

PORTFOLIO:

Analiza systemu akwizycji i przetwarzania danych meteorologicznych i hydrologicznych pod kątem dokładności prognozy zagrożenia powodziowego

Autorzy: Janusz Miller, Jacek Piwowarczyk

Analiza systemu akwizycji i przetwarzania danych meteorologicznych i hydrologicznych pod kątem dokładności prognozy zagrożenia powodziowego

Sprawozdanie

Kraków, wrzesień 2014

Oświadczamy, świadomi odpowiedzialności karnej za poświadczenie nieprawdy, że niniejsze opracowanie wykonaliśmy osobiście i samodzielnie i nie korzystaliśmy ze źródeł innych niż wymienione w opracowaniu.

*Janusz Miller
Jacek Piwowarczyk*

1. Wstęp

Celem perspektywicznym jest opracowanie systemu doradczego, który pozwoliłby efektywniej wykorzystać zasoby zbiorników wodnych dla produkcji energii elektrycznej. Ten cel musi być osiągnięty bez powiększenia ryzyka powodziowego.

Niektóre analizy prowadzone po powodzi w maju 2010 roku wskazują na potrzebę zwiększenia rezerwy powodziowej. Takie rozwiązanie prowadzi do zmniejszenia produkcji energii elektrycznej. Aby temu zapobiec, proponujemy zbudowanie systemu dostarczającego bieżącą informację o stanie dorzecza, która pozwoli bezpiecznie operować zbiornikiem wodnym bez powiększania ryzyka katastrofy.

W ww. analizach sterowania spustem ze zbiorników najczęściej przywoływany jest przykład pracy zbiornika w Dobczycach i jego wpływ na wylew dolnej Raby, np. [Drożdzał, Grela], [Drożdzał, Kępski, Piórecki], [Grela], [RZGW].

W dyskusji o wpływie sterowania zbiornikiem na powódź w Proszówkach istotne miejsce zajmuje znaczenie i wykorzystanie prognozy opadu i bieżącej informacji o opadzie. Nikt nie kwestionuje słuszności decyzji o prewencyjnym powiększeniu rezerwy powodziowej zbiornika po ostrzeżeniu z 14 maja. Nasuwa się jednak pytanie, czy czas i wielkość tego zwiększonego odpływu była optymalna. Naszym celem nie jest kwestionowanie podjętych decyzji. Stawiamy jedynie tezę, że obecnie istniejące środki techniczne – przede wszystkim pomiar opadu radarem meteorologicznym – pozwalają istotnie zwiększyć precyzję prognozy i dokładność pomiaru opadu. Informację o wielkości punktowego opadu w posterunkach opadowych należałoby zintegrować z informacją o kształcie i dynamice obszaru opadu. Dzięki temu można uzyskać dokładniejszą informację o opadzie w obszarze poszczególnych zlewni. Przykład Dobczyc pokazuje, że konieczna jest bieżąca informacja o opadzie w zlewniach o powierzchni nie tylko rzędu 700 km² (jak Raby do Dobczyc), lecz także o połowę mniejszych (jak dorzecze Stradomki).

Na podobny problem wskazuje W. Wojciechowski formułując wniosek po analizie działań w Krakowie podczas tej powodzi. Postuluje on „usprawnienie systemu ostrzeżeń IMGW poprzez podawanie częściej niż dotychczas (každorazowo) wielkości prognozowanych opadów, a także informacji o wielkości opadów jakie miały miejsce minionej doby w zlewni rzek Soły, Skawy, Skawinki jak również nad obszarem Krakowa” [Wojciechowski]. Wniosek ten można rozwinąć w kierunku postulatu precyzyjniejszych bieżących informacji o opadzie w poszczególnych dorzeczach.

Podsumowując należy zauważyć, że po uruchomieniu radarów meteorologicznych powstała nowa – jakościowo – sytuacja. Bieżąca informacja o opadzie pochodzi z dwóch źródeł:

- punktowa - z posterunków opadowych,
- „obszarowa” - z radarów meteorologicznych.

Teza 1.

Zintegrowanie tych informacji zwiększy dokładność pomiaru i zmniejszy błąd prognozy odpływu, co umożliwi bardziej precyzyjne sterowanie zbiornikiem wodnym, uwzględniające możliwość nakładania się wezbrania z falą powstającą na dopływach poniżej zbiornika.

Drugi kierunek badań to sposób wykorzystania bardziej precyzyjnej – co do wielkości i miejsca - informacji o bieżącym opadzie. Można rozważyć następujące zagadnienia:

- Jak, dysponując prognozą i dokładniejszym pomiarem opadu, obniżyć kulminację fali powodziowej i ograniczyć szkody.
- Czy w warunkach ograniczonej sprawdzalności prognoz i dokładności pomiarów opadu można dostarczać w czasie rzeczywistym użyteczną informację wspomagając decyzje o sterowaniu zbiornikiem wodnym w celu:
 - redukcji przepływu kulminacyjnego poniżej zbiornika (przy uwzględnieniu tamtejszych dopływów, w perspektywie – także zrzutów z innych zbiorników),
 - bezpiecznego ale wolniejszego odtwarzania rezerwy powodziowej zwiększając przy tym ilość produkowanej energii elektrycznej (należy sprawdzić, czy wielkość istniejących elektrowni – przeliku, turbin itd. - pozwoli na zwiększenie produkcji),
 - czy zwiększenie rezerwy powodziowej (zmniejszając wysokość piętrzenia zmniejszamy produkcję energii elektrycznej) można zastąpić większym spustem prewencyjnym – czy jest to ekonomicznie uzasadnione (problem ten jest aktualny, bo po 2010 pojawiają się postulaty powiększenia rezerw powodziowych o ok. 20% [Grela]).

Teza 2:

Dokładniejszy pomiar opadu i wydajna czasowo symulacja przepływów zwiększy efektywność wykorzystania energii zgromadzonej w zbiornikach wody do czystej produkcji energii elektrycznej.

Co zatem należało zrobić?

Przede wszystkim - zebrać rzeczywiste dane, ocenić błąd prognozy i pomiaru opadu i przepływu, czasy wyprzedzenia prognozy, zbudować model i ocenić błąd i czas symulacji, zbudować algorytm podejmowania bezpiecznych decyzji, które będą minimalizować spust wody bez produkcji energii. Poniżej przedstawiamy prace, które zostały wykonane na bieżącym etapie.

2. Jakie prace były podjęte:

- **Analiza źródeł danych meteo:**
 - IMGW - Automatyczne posterunki opadowe wykonują pomiary co 10 lub 5 minut. Te dane nie są weryfikowane, zawierają błędy, luki w danych spowodowane awarią czujnika, warunkami atmosferycznymi i innymi błędami i nie są udostępniane na podstawie Rozporządzenia Ministra Środowiska z 2008 r. w sprawie standardowych procedur zbierania i przetwarzania informacji przez państwową służbę hydrologiczno-meteorologiczną. Reasumując, dla uczelni dostępne są jedynie sumy dobowe opadów.
 - Serwisy internetowe np. MeteoGroup – są ograniczenia wynikające z praw autorskich.
 - Prognozy i ostrzeżenia wydawane przez IMGW – charakterystyka w załączniku nr 1.
- **Zebranie danych z dorzecza Górnej Wisły (DGW) o prognozie opadu, opadzie (z 154 posterunków opadowych (PO) oraz stanach wody i przepływach w rzekach (z 149 posterunków wodowskazowych (PW) z okresu maj-sierpień 2014, w tym dla wezbrania**

majowego 2014, oraz okresu opadów burzowych w sierpniu. Wobec braku odpowiednich narzędzi oraz konieczności kopiowania danych w czasie rzeczywistym (niektóre dane były dostępne tylko 48 godzin) – konieczne było „ręczne” kopiowanie wybranych stron internetowych.

- Dla zmniejszenia pracochłonności akwizycji danych opracowano **program do automatycznego, ciągłego gromadzenia danych** meteorologicznych i hydrologicznych w postaci numerycznej i graficznej. Można szacować, że jest on gotowy w 80%.
- **Zebrano dane geograficzne** o przebieg granic 11 zlewni w dorzeczu Raby, współrzędnych PO, odległości między dopływami, PW, zbiornikami na Wiśle i jej dopływach, dane eksploatacyjne o zbiornikach wodnych w DGW.
- **Napisano program** (w MATLABie) **do obliczania obszarowej wysokości opadów** w zlewniach. Po analizie stosowanych metod (izohiet, wieloboków równego zadeszczenia, średniej arytmetycznej, odwrotnych odległości, funkcji wyrównującej, siatki geograficznej, regionów opadowych [Hydrologia str. 144], [Szczepanek str 6-10]) i opracowano oryginalny algorytm łączący cechy metody triangulacji i funkcji wyrównującej – zalety : dowolnie dokładne przybliżenie powierzchni, tylko jednorazowy duży nakład obliczeniowy, w efekcie – przeliczenie punktowego pomiaru opadu na wielkość (o stosunkowo dużej dokładności) opadu powierzchniowego sprowadza się do jednej operacji mnożenia macierzowego. Tabela współczynników macierzy i wykres odczytanych z mapy zlewni z naniesionymi posterunkami opadowymi i siecią triangulacyjną – w załączniku nr 2.
- **Zebrano dane o współczynnikach retencji powierzchniowej** w DGW. Współczynniki te będą użyte do późniejszego porównania z parametrami modelu opad-odpływ. Ich wartości dla obszaru dorzecza Górnej Wisły zamieszczono w załączniku nr 3.

