



UNIWERSYTET
ROLNICZY
im. Hugona Kollątaja w Krakowie



UNIWERSYTET ROLNICZY
im. Hugona Kollątaja w Krakowie

WYDZIAŁ INŻYNIERII ŚRODOWISKA I GEODEZJI
Al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków

Andrzej Wałęga

NOWE SPOJRZENIE NA MOŻLIWOŚĆ DALSZEGO STOSOWANIA METODY NRCS-CN DO SZACOWANIA WIELKOŚCI SPŁYWU POWIERZCHNIOWEGO

*Uniwersytet Rolniczy w Krakowie,
Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej*

Wrocław, 7.11.2018 r.

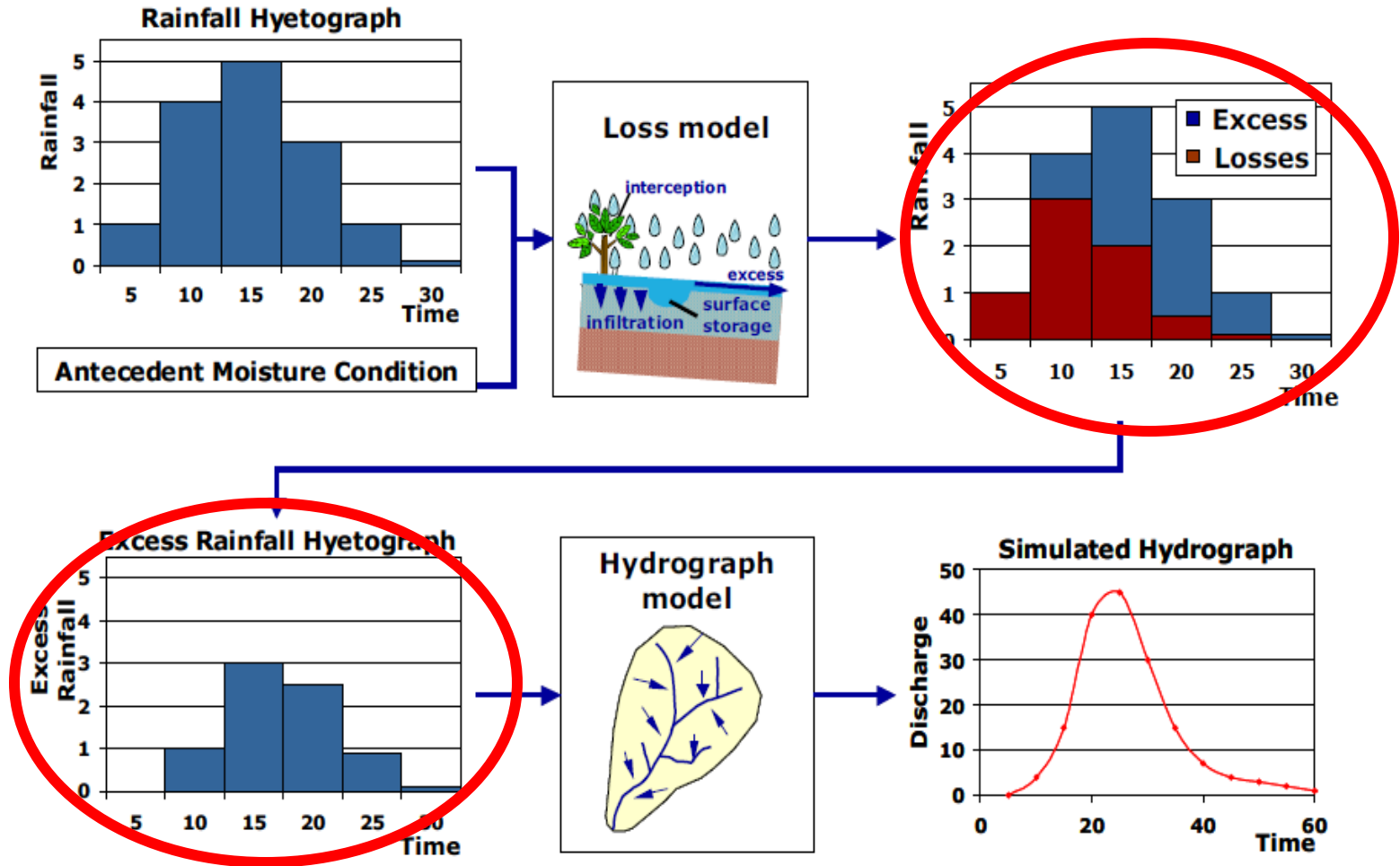
PLAN WYSTĄPIENIA

- Wprowadzenie
- Straty początkowe
- Poziom uwilgotnienia zlewni
- Zalety i wady metody NRCS-CN
- Modyfikacje metody NRCS-CN
- Podsumowanie
- Literatura

WPROWADZENIE

- Wielkość odpływu ze zlewni jest jednym z podstawowych parametrów przyjmowanych na etapie projektowania obiektów hydrotechnicznych, ochronie przeciwpowodziowej itp.
- W przypadku zlewni niekontrolowanych określenie tej charakterystyki może rodzić spore trudności, związane wyborem właściwej metody obliczeniowej czy niepełną informacją co do procesów obiegu wody w zlewni. W przypadku zlewni niekontrolowanych nie ma możliwości bezpośredniej weryfikacji uzyskanych wyników obliczeń

WPROWADZENIE



WPROWADZENIE

Do szacowania wielkości odpływu bezpośredniego powszechnie na świecie wykorzystuje się metodę **SCS-CN** (Soil Conservation Service Curve Number) opracowaną przez Amerykański Departament Rolnictwa [NEH 2004]. Obecnie metoda przyjęła nazwę **NRCS-CN** (Natural Resources Conservation Service Curve Number).

Wg Ponce i Hawkins [1996] metoda SCS-CN jest konceptualnym modelem obliczania strat wywołanych intensywnym opadem deszczu, oparta na danych empirycznych. Celem tej metody jest oszacowanie wielkości odpływu bezpośredniego spowodowanego opadem deszczu, bazując na parametrze CN.

WPROWADZENIE

- Początek metody NRCS-CN datowany jest na 1954 rok. Jej powstanie poprzedzone było prowadzeniem od połowy lat 30-tych XX wieku przez Soil Conservation Service (SCS) na szeroką skalę badań eksperymentalnych nad formowaniem się odpływu z małych zlewni rolniczych i ochroną przed erozją.
- Pionierskie badania Hortona [1933, 1939] i Hornera [1940] nad procesem infiltracji doprowadziły do opracowania metody szacowania objętości odpływu z danego obszaru.
- Sherman [1949] przedstawił graficzne zależności wielkości odpływu bezpośredniego i opadu
- Mockus [1949] zaproponował równanie do określenia odpływu powierzchniowego uwzględniające użytkowanie terenu, typ gleby, sumę 5-dniowego opadu poprzedzającego powstanie spływu, czas trwania i wysokość opadu, średnią roczną temperaturę [Rallison i Miller 1982]:

$$Q = P \cdot [1 - (10)^{-bP}]$$

WPROWADZENIE

Metoda NRCS-CN oparta jest na równaniach bilansu wodnego i dwóch hipotezach [Deshmukh i in. 2013, Sahu i in. 2010, Soczyńska 1997]

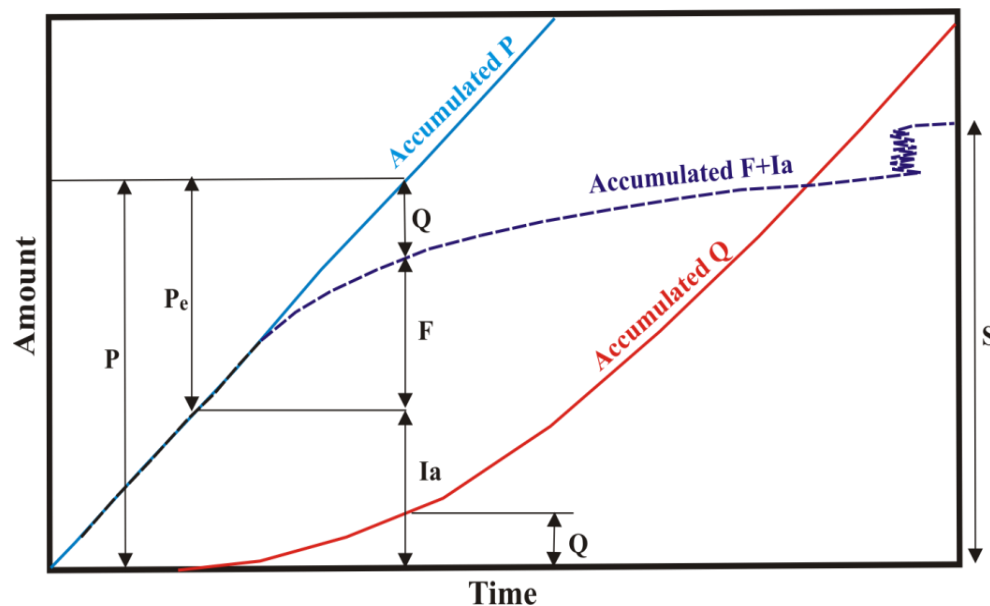
Hipoteza 1:

$$P = I_a + F + Q$$

$$\frac{Q}{P - I_a} = \frac{F}{S}$$

Hipoteza 2:

$$I_a = \lambda \cdot S$$



Rys. Skumulowany opad, straty i odpływ w czasie opadu o stałym natężeniu [Pilgrim i Cordery 1993]

WPROWADZENIE

Ostatecznie wielkość odpływu bezpośredniego oblicza się ze wzoru:

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

a maksymalną potencjalną retencję S ze wzoru:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

WPROWADZENIE

Wartości parametru CN w zależności od grupy glebowej, warunków hydrologicznych i użytkowania zlewni dla przeciętnych warunków uwilgotnienia podłoża [SHP 2009]

