research* 41.

MISHRA, S., K., SINGH, V., P., (1999): Another look at SCS-CN method. *ASCE Journal of Hydrologic Engineering*. 257-264s. 4(3)

MISHRA, S., K., SINGH, V., P., (2003): *Soil conservation service curve number (SCS-CN) methodology*. Kluner Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, ISBN 1-4020-1132-6.



MISHRA, S.K. a SINGH, V.P. (2004): Validity and extension of the SCS-CN method for computing infiltration and rainfall-excess rates. *Hydrological Processes* 18, s. 3323-3345.

MISHRA, S.K., JAIN, M.K., SINGH, V.P. (2004): Evaluation of the SCS-CN-Based Model Incorporating Antecedent Moisture. *Water Resources Management* 18, s. 567-589.

MISHRA, S., K., JAIN, M.,K., SURESHBABU, P., VENUGOPAL, K., KALIAPPAN, S., (2008): Comparison of AMC – dependent CN – conversion Formulae. *Water resources management* 22, s. 1409-1420.

MISHRA, S., K., SAHU, R., K., ELDHO, T., I., A JAIN, M., K., (2006): An Improved  $I_a - S$  Relation Incorporating Antecedent Moisture in SCS-CN Methodology. *Water Resources Management* 20, s. 643-660.

MISHRA, S., K., PANDEY, R., P., JAIN, M., K., SINGH, V., P., (2008): A rain duration and modified AMC-dependent SCS-CN Procedure for long duration rainfall-runoff events. *Water Resources Management*. 22, s.861-876.

MOCKUS, V. (1949): Estimation of total (and peak rates of) surface runoff for individual storms. Exhibit A in Appendix B, Interim Survey Report (Neosho) River Watershed USDA.

MOCKUS, V. (1964), Personnel communication, Letter to Orrin Ferris dated March 5, 1964.

MOGLEN, G.,E.,(2000): Effect of Orientation of spatially distributed Curve Numbers in runoff calculation. *Journal of the American Water Resources Association*, 36(6): 1391-1400.

NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE, (1972): NATIONAL ENGINEERING HANDBOOK, Part 630 Hydrology. Estimation of direct runoff from storm rainfall. Chapter 10. USDA 515.

NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE, (2004): NATIONAL ENGINEERING HANDBOOK, Part 630 Hydrology. Estimation of direct runoff from storm rainfall. Chapter 10. USDA 515.

NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE (NRCS). (1986): Urban hydrology for small watersheds. Technical Release 55. Washington.

PONCE, V., M., HAWKINS, R., H., (1996): Runoff curve number: Has it reached maturity? ASCE Journal of Hydrologic Engineering. 11-19s. 1(1)

RALLISON, R. E., a N. MILLER. (1982). Past Present, and Future SCS Runoff Procedure. Rainfall-Runoff Relationship: Proceedings of the International Symposium on Rainfall Runoff Modeling May 18-21, 1981 at Mississippi, U. S. A..

SAHU, R.K., MISHRA, S.K., ELDHO, T.I. (2010): An improved AMC-coupled runoff curve number model. Hydrological Processes 24, s. 2834-2839

SAHU, R., K., MISHRA, S., K., ELDHO, T., I., (2010): Comparative evaluation of SCS-CN- inspired models in applications to classified datasets. Agricultural Water Management. 97, s.749-756.

SHERMAN, L.K., (1942): 'The Unit Hydrograph Method', Chapter X1E of Hydrology. Ed. O.E. Meinzer, Ed. Dover Publications, Inc. New York, N.Y s. 514-525.

TERZOUDI, CH., B., GEMTOS, T., A., DANALATOS, N.,G., ARGYROKASTRITIS, I.,(2007): Applicability of an empirical runoff estimation method in central Greece. Soil & Tillage Research. 92, s. 198-212.

UHLÍŘOVÁ, J., MAZÍN, V., (2005): Metodika studie širších územních vazeb ochrany půdy a vody v komplexních pozemkových úpravách. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy Praha. 15-17s.