3. Rezultaty – wyniki numeryczne

- **Obliczenie prognozy opadu i porównanie z pomiarem faktycznego opadu** w dniach 13-20 maja 2014 w posterunkach opadowych w DGW z podziałem na część nizinną i Beskidy. Wyniki liczbowe i szczegółowa analiza w tabeli w załączniku nr 4.
- **Oszacowanie rzędu wielkości błędu prognozy i pomiaru opadu** i porównanie z danymi z literatury (Aura 7/2014) prognoz – średni błąd (bezwzględny sięga 20mm – co pokrywa się z wynikami naszych obliczeń. Błąd ten jest dwa razy większy dla średniej z terenów górskich – szczególnie niebezpiecznych, prognoza była zaniżona, co powiększa niebezpieczeństwo. Różnica wielkości opadu na terenach nizinnych i górskich jest tego samego rzędu wielkości jak wynikająca z zależności opadu od wysokości npm terenu [Hydrologia] [Byczkowski].
- **Oszacowanie czasu wyprzedzenia prognoz i ostrzeżeń** - na podstawie przykładowej sytuacji w maju 2014 w DGW [Dź,Grela],[Dź,Pióreki],[Grela] oraz [Walczykiewicz] - czas wyprzedzenia o zjawiskach niebezpiecznych jest większy/dłuższy niż 6 godzin. Założenia teoretyczne są publikowane m.in. w [Zawiślak],[Ogrodnik]. Dane rzeczywiste - odczytane w maju 2014 – są zebrane w załączniku nr 1.
- **Wyznaczenie błędu bilansu przepływu.** Bilans objętości fali wezbraniowej obliczany dla okolic dwóch odcinków Wisły wskazuje, że odpływ jest mniejszy niż suma dopływów - w

przypadku okolic ujścia Raby o ok 12%, ujścia Dunajca o 20%, a ujścia Nidy 13%. Są to błędy, który należy skorygować przed kalibracją konstruowanego uproszczonego modelu bilansowego. W przypadku ujścia Wisłoki bilans przepływu jest zachowany z błędem poniżej 2%.

Szczegółowe dane i odpowiednie wykresy zamieszczono w załączniku nr 5.

- **Oszacowanie błędu prognozy stanu rzek** (wg modelu hydrodynamicznego) i zależność błędu prognozy stanu/przepływu od czasu (na podstawie wykresów dostępnych w literaturze [Niedbała]). Jest to zależność niemonotonicznie rosnąca, sięgająca po 3 dobach 10%. Nie udało się ocenić tego błędu na podstawie danych pomiarowych ponieważ IMGW nie udostępnia instytucjom naukowym ani bieżących ani archiwalnych danych o prognozach stanu rzek.
- **Zgrubne oszacowanie czasu symulacji stanów i przepływów** w dorzeczu Górnej Wisły (na podstawie oceny użytkowników MIKE i HEC-RAS i własnego szacowania):
 - systemu MIKE 11 – kilkanaście do kilkadziesiąt minut,
 - systemu HEC-RAS – tego samego rzędu,
 - proponowanego modelu uproszczonego – poniżej sekundy (dokładniejsza ocena możliwa po kompensacji błędu obliczeń przepływu)
- **Próba konstrukcji modelu typu ARX** nie dała pozytywnego wyniku. Klasyczne algorytmy nie uwzględniają ograniczania wynikającego z konieczności zachowania bilansu przepływu (mimo zakłócenia niemierzonym dopływem bocznym).
- **Alternatywny przebieg sterowania zbiornikiem w Dobczycach** w maju 2010 – szczegóły w załączniku nr 6.

4. Efekty (rezultaty dotychczasowe – podsumowanie)

- Ulepszony algorytm obliczania opadu powierzchniowego.
- Program akwizycji danych (w 70%).
- Programy analizy danych pomiarowych.
- Analiza dostępności danych.
- Oszacowanie dokładności danych i stosowanych metod i modeli.

5. Wnioski

- **Alternatywny model umożliwi szybszą symulację przy niewielkim wzroście błędu.** Duży błąd prognozy opadu (do 50%), pomiaru opadu (do 20%), modelu (10% i więcej) ogranicza dokładność prognozy przepływu. Możliwe jest skonstruowanie taniego, szybkiego (efektywnego czasowo) modelu przybliżonego (o niewiele gorszej dokładności) opartego na bilansie przepływu i uproszczonej funkcji transformacji kształtu fali wezbraniowej – konieczne dane do kalibracji i weryfikacji. Krótki czas obliczeń pozwoliłby na symulację w czasie rzeczywistym wielu wariantów rozwoju sytuacji hydrometeorologicznej. Krytyczne scenariusze podlegałyby weryfikacji z użyciem MIKE / HEC-RAS. Dokładna analiza wpływu błędów danych wejściowych (prognozy i pomiaru opadu) i błędów modelu na błąd wyniku wymagałaby zbadania wskaźników numerycznego uwarunkowania problemu, ale przy tym poziomie błędów nie jest niezbędna. Koszt budowy takiego modelu – tylko z danych historycznych – jest znikomy w porównaniu z modelem typu MIKE, HEC-RAS. Nie są konieczne dane np. o profilach koryta rzeki, przepustach, mostach, dane o rodzaju powierzchni zlewni itp.

- **Lepsza miara opadu w zlewni rzeki zmniejszy błąd bieżących danych o opadzie.**
Można polepszyć informację o wielkości opadu na danym obszarze. Gdy jest stosowana średnia z posterunków opadowych np. w dorzeczu Raby[Drożdzał, Grela], spośród tych leżących na granicy dorzecza zaliczane są do średniej: Bogdanówka, Obidowa, Turbacz, a inne – nie: Rozdziele, Półrzeczki. Wady tej nie ma proponowana metoda, a przy tym pozwala dowolnie dokładnie odwzorować kształt obszaru nie zwiększając kosztu obliczeniowego – metoda jest liniowa, o stałej, niewielkiej liczbie parametrów. Metodę aproksymacji opadu należy rozwinąć o wykorzystanie informacji (począdkowej z rdaru) o kształcie i dynamice obszaru opadu.
- **Konieczna korekta niektórych danych o przepływie.**
Dane operacyjne o przepływie w stanach wysokich w niektórych punktach wodowskazowych, dostarczane przez IMGW na stronie pogodynka.pl, wymagają korekty – błąd bilansu objętościowego sięga 20%.
- **Jest możliwość istotnego przyspieszenia informacji o dopływie do zbiornika – w stosunku do bezpośredniego pomiaru.**
Dysponując bieżącą informacją o opadzie można z kilkunastogodzinnym wyprzedzeniem rozpoczynać prewencyjne powiększanie rezerwy powodziowej. Także wielkość tego spustu można określić tak, aby z jednej strony zminimalizować ryzyko powodzi, a równocześnie nie doprowadzić do nadmiernego opróżnienia zbiornika.
W literaturze pojawiają się propozycje powiększenia rezerwy powodziowej [tabela w Grela Analiza...SP2-9_pol.pdf]
- **Dokładniejsza informacja o prognozie opadu i stanie rzeki w zlewni powyżej zbiornika może być podstawą spowolnienia odtwarzania rezerwy powodziowej po wezbraniu i wykorzystania nadmiaru spiętrzenia do produkcji energii elektrycznej.**
Aktualnie odtwarzanie rezerwy powodziowej jest realizowane poprzez spust energetyczny i spust denny – w tym ostatnim bez produkcji energii. Szczegóły w załączniku nr 6.

Wniosek ogólny

W skali jednego zbiornika:

Duże prawdopodobieństwo możliwości zmniejszenia strat powodziowych i zwiększenia efektywności wykorzystania zasobów wodnych do produkcji czystej energii elektrycznej – na razie duże prawdopodobieństwo, pewność - po otrzymaniu wyników ilościowych.

W skali dorzecza Górnej Wisły:

w perspektywie – dzięki wielokrotnemu przyspieszeniu czasu symulacji – możliwość analizy w czasie rzeczywistym wielu możliwych scenariuszy rozwoju sytuacji pogodowej i synchronizacji pracy wszystkich zbiorników.