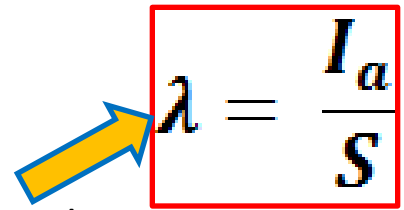
Rodzaj pokrycia terenu (użytkowania zlewni)	Opis Warunki hydrologiczne	Wartości CN dla grup glebowych			
		A	B	C	D
Tereny otwarte: trawniki, parki, pola golfowe, cmentarze, itp.	Złe warunki hydrologiczne (trawa pokrywa do 50 % powierzchni)	68	79	86	89
	Średnie warunki hydrologiczne (pokrycie trawą 50-75%)	49	69	79	84
	Dobre warunki hydrologiczne (pokrycie trawą > 75%)	39	61	74	80
Tereny nieprzepuszczalne: utwardzone parkingi, dachy, jezdnie	--	98	98	98	98
Ulice i drogi	nieprzepuszczalne z pobocznymi i rowami otwartymi	83	89	92	93
	zwrowe	76	85	89	91
	gruntowe	72	82	87	89
Tereny handlowe i przemysłowe	ok. 85% pow. nieprzepuszczalnej	89	92	94	95
	ok. 72% pow. nieprzepuszczalnej)	81	88	91	93
Tereny zamieszkałe – przy przeciętnej powierzchni działki:	< 500 m ² , lub 65% powierzchni nieprzepuszczalnej	77	85	90	92
	1000 m ² , 38%	61	75	83	87
	1700 m ² , 30 %	57	72	81	86
	2000 m ² , 25 %	54	70	80	85
	4000 m ² , 20%	51	68	79	84
	zagrody	59	74	82	86
Ugór		77	86	91	94
Rośliny okopowe	warunki przeciętne	67	77	83	87
Rośliny zbożowe	warunki przeciętne	62	73	81	85
Rośliny motylkowe	warunki przeciętne	60	72	80	83
Pastwiska	warunki przeciętne	49	69	78	84
Łąki	warunki przeciętne	30	58	71	78
Lasy	gęste	25	55	70	77
	średniogęste	36	60	73	79
	rzadkie	45	66	77	83

WPROWADZENIE

Straty początkowe I_a określają straty opadu na intercepcję, infiltrację czy wypełnienie retencji powierzchniowej. Określane są w oparciu o zaobserwowane epizody opad-odpływ, jako sumę opadu w okresie poprzedzającym wzrost odpływu bezpośredniego [Baltas i in. 2007, NEH 2004].

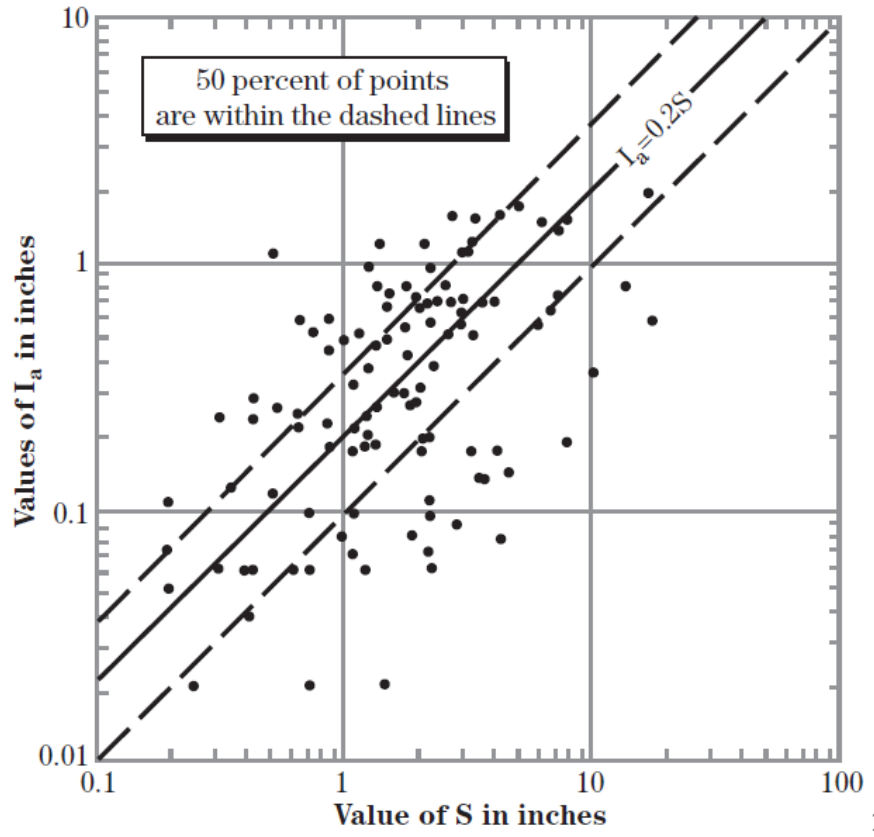
Zwyczajowo przyjmuje się:

$$I_a = \lambda \cdot S = 0,20 \cdot S$$


$$\lambda = \frac{I_a}{S}$$

Współczynnik strat początkowych

Rys. Zależność pomiędzy I_a a S [NEH 2004]



STRATY POCZĄTKOWE

Badania własne prowadzone w zlewni rzeki Kamienica Nawojowska – prawostronny dopływ Dunajca. Zlewnia góraska w 76% zalesiona. Dane opad – odpływ udostępniło IMGW PIB.

Suma opadu wywołująca odpływ

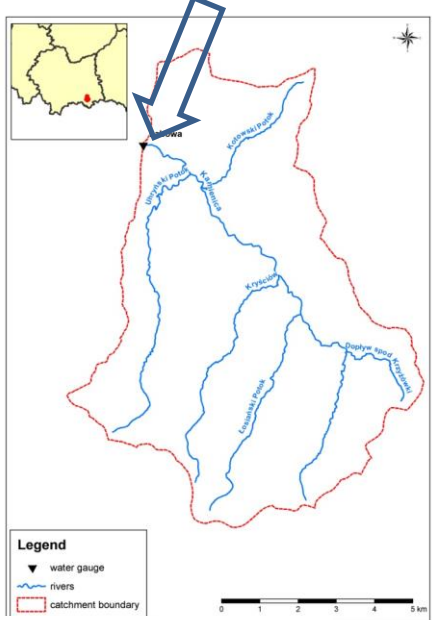
$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

???

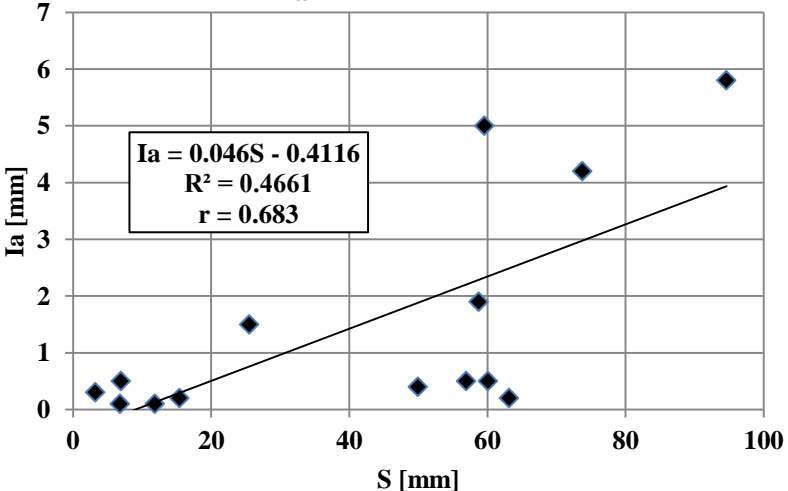
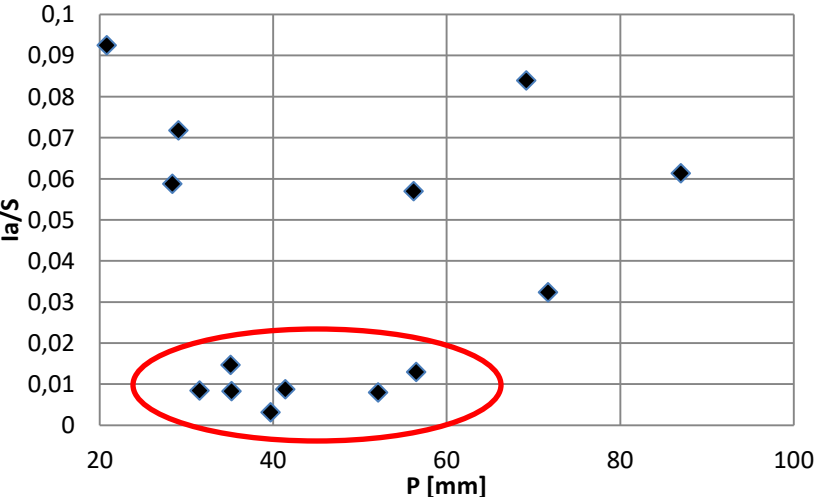
Określone z obserwowanego hydrogramu

Suma opadu od jego rozpoczęcia do początku formowania się Q_{bezp}

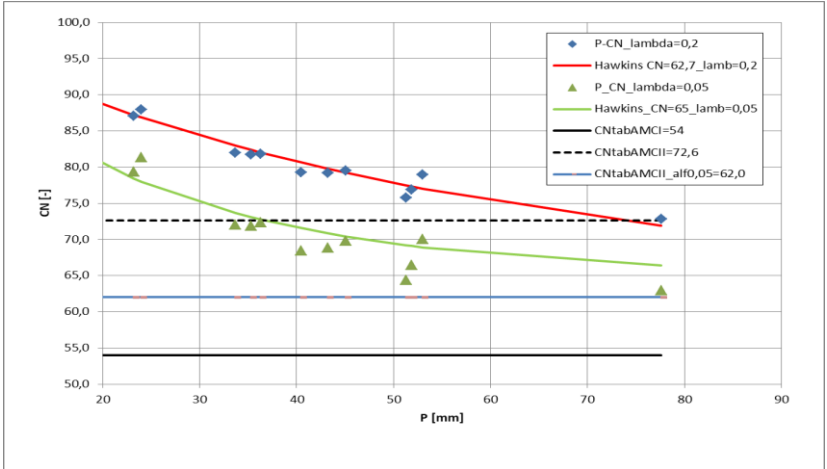
Charakterystyka	Ia/S
Średnia	0.037
Maksimum	0.093
Minimum	0.003
Odchylenie st.	0.032
Współ. zmienn.	0.86
Statystyka t	-18.91
p	0.000



Średnia I_a/S 0.037
istotnie różna od $I_a/S = 0.20$



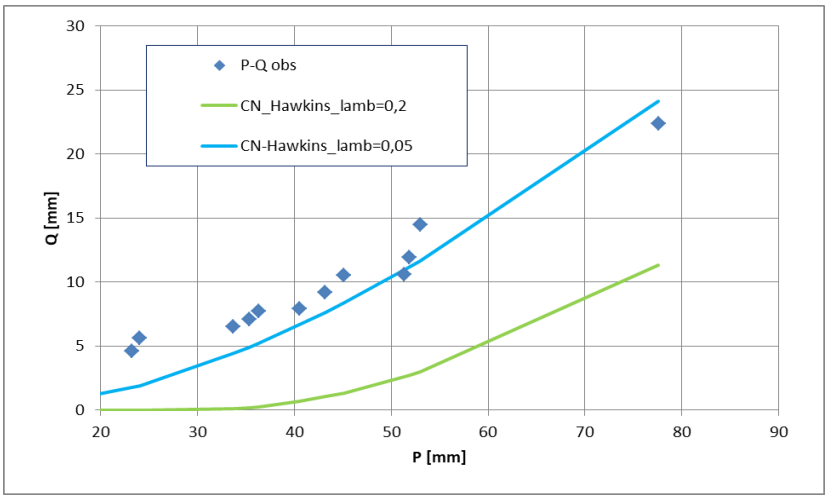
STRATY POCZĄTKOWE



Rys. Zależność CN-P dla różnych wartości współczynnika strat początkowych w zlewni Rudawy

$$CN(P) = 62,7 + (100 - 62,7) \cdot \exp \cdot \frac{-P}{55,3} \text{ dla } \lambda = 0,20$$

$$CN(P) = 65,0 + (100 - 65,0) \cdot \exp \cdot \frac{-P}{24,2} \text{ dla } \lambda = 0,05$$



Dla $\lambda = 0,20$ $E = -1,555$
 Dla $\lambda = 0,05$ $E = 0,754$

Rys. Zależność P-Q dla różnych wartości współczynnika strat początkowych w zlewni Rudawy

POZIOM UWILGOTNIENIA ZLEWNI

Czy empiryczne wartości CN_{emp} określone z tabel NEH-4 odpowiadają wartości obserwowanym CN_{obs} dla danej zlewni?

