



Małgorzata Pietrak

tel.: +48 662 635 712  
e-mail: m.pietrak@hydroprofil.pl  
www.hydroprofil.pl

Liczba stron: 15

Data: 20.07.2010r

## MODELOWANIE WEZBRAŃ POWODZIOWYCH W MAŁEJ ZLEWNI MIEJSKIEJ


### MODEL OPAD-ODPŁYW

Metoda CN-SCS wyznaczania opadu efektywnego  
Transformacja w odpływ wg formuły Rao i in.



*W górnej części zlewni Potoku Północnego w Radomiu o powierzchni 20km<sup>2</sup> w czasie 10h wystąpiły ulewne deszcze o wysokości całkowitej 50mm. Ze względu na miejski charakter zlewni, charakteryzującej się wysokim stopniem zurbanizowania, znaczna część wody opadowej spłynęła bezpośrednio do ciek, wywołując gwałtowną reakcję zlewni w postaci wezbrania. Na terenach przylegających do potoku wystąpiły lokalne podtopienia ulic, placów oraz piwnic w budynkach mieszkalnych, wywołujące tym samym wymierne straty gospodarcze.*

*Jaka była rzeczywista wielkość odpływu w istniejących warunkach meteorologicznych (przy określonej intensywności i wysokości opadu), hydrologicznych (retencja początkowa) oraz topograficznych (przepuszczalność podłoża)?*

	<p>Modelowanie wezbrań powodziowych w małej zlewni miejskiej</p>	<p><b>Małgorzata Pietrak</b> e-mail: m.pietrak@hydroprofil.pl www.hydroprofil.pl</p>
		<p>Nr str.: 2/8</p>

## ROZWIĄZANIE

Rozwiązanie niniejszego problemu polega na wyznaczeniu hydrogramu wezbrania, przy wykorzystaniu matematycznych modeli hydrologicznych opad-odpływ.

W obszarach zurbanizowanych, reprezentowanych przez analizowany przypadek, jedną z powszechnie stosowanych metod obliczania opadu efektywnego (czyli tego rzeczywistego, po odjęciu strat na parowanie i wsiąkanie) jest metoda CN-SCS. Uzależnia ona opad od takich czynników jak: rodzaj gleb w zlewni, jej zagospodarowanie, warunki hydrologiczne (stan retencji przed wystąpieniem opadu), które opisuje bezwymiarowy współczynnik CN.

### Charakterystyki deszczu:

- |  |               |
|--|---------------|
| - czas trwania deszczu D                       | - 10 h        |
| - wysokość opadu całkowitego P                 | - 50 mm       |
| - średnie natężenie deszczu I                  | - 5 mm/h      |
| - zmienność natężenie w czasie trwania deszczu | - zmienne     |
| - zmienność obszarowa sumy opadu               | - równomierna |

### I. Obliczenie opadu efektywnego

#### 1. Wyznaczenie parametrów metody CN-SCS

##### ◆ Parametr CN = 80

Wielkość określona zgodnie z tablicami opracowanymi przez autorów metody, na podstawie informacji o zlewni (procentowy udział poszczególnych typów gleb oraz użytkowania).

##### ◆ Parametr S - Maksymalna potencjalna retencja w zlewni

$$S = 25,4 \cdot \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right) = 25,4 \cdot \left( \frac{1000}{80} - 10 \right) = 63,5 \text{ mm}$$

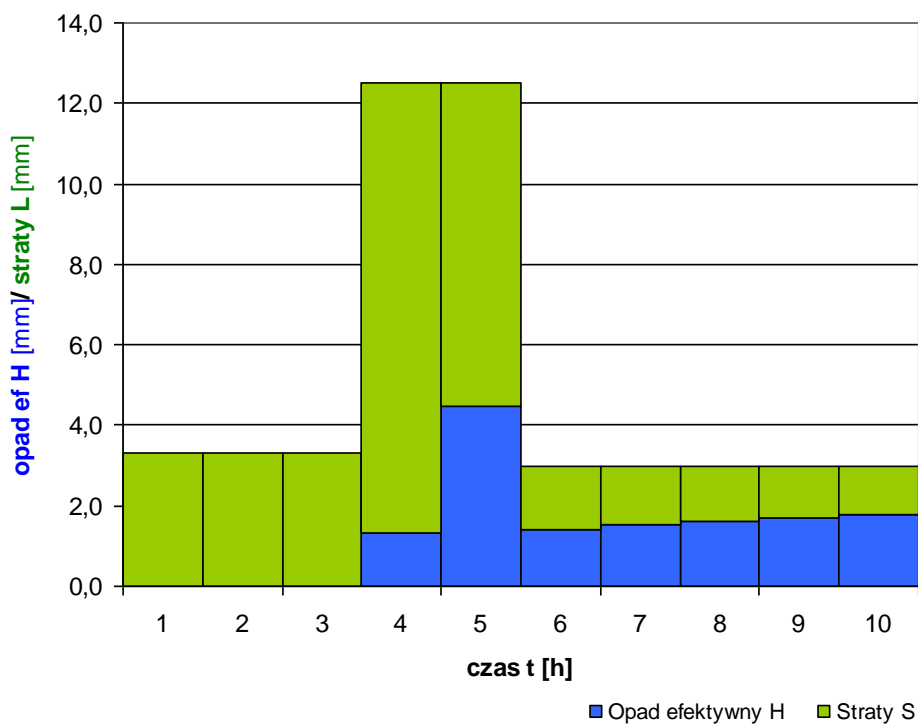
##### ◆ Parametr H - Wysokość opadu efektywnego


$$H = \frac{P_j - 0,2S}{P_j + 0,8S} = \frac{50 - 0,2 \cdot 63,5}{50 + 0,8 \cdot 63,5} = 13,8 \text{ mm}$$