6. Propozycje dalszych prac

- oszacowanie błędu modelu bilansowego po poprawieniu zależności przepływu od stanu,
- aproksymacja opadu na podstawie danych pomiarowych w punktach i informacji jakościowej o kształcie funkcji wielkości opadu od zmiennych przestrzennych i czasu.
- tworzenie bazy danych o opadach i przepływach, w tym - uruchomienie programu automatycznej, bieżącej akwizycji danych,
- zbudowanie uproszczonego modelu opad - odpływ na podstawie danych pomiarowych – potrzebna większa liczba pomiarów, ocena zmienności współczynnika odpływu powierzchniowego,

- program obliczania parametrów fali wezbraniowej,
- prosty model przepływu fali wezbraniowej, jego kalibracja i weryfikacja
 - błąd modelu bilansowego – wymaga indywidualnej korekty w PW
 - model odpływu (metodą fali dyfuzyjnej lub przynajmniej metodą fali kinematycznej [Niedbała], [Applicability..]),
- symulacja proponowanego algorytmu dla sterowania zbiornikiem w Dobczycach wg danych z maja 2014. (na podstawie Grela Analiza..., Aura, Gosp.wodna),
- oszacowanie wielkości strat produkcji energii przy zwiększeniu rezerwy powodziowej oraz zysków w przypadku wydłużenia czasu odtwarzania tej rezerwy po wezbraniu,
- zebranie danych geograficznych o pozostałych zlewniach głównych dopływów Wisły, na których są zbiorniki retencyjne (Soły, Skawy, ew. Dunajca i Wisłoki)
- dokładniejsze porównanie czasów symulacji MIKE HEC-RAS, proponowany
- porównanie opadu w zlewni na podstawie pomiarów deszczomierzem, radarem, objętości fali wezbraniowej,
- zebranie informacji o rzeczywistych możliwościach zmiany sposobu sterowania odpływem ze zbiorników, o stosowanych w praktyce priorytetach i ograniczeniach.

Literatura (prowizorycznie)

Analiza zagrożenia powodziowego w zlewni Wisłoki zał. nr 2 Konstruowanie fal hipotetycznych RZGW w Krakowie 2012

Bajkiewicz-Grabowska E., Mikulski Z.: Hydrologia ogólna PWN 2013

Byczkowski A.: Hydrologia Wyd. SGGW W-wa 1999

Chmielowski W. Ochrona przed powodzią cz. II PK 2010

<http://chmielowski.eu/POLITECHNIKA/Dydaktyka/GOSPODARKA/GWdIS/W16.pdf>

G. Dubois: Spatial Interpolation Comparison 97. (Porównanie metod aproksymacji opadu powierzchniowego:)

http://www.ai-geostats.org/pub/AI_GEOSTATS/AI_GEOSTATSData/SIC97_description_01.pdf

Drożdżal E., Grela J.: Rola zbiornika Dobczyce w trakcie powodzi na dolnej Rabie w maju 2010. Gospodarka wodna Sigma-NOT 8/2010 323-327.

Drożdżal E., Kępski K., Piórecki M.: Czy zbiornik Dobczyce spowodował powódź na dolnej Rabie w maju 2010 roku? Aura 7/2010

http://oki.krakow.rzgw.gov.pl/Content/KimJestesmy/publikacje/PDF/dobczyce_aura_2010.pdf

Fread D.L., Hsu K.S.: Applicability of two simplified flood routing methods: level-pool and Muskingum-Cunge. ASCE National Hydraulic Engineering Conference San Francisco 1993

W.Gądek: Konstruowanie wezbrań hipotetycznych metodą PW i metodą PK w zlewniach kontrolowanych Wyd.PK 2012

Grela J.: Analiza sposobu eksploatacji wybranych zbiorników retencyjnych regionu górnej Wisły w czasie wezbrań powodziowych roku 2010 https://www.google.pl/search?q=dobczyce+wezbranie+powodz&ie=utf-8&oe=utf-8&aq=t&rls=org.mozilla:pl:official&client=firefox-a&channel=sb&gfe_rd=cr&ei=Fu8SVMSYKMiY-Ab9v4C4Cg

https://www.google.pl/search?q=dobczyce+wezbranie+powodz&ie=utf-8&oe=utf-8&aq=t&rls=org.mozilla:pl:official&client=firefox-a&channel=sb&gfe_rd=cr&ei=Fu8SVMSYKMiY-Ab9v4C4Cg

https://www.google.pl/search?q=dobczyce+wezbranie+powodz&ie=utf-8&oe=utf-8&aq=t&rls=org.mozilla:pl:official&client=firefox-a&channel=sb&gfe_rd=cr&ei=Fu8SVMSYKMiY-Ab9v4C4Cg

https://www.google.pl/search?q=dobczyce+wezbranie+powodz&ie=utf-8&oe=utf-8&aq=t&rls=org.mozilla:pl:official&client=firefox-a&channel=sb&gfe_rd=cr&ei=Fu8SVMSYKMiY-Ab9v4C4Cg

https://www.google.pl/search?q=dobczyce+wezbranie+powodz&ie=utf-8&oe=utf-8&aq=t&rls=org.mozilla:pl:official&client=firefox-a&channel=sb&gfe_rd=cr&ei=Fu8SVMSYKMiY-Ab9v4C4Cg

https://www.google.pl/search?q=dobczyce+wezbranie+powodz&ie=utf-8&oe=utf-8&aq=t&rls=org.mozilla:pl:official&client=firefox-a&channel=sb&gfe_rd=cr&ei=Fu8SVMSYKMiY-Ab9v4C4Cg

https://www.google.pl/search?q=dobczyce+wezbranie+powodz&ie=utf-8&oe=utf-8&aq=t&rls=org.mozilla:pl:official&client=firefox-a&channel=sb&gfe_rd=cr&ei=Fu8SVMSYKMiY-Ab9v4C4Cg

https://www.google.pl/search?q=dobczyce+wezbranie+powodz&ie=utf-8&oe=utf-8&aq=t&rls=org.mozilla:pl:official&client=firefox-a&channel=sb&gfe_rd=cr&ei=Fu8SVMSYKMiY-Ab9v4C4Cg

https://www.google.pl/search?q=dobczyce+wezbranie+powodz&ie=utf-8&oe=utf-8&aq=t&rls=org.mozilla:pl:official&client=firefox-a&channel=sb&gfe_rd=cr&ei=Fu8SVMSYKMiY-Ab9v4C4Cg

https://www.google.pl/search?q=dobczyce+wezbranie+powodz&ie=utf-8&oe=utf-8&aq=t&rls=org.mozilla:pl:official&client=firefox-a&channel=sb&gfe_rd=cr&ei=Fu8SVMSYKMiY-Ab9v4C4Cg

https://www.google.pl/search?q=dobczyce+wezbranie+powodz&ie=utf-8&oe=utf-8&aq=t&rls=org.mozilla:pl:official&client=firefox-a&channel=sb&gfe_rd=cr&ei=Fu8SVMSYKMiY-Ab9v4C4Cg

https://www.google.pl/search?q=dobczyce+wezbranie+powodz&ie=utf-8&oe=utf-8&aq=t&rls=org.mozilla:pl:official&client=firefox-a&channel=sb&gfe_rd=cr&ei=Fu8SVMSYKMiY-Ab9v4C4Cg

https://www.google.pl/search?q=dobczyce+wezbranie+powodz&ie=utf-8&oe=utf-8&aq=t&rls=org.mozilla:pl:official&client=firefox-a&channel=sb&gfe_rd=cr&ei=Fu8SVMSYKMiY-Ab9v4C4Cg

https://www.google.pl/search?q=dobczyce+wezbranie+powodz&ie=utf-8&oe=utf-8&aq=t&rls=org.mozilla:pl:official&client=firefox-a&channel=sb&gfe_rd=cr&ei=Fu8SVMSYKMiY-Ab9v4C4Cg

https://www.google.pl/search?q=dobczyce+wezbranie+powodz&ie=utf-8&oe=utf-8&aq=t&rls=org.mozilla:pl:official&client=firefox-a&channel=sb&gfe_rd=cr&ei=Fu8SVMSYKMiY-Ab9v4C4Cg

https://www.google.pl/search?q=dobczyce+wezbranie+powodz&ie=utf-8&oe=utf-8&aq=t&rls=org.mozilla:pl:official&client=firefox-a&channel=sb&gfe_rd=cr&ei=Fu8SVMSYKMiY-Ab9v4C4Cg

https://www.google.pl/search?q=dobczyce+wezbranie+powodz&ie=utf-8&oe=utf-8&aq=t&rls=org.mozilla:pl:official&client=firefox-a&channel=sb&gfe_rd=cr&ei=Fu8SVMSYKMiY-Ab9v4C4Cg

https://www.google.pl/search?q=dobczyce+wezbranie+powodz&ie=utf-8&oe=utf-8&aq=t&rls=org.mozilla:pl:official&client=firefox-a&channel=sb&gfe_rd=cr&ei=Fu8SVMSYKMiY-Ab9v4C4Cg

https://www.google.pl/search?q=dobczyce+wezbranie+powodz&ie=utf-8&oe=utf-8&aq=t&rls=org.mozilla:pl:official&client=firefox-a&channel=sb&gfe_rd=cr&ei=Fu8SVMSYKMiY-Ab9v4C4Cg

https://www.google.pl/search?q=dobczyce+wezbranie+powodz&ie=utf-8&oe=utf-8&aq=t&rls=org.mozilla:pl:official&client=firefox-a&channel=sb&gfe_rd=cr&ei=Fu8SVMSYKMiY-Ab9v4C4Cg