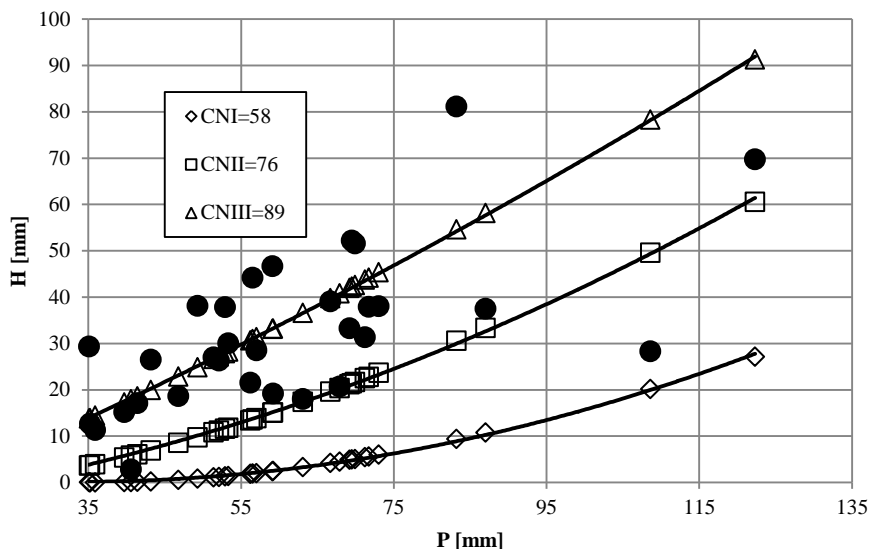
Dla par wartości opadu P i odpływu Q obliczono potencjalną retencję S przy założeniu $\lambda = 0,20$:

$$S_i = 5 \left[P_i + 2Q_i - \sqrt{4Q_i^2 + 5P_iQ_i} \right]$$

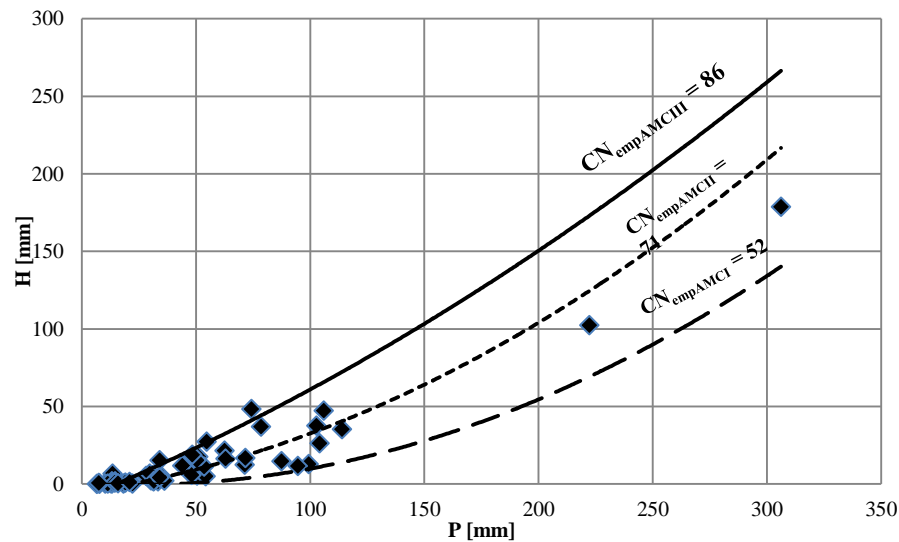
Obserwowana wartość parametru CN_{obs} może być określona z zależności:

$$CN_{obs} = \frac{25400}{254 + S_i}$$

POZIOM UWILGOTNIENIA ZLEWNI



Źródło: Wałęga i Rutkowska 2015: Badania w zlewni Kamienicy Nawojowskiej z dominującym użytkowaniem leśnym; w 28 z pośród 36 epizodów, wyniki zbliżone są dla CN odpowiadającego trzeciemu poziomowi uwilgotnienia.



Źródło: Kowalik i Wałęga 2015: Badania obejmujące 4 zlewnie o powierzchni $A < 0,5 \text{ km}^2$ w zlewni Wilgi i Wieprzówki. W przypadku niewielkich wartości P – Q, wartości CN_{obl} zlokalizowane były w pobliżu AMCIII, dla większych wartości P-Q zbliżały się do AMCII

POZIOM UWILGOTNIENIA ZLEWNI

Jaki poziom uwilgotnienia przyjmować na etapie obliczeń hydrologicznych?

Przykładowo w *Hydrology Manual of Orange Country*, Kalifornia [1986] zaleca się przy obliczaniu przepływów maksymalnych o $p = 50$ i 25% przyjmować **AMCI**, przy $Q_{\max p} = 10, 5$ i 2% **AMCII**, a przy $Q_{\max p} = 1\%$ **AMCIII**.

Wg SHA [2010] **AMCII** przyjmuje się do obliczeń $Q_{\max p} = 10, 5$ i 2 i 1%, natomiast **AMCI** do obliczeń Q_{\max} o większym prawdopodobieństwie

De Paola i in. [2013] sugerują by do projektowania obiektów do ochrony przeciwpowodziowej, szczególnie w klimacie suchym, wykorzystać **AMCIII**.

POZIOM UWILGOTNIENIA ZLEWNI

Wg Raportu Panelu Hydrologów dla stanu Maryland jednym z etapów kalibracji modeli hydrologicznych wg procedury TR20 jest korekta poziomu uwilgotnienia zlewni.

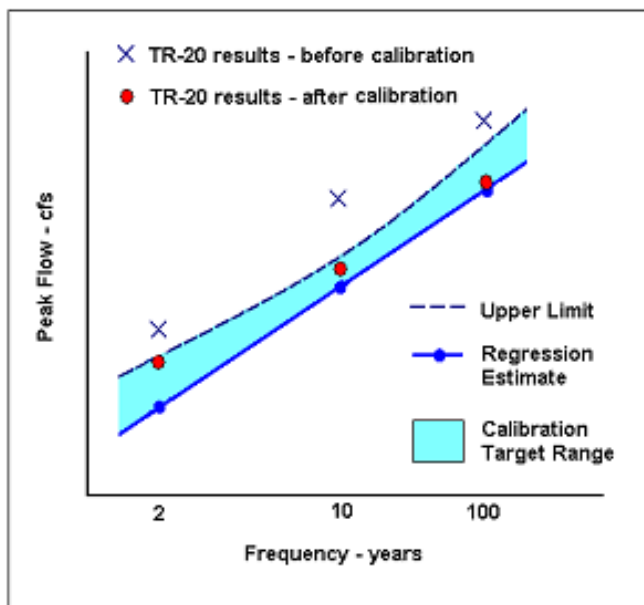


Table 4.1: Logical Progression of Calibration for Multiple Storm Frequency Models

Calibration Variable/ Input Element	Application
T_c (Time-of-Concentration variables)	Same for all storms
RCN conditions (good-fair-poor)	Same for all storms
Reach Length	May increase for greater return periods but not reverse.
Dimensionless Unit Hydrograph	Same for all storms
Rainfall Table – 24-hr duration	Use for 25-year to 500-year storms
Rainfall Table – 12-hr duration	May use for the 2 through 10-year storms if the time-of-concentration is greater than 6 hours. May use for Appalachian Plateau for 25-year through 100-year storms
Rainfall Table – 6-hr duration	May use for 2, 5 and 10-year storms if time-of-concentration is less than 6 hours or for Appalachian Plateau.
ARC (Antecedent Runoff Condition)	Use 2 for 25-year and greater return period storms. May use <2 for the 2-year to 10-year storms provided that it does not decrease for greater return period storms. ARC of >2 may be considered for storms of 200+-years providing that it does not decrease with greater return period storms.

POZIOM UWILGOTNIENIA ZLEWNI

Badania w czterech zlewniach rolniczych w dorzeczu górnej Wisły (2 zlokalizowane w zlewni Wilgi i 2 w zlewni Wieprzówki) o powierzchni do 0.5 km².