VOLOŠ, B., (2007): Nelineární srážko-odtokový model jako nástroj pro odhad povodňových vln na nepozorovaných povodích. InterTech.

WOODWARD, D., E., (1994): CURVE NUMBER METHOD: ORIGINS,

APPLICATIONS AND LIMITATIONS, National Hydrologist, USDA NRCS,  
Washington DC

## 8 Přílohy

**Tabulka 1: Přepočty jednotlivých stupňů AMC dle metodiky (NEH-4, 2004)**

Table 10.1. Curve numbers (CN) and constants for the case  $I_a = 0.2 S$

1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
CN for condi- tion II	CN for conditions I III	S values*	Curve* starts where P =		CN for condi- tion II	CN for conditions I III	S values*	Curve* starts where P =	
		(inches)	(inches)				(inches)	(inches)	
100	100	100	0	0	60	40	78	6.67	1.33
99	97	100	.101	.02	59	39	77	6.95	1.39
98	94	99	.204	.04	58	38	76	7.24	1.45
97	91	99	.309	.06	57	37	75	7.54	1.51
96	89	99	.417	.08	56	36	75	7.86	1.57
95	87	98	.526	.11	55	35	74	8.18	1.64
94	85	98	.638	.13	54	34	73	8.52	1.70
93	83	98	.753	.15	53	33	72	8.87	1.77
92	81	97	.870	.17	52	32	71	9.23	1.85
91	80	97	.989	.20	51	31	70	9.61	1.92
90	78	96	1.11	.22	50	31	70	10.0	2.00
89	76	96	1.24	.25	49	30	69	10.4	2.08
88	75	95	1.36	.27	48	29	68	10.8	2.16
87	73	95	1.49	.30	47	28	67	11.3	2.26
86	72	94	1.63	.33	46	27	66	11.7	2.34
85	70	94	1.76	.35	45	26	65	12.2	2.44
84	68	93	1.90	.38	44	25	64	12.7	2.54
83	67	93	2.05	.41	43	25	63	13.2	2.64
82	66	92	2.20	.44	42	24	62	13.8	2.76
81	64	92	2.34	.47	41	23	61	14.4	2.88
80	63	91	2.50	.50	40	22	60	15.0	3.00
79	62	91	2.66	.53	39	21	59	15.6	3.12
78	60	90	2.82	.56	38	21	58	16.3	3.26
77	59	89	2.99	.60	37	20	57	17.0	3.40
76	58	89	3.16	.63	36	19	56	17.8	3.56
75	57	88	3.33	.67	35	18	55	18.6	3.72
74	55	88	3.51	.70	34	18	54	19.4	3.88
73	54	87	3.70	.74	33	17	53	20.3	4.06
72	53	86	3.89	.78	32	16	52	21.2	4.24
71	52	86	4.08	.82	31	16	51	22.2	4.44
70	51	85	4.28	.86	30	15	50	23.3	4.66
69	50	84	4.49	.90					
68	48	84	4.70	.94	25	12	43	30.0	6.00
67	47	83	4.92	.98	20	9	37	40.0	8.00
66	46	82	5.15	1.03	15	6	30	56.7	11.34
65	45	82	5.38	1.08	10	4	22	90.0	18.00
64	44	81	5.62	1.12	5	2	13	190.0	38.00
63	43	80	5.87	1.17	0	0	0	infinity	infinity
62	42	79	6.13	1.23					
61	41	78	6.39	1.28					

\*For CN in column 1.