https://www.google.pl/search?q=dobczyce+wezbranie+powodz&ie=utf-8&oe=utf-8&aq=t&rls=org.mozilla:pl:official&client=firefox-a&channel=sb&gfe_rd=cr&ei=Fu8SVMSYKMiY-Ab9v4C4Cg

https://www.google.pl/search?q=dobczyce+wezbranie+powodz&ie=utf-8&oe=utf-8&aq=t&rls=org.mozilla:pl:official&client=firefox-a&channel=sb&gfe_rd=cr&ei=Fu8SVMSYKMiY-Ab9v4C4Cg

https://www.google.pl/search?q=dobczyce+wezbranie+powodz&ie=utf-8&oe=utf-8&aq=t&rls=org.mozilla:pl:official&client=firefox-a&channel=sb&gfe_rd=cr&ei=Fu8SVMSYKMiY-Ab9v4C4Cg

https://www.google.pl/search?q=dobczyce+wezbranie+powodz&ie=utf-8&oe=utf-8&aq=t&rls=org.mozilla:pl:official&client=firefox-a&channel=sb&gfe_rd=cr&ei=Fu8SVMSYKMiY-Ab9v4C4Cg

https://www.google.pl/search?q=dobczyce+wezbranie+powodz&ie=utf-8&oe=utf-8&aq=t&rls=org.mozilla:pl:official&client=firefox-a&channel=sb&gfe_rd=cr&ei=Fu8SVMSYKMiY-Ab9v4C4Cg

https://www.google.pl/search?q=dobczyce+wezbranie+powodz&ie=utf-8&oe=utf-8&aq=t&rls=org.mozilla:pl:official&client=firefox-a&channel=sb&gfe_rd=cr&ei=Fu8SVMSYKMiY-Ab9v4C4Cg

Historia powodzi w Krakowie (do 1999) http://oki.krakow.rzgw.gov.pl/Content%5CEdukacja%5Cpdf_ogr_skutkow%5CLPSOPiP_miasto_Krakow%5C2.Specyfika_lokalna_i_historia_powodzi%5C2.2._Historia_powodzi_w_Krakowie.pdf

Kokoszka R., Zawisza E.: Założenia gospodarki wodnej zbiornika Świnna Poręba w aspekcie jego głównych funkcji. Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich 5/2008 str. 139-147

Niedbała J.: Ekstremalne zjawiska w hydrologii IMGW 2013

Ogrodnik M.: Prognozy meteorologiczne IMG-PIB 2013

M.Paszkiwicz: Metodyka gospodarowania zasobami wód podziemnych z uwzględnieniem ich jakości na przykładzie zlewni Raby – praca doktorska AGH 2009

L.Starkel: Złożoność czasowa i przestrzenna opadów ekstremalnych – efekty geomorfologiczne i drogi przeciwdziałania im. Landform Analysis, vol.15;65-80 2011

R.Szczepanek: Czasoprzestrzenna struktura opadu atmosferycznego zlewni górskiej. Praca doktorska PK 2003

Walczykiewicz T.: Monografia powodzi – Wisła maj-czerwiec 2010, W-wa 2011
http://shp.org.pl/Seminaria/20_04_2011/Wisla_10.pdf

Wisła i wiśliska w Małopolsce – mapa przyrodniczo – krajoznawcza Wyd. Compass 2013

Wojciechowski W.: Raport po powodzi z maja i czerwca 2010r. Urząd Miasta Krakowa
<http://www.google.pl/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=9&ved=0CEcQFjAI&url=http%3A%2F%2Fwww.bip.krakow.pl%2Fplik.php%3Fzid%3D76413%26wer%3D0%26new%3Dt%26mode%3Dshw&ei=sr4WVLzcNletPJflgPgD&usg=AFQjCNGW5IDp4FBSmkqwHTrlWp-FRWm01A&bvm=bv.75097201,d.ZWU>

Zawiślak T.: Prognozy meteorologiczne na potrzeby osłony hydrologicznej IMGW 2013

RZGW. Wyjaśnienia do zamieszczonego na stronie internetowej Radia ZET artykułu pt. „Zaniedbania w czasie powodzi” http://www.krakow.rzgw.gov.pl/download/ZW_Dobczyce.pdf

Załącznik nr 1. Charakterystyka prognoz i ostrzeżeń

1. Rodzaje prognoz i ostrzeżeń [Zawiślak]
 - I. Informacja **wstępna** – wyprzedzenie czasowe **do 7 dni**
 - II. Informacja **orientacyjna** – wyprzedzenie czasowe **do 72 godzin**
 - III. Informacja **ostrzegawcza** – wyprzedzenie czasowe **36 do 6 godzin**
 - IV. Informacja **potwierdzająca** – stan **obserwowany**, prognoza do 3 godzinOstrzeżenia – 30 – 6 h przed wystąpieniem zjawiska (z podanym prawdopodobieństwem wystąpienia)
2. **Prognoza niebezpiecznych zjawisk meteorologicznych** jest informacją orientacyjną. [Ogrodnik]

Wydawana na I (następną), II i III dobę.
Wydawanie depeszy OSTRZEŻENIE unieważnia i anuluje wszystkie informacje dotyczące tego samego okresu zawarte w prognozie.
3. **UWARUNKOWANIA NIEPEWNOŚCI PROGNOZY OPADÓW** [Zawiślak]

Opady rozlewne: (mała niepewność, dobra prognoza)

 - rozbudowany system chmur warstwowych
 - opad długotrwały, jednostajny
 - duży zasięg

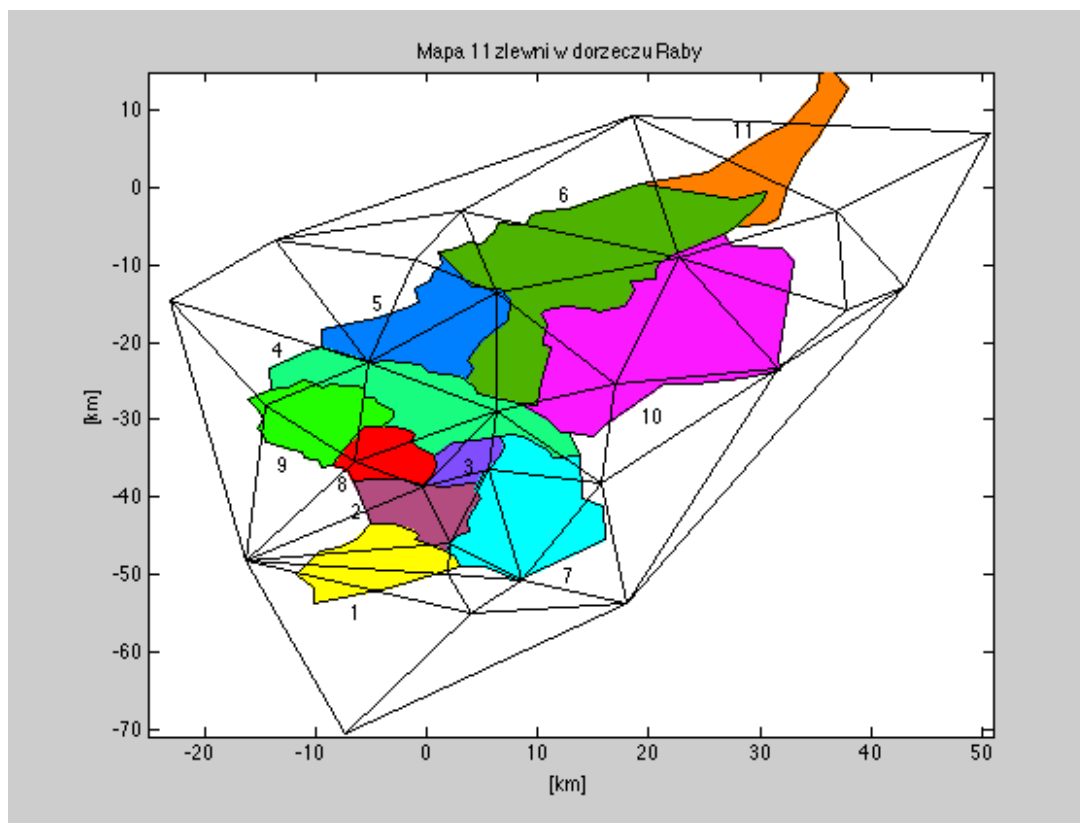
Opady mieszane (Niepewność zależna od dynamiki zjawisk konwekcyjnych największy problem to rozkład przestrzenny opadów)

 - w chmury warstwowe wbudowane chmury konwekcyjne,
 - zmienne natężenie, lokalnie silne wzrosty natężenia opadów,
 - trudna prognoza zjawisk konwekcyjnych.

W praktyce (maj 2014): Pierwsze ostrzeżenie meteorologiczne z najwyższym 3 stopniem zagrożenia zostało wydane 14 maja 2010 r. o godz. 11:34. Czas wyprzedzenia wynosił około 30 godzin.