Wykorzystano następujące funkcje asymptotyczne do opisu zależności CN_{obs}-P:

1. Standardową wg Hawkinsa [1993]

$$CN(P)1 = CN_{\infty} + (100 - CN_{\infty}) \cdot \exp(-k \cdot P)$$

2. Model 2:

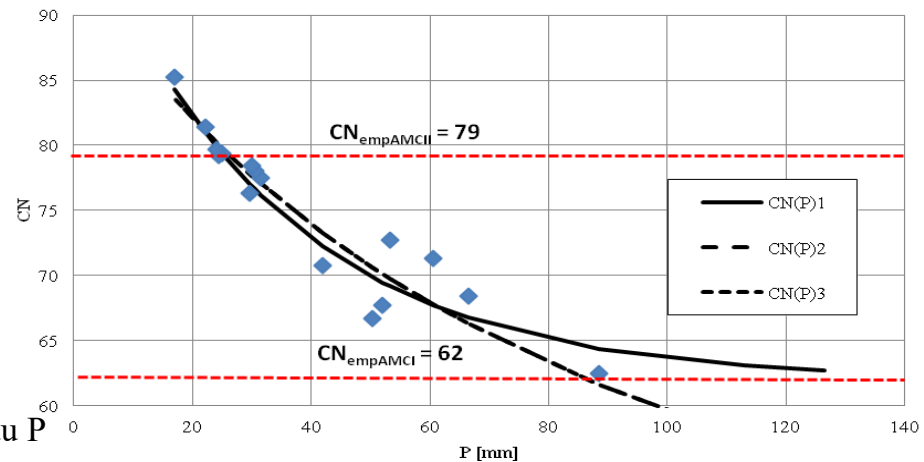
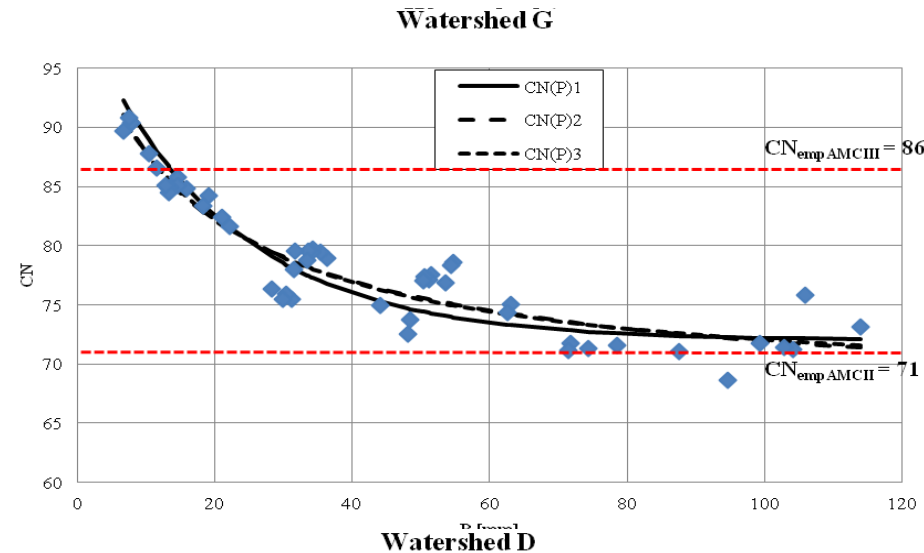
$$CN(P)2 = CN_L + \left[b^{1-d} + c \cdot P(d-1) \right]^{-1}$$

3. Model 3

$$CN(P)3 = CN_{\infty} + b \cdot \operatorname{erfc} \left[\left(\frac{P-c}{d} \right)^2 \right]$$

Parametry funkcji aproksymujących CN względem wysokości opadu P

Model	Parametry	E [%]	RMSE (-)	r ²
CN(P)1	CN _∞ = 62.00; k = 42.18	88.10	2.42	0.89
CN(P)2	CN _L = 64.20; b = 24.81; c = 0.28; d = 0.00	95.70	2.05	0.92
CN(P)3	CN _∞ = 63.90; b = 26.21; c = -3236.00; d = 109.16	90.80	2.14	0.91



Źródło: Kowalik i Wałęga 2015

ZALETY I WADY METODY NRCS-CN

Zalety metody NRCS-CN [Ponce i Hawkins 1996]:

- Prosty konceptualny model do estymacji wielkości odpływu bezpośredniego bazujący na wysokości opadu, jest dobrze podparta danymi empirycznymi,
- Jest łatwa do stosowania w zlewniach niekontrolowanych
- Metoda oparta na jednym parametrze – CN, który jest funkcją: grupy glebowej, użytkowania terenu, warunków hydrologicznych formowania się spływu, warunków wilgotnościowych występujących w zlewni

ZALETY I WADY METODY NRCS-CN

Wady metody NRCS-CN [Ponce i Hawkins 1996]:

- Przyjęcie trzech poziomów uwilgotnienia gleby prowadzi do nagłych i gwałtownych zmian w wartości parametru CN, a stąd do znacznych wahań w wielkości odpływu
- Brak jasnych wytycznych jaki poziom uwilgotnienia należy przyjmować
- Wartości współczynnika strat początkowych λ przyjmowane w oryginalnej metodzie często różnią się od określonych w oparciu o epizody opad-odpływ
- Metoda nie uwzględnia zmiennej czasowej opadu
- Jest zalecana do stosowania w małych zlewniach (do 250 km²), w ciekach z zanedbywalnie małym udziałem odpływu pochodzenia podziemnego. W dużych zlewniach możliwe jest przeszacowanie wielkości odpływu, gdyż nie są uwzględniane dodatkowe przyczyny strat hydrologicznych, np. straty wody w korytach rzeki
- Jako model o parametrach skupionych nie jest zalecana do szacowania wielkości infiltracji wody do gleby
- Ponieważ nie uwzględnia wielkości ewapotranspiracji nie powinna być wykorzystywana do długoterminowych symulacji

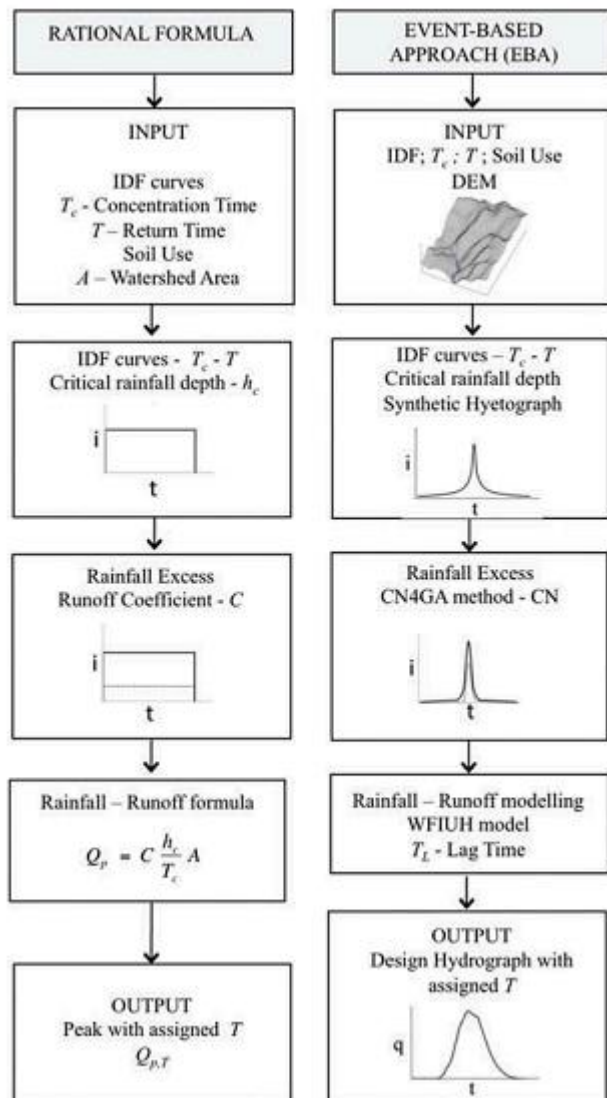
MODYFIKACJE METODY NRCS-CN

Model EBA4SUB (*Event-Based Approach for Small and Ungauged Basins*)

Istota modelu: całkowita wysokość opadu efektywnego i straty początkowe określone są z oryginalnej metody NRCS-CN dla epizodu opadowego, które stanowią podstawę do określenia parametru modelu GA –przewodności hydraulicznej gleby w stanie nasycenia

$$\begin{cases} q_0 = r & t < t_p \\ q_0(t) = K_s \left[1 + \frac{\Delta\theta\Delta h}{I(t)} \right] & t > t_p \end{cases}$$

MODYFIKACJE METODY NRCS-CN



Rzędne IUH:

$$WFIUH(t) = \frac{L_c(x)}{V_c(x)} + \frac{L_h(x)}{V_h(x)}$$

$$Q(t) = A \int_0^t WFIUH(t - \tau) H_t(\tau) d\tau$$

Rys. Porównanie procedury obliczania odpływu za pomocą metody racjonalnej i EBA

MODYFIKACJE METODY NRCS-CN

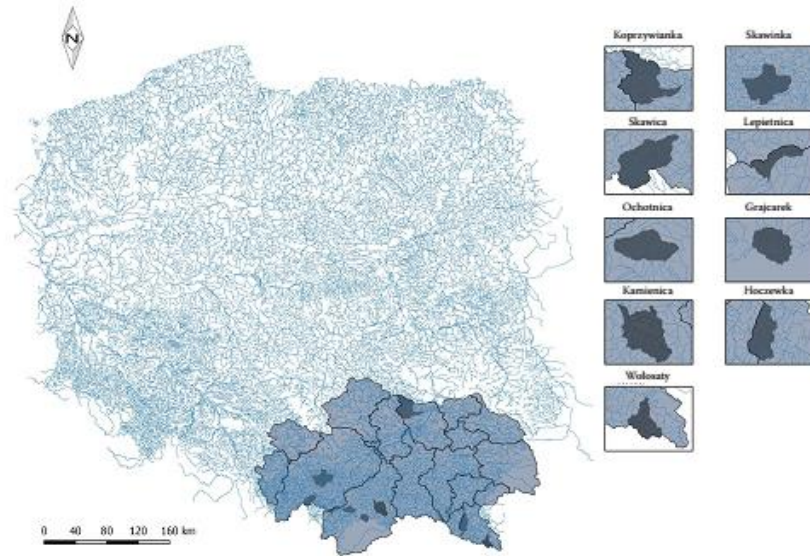
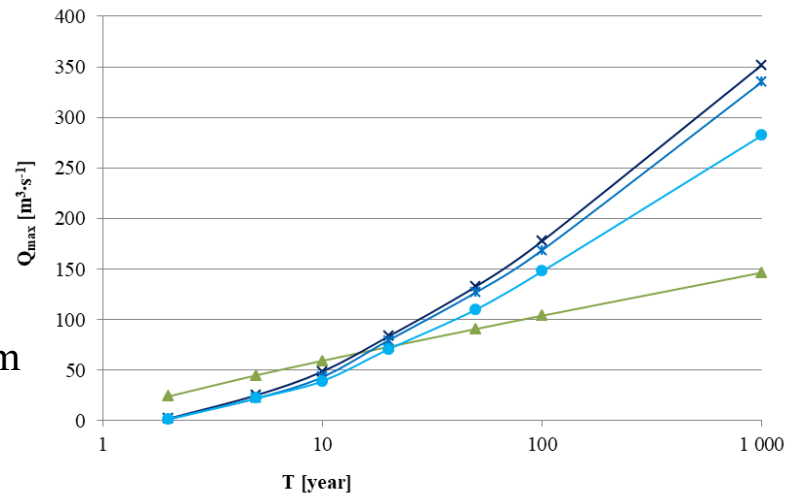
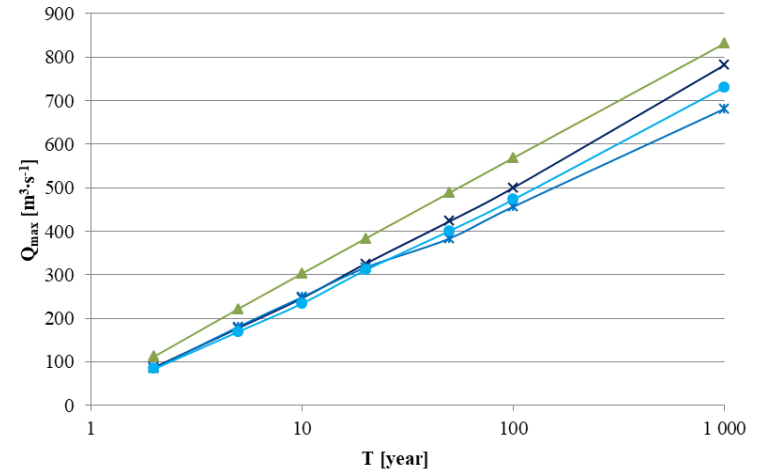