Tab. 1. Wyznaczenie opadu efektywnego metodą CN-SCS

Czas t	Opad całkowity P	delta P	Opad efektywny H	delta H	Straty delta L
[h]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
1	3	4	5	6	7
0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0
1	3,3	3,3	<b>0,0</b>	0,0	3,3
2	6,7	3,3	<b>0,0</b>	0,0	3,3
3	10,0	3,3	<b>0,0</b>	0,0	3,3
4	22,5	12,5	<b>1,3</b>	1,3	11,2
5	35,0	12,5	<b>5,8</b>	4,5	8,0
6	38,0	3,0	<b>7,2</b>	1,4	1,6
7	41,0	3,0	<b>8,7</b>	1,5	1,5
8	44,0	3,0	<b>10,3</b>	1,6	1,4
9	47,0	3,0	<b>12,0</b>	1,7	1,3
10	50,0	3,0	<b>13,8</b>	1,8	1,2
11	50,0	0,0	<b>13,8</b>	0,0	0,0
12	50,0	0,0	<b>13,8</b>	0,0	0,0
13	50,0	0,0	<b>13,8</b>	0,0	0,0

Rys.1. Hietogram opadu efektywnego H oraz strat S na parowanie i infiltrację



	Modelowanie wezbrań powodziowych w małej zlewni miejskiej	<b>Małgorzata Pietrak</b> e-mail: m.pietrak@hydroprofil.pl www.hydroprofil.pl
		Nr str.: 4/8

W początkowym etapie od rozpoczęcia opadu całkowita objętość wody została stracona na parowanie i infiltrację w głąb profilu glebowego. Dopiero w czwartej godzinie część opadu (6% całkowitej objętości) zaczęła spływać bezpośrednio do cieku.

## II. Wyznaczenie reakcji zlewni na zadany opad

Transformację opadu efektywnego w odpływ bezpośredni przeprowadzono wykorzystując metodę Rao i inni, która wiąże wysokość hydrogramu wezbrania z fizjografią zlewni.

### 1. Określenie parametrów chwilowego hydrogramu jednostkowego IH wg formuły Rao i in.

#### ♦ Czas opóźnienia LAG [h]

$$LAG = 1,28 \cdot A^{0,46} \cdot (1+U)^{1,66} \cdot H^{-0,27} \cdot D^{0,37} = 1,28 \cdot 20^{0,46} \cdot (1+0,2)^{-1,66} \cdot 13,8^{-0,27} \cdot 10^{0,37} = 4,33 \text{ h}$$

gdzie:

$U$  - zurbanizowanie zlewni [-]

#### ♦ Parametr retencji zbiornika $k$ [-]

$$k = 0,56 \cdot A^{0,39} \cdot (1+U)^{0,62} \cdot H^{-0,11} \cdot D^{0,22} = 0,56 \cdot 20^{0,39} \cdot (1+0,2)^{-0,62} \cdot 13,8^{-0,11} \cdot 10^{0,22} = 2,00$$

### 2. Obliczenie rzędnych chwilowego hydrogramu jednostkowego

Chwilowy hydrogram jednostkowy IUH opisuje proces kształtowanie się wezbrania jako reakcji zlewni na opad dla nieskończenie małych przedziałów czasowych ( $\Delta t \sim 0$ ).

Jego matematyczny zapis wyraża się równaniem:

$$u(t) = \frac{1}{k\Gamma(N)} \cdot \left(\frac{t}{k}\right)^{N-1} \exp\left(-\frac{t}{k}\right)$$

gdzie:

$u(t)$  - rzędna chwilowego hydrogramu jednostkowego [ $\text{h}^{-1}$ ]

$t$  - czas od początku układu współrzędnych [h]

$k$  - parametr retencji zbiornika [h]


$N$  - liczba zbiorników [-]

$\Gamma(N)$  - funkcja gamma, której wartość całkowitej liczby zbiorników wynosi  $\Gamma(N) = (N-1)!$

Obliczenia przeprowadzono wykorzystując narzędzia arkusza kalkulacyjnego Excel. Wyniki zestawiono w tab. 2.