Procesy zachodzące w atmosferze od 31 maja do 4 czerwca były znacznie trudniejsze do zaprognozowania, dlatego pierwsze ostrzeżenie o opadach wydano z 16 godzinnym wyprzedzeniem. [Walczykiewicz]

Załącznik nr 2. Dane geograficzne i obliczeniowe dla dorzecza Raby



Rys. 11 zlewni kontrolowanych w dorzeczu Raby i posterunki opadowe

Na osiach – odległości w km. Początek układu współrzędnych w punkcie 50°N 20°E.

Różnymi kolorami zaznaczone są zlewnie:

1. Raby do PW Rabka2,
2. Raby od PW Rabka2 do PW Mszana Dolna,
3. Raby od PW Mszana Dolna do PW Kasinka Mała, bez dorzecza Mszanki,
4. Raby od PW Kasinka Mała do PW Stróża, bez dorzecza Lubieńki i Krzczonówki,
5. Raby od PW Stróża do PW Dobczyce,
6. Raby od PW Dobczyce do PW Proszówki,
7. dorzecze Mszanki,
8. dorzecze Lubieńki,
9. dorzecze Krzczonówki,
10. dorzecze Stradomki,
11. Raby od PW Proszówki do ujścia.

Kontury zlewni były prowizorycznie, „ręcznie” odczytane z mapy za pomocą aplikacji Google Earth – można to zrobić praktycznie dowolnie dokładnie. Błąd obliczonych powierzchni zlewni nie przekracza 3 km² (rzędu 1%).

Wierzchołki trójkątów odpowiadają przybliżonemu położeniu posterunków opadowych.

Triangulacja została wykonana wg algorytmu Delaunay'a.

Tabela współczynników transformacji opadu w posterunkach opadowych na opad powierzchniowy w zlewniach:

PO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Igołomia	0	0	0	0	0	20.72	0	0	0	0.05	30.46	111.22
2. Siercza	0	0	0	0	0.21	43.76	0	0	0	0	0	53.29
3. Siepraw	0	0	0	0	16.24	3.	0	0	0	0	0	40.91
4. Dobczyce	0	0	0	1.88	45.97	87.33	0	0	0	20.61	0	3.93
5. Stróża	0	0	0	49.37	54.66	1.24	0	2.17	17.81	0	0	63.43
6. Bogdanówka	0	0	0	9.29	0	0	0	0.31	36.23	0	0	62.59
7. Krzeczów	0	3.50	0.31	15.58	0	0	0	28.34	27.51	0	0	30.13
8. Spytkowice Górne	31.69	5.50	0	0	0	0	0	0.39	1.76	0	0	155.18
9. Obidowa	19.34	0.14	0	0	0	0	3.82	0	0	0	0	7.34
10. Turbacz	0.06	0.18	0	0	0	0	49.40	0	0	0	0	14.48
11. Jasionów	20.67	22.20	0.32	0	0	0	14.57	0	0	0	0	3.61
12. Luboń Wielki	3.10	30.61	10.46	2.70	0	0	0	10.15	0	0	0	13.55
13. Mszana Dolna	0	6.64	11.20	1.88	0	0	44.56	0	0	0	0	0.26
14. Węglówka	0	0	7.06	63.59	10.03	27.65	7.01	6.01	0.65	15.20	0	1.95
15. Pólrzeczki	0	0	0.10	6.50	0	0	45.20	0	0	7.49	0	53.10
16. Ochotnica Górna	0	0	0	0	0	0	3.77	0	0	0	0	19.58
17. Jodłownik	0	0	0	2.27	0.17	16.02	0.05	0	0	116.93	0	24.24
18. Stradomka	0	0	0	0	0	108.51	0	0	0	103.25	8.54	49.39
19. Łazy	0	0	0	0	0	8.43	0	0	0	6.46	29.90	93.11
20. Borzęcin	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.43	52.11
21. Gnojnik	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22. Lipnica Murowana	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26.68	0	30.40
23. Rozdziele	0	0	0	0	0	0	0	0	0	57.14	0	37.81
24. Ratulów	0.73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64.98
25. Kowaniec	8.66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	71.21
26. Kalwaria Zebrz.	0	0	0	3.18	0.92	0	0	0	0.38	0	0	92.18
27. Radziszów	0	0	0	0	2.39	0	0	0	0	0	0	63.68

Numery kolumn odpowiadają ww. zlewniom (12 – obszar poza dorzeczem Raby).

Tabela danych geograficznych dla dorzecza Raby

km	km ²	(różnica pow. zlewni)		
114		D Poniczanka 33.1 km ²		
113.1	92.8	PW Rabka2 (92.8)		
102.1	158.1	PW Mszana D. (65.3)		
101		D Mszanka 3.1km MD 166.3 km ²		
95.8	353.1	PW Kasinka Mała (28.7)		
~95		D Kasinczanka/Kasinka 49.6 km ²		
		D Lubieńka 0.4km Lubień 46.9 km ²		
		D Krzczonówka 2.0 Krzczonów 87.9 km ²		
		D Trzebuńka 32.8 km ²		
80.6	644.1	PW Stróża (156.2)		
		D Bysinka 13.4 km ²		
61.9	768.4	PW Dobczyce (124.3)		
		D Krzyworzeka 77 km ²		
		D Stradomka 2.6km Stradomka 361.8 km ²		
		--- Tarnawa 97 km ²		
		--- Potok Sanecki 60.5 km ²		
		--- Polanka 63.1 km ²		
24.6		Ujęcie wody dla Bochni 2mln m ³ /rok		
21.5	1430.5	PW Proszówki(300.3)		

Spadek Raby wzdłuż jej biegu:

Pierwsze 10 km – 4.44%

Pierwsze 60 km – 0.85% (do ujścia Bysinki)

Następne 34 km – 0.23% (od Bysinki do Stradomki)

Ostatnie 43 km – 0.06% (od Stradomki do ujścia)

Załącznik nr 3. Dane dla dorzecza Górnej Wisły

Dane o Górnej Wiśle zebrane z internetu i mapy Wisła i Wiślicka w Małopolsce

km	Pow. zlewni [km ²]	D – dopływ, odl. do PW, pow. zlewni
98.0	11.27	PW Wisła Czarne(Cz. Wiselka)
		D Biała W. (14.9)
96.4	30.27	PW Wisła Czarne
94.0	54.0	PW Wisła
86.5	108.2	PW Ustroń Obłaziec
71.1	296.7	PW Skoczów
59.9	396.3	PW Drogomyśl
41.9		PW Zabrzeg
37.8	738.1	Z Goczałkowice
23.7	970.5	PW Jawiszowice
		D Pszczynka 17.6 km Pszczyna 189.4 km ²
3.6	1747.7	PW Nowy Bieruń
0		D Przemsza 12.8 km Jeleń 1995.9 km ²
0.5	3912	PW Pustynia
2		D Soła 3.0 Oświęcim 1386 km ²
16.3	5527.3	PW Las
23.0		D Skawa 4.8 km Zator 1154.0 km ²
23.3	6796	PW Smolice
45.3	7056	PW Czernichów Prom
60.5		D Skawinka 9.6 km Radziszów 317 km ²
69.2	7634	PW Kraków Bielany
		D Rudawa 10.0 Balice 290, Wilga, Prądnik 21.6 Ojców 67.5, Dłubnia
130.5	8999	PW Sierosławice
133.55		D Drwinka 27.4 km długości
134.65		D Raba 21.2 km Proszówki 1430 km ² (ujęcie 24.6 km)
138.0	10704	PW Popędzyna
144.0		D Szreniawa 8.8 km Biskupice 682 km ²
150.7		D Uszwica 16.3 km Borzęcin 265 km ²
153.0		D Nidzica – (708 km ²)
160.6		D Dunajec 17.4 km Żabno 6735.0 km ²
166.0	19857	PW Karsy
175.4		D Nida 56.8 km Pińczów 3352 km ²
194.1	23901	PW Szczucin
209.5		D Breń 7.5 km Wampierzów 660.9 km ²
222,0		D Czarna 4.5 km Połaniec 1354 km ²
226.9		D Wiśłoka 22.0km Mielec 3893.0 km ²
240.8	30718	PW Koło
267.3		D Koprzywnianka 14.7 km Koprzywnica 498km ² (707.4 km ²)
268.4	31846.5	PW Sandomierz
274.0		D Łęg
279.7		D San
287.46		PW Zawichost (? dane dla promu)

Retencja powierzchniowa dla obszaru dorzecza Górnej Wisły – dane porównawcze dla modelu opad - odpływ

- Błąd identyfikacji wskaźnika infiltracji efektywnej 5-30% śr. 20% [Hydrologia str. 149].
- Prędkość filtracji (str 150) obliczana wg liniowego prawa filtracji.
- Odpływ powierzchniowy duży gdy przesuszenie gruntu – trwa kilka-kilkadziesiąt minut (str. 161).
- Współczynnik odpływu powierzchniowego 10-85% str. 163.
- Udział odpływu podziemnego 40-50% w rzekach karpackich - str. 164.
- Retencja powierzchniowa, straty opadów na zwilżanie i intercepcję - str 164.