Figure 1. Localization of investigated catchments in the upper Vistula basin

- ▲ PIII
- × EBA4SUB(1)
- ✱ EBA4SUB(2)
- EBA4SUB(3)

Rys. Przepływy maksymalne o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia określone w oparciu o rozkład PIII i EBA4SUB dla: a) Kamienicy Nawojowskiej; b) Koprzywianki



Źródło: Młyński i in. 2018

MODYFIKACJE METODY NRCS-CN

Uwzględnienie zależności strat początkowych od uwilgotnienia podłoża

Model Mishra i Singh „MS model” [Mishra i Singh 2002]:

Wprowadzenie parametru M charakteryzującego wilgotność podłoża w okresie przed wystąpieniem opadu wywołującego wezbranie:

$$M = 0.5 \cdot \left[-(1 + \lambda)S + \sqrt{(1 - \lambda)^2 \cdot S^2 + 4 \cdot P_5 \cdot S} \right]$$

$$Q = \frac{(P - I_a) \cdot (P - I_a + M)}{P - I_a + M + S}$$

M oznacza ilość wilgoci dodanej do podłoża suchego przez opad pięciodniowy

MODYFIKACJE METODY NRCS-CN

Model trójparametryczny Sahu „Sahu 3-p model” [Sahu i in. 2007]:

Założenie: Wilgotność podłoża V_0 na początku opadu wywołującego rozpatrywane wezbranie zależy nie tylko od sumy opadu pięciodniowego P_5 , ale także od maksymalnej potencjalnej retencji S . Poziom wilgoci w okresie 5 dni przed rozpoczęciem odpływu V_{00} jest równy zero lub stanowi ułamek S . Początkowa wilgotność podłoża przed wystąpieniem opadu wywołującego wezbranie jest równa V_{00} plus części opadu z 5 dni który nie jest przekształcony w odpływ.

$$V_0 = V_{00} + \beta \cdot P_5$$

$$\text{dla } V_{00} \leq S_a - P_5$$

$$V_0 = V_{00} + \beta \cdot \left[P_5 - \frac{(P_5 + V_{00} - S_a)^2}{P_5 + V_{00} - S_a + S} \right]$$

$$\text{dla } S_a - P_5 < V_{00} \leq S_a$$

$$V_0 = V_{00} + \beta P_5 \cdot \left[\frac{(S + S_a - V_{00})^2}{S^2 + (S + S_a - V_{00}) \cdot P_5} \right]$$

$$\text{dla } S_a \leq V_{00} \leq S_a + S$$

$$Q = \frac{(P + V_0 - 0.1 \cdot S_a)^2}{P + V_0 - S_a + S}$$

$$\text{dla } S_a - P_5 < V_0 \leq S_a$$

$$Q = P \cdot \left[1 - \frac{(S + S_a - V_0)^2}{S^2 + (S + S_a - V_0) \cdot P} \right]$$

$$\text{dla } S_a \leq V_0 \leq S_a + S$$

MODYFIKACJE METODY NRCS-CN

Model jednoparametryczny Sahu „Sahu 1-p model” [Sahu i in. 2007]:

Założenie: brak zmienności parametrów modelu Sahu 3-p (średnich wartości) w wielu zlewniach skłonił twórców metody do wprowadzenia uproszczeń:

$$V_0 = 0.4 \cdot P_5$$

jeżeli $P_5 \leq 0.1 \cdot S$

$$V_0 = S \cdot \left(\frac{0.44 \cdot P_5 - 0.004 \cdot S}{P_5 + 0.9 \cdot S} \right) \text{ jeżeli } P_5 > 0.1 \cdot S$$

jeżeli $V_0 + P \leq 0.1 \cdot S$ to

$$Q = 0$$

jeżeli $0.1 \cdot S < V_0 + P \leq 0.1 \cdot S + P$ to

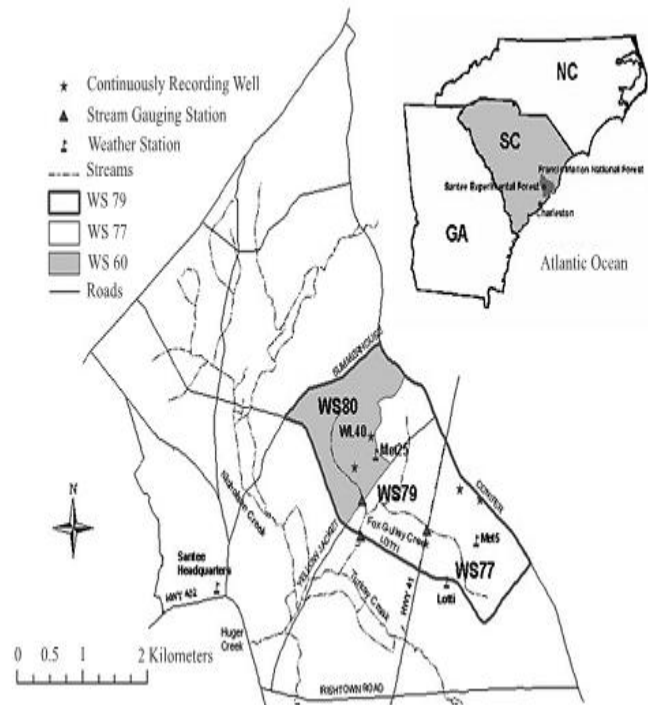
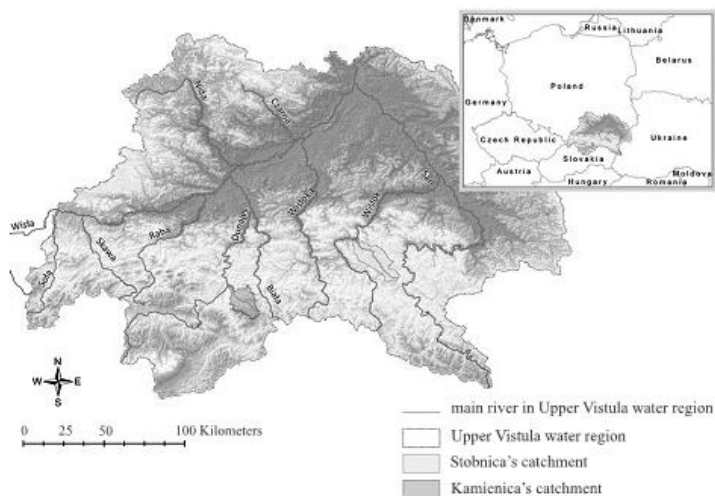
$$Q = \frac{(P + V_0 - 0.1 \cdot S)^2}{P + V_0 + 0.9 \cdot S}$$

jeżeli $0.1 \cdot S \leq V_0 \leq 1.1 \cdot S$ to

$$Q = P \cdot \left(1 - \frac{(1.1 \cdot S - V_0)^2}{S^2 + (1.1 \cdot S - V_0) \cdot P} \right)$$

MODYFIKACJE METODY NRCS-CN

Badania prowadzono w zlewniach Kamienicy Nawojowskiej, Stobnicy oraz eksperymentalnej zlewni leśnej W80 należącej do USDA Forest Services w Południowej Karolinie, USA. Wykorzystano dane opadowe i przepływy z wielolecia 1997-2010 (Stobnica i Kamienica) oraz 2008-2011 (W80).

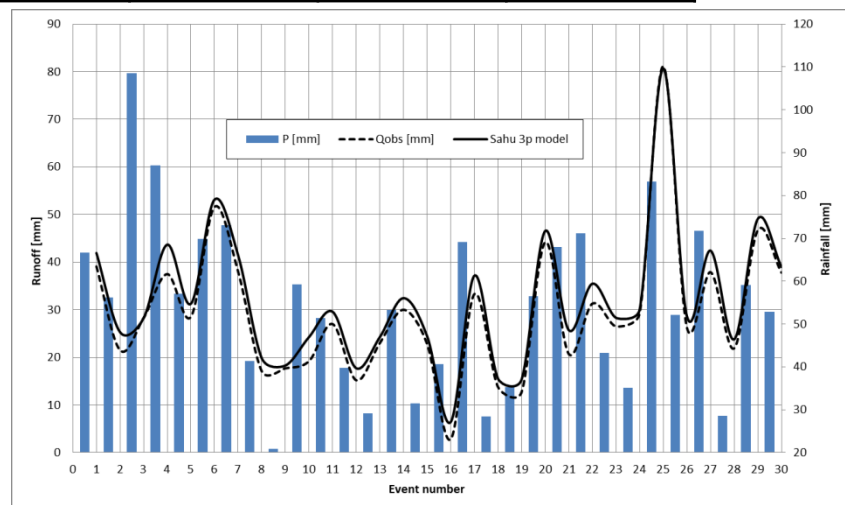
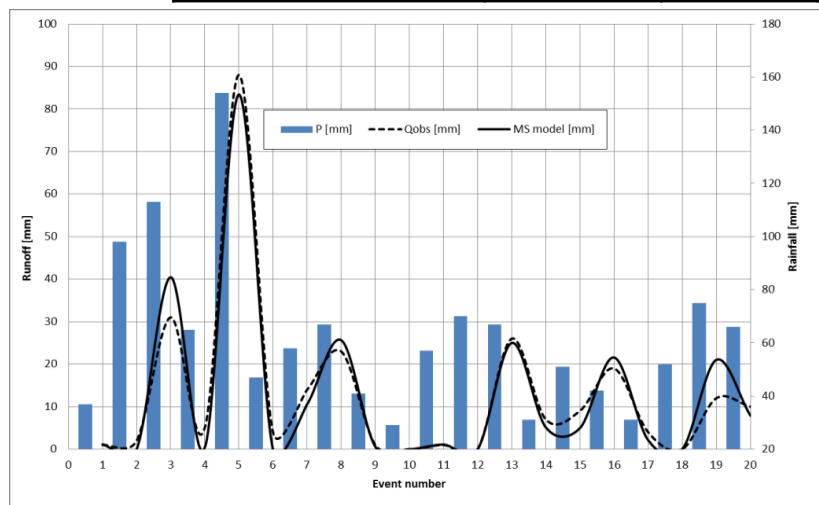