### 3. Obliczenie rzędnych hydrogramu jednostkowego

Rzędne te opisywane są za pomocą następujących równań:

	<p>Modelowanie wezbrań powodziowych w małej zlewni miejskiej</p>	<p><b>Małgorzata Pietrak</b> e-mail: m.pietrak@hydroprofil.pl www.hydroprofil.pl</p>
		<p>Nr str.: 5/8</p>


$$h_i = \frac{A}{3,6} \cdot \bar{u}_i = \frac{A}{3,6 \cdot \Delta t} \int_{t-\Delta t}^t u(\tau) d\tau \quad \text{dla } t = \Delta t \cdot i; \quad i=1,2,\dots, m$$

Obliczenia podobnie jw. wykonano w arkuszu kalkulacyjnego Excel a wyniki zestawiono w tab. 2.

	<p style="text-align: center;"><b>Małgorzata Pietrak</b></p> <p style="text-align: center;">tel.: +48 662 635 712 e-mail: m.pietrak@hydroprofil.pl www.hydroprofil.pl</p>	<p style="text-align: center;">Liczba stron: 15</p>
		<p style="text-align: center;">Data: 20.07.2010r</p>

**Tab. Wyznaczenie hydrogramu wezbrania**

Czas t	U(t)	Pow. IUH	Rzędne hi	Rzędne UH hi													Delta H	Odptyw Q
				[h]	[1/h]	[-]	[1/h]	[m3/s]										
1	3			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
0	0	0		0,000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
1	0,076	0,030	0,030	0,168	0,000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000	0
2	0,156	0,151	0,120	0,669	0,168	0,000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000	0
3	0,180	0,323	0,173	0,959	0,669	0,168	0,000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000	0
4	0,165	0,498	0,175	0,971	0,959	0,669	0,168	0,000	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000	0
5	0,132	0,647	0,149	0,828	0,971	0,959	0,669	0,168	0,000	0	0	0	0	0	0	0	1,310	<b>0,22</b>
6	0,098	0,762	0,115	0,637	0,828	0,971	0,959	0,669	0,168	0,000	0	0	0	0	0	0	4,486	<b>1,63</b>
7	0,068	0,844	0,082	0,458	0,637	0,828	0,971	0,959	0,669	0,168	0,000	0	0	0	0	0	1,412	<b>4,49</b>
8	0,046	0,901	0,056	0,314	0,458	0,637	0,828	0,971	0,959	0,669	0,168	0,000	0	0	0	0	1,516	<b>6,78</b>
9	0,030	0,938	0,037	0,207	0,314	0,458	0,637	0,828	0,971	0,959	0,669	0,168	0,000	0	0	0	1,610	<b>8,08</b>
10	0,019	0,962	0,024	0,133	0,207	0,314	0,458	0,637	0,828	0,971	0,959	0,669	0,168	0,000	0	0	1,695	<b>8,74</b>
11	0,012	0,977	0,015	0,083	0,133	0,207	0,314	0,458	0,637	0,828	0,971	0,959	0,669	0,168	0,000	0	1,773	<b>9,08</b>
12	0,007	0,986	0,009	0,051	0,083	0,133	0,207	0,314	0,458	0,637	0,828	0,971	0,959	0,669	0,168	0,000	0,000	<b>9,00</b>
13	0,004	0,992	0,006	0,031	0,051	0,083	0,133	0,207	0,314	0,458	0,637	0,828	0,971	0,959	0,669	0,168	0,000	<b>7,97</b>
14				0	0,031	0,051	0,083	0,133	0,207	0,314	0,458	0,637	0,828	0,971	0,959	0,669		<b>6,39</b>
15				0	0	0,031	0,051	0,083	0,133	0,207	0,314	0,458	0,637	0,828	0,971	0,959		<b>4,76</b>
16				0	0	0	0,031	0,051	0,083	0,133	0,207	0,314	0,458	0,637	0,828	0,971		<b>3,35</b>
17				0	0	0	0	0,031	0,051	0,083	0,133	0,207	0,314	0,458	0,637	0,828		<b>2,27</b>
18				0	0	0	0	0	0,031	0,051	0,083	0,133	0,207	0,314	0,458	0,637		<b>1,46</b>
19				0	0	0	0	0	0	0,031	0,051	0,083	0,133	0,207	0,314	0,458		<b>0,85</b>
20				0	0	0	0	0	0	0	0,031	0,051	0,083	0,133	0,207	0,314		<b>0,51</b>
21				0	0	0	0	0	0	0	0	0,031	0,051	0,083	0,133	0,207		<b>0,29</b>
22				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,031	0,051	0,083	0,133		<b>0,14</b>

	<p>Modelowanie wezbrań powodziowych w małej zlewni miejskiej</p>	<p><b>Małgorzata Pietrak</b> e-mail: m.pietrak@hydroprofil.pl www.hydroprofil.pl</p>
		<p>Nr str.: 7/8</p>

23				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,031	0,051	0,083		<b>0,06</b>
24				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,031	0,051		0
25				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,031		0



Małgorzata Pietrak

tel.: +48 662 635 712  
e-mail: m.pietrak@hydroprofil.pl  
www.hydroprofil.pl

Liczba stron: 15

Data: 20.07.2010r

Rys. 2. Hydrogram odpływu bezpośredniego (hydrogram wezbrania)