Postęp fali na Wiśle i Dunajcu

(wg RZGW)	1934	2010
Nowy Sącz – Melsztyn	10.1	6.3 km/h
Melsztyn – Zgłobice	4.4	3.2 km/h
Biała – ujście do Wisły	2.8	3.2 km/h

maj 2010: (postęp kulminacji): (wg własnych obliczeń)
Szczucin – Zawichost – 17h, ~ 5.5 km/h

maj(?) 2014: (wg własnych obliczeń)
Popędzynka – Karsy 6h 20min ~ 4.5 km/h
Żabno – Karsy 5h 30min

Załącznik nr 4. Prognoza opadu i opad zmierzony w dorzeczu Raby – maj 2014.

Poniżej są zestawienia średnich prognoz opadu i pomiaru rzeczywistego opadu z 14 posterunków opadowych (PO) w części nizinnej dorzecza Górnej Wisły (DGW):

Wadowice
Bielsko-Biała
Kraków
Tarnów
Mielec
Kolbuszowa
Pszczyna
Katowice
Łąży (woj. śląskie)
Miechów
Jędrzejów
Kielce
Staszów
Sandomierz

oraz 18 PO w części górskiej

Limanowa
Maków Podh.
Mszana Dln.
Nowy Targ / Kowaniec
Rabka / Jasionów
Zawoja
Wisła
Ustroń
Zakopane
Białka T.
Nowy Sącz
Krynica
Tylicz
Gorlice
Jasło
Bukowina T.
Korbielów
Szczawnica / Krościenko

Dane o zmierzonym opadzie pochodzą z serwisu internetowego pogodynka.pl prowadzonego przez IMGW. Dane o prognozie zaczerpnięto z portalu onet.pl (MeteoGroup).

Zestawienie błędów prognoz z różnym wyprzedzeniem, na ten sam dzień:

Prognoza i opad zmierzony 14.05 2014

	Prognoza z 12.05	Prognoza z 13.05	Prognoza z 14.05	Opad zmierzony
Część nizinna	6.1	8.1	6.2	12.3
Beskidy	11.6	13.8	12.8	32.9
DGW	9.2	11.3	9.9	23.9

Prognoza i opad zmierzony 15.05 2014

	Prognoza z 12.05	Prognoza z 13.05	Prognoza z 14.05	Opad zmierzony
Część nizinna	28.7	43.3	30.9	30.7
Beskidy	48.9	61.4	52.6	87.2
DGW	40.0	53.5	43.2	62.5

Prognoza i opad zmierzony 16.05 2014

	Prognoza z 12.05	Prognoza z 13.05	Prognoza z 14.05	Opad zmierzony
Część nizinna	20.2	18.3	21.2	14.4
Beskidy	24.9	19.7	25.6	16.8
DGW	22.8	19.2	23.7	15.8

Prognoza i opad zmierzony 17.05 2014

	Prognoza z 12.05	Prognoza z 13.05	Prognoza z 14.05	Opad zmierzony
Część nizinna	9.3	5.9	10.0	13.2
Beskidy	10.1	5.9	10.0	3.7
DGW	9.7	5.9	10.0	7.8

Zestawienie prognoz z tym samym wyprzedzeniem na dany dzień

Prognoza i opad zmierzony 15.05 2014

	Prognoza z 12.05	Prognoza z 13.05	Prognoza z 14.05	Opad zmierzony
Część nizinna	28.7	43.3	30.9	30.7
Beskidy	48.9	61.4	52.6	87.2
DGW	40.0	53.5	43.2	62.5

Prognoza i opad zmierzony 16.05 2014

	Prognoza z 13.05	Prognoza z 14.05	Prognoza z 15.05	Opad zmierzony
Część nizinna	18.3	21.2	14.4	14.4
Beskidy	19.7	25.6	16.5	16.8
DGW	19.2	23.7	15.6	15.8

Prognoza i opad zmierzony 17.05 2014

	Prognoza z 14.05	Prognoza z 15.05	Prognoza z 16.05	Opad zmierzony
Część nizinna	10.0	12.6	8.2	13.2
Beskidy	10.0	16.4	9.8	3.7
DGW	10.0	14.7	9.1	7.8

Analiza

Błąd wzrasta z wielkością opadu – bardziej w terenach górskich.

Widoczna jest zależność wielkości średniej opadu od wysokości (jak wskazuje na to literatura, np. [Hydrologia str. 137], [Byczkowski] - chociaż jest tam mowa o średnich co najmniej miesięcznych) Dla pojedynczych posterunków zależność ta nie jest „pewna” - PO na Turbaczu i na Markowych Szczawinach wskazały minimalny opad.

Istotne jest to, że **prognoza nie rozróżnia terenów nizinnych i górskich** – podawana wielkość prognozowanego opadu jest „uśredniona”. Należałoby sprawdzić, czy jest to reguła – jeżeli tak, to należy prognozę korygować.

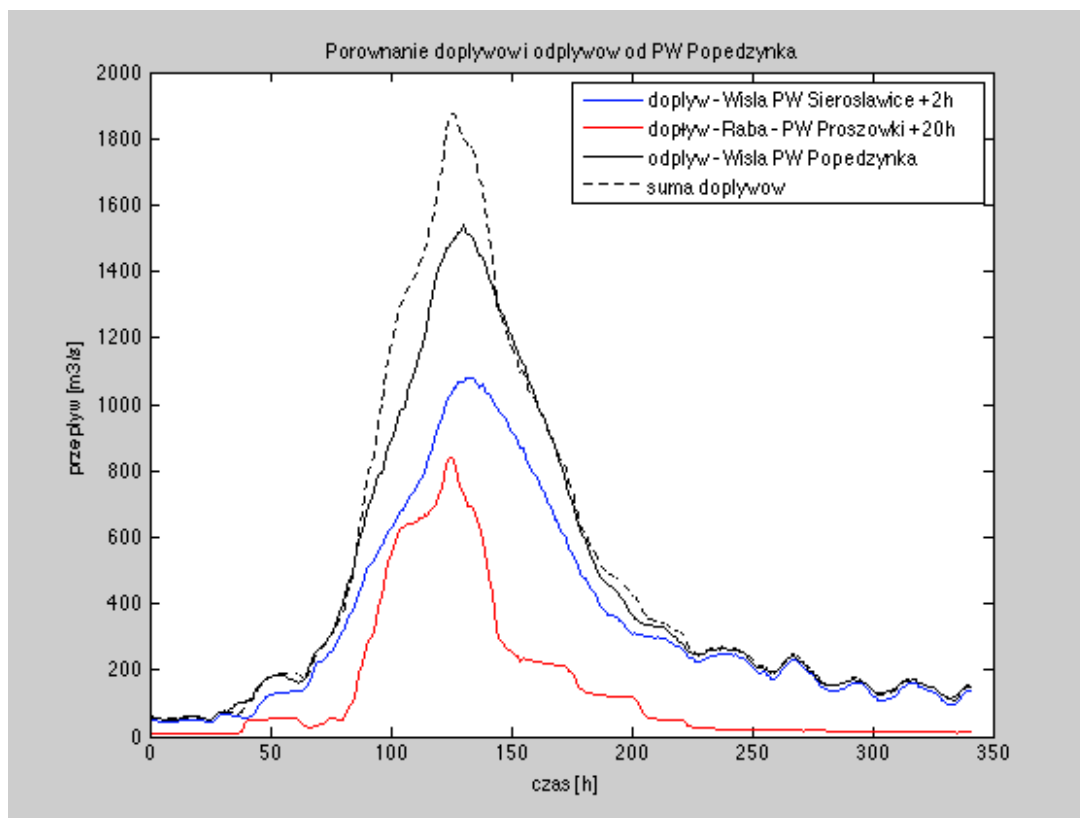
Błąd prognozy maleje (ale nie monotonicznie) ze skracaniem czasu wyprzedzenia prognozy.

Błąd najważniejszych prognoz (największych opadów) w terenach górskich (najbardziej niebezpiecznych) sięga 80% (40 mm w terenach górskich) prognoza była zaniżona – (dotyczy wartości średniej, a nie maksymalnej). Dla całego DGW – błąd mniejszy – do 50%. (do 20mm, co pokrywa się z szacowaniem w literaturze - błąd pomiaru deszczomierzem może sięgać 20% [Hydrologia str. 140].

Załącznik nr 5. Błąd bilansu objętości fali wezbraniowej/wyznaczania przepływu

Analizowano przepływy w 4 kolejnych odcinkach Wisły i jej głównych dopływach. Wykorzystano przepływy obliczone i podawane przez IMGW na stronach pogodynka.pl. Dane obejmują okres od 12 maja, godz. 7.00 do 26 maja, godz. 21.00 2014 roku.