Rys. Lokalizacja analizowanych zlewni

MODYFIKACJE METODY NRCS-CN

Tabela Wyniki jakości modeli dla analizowanych zlewni

Model	Kamienica		Stobnica		WS80	
	RMSE [mm]	EF	RMSE [mm]	EF	RMSE [mm]	EF
NRCS-CN	8,91	0,62	17,18	0,12	12,59	0,58
MS Model	8,01	0,69	1,58	0,99	3,79	0,96
Sahu-1p model	7,63	0,72	5,20	0,92	10,26	0,72
Sahu-3p model	2,97	0,96	2,14	0,99	11,12	0,67



Rys. Wizualna ocena poszczególnych epizodów w zlewni W80 i Kamienicy dla których odpływ oszacowany był wybranymi modelami oraz porównanie do odpływu pomierzonego ((Qobs)

MODYFIKACJE METODY NRCS-CN

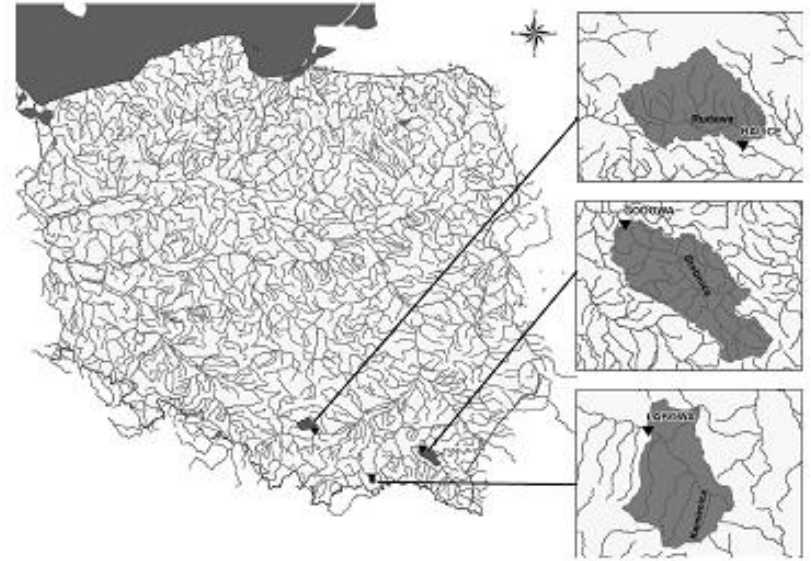
Modyfikacja metody SME do szacowania odpływu bezpośredniego

Przyjęto założenie, że na początku epizodu opadowego M stanowi tylko część całkowitej ilości opadu, która infiltrowała do gruntu w okresie 5 dni poprzedzających rozpatrywany opad.

$$I_a = \lambda \cdot (S_0 - M)$$

$$Q = \frac{(P - I_a) \cdot (P - I_a + M)}{P - I_a + S_0} \quad \text{jeżeli } P > I_a$$

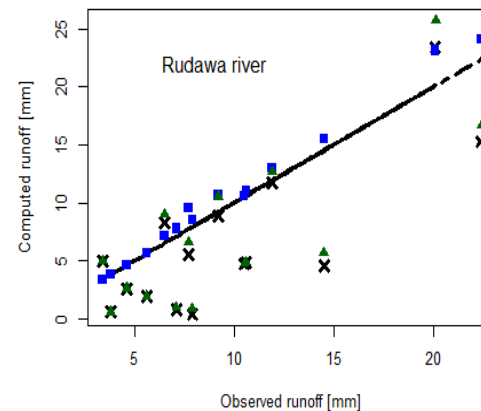
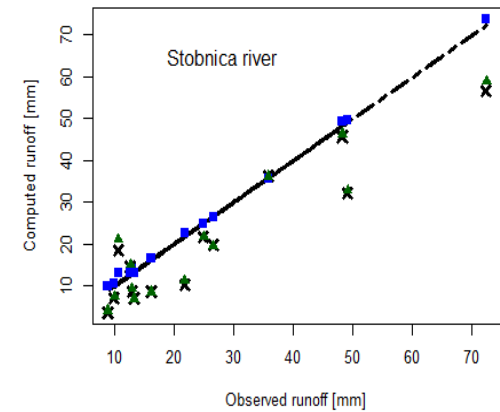
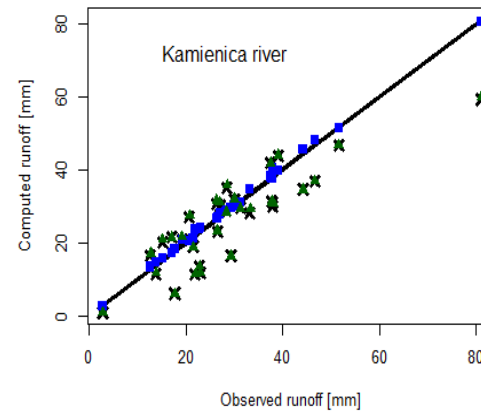
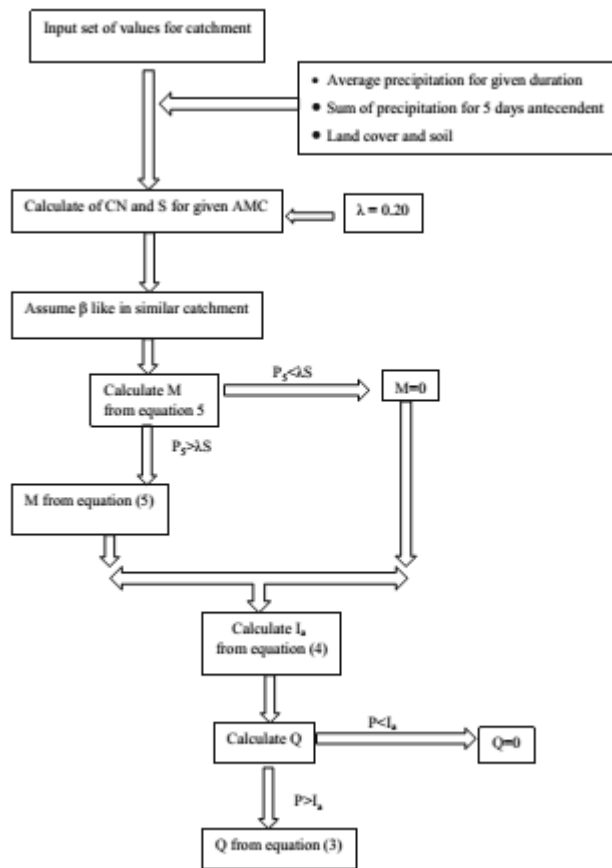
$$M = \beta \left[\frac{(P_5 - \lambda S_0) \cdot S_0}{(P_5 - \lambda S_0) + S_0} \right] \quad \text{dla } P_5 > \lambda S_0$$



Rys. Lokalizacja analizowanych zlewni

Zastąpienie parametru S_0 przez maksymalną potencjalną retencję zlewni S wg USDA 2004

MODYFIKACJE METODY NRCS-CN

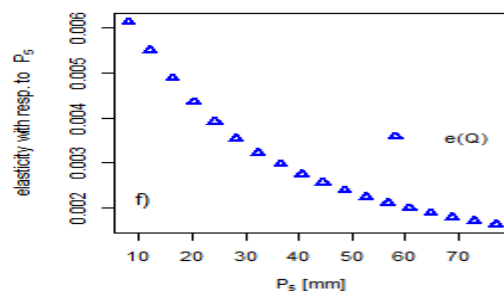
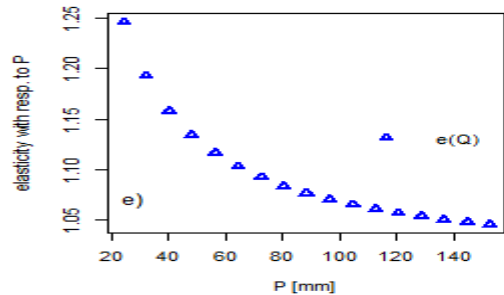
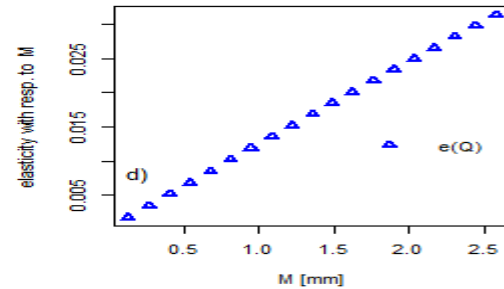
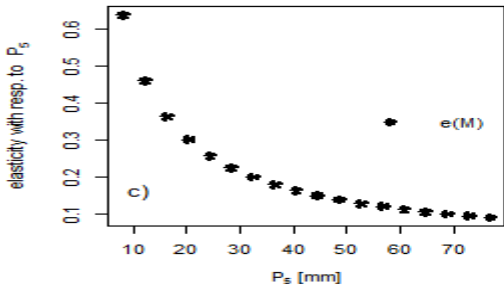
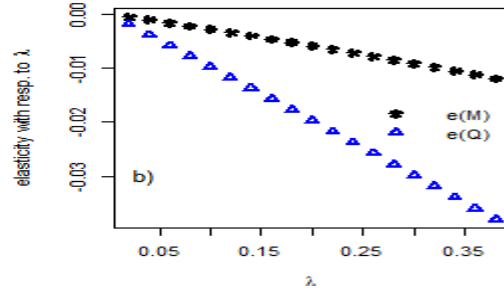
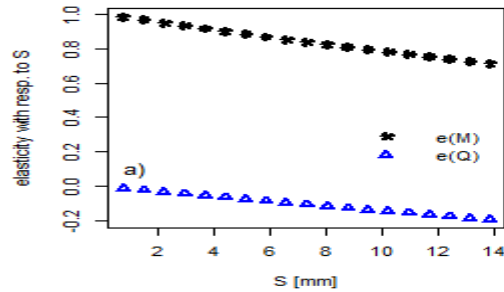


- Legend:
- The best fit
 - × The SCS-CN method
 - The modified SME method
 - ▲ The SME method for tabulated CN

Rys. Tok postępowania przy obliczaniu odpływu metodą SME

Rys. Weryfikacja wielkości odpływu obliczonego i obserwowanego

MODYFIKACJE METODY NRCS-CN



Rys. Wrażliwość modelu SME na zmiany parametrów wejściowych

MODYFIKACJE METODY NRCS-CN

Wpływ źródła danych dotyczących użytkowania zlewni na wielkość

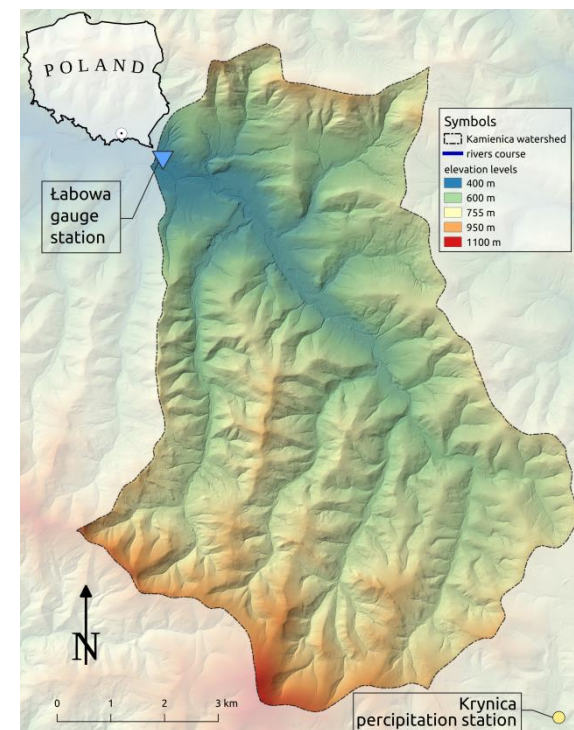
Odptywu bezpośredniego.