**Tabulka 2:** Nastavení základních hodnot křivek CN dle využití půdy a typů půdy dle infiltrace (Janeček a kol., 2006).

Využití půdy	Způsob obdělávání	Hydrologické podmínky	Čísla odtokových křivek – CN podle hydrologických skupin půd			
			A	B	C	D
Úhor	čerstvě zkypřený	Šp	77	86	91	94
		Pz	76	85	90	93
		Db	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	Sp	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
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		Sp	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
	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	Skřízené	-	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 mezířadím		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, makadamové, šterkové, nezpevněné, hlíněné		83	89	92	93
			76	85	89	91
			72	82	87	89
Nepropustné plochy			98	98	98	98

**Tabulka 3: Kvantily nepřesnosti hodnoty CN křivek (McCuen, 2002)**

CN <sup>b</sup>	Upper confidence limit for $\gamma^a$ of					Lower confidence limit for $\gamma^a$ of				
	0.995	0.99	0.975	0.95	0.90	0.90	0.95	0.975	0.99	0.995
65	80.18	78.99	77.16	75.50	73.48	56.21	53.46	51.13	48.82	47.35
66	81.10	79.93	78.12	76.47	74.47	57.21	54.44	52.10	49.78	48.28
67	82.02	80.87	79.08	77.45	75.46	58.20	55.42	53.06	50.73	49.20
68	82.94	81.80	80.03	78.42	76.45	59.19	56.40	54.02	51.67	50.11
69	83.85	82.73	80.98	79.39	77.43	60.19	57.38	54.98	52.61	51.01
70	84.76	83.65	81.93	80.35	78.42	61.18	58.34	55.93	53.55	51.90
71	85.66	84.57	82.88	81.32	79.40	62.17	59.31	56.88	54.46	52.78
72	86.55	85.49	83.82	82.28	80.38	63.16	60.27	57.83	55.33	53.65
73	87.44	86.39	84.75	83.24	81.36	64.14	61.22	58.77	56.18	54.51
74	88.31	87.29	85.68	84.19	82.34	65.12	62.17	59.69	56.99	55.31
75	89.19	88.18	86.61	85.14	83.32	66.09	63.11	60.60	57.79	56.11
76	90.03	89.07	87.53	86.09	84.29	67.13	64.15	61.67	59.00	57.33
77	90.88	89.94	88.44	87.03	85.26	68.14	65.14	62.65	59.99	58.31
78	91.71	90.80	89.34	87.97	86.23	69.13	66.10	63.58	60.85	59.17
79	92.52	91.65	90.24	88.90	87.20	70.11	67.04	64.46	61.64	59.97
80	93.32	92.48	91.12	89.82	88.16	71.08	67.96	65.30	62.37	60.69
81	94.09	93.30	91.99	90.74	89.12	72.06	68.89	66.15	63.10	61.42
82	94.85	94.09	92.85	91.64	90.07	73.10	69.92	67.20	64.24	62.56
83	95.57	94.87	93.69	92.53	91.01	74.07	70.83	68.00	64.90	63.22
84	96.27	95.62	94.51	93.41	91.95	75.07	71.77	68.86	65.66	63.98
85	96.93	96.33	95.30	94.27	92.87	76.06	72.70	69.70	66.38	64.70
86	97.54	97.01	96.07	95.10	93.78	77.08	73.68	70.62	67.28	65.60
87	98.11	97.64	96.80	95.91	94.68	78.08	74.63	71.48	68.03	66.36
88	98.62	98.22	97.49	96.69	95.55	79.08	75.55	72.29	68.71	67.03
89	99.05	98.73	98.12	97.42	96.40	80.08	76.40	73.05	69.27	67.59
90	99.41	99.17	98.68	98.10	97.20	81.10	77.27	73.82	69.84	68.16
91	99.68	99.52	99.16	98.70	97.96	82.16	78.17	74.60	70.42	68.74
92	99.86	99.77	99.54	99.22	98.64	83.25	79.07	75.37	70.93	69.25
93	99.96	99.92	99.80	99.61	99.22	84.38	80.02	76.16	71.40	69.72
94	99.99	99.98	99.94	99.86	99.65	85.68	81.16	77.15	72.17	70.49
95	100.00	100.00	99.99	99.97	99.90	87.39	82.83	78.82	74.08	72.41