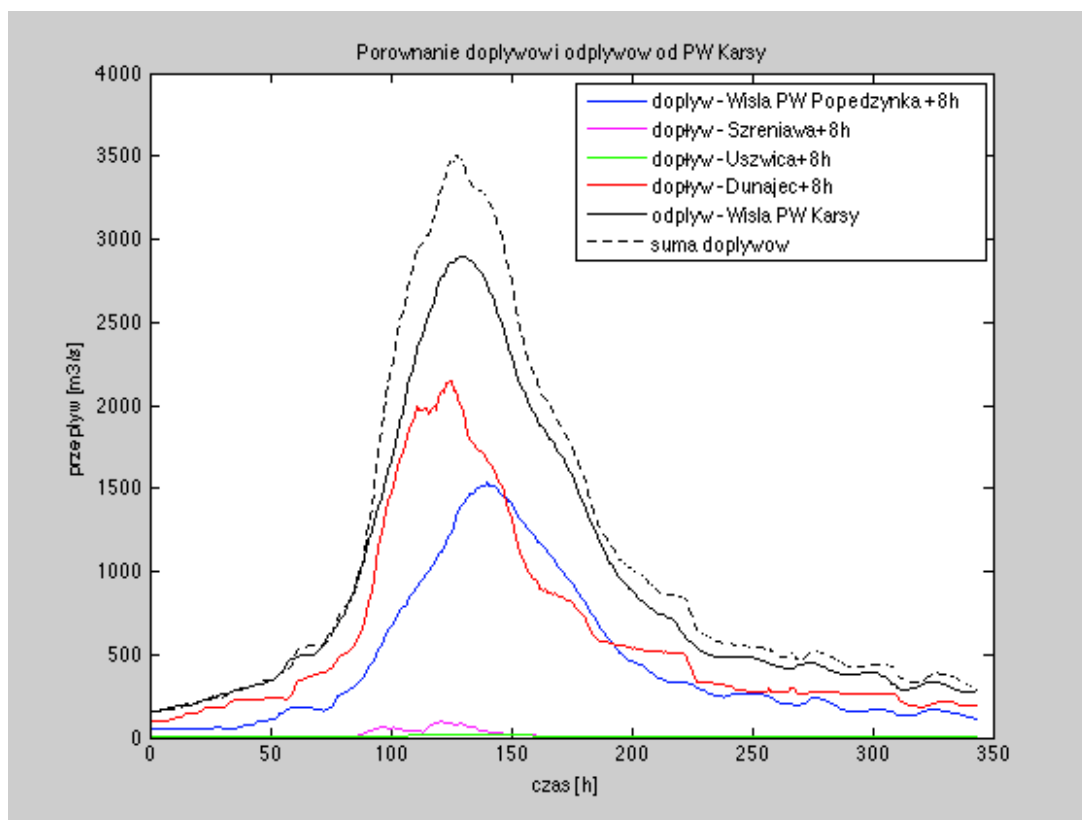
1. Odcinek Sierosławice – Popędzyna (z dopływem – Raby, pomiar w Proszówkach):



Suma objętości fal dopływających do odcinka (w Sierosławicach i Proszówkach) 615 mln m³.
Objętość fali wypływającej z odcinka (w Popędzynie) 562 mln m³.
Przewaga dopływu nad odpływem 53 mln m³.

Na tym odcinku dopływa nizinna rzeczka Drwinka. Czy jest możliwa tak duża „cofka” jej korytem? Cofnięta woda powinna spłynąć po kulminacji, co byłoby uwzględnione w bilansie. W bilansie nie uwzględniono ujęcia wody dla Bochni (pobór rzędu 2 mln m³/rok), ponieważ jest ono powyżej punktu wodowskazowego w Proszówkach.

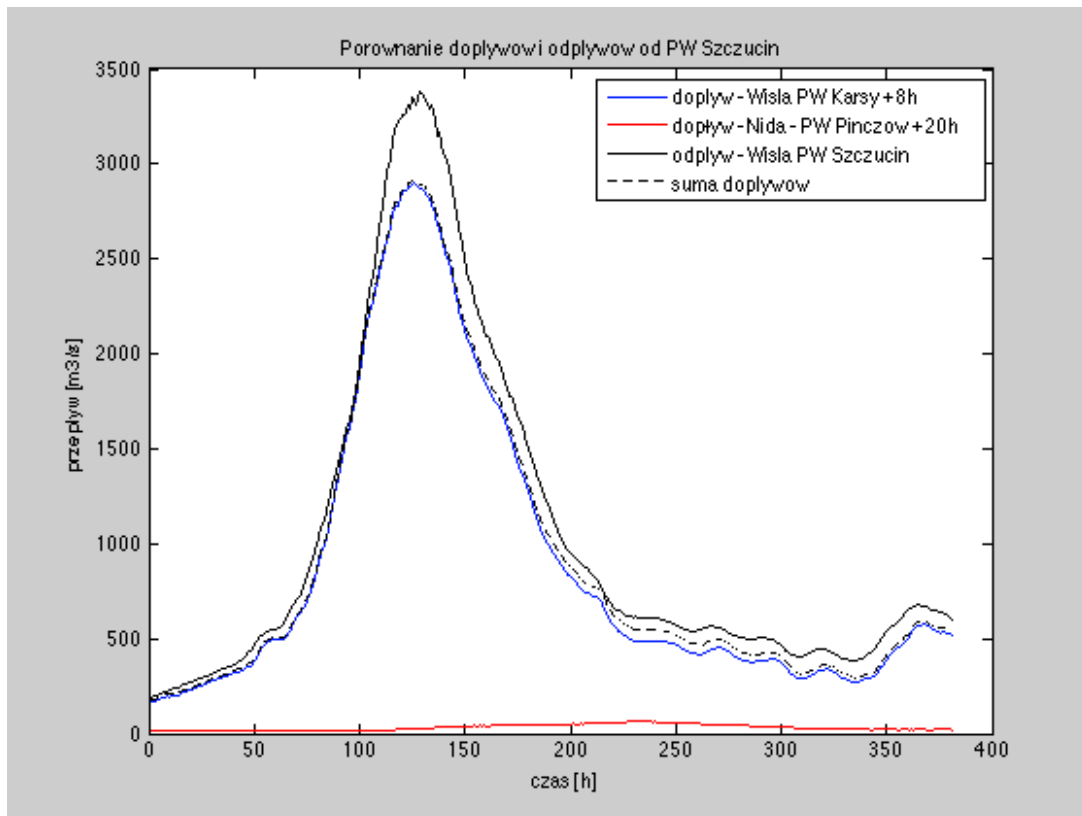
2. Odcinek Popędzynka – Karsy (z dopływem – Szreniawy, pomiar w Biskupicach, Uzwicy, pomiar w Borzęcinie, Nidzicy, bez pomiaru, Dunajca, pomiar w Żabnie):



Suma objętości fal dopływających do odcinka (w Popędzynie, Biskupicach, Borzęcinie i Żabnie)	1.34 mld m ³ .
Objętość fali wypływającej z odcinka (w Karsach)	1.16 mld m ³ .
Przewaga dopływu nad odpływem	0.18 mld m ³ .

Nispełnienie bilansu jest jeszcze powiększane niemierzonym przepływem Nidzicy (o powierzchni dorzecza 708 km² porównywalnej z Szreniawą - 682 km² – patrz tabela w załączniku nr3) dopływającej w tym odcinku.

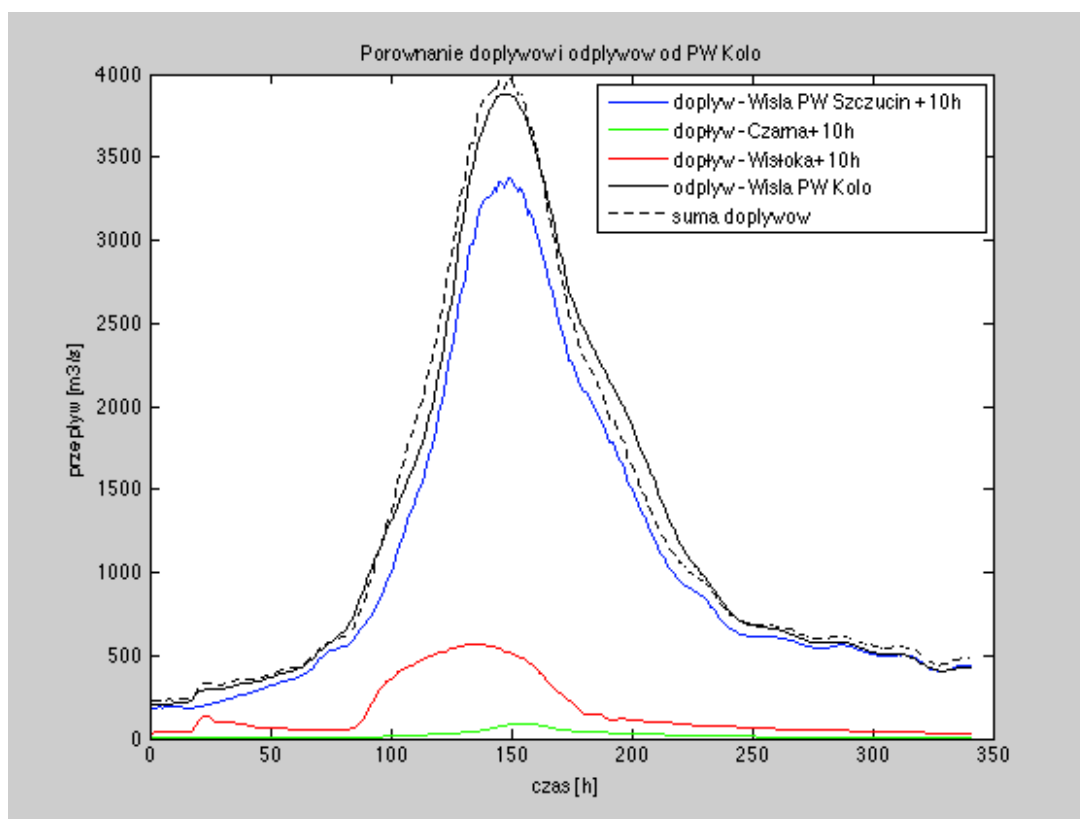
3. Odcinek Karsy – Szczucin (z dopływem - Nidy, pomiar w Pińczowie):



Suma objętości fal dopływających do odcinka (w Karsach i Pińczowie) 1.18 mld m³.
Objętość fali wypływającej z odcinka (w Szczucinie) 1.34 mld m³.
Przewaga odpływu nad dopływem 0.16 mld m³.