Wykorzystano dwie bazy:

1. Corine Land Cover
2. BDOT10k

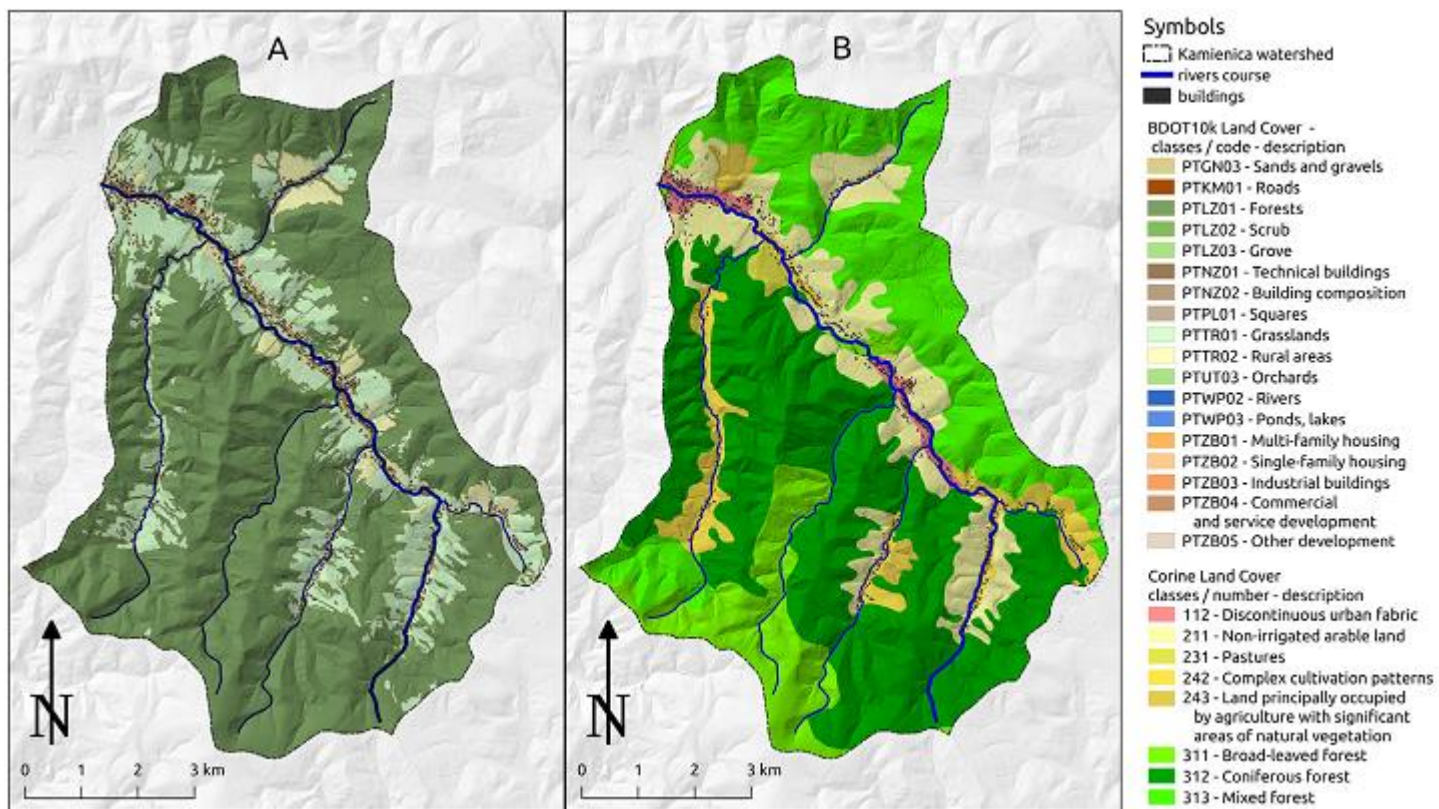
Obliczenia odpływu wykonano dla 30 zjawisk
odpływ z wielolecia 1980-2012

Obliczenia wykonano metodą NRCS-CN i SME



Rys. Zlewnia Kamienicy

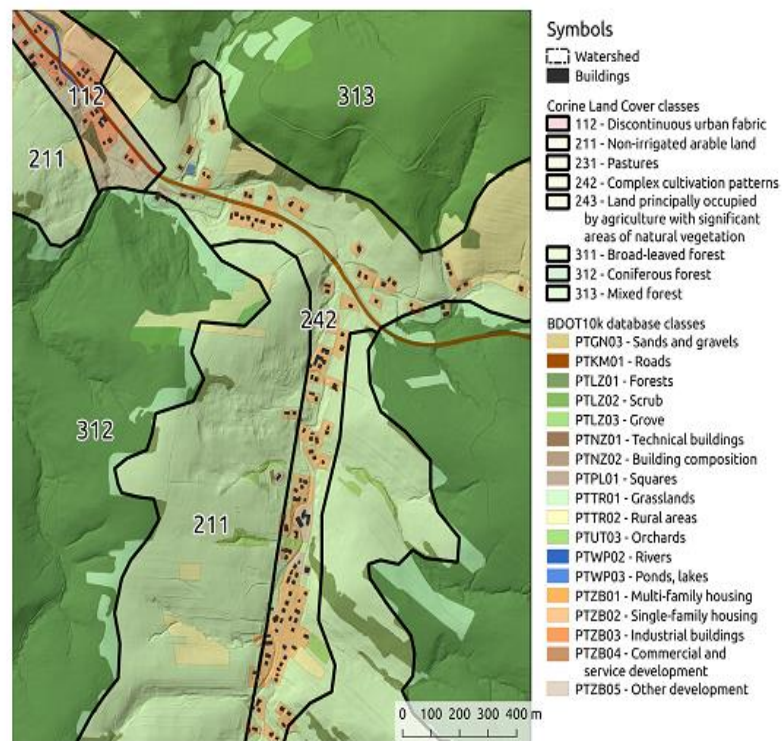
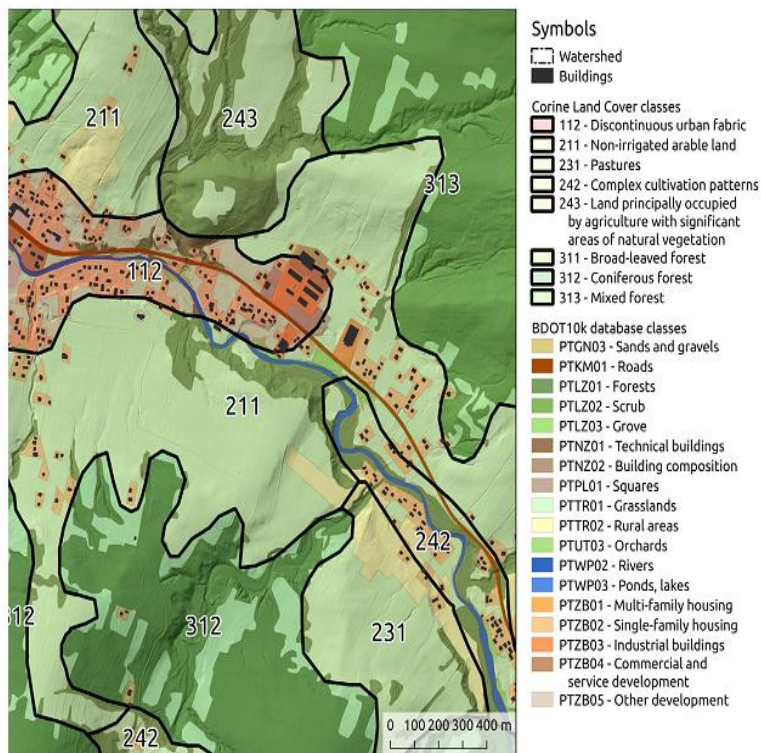
MODYFIKACJE METODY NRCS-CN