Znikome prawdopodobieństwo tak dużego dopływu bocznego – można porównać powierzchnie zlewni (tabela w załączniku nr 3).

4. Odcinek Szczucin - Koło (z dopływem - Brenia, pomiar w Wampierzowie, Czarnej, pomiar w Połańcu, Wisłoki, pomiar w Mielcu):



Suma objętości fal dopływających do odcinka (w Szczucinie, Połańcu i Mielcu) 1.550 mld m³.
Objętość fali wypływającej z odcinka (w Kole) 1.545 mld m³.
Przewaga dopływu nad odpływem 5 mln m³.

Błąd 0.3% - o prawie 2 rzędy mniejszy niż w poprzednich 3 odcinkach.
Nie uwzględniono dopływu Breń.

Podsumowanie

1. Problem: który/które dane są zaburzone błędem?
2. Można przypuszczać, że istnieje błąd w obliczeniach przepływu w Wiśle w Karsach. Zastosowanie współczynnika zwiększającego wynik obliczeń przepływu w tym punkcie może zmniejszyć błąd bilansu nawet 10-krotnie, równocześnie w 2. i 3. rozważanym odcinku.
3. Błąd występuje tylko dla stanów wysokich.
4. Pozostaje do znalezienia źródło błędu w 1. analizowanym odcinku. Należy zbadać bilans przepływu na odcinku Raby od Dobczyc do Proszówek i zmierzonym dopływem Straconką i przyjąć za bardziej wiarygodne dane z Dobczyc (ze względu na dokładność pomiaru spustu ze zbiornika w Dobczycach).

Załącznik nr 6. Gospodarka wodna w obrębie warstwy powodziowej

1. Sterowanie zbiornikiem w 1. fazie opadów – powiększanie rezerwy powodziowej

Instrukcje gospodarki wodnej na zbiornikach wodnych przewidują w „normalnych” warunkach utrzymywanie zadanego harmonogramem poziomu piętrzenia poprzez utrzymywanie odpływu na poziomie aktualnego dopływu [Chmielowski], [Kokoszka]. Pomijając szczegóły - jeżeli odpływ przekraczałby wielkość przepływu nieszkodliwego, następuje faza wypełniania rezerwy powodziowej. W sytuacjach szczególnych – spodziewanego dużego opadu - dopuszczalne jest powiększenie rezerwy powodziowej przez dyspozycję odpływu większego niż dopływ. Instrukcje nie precyzują ilościowo tego sterowania – decyzja o momencie jego rozpoczęcia i wielkości odpływu należy do dyrektora RZGW w Krakowie. Skutki tej decyzji mogą być dwojakie:

- Zbyt wczesne rozpoczęcie za dużego spustu może spowodować utratę zapasu wody na czas suszy oraz utratę możliwości produkcji energii w czasie spustu.
- Późne rozpoczęcie dużego spustu może wywołać falę wezbraniową, która może się nałożyć na wezbranie w niekontrolowanych dopływach poniżej zapory.
- Za mały lub spóźniony spust może dać niewystarczającą rezerwę powodziową, a jej wyczerpanie może doprowadzić do konieczności niekontrolowanego odpływu niezależnie od sytuacji w dolnym biegu rzeki.

W takich warunkach, w podjęciu prawidłowej decyzji powinna pomóc wczesna i wiarygodna informacja o przyszłym opadzie, a w konsekwencji – dopływie do zbiornika.

Propozycja eksperymentu obliczeniowego – symulacji przepływu w Rabie poniżej Dobczyc.

3 warianty sterowania zbiornikiem rozważane w [Drożdżał, Grela] nie wyczerpują wszystkich możliwych. Proponowany algorytm przewidywałby na bieżąco obliczanie najbardziej niebezpiecznej prognozy i prognozy najmniejszego opadu oraz dostosowanie odpływu tak, aby zminimalizować wymienione wcześniej straty.

Na przykładzie wezbrania z maja 2010 należy przeprowadzić symulacje, które dadzą odpowiedź, czy istnieje sterowanie, które obniżyłoby powstałą w 2010 roku kulminację w Proszówkach.

Np: Czy rozpoczęcie spustu nieszkodliwego w momencie otrzymania decyzji i utrzymywanie go nawet tylko 12h – od 14.05 g.18 do 15.05 g. 6) powiększyłoby rezerwę powodziową o ponad 10 mln m³ (o 25%), a fala wezbraniowa zdążyłaby spłynąć przez Proszówki (wyprzedzając kulminację na Straconce 17.05 godz 1.00). Powiększenie zrzutu prewencyjnego (z 50 do 300 m³/s) prawdopodobnie pozwoliłoby zmniejszyć odpływ nakładający się na kulminację na Straconce (i Krzyworzece). Ten scenariusz musi uwzględniać czasy dostępności prognozy i pomiaru opadu i wcześniej zidentyfikowane czasy przemieszczania się fali.

Powyższe propozycje nie podważają trafności podejmowanych w 2010 roku decyzji – nie było precyzyjnej informacji o opadzie ani modelu opad-odpływ. Istnieją jednak poważne przesłanki dla stwierdzenia, że optymalne sterowanie – z wykorzystaniem informacji o opadzie – istnieje i może obniżyć straty powodziowe.

2. Opóźnienie spustu odtwarzającego rezerwę powodziową

Aktualne instrukcje eksploatacji przewidują odtworzenie rezerwy powodziowej dysponując w całym tym okresie odpływ nieszkodliwy. Zdecydowana większość energii zgromadzonej wody jest bezpowrotnie tracona. Np. w przypadku Dobczyc przepływ nieszkodliwy = 300m³/s, a przepływ spustem energetycznym = 10m³/s, zatem w skrajnym przypadku tracimy 97% energii. W przypadku kaskady Tresna Porąbka relacja nie jest aż tak duża – przepływ nieszkodliwy = 335m³/s, a „przepływ energetyczny” = 122m³/s w Tresnej i 65 w Porąbce.

Proponowana modyfikacja algorytmu odtwarzania rezerwy przewidywałaby podział odpływu między spust denny (używany dotychczas, bez produkcji energii), a spust energetyczny. Stosunek tego podziału byłby funkcją wypełnienia rezerwy, dopływu i opadu bieżącego, prognozy dopływu i opadu. Efektywność wykorzystania energii wody można byłoby zdecydowanie poprawić -

najbardziej (nawet 30-krotnie w przypadku Dobczyc) w końcowej fazie odtwarzania rezerwy.

3. Przykładowa Instrukcja eksploatacji zbiorników wodnych np. dla zbiorników Tresna – Porąbka – Czaniec [Chmielowski] (fragment):

Postępowanie przeciwpowodziowe na zbiorniku

1. W czasie napełniania rezerwy ,dysponowane ze zbiornika Tresna odpływy nie mogą przekraczać wielkości aktualnego dopływu, a kolejne dyspozycje odpływu nie mogą być mniejsze od poprzednio wydanej.
2. W toku napełniania rezerwy nie wolno odprowadzać odpływu mniejszego od 335 [m³/s] (w letnim sezonie powodziowym) albo 122 [m³/s] (poza tym sezonem).
3. W toku wypełniania rezerwy forsowanej nie mogą być odprowadzane odpływy mniejsze niż 681 [m³/s] tj. łącznego wydatku elektrowni i przelewu powierzchniowego przy MaxPP.
4. Napełnianie rezerwy trwa bądź do momentu zrównoważenia aktualnego dopływu z ostatnio realizowaną wielkością odpływu , bądź do momentu całkowitego wypełnienia rezerwy.
5. Rezerwa forsowana jest przeznaczona do wykorzystania w przypadku wystąpienia wyjątkowo dużych wezbrań. **Od momentu zakończenia wypełniania rezerwy forsowanej utrzymuje się stałe piętrzenie realizując politykę odpływ=dopływ do momentu gdy dopływ do zbiornika zmaleje do wielkości przepływu nieszkodliwego 335 [m³/s]. Od tego momentu celem odtworzenia rezerwy powodziowej zwyczajnej , należy dysponować odpływ ze zbiornika 335 [m³/s] do chwili osiągnięcia określonych rzędnych piętrzenia.**

Podobne zasady obowiązują w przypadkach innych zbiorników.