Rys. Wizualizacja użytkowania z BDOT10ki CLC na tle NMT

Źródło: Wałęga i Salata 2019

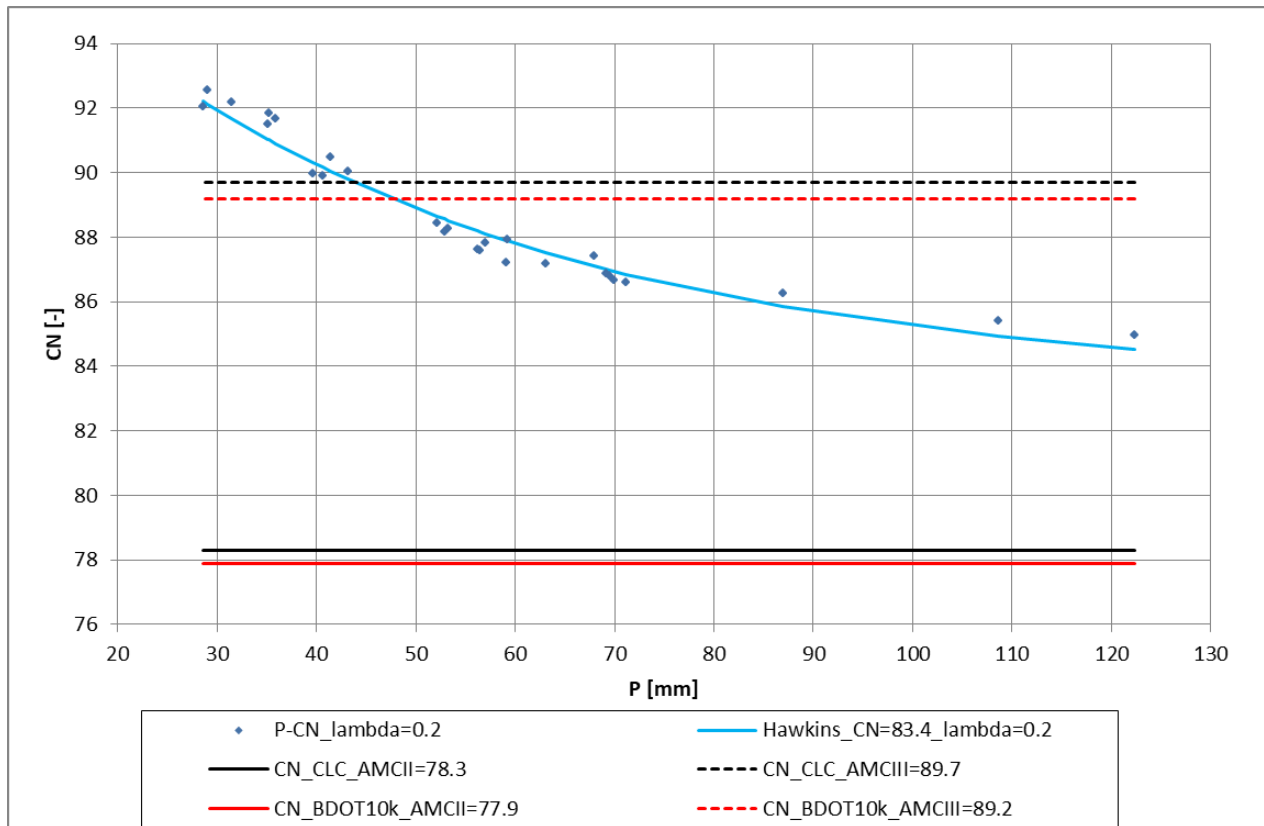
MODYFIKACJE METODY NRCS-CN



Rys. Różnice w dokładności odwzorowania użytkowania terenu w oparciu o analizowane bazy

Źródło: Wałęga i Salata 2019

MODYFIKACJE METODY NRCS-CN



Rys. Zależność P-CN w zlewni Kamienicy

MODYFIKACJE METODY NRCS-CN

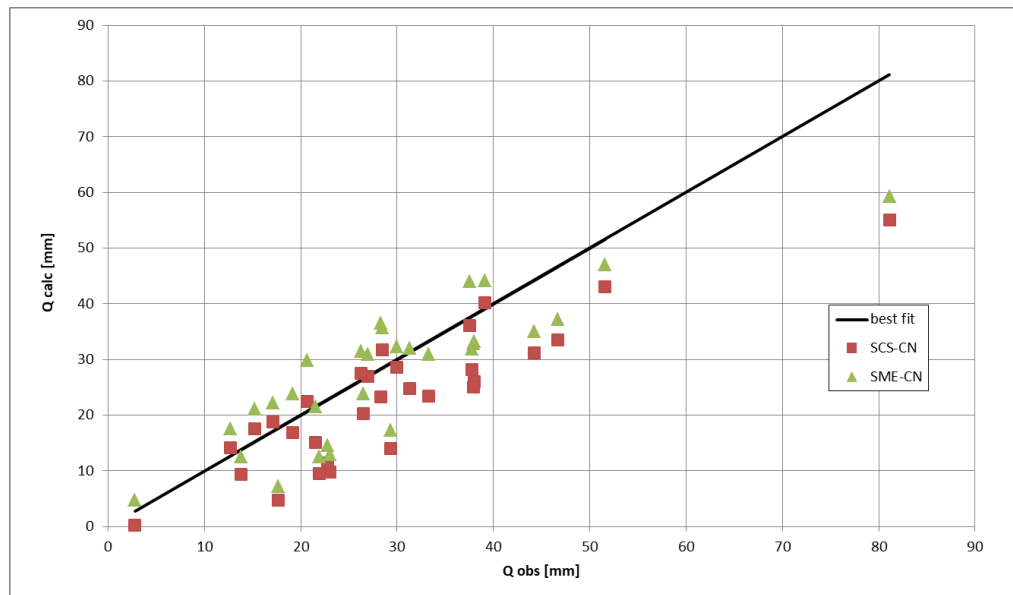


Tabela. Błędy wyników obliczeń wysokości odpływu bezpośredniego

Baza	SME-CN _{est}		NRCS-CN model	
	RMSE	EF	RMSE	EF
pokrycia terenu	[mm]	[-]	[mm]	[-]
CLC	7.46	0.73	8.91	0.62
BDOT10k	7.55	0.72	9.41	0.57

Rys. Graficzna weryfikacja wyników uzyskanych z analizowanych modeli przy pokryciu terenu określonymu w oparciu o BDOT10k

PODSUMOWANIE

- Ze względu na swoją prostotę i łatwość ustalania parametrów, metoda NRCS-CN zyskała dużą popularność na świecie do szacowania wielkości odpływu bezpośredniego .
- Ze względu na rozbieżności pomiędzy wielkością odpływu bezpośredniego pomierzonego i obliczonego wg NRCS-CN metoda ta wymaga modyfikacji uwzględniającej m.in. korektę strat początkowych, warunków wilgotnościowych czy zróżnicowanie formowania się spływu powierzchniowego w zależności od lokalnych charakterystyk zlewni.

Literatura

- Baltas E A, Dervos N A, Mimikou M A.** 2007. Technical Note: Determination of the SCS initial abstraction ratio in an experimental watershed in Greece. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 11, 1825-1829.
- Deshmukh D.S., Chaube U.C., Hailu A.E., Gudeta D.A., Kassa M.T.** 2013. Estimation and comparison of curve numbers based on dynamic land use land cover change, observed rainfall-runoff data and land slope. *J. Hydrol.* 492, 89–101.
- De Paola F., Ranucci A., Feo A.** 2013. Antecedent moisture condition (SCS) frequency assessment: A case study in southern Italy. *Irrig. Drain.* 62, 61–71.
- Grimaldi S., Petroselli, A.** 2014. Do we still need the Rational Formula? An alternative empirical procedure for peak discharge estimation in small and ungauged basins. *Hydrol. Sci. J.* 60 (1), 67–77
- Horner W.W.** 1940. The analysis of hydrologic data for small watershed. SCS Technical Paper 30
- Horton R.E.** 1933. The role of infiltration in the hydrologic cycle. Transactions American Geophysical Union
- Horton R.E.** 1939. Analysis of runoff plot experiments with varying infiltration capacity. Transactions American Geophysical Union pp. 451
- Hydrology Manual** 1986. Orange County Environmental Management Agency. California.
- Kowalik T., Wałęga A.** 2015. Estimation of CN Parameter for Small Agricultural Watersheds Using Asymptotic Functions. *Water* 7(3), 939-955

Literatura

- Mishra, S.K., Singh V.P.** 2002. SCS-CN-based hydrologic simulation package. In: V.P. Singh and D.K. Frevert (eds.) *Mathematical models in small catchment hydrology and applications*, Water Resources Publications, Littleton, CO 80161, 391–464.
- Młyński D., Petroselli A., Wałęga A.** 2018. Flood Frequency Analysis by an Event-based Rainfall-Runoff Model in Selected Catchments of Southern Poland. *Soil and Water Research* 13 (3), 170-176
- Mockus V.** 1949. Estimation of total (and peak rates of) surface runoff for individual storms. Exhibit A in Appendix B. Interim Survey Report Grand (Neosho) River Watershed. USDA.
- National Engineering Handbook** 2004. Chapter 10 Estimation of Direct Runoff from Storm Rainfall. Part 630 Hydrology. USDA.
- Pilgrim D.H., Cordery I.** 1993 . Flood runoff. [W:] Maidment D.R (ed) *Handbook of hydrology*. Chapter 9. McGRAW-HILL Inc.
- Ponce V.M., Hawkins R.H.** 1996. Runoff curve number, has it reached maturity? *J. Hydrol. Eng.* 1, 11–19.
- Rallison R.E., Miller N.** 1982. Past, present and future SCS runoff procedure. In *Proceedings of the International Symposium on Rainfall-Runoff Modelling*. Missisipi State University May 18-21 1981 ,Missisipi USA, 353-364
- Sahu R.K., Mishra S.K., Eldho T.I., Jain M.K.** 2007. An advanced soil moisture accounting procedure for SCS curve number method, *J. Hydrol. Proc.*, 21(21), 2872–2881.
- Sahu R.K., Mishra S.K., Eldho T.I.** 2010. An improved AMC-coupled runoff curve number model. *J. Hydrol. Proc.*,24(20), 2834–2839
- SHA** 2010. Application of Hydrologic Methods in Maryland. Maryland Hydrology Panel.

Literatura

- Sherman L.K.** 1949. The unit hydrograph method. In Meinzer O.E. (ed) *Physics of the Earth*. Dover Publications Inc. New York, 514-525
- Soczyńska U.** 1997. *Hydrologia dynamiczna*. Wyd. PWN, Warszawa
- Stowarzyszenie Hydrologów Polskich** 2009. *Metodyka obliczania przepływów i opadów maksymalnych o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia dla zlewni kontrolowanych i niekontrolowanych oraz identyfikacji modeli transformacji opadu w odpływ*. Warszawa
- Wałęga A., Rutkowska A.** 2015. Usefulness of the modified NRCS-CN method for the assessment of direct runoff in a mountain catchment. *Acta Geophysica* 63(5), 1423-1446
- Wałęga A., Młyński D., Wachulec K.** 2017a. The use of asymptotic functions for determining empirical values of CN parameter in selected catchments of variable land cover. *Studia Geotechnica et Mechanica* 39(4), 111-120,
- Wałęga A., Cupak A. Amatya D.M., Drożdżal E.** 2017b. Comparison of direct outflow calculated by modified SCS-CN methods for mountainous and highland catchments in upper Vistula Basin, Poland and lowland catchment in South Carolina, U.S.A. *Acta Scientiarum Polonorum, seria Formatio Circumiectus* 16(1), 187-207
- Wałęga A., Rutkowska A., Grzebinoga M.** 2017c. Direct runoff assessment using modified SME method in catchments in the Upper Vistula River Basin. *Acta Geophysica* 65 (2), 363-375
- Wałęga A., Salata T.** 2019. Influence of land cover data sources on estimation of direct runoff according to SCS-CN and modified SME methods. *Catena* 172, 232-242

DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ !