

# HOCHWASSERGEFÄHRDUNGEN IM EINZUGSGEBIET DER OBEREN WEICHSEL IM KONTEXT VON ANALYSEN POTENTIELLER KATASTROPHEN AN STAUDÄMMEN VON STAUSEEN

PIÓRECKI M.<sup>1</sup>  
RADON R.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Regionalverband für Wasserwirtschaft in Krakau, ul. Piłsudskiego 22, 31-109 Kraków  
mpiorecki@krakow.rzgw.gov.pl, rradon@krakow.rzgw.gov.pl

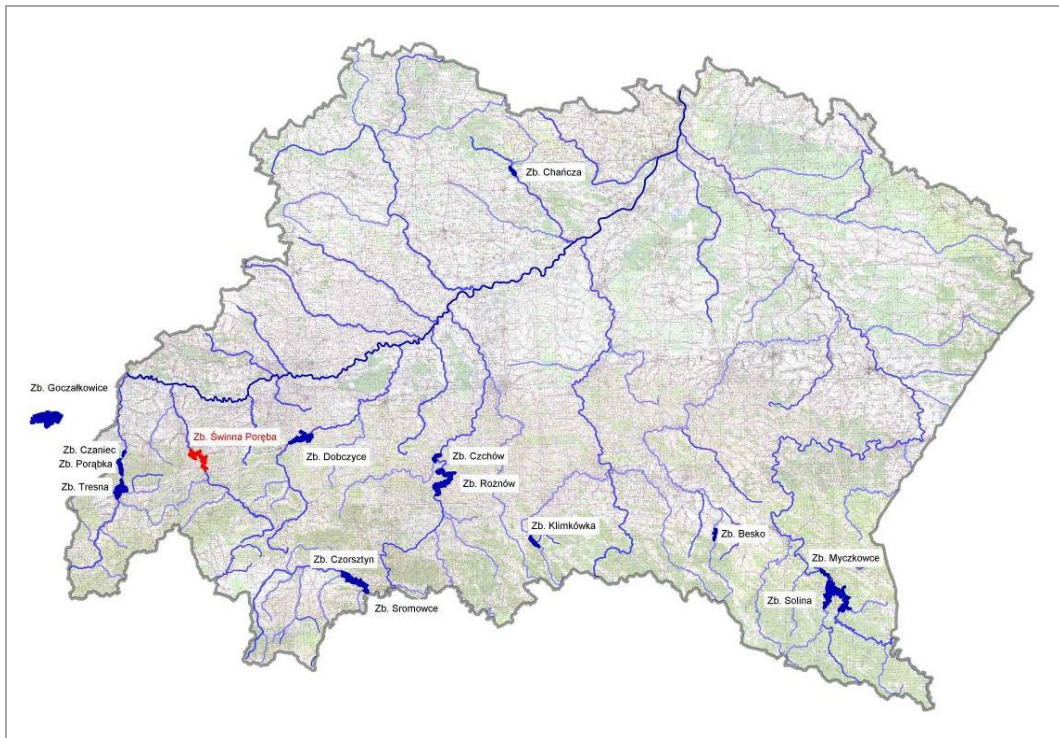
## Zusammenfassung :

Der Artikel stellt die Thematik in Verbindung mit Hochwassergefährdungen vor, die infolge von Katastrophen von Staubauten generiert werden, die Staudämme großer Staubecken sind. Die Vorschriften der Hochwasser-Richtlinie 2007/60/EG gelten für die Mitgliedsstaaten, bis Ende 2013 Karten der Gefährdung und des Hochwasserrisikos erarbeitet werden. Eine der extremen Arten der Hochwassergefährdungen, die in diesen Dokumenten berücksichtigt werden sollten, sind Gefährdungen, die durch Staudammkatastrophen an Stauseen hervorgerufen werden. Im Rahmen der Vorbereitung zur Implementierung der Hochwasser-Richtlinie in diesem Bereich hat der Regionalverband für Wasserwirtschaft in Krakau (RZGW) 2009 die Realisierung eines Pilotprojekts in einer Partnerschaft mit dem Institut für Meteorologie und Wasserwirtschaft (IMGW) aufgenommen, dessen Ziel die Markierung von Flutungsflächen für Katastrophenszenarien einer Katastrophe des Erddamms am Staubecken in Chańcza und des Betondamms des Staubeckens in Besko war. Im Rahmen des Projekts, das aus den Fonds des Norwegischen Finanzierungsmechanismus sowie aus Haushaltsmitteln finanziell bezuschusst wurde, wurden insgesamt 97 Katastrophenszenarien für beide Objekte erstellt. Diese Szenarien wurden dem Prozess zur hydraulischen Modellierung im Tool Mike 11 I Mike Flood unterzogen, und auf Basis ihrer Ergebnisse wurden die Reichweiten der Flutungsflächen im Tal erarbeitet. In Gebieten von markierten Flutungsflächen wurde eine Inventarisierung der im Fall einer Katastrophe beider Dämme gefährdeten Bebauung und Infrastruktur durchgeführt. Eines der wichtigsten Ziele des Projekts war es außerdem, einen methodischen Leitfaden für die Ausarbeitung ähnlicher Analysen für die übrigen Stauungsobjekte in Südpolen zu erarbeiten. Eine der Projektvorgaben war es außerdem, seine Implementierung in Form einer analogen Erarbeitung für eines der Stauungsobjekte zu erarbeiten, das sich im Gebiet befindet, das vom RZGW in Krakau verwaltet wird - in einem Zeitraum von 2 Jahren nach seiner Beendigung. Die Realisierung der Projektimplementierung wurde im September dieses Jahres für das Staubecken Świnna Poręba am Fluß Skawa abgeschlossen, das sich momentan in der Bau-Endphase befindet. Der Artikel beschreibt die jeweiligen Etappen der im Rahmen des Projekts in den Jahren 2009-2011 realisierten Arbeiten sowie seine spätere Implementierung aus dem Jahr 2012.

**Schlüsselworte :** *Damm, Katastrophe, Hochwasser, Extremereignis*

## Einleitung

Das Gebiet, das vom Regionalverband für Wasserwirtschaft in Krakau verwaltet wird, umfasst die Zuflüsse der oberen Weichsel, auf ihrem Abschnitt von der Mündung der Przemsza zur Mündung der Sanna. Es umfasst eine Gesamtfläche von ca. 43.000 km<sup>2</sup> und deckt das Gebiet folgender Wojewodschaften: małopolskie, podkarpackie, sowie teilweise świętokrzyskie, śląskie und lubelskie. Auf dem vom RZGW in Krakau verwalteten Gebiet befinden sich insgesamt 9 große Staubecken (oder Gruppen von Staubecken) von Bedeutung für den Hochwasserschutz, von denen 5 direkt vom RZGW verwaltet werden, und die übrigen 4 Staubecken befinden sich unter der Verwaltung von Energieanbieter-Gesellschaften.



III. 1. Die Zuflüsse der oberen Weichsel in den Grenzen des Einzugsgebiets des RZGW in Krakau.

Eine der wichtigsten Aufgaben der Regionalverbände für Wasserwirtschaft ist die Verringerung der Hochwasserfolgen, und insbesondere die Begrenzung der Hochwasserschäden. Diese Arbeit ist auch eine der wichtigsten Ziele der Wasser-Rahmen-Richtlinie, die volle Entfaltung in der Richtlinie 2007/60/EG des EU-Parlaments und des Europa-Rats vom 6. November 2007 zur Bewertung des Hochwasserrisikos und dessen Bewältigung findet, im Weiteren "Hochwasser-Richtlinie" genannt. Im Sinne von Art. 88 d, Abs. 2, Pkt. 3c Wasserrecht vom 18. Juli 2001 (mit spät. Änd.) werden auf den Karten zur Hochwassergefährdung, die eines der grundlegenden Produkte der Implementierung der Hochwasserrichtlinie sind, neben den Gebieten, die von natürlichem Überschwappen von Hochwasser gefährdet sind, auch Gebiete vorgestellt, die Gelände umfassen, dass vom Überfluten gefährdet ist, falls Stauungsanlagen zerstört oder beschädigt werden.

Das Projekt "Hochwassergefährdungen, die infolge von Katastrophen an Stauungsbauwerken entstanden sind", vom RZGW in Krakau in den Jahren 2009-2011 realisiert, und die Dämme Chańcza und Besko betreffend, sowie die Ausarbeitung, die im Jahr 2012 realisiert wurde, bezüglich des Damms Świnna Poręba, passen vollständig zu den obigen Klauseln, wobei sie gleichzeitig ein komplettes Informationsmaterial darstellen, das die Grundlage für die Planung und Projektierung von Warnsystemen zu Hochwassergefährdungen, die aus Katastrophen von Objekten der Wasserwirtschaft resultieren, darstellen können, oder auch zur Entscheidungen in Krisensituationen zu Umfang und Verlauf von Evakuierungsmaßnahmen durch die Krisendienste.

## 1. Standard der Ausarbeitungen

Die Ausarbeitungen zur Einschätzung der Hochwassergefährdungen, die Ergebnis von Katastrophen von Dämmen sind, die bisher in Polen eingetreten sind, basierten im Allgemeinen auf der vereinfachten Beschreibung des Verlaufs der Katastrophe und der Transformation der

Hochwasserwelle im Tal unterhalb. Die meisten dieser Ausarbeitungen, die hauptsächlich auf die zweite Hälfte des vergangenen Jahrhunderts datiert sind, beruhen gewöhnlich auf nicht mehr aktuellem Kartenmaterial, das wesentliche Veränderungen in der geomorphologischen Charakteristik der Flußtäler nicht berücksichtigt, die in den vergangenen Jahren stattgefunden haben. Die heute verfügbaren fortgeschrittenen hydroinformatischen Tools, die modernen geodätischen und kartographischen Techniken, das numerische Modell des Geländes, Ortofotokarten, sowie Systeme zur Rauminformation (GIS) ermöglichen die Realisierung komplexer Analyse solcher Gefährdungen, so dass eine hohe Glaubwürdigkeit der erzielten Ergebnisse gewährleistet ist, und gleichzeitig fast unbegrenzte Möglichkeiten der Multiplikation der Berechnungsvarianten gibt. Dank dessen ist es möglich, Analysen für eine ganze Bandbreite von Katastrophenszenarien durchzuführen, unter Berücksichtigung sowohl von verschiedenen Anfangsbedingungen, Faktoren, die für den Mechanismus der Entwicklung der Katastrophe selbst verantwortlich sind, als auch die Spezifik der Bewirtschaftung von Gebieten, die im Tal unterhalb des Staubeckens liegen.

Beruhend auf der Analyse solcher Multivarianten-Berechnung kann man die charakteristischsten und wahrscheinlichsten Reichweiten von Flutungszonen im Tal bei einer Dammkatastrophe feststellen, sowie die ihnen entsprechenden maximalen Wasserstände, Durchflüsse, Tiefen und Wassergeschwindigkeiten in den jeweiligen Berechnungsquerschnitten. Die Ergebnisse solcher Simulationen und insbesondere die maximalen Reichweiten der Flutungszonen und die Zeiten der Ausbreitung der Hochwasserwelle im Tal können Informationsmaterial für Einheiten des Krisenmanagements darstellen, das eine Entscheidung zum Umfang und zu der Art der Durchführung von Evakuierungsaktionen bei eventuellem Eintreten von Gefährdungen dieser Art ermöglicht.

## **2. Elemente der Analyse der Hochwassergefährdungen durch Katastrophen von Stauungsanlagen**

Die Durchführung einer komplexen Analyse der Hochwassergefährdungen, die durch Katastrophen von Stauungsanlagen verursacht werden, erfordert die Durchführung einer Reihe aufeinanderfolgender Maßnahmen, beginnend mit der Erlangung von Ausgangsdaten zum Bau von hydraulischen Modellen, abschließend bei der Ausarbeitung der Reichweiten von Überflutungszonen im Tal unterhalb des Damms, die infolge der Katastrophe entstanden sind.

Die wesentlichsten Elemente einer solchen Analyse sind:

- Ausarbeitung eines hydraulischen Modells für das Tal unterhalb des Damms
- Ausarbeitung eines hydraulischen Modells für den Damm und das Staubecken
- Ausarbeitung eines Katastrophenszenarios
- Durchführung von Modellberechnungen
- Ausarbeitung der Reichweiten von Flutungszonen und Karten der Ausbreitung der Hochwasserwelle im Tal

## **3. Ausarbeitung von hydraulischen Modellen für das Tal unterhalb des Damms**

Das hydraulische Modell für das Tal unterhalb des Damms ermöglicht die Durchführung von Simulationsberechnungen der Fortbewegung der Hochwasserwelle, die durch die Katastrophe im Flußtal hervorgerufen wurde und die Markierung der Reichweiten der Flutungszone aufgrund der Ergebnisse der Modellierung.

Die Erarbeitung eines eindimensionalen (1D) Tal-Modells bestand im Fall aller drei bisherigen Projekten aus folgenden Elementen:

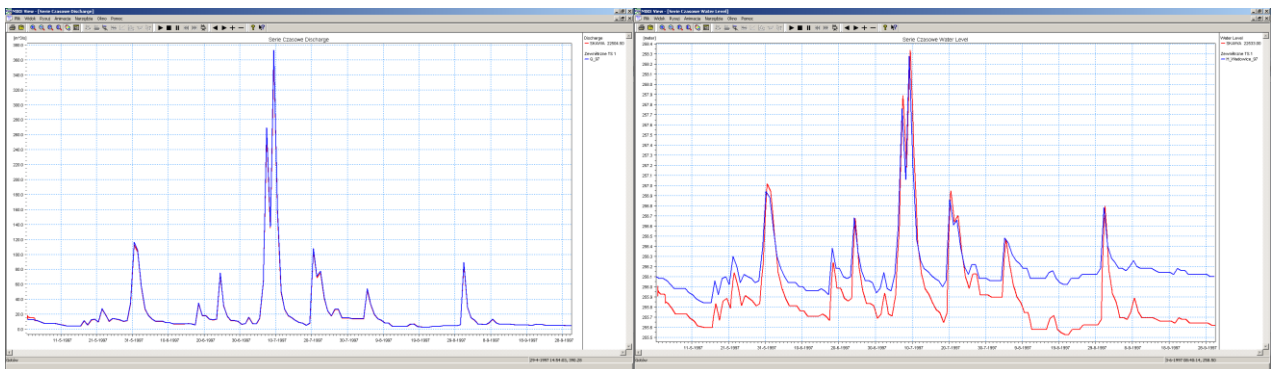
- Implementation des Flußnetzes (des Flußabschnitts unterhalb des Damms)
- Einführung von Querlängsschnitten

- Identifizierung von hydraulischen Parametern
- Einführung von Ingenieurbauwerken
- Festlegung der Anfangsbedingungen

Der Verlauf der Linie, die die Achsen der Hauptflüssen in den Tälern unterhalb der Dämme in Chańcza und Besko und Świnna Poręba wurde in Anlehnung an das numerische Geländemodell (NMT) festgelegt und auf Grundlage von Ortofotokarten korrigiert. Die Querschnitte des Flußbetts der Czarna Staszowska (unterhalb des Damms in Chańcza), Wisłok (unterhalb des Damms in Besko und der Skawa (unterhalb des Damms in Świnna Poręba) wurden abgebildet in Anlehnung an direkte Geländemessungen und dann erweitert in Anlehnung an das NMT zu den Talquerschnitten, die das gesamte Gebiet des Durchflusses von Hochwasserwasser, der durch die Dammkatastrophe hervorgerufen wurde, umfasst.

Für jeden der Querschnitte wurde eine Identifizierung der Faktoren der Widerstände des Wasserdurchflusses vorgenommen (Rauheit "n" von Manning) - separat für das Hauptflußbett und die rechten und linken Flutungsterrassen. In den hydraulischen Modellen der Täler unterhalb der Dämme wurden Ingenieurobjekte wie Brücken, Wehre und Wasserstufen berücksichtigt, die direkten Einfluss auf die Ausbildung der Ordinaten des Hochwasserwassers haben. Um die Anfangsstabilität des Modells in den ersten Berechnungsschritten zu gewährleisten, wurden die Anfangsbedingungen für die Berechnungen definiert, in Form von Wasserständen und Durchflüssen an den jeweiligen Querschnitten.

Hydraulische Modelle für die Flußtäler: von Czarna, Wisłok und Skawa, wurden dem Prozess der Kalibrierung und Verifizierung an historischen Wellen unterzogen, was die richtige Abbildung der Reichweiten des Hochwassers in den entsprechenden Berechnungen garantiert.



III. 2. Ergebnisse der Kalibrierung des Modells für den Fluß Skawa im Wasseranzeigeprofil Wadowice (Hydrogramm der Durchflüsse – auf der linken Seite, Hydrogramm der Wasserstände - auf der rechten Seite).

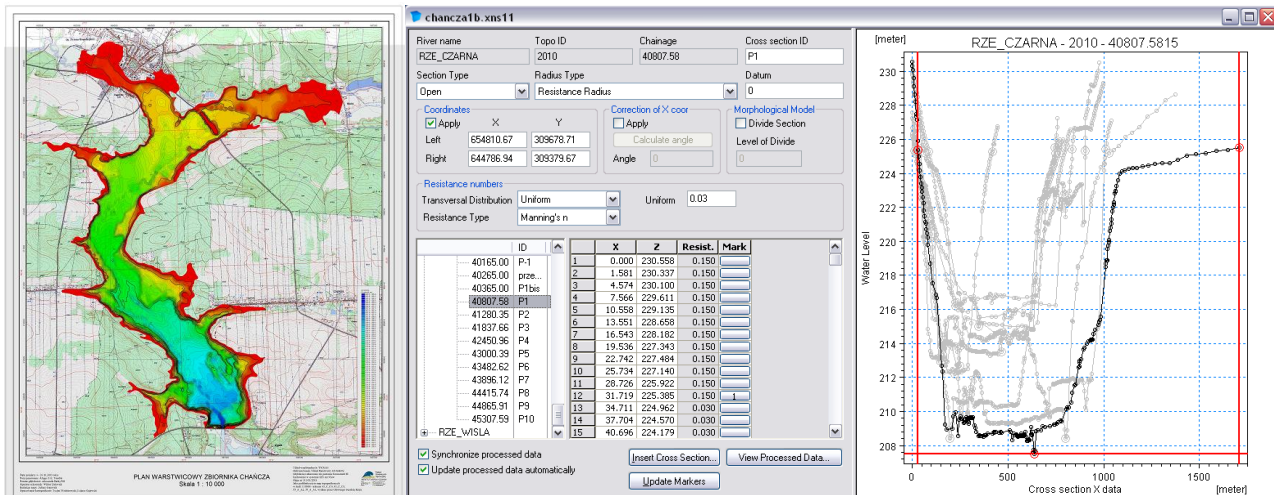
Unabhängig von der Erarbeitung eindimensionaler Modelle für Flußtäler unterhalb der Dämme, wurde im Fall des Damms am Staubecken Chańcza ein zweidimensionales Modell erarbeitet (2D). Das 2D-Modell ermöglichte eine genauere Präsentation der Berechnungsergebnisse, insbesondere im Bereich der Abbildung der Dynamik des Durchflusses der Hochwasserwelle, die durch eine Katastrophe im Tal hervorgerufen wurde (räumliche Verteilung der Tiefe und Geschwindigkeit des Wassers).

#### 4. Ausarbeitung eines hydraulischen Modells für den Damm und das Staubecken

Die richtige Abbildung des Prozesses der Katastrophe am Damm des Staubeckens erfordert den Bau eines hydraulischen Modells, das solche Elemente berücksichtigt: tatsächliches Volumen des Staubeckens bei charakteristischen Pegeln der Stauung, Regeln für die Steuerung der Ablassvorrichtungen

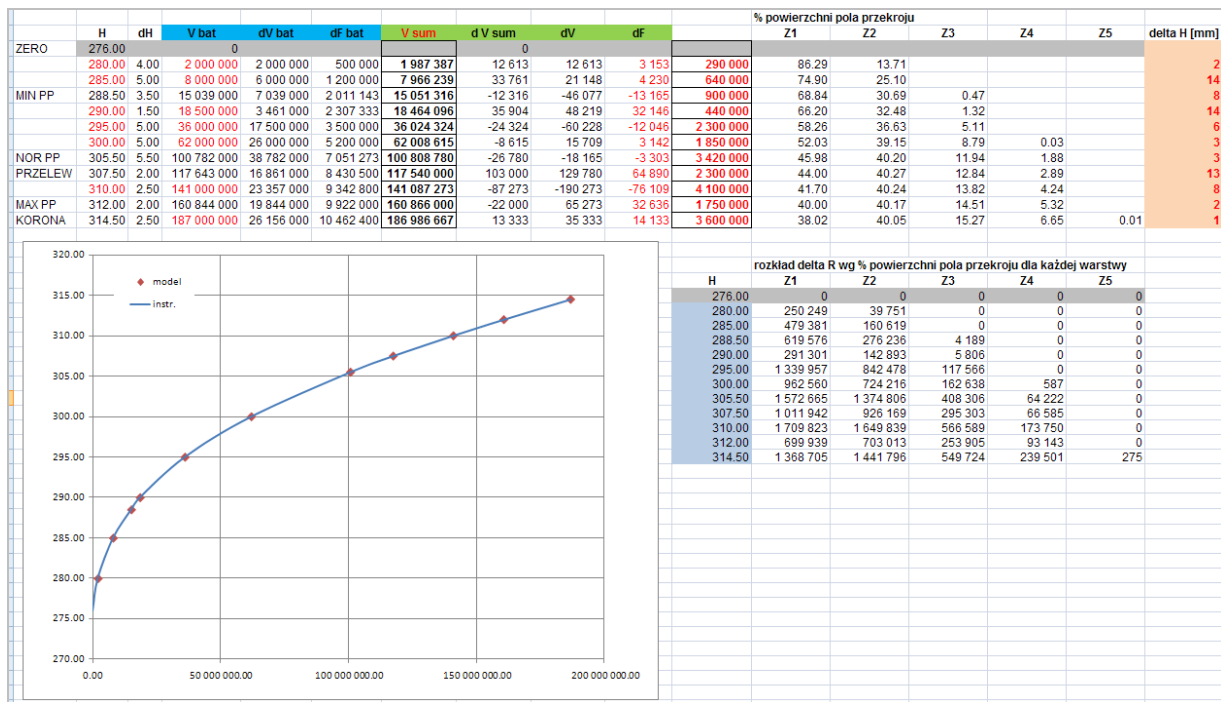
unter normalen und unter Hochwasserbedingungen, Bau des Damm-Korpus, Verteilung des Überlaufblocks und der Bodenablässe.

Im Fall des Damms in Chańcza und Besko, die entsprechend 1984 und 1978 in Betrieb genommen wurden, wurden zur Abbildung der Form der Schale der Staubecken die Ergebnisse von batimetrischen Messungen in den vergangenen Jahren genutzt. Die Geometrie des Staubeckens in Chańcza wurden in Anlehnung an 10 Querschnitte abgebildet und im Fall des Staubeckens Besko - an 50 Querschnitte. Bei der Erarbeitung des Modells für das Staubecken Świnna Poręba, das sich gegenwärtig im Endstadium des Baus befindet, wurden hingegen Informationen über das Volumen des Staubeckens verwendet, die aus der aktuell ausgearbeiteten Instruktion zur Wasserwirtschaft stammen.



III. 3. Ergebnisse der batimetrischen Messungen für das Staubecken Chańcza und Querschnitte der Schale des Staubeckens, in das hydraulische Modell eingeführt.

Eines der wesentlichsten Elemente für den Bau der Modelle der Staubecken Chańcza, Besko und Świnna Poręba war die Kalibrierung ihrer Volumen. Diese Kalibrierung beruhte auf der iterativen Wahl des Parameters, der sog. "zusätzlichen Rückhaltefläche" im Dammquerschnitt, so, um die möglichst große Übereinstimmung der Abbildung der tatsächlichen Auffüllungen des Staubeckens durch das hydraulische Modell zu erreichen. In jedem der Fälle wurde die Kalibrierung an gut einem Dutzend charakteristischen Pegeln der Stauung des Wassers in der Schale des Staubeckens durchgeführt, wobei im Allgemeinen Diskrepanzen in den Ordinaten des Wasserspiegels in der Größenordnung von einigen mm (max. einigen cm) erzielt wurden.



III. 4. Kalibrierungsbogen des Volumens des Staubeckens Świnna Poręba am Fluß Skawa.

Eine weitere wesentliche Etappe für den Bau der Staubeckenmodelle war die Implementierung der Regelung für die Steuerung des Abflusses durch Abwurfvorrichtungen (Flächenüberläufe, Bodenabläufe). Die richtige Widerspiegelung der Regeln für die Steuerung ist insbesondere in der Phase der Simulationsberechnungen von Bedeutung, die der Katastrophe des Objekts vorangehen, wenn es zur Auffüllung des Staubeckens infolge des Herankommens der Hochwasserwelle kommt. Es wurden die Regeln zur Steuerung, der sog. "normalen" und der "Not"-Steuerung erarbeitet, die die Situation berücksichtigen, in denen der Abfluss aus dem Staubecken infolge der Havarie von Schließvorrichtungen des Überlaufs oder der Bodenabflüsse eingeschränkt ist. Die Regeln für die Steuerung des Abflusses wurden in den hydraulischen Modellen in Form logischer Instruktionen zur Verfügung über den Abfluss implementiert - in Abhängigkeit von der Größe des Zuflusses und der Ordinate des Wassers im Staubecken.

## 5. Katastrophenszenarien

Katastrophenszenarien stellen eine Sammlung von (Anfangs-) Uferbedingungen dar, die über den Verlauf des Phänomens entscheiden, das auf der Katastrophe des Objekts entscheiden. Auf Grund der Arten von Konstruktion von Wasser-Dämmen, mit denen wir es gewöhnlich zu tun haben, und was damit verbunden ist, mit unterschiedlichen Ursachen und dem Verlauf des Phänomens der Katastrophe selbst, kann man die Szenarien in zwei Hauptgruppen aufteilen: Szenarien für Betondämme (darunter Steindämme) sowie Szenarien für Erddämme (darunter aufgeschüttete).

Die Katastrophenszenarien wurden erarbeitet, unter Berücksichtigung dessen, dass die Hauptursachen für Katastrophen an Erddämmen das Überlaufen von Wasser über die Dammkrone oder die interne Erosion des Korpus ist (infolge hydraulischer Durchbrechung), hingegen bei Betondämmen - Probleme in Verbindung mit der Fundamentierung (interne Erosion des Untergrunds, zu geringe Beständigkeit des Bodens gegen Scherung

– die im Effekt zum Verlust der Stabilität der Betonkonstruktion führen (Daten von ICOLD).

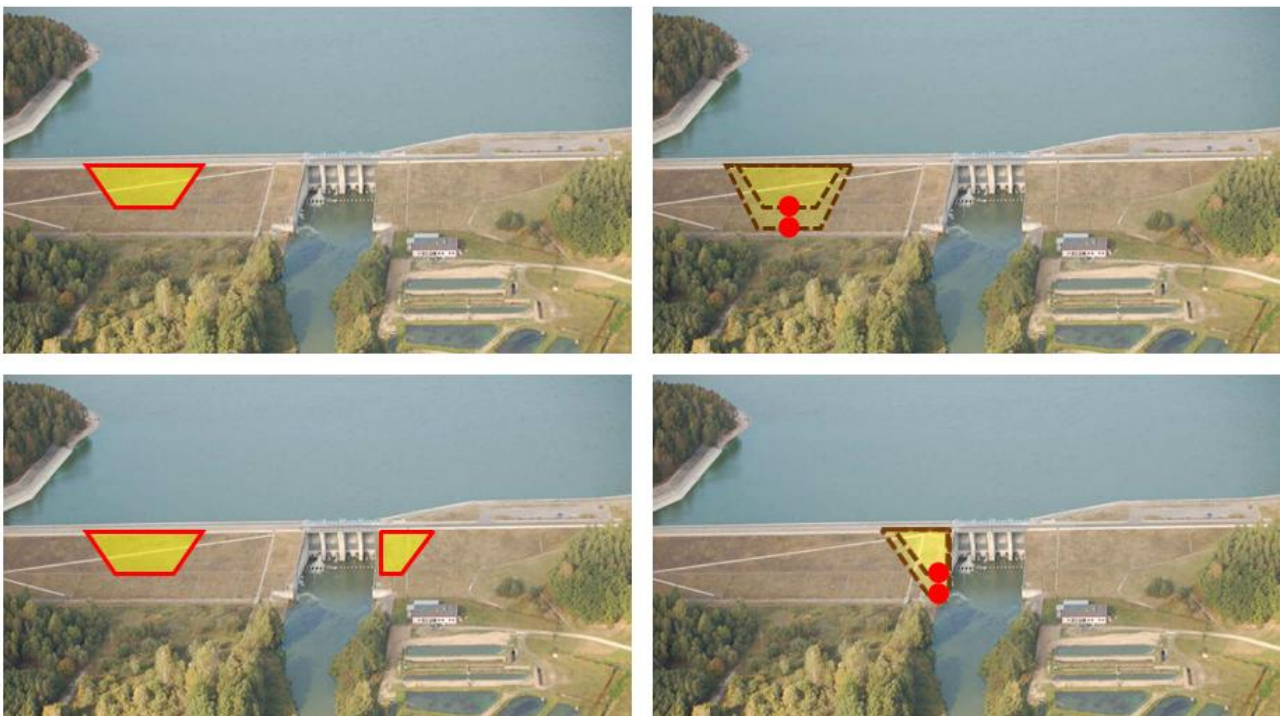
Grundlegende Faktor zu Definition des festgelegten Szenarios der Dammkatastrophe (sowohl bei Erddamm als auch bei Betondamm) sind:

- hydrologische Bedingungen (Hochwasserbedingungen, normale Bedingungen)

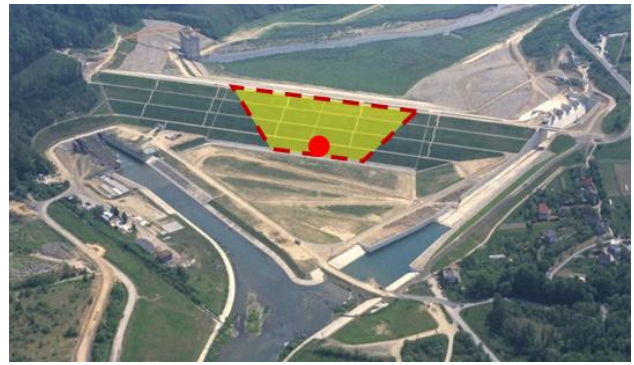
- Anfangsstand des Staubeckens (Auffüllung)
- Lokalisierung und Parameter der Beschädigung (des Lochs)
- Synchronisierung der Kulmination des Zuflusses in das Staubecken mit dem Zeitpunkt der Katastrophe des Objekts (betrifft Hochwasserbedingungen)
- Regeln für die Steuerung des Staubeckens (verschiedene Varianten der Steuerung)

Bei den vom RZGW in Krakau in den Jahren 2009-2012 realisierten Ausarbeitungen für den Damm des Staubeckens Chańcza, Besko und Świnna Poręba wurden auf der Etappe der Erarbeitung der Hochwasserszenarien folgende Vorgaben zu Grunde gelegt:

- im Bereich der hydrologischen Bedingungen:
  - Hydrogramm der Schwellung mit der Wahrscheinlichkeit der Erhöhung des maximalen Durchflusses  $p = 0,1\%$  (1000-jähriges Wasser)
  - Hydrogramm der Schwellung mit der Wahrscheinlichkeit der Erhöhung des maximalen Durchflusses  $p = 0,01\%$  (10000-jähriges Wasser)
  - Fall des sog. "sonnigen Tags" (ständiger, geringer Zufluss ins Staubecken)
- im Umfang der Anfangsauffüllung des Staubeckens:
  - normales Niveau der Stauung (Nor PP)
  - maximales Niveau der Stauung (Max PP)
- im Bereich der Parameter und der Lokalisierung der Beschädigung des Korpus (des Lochs):
  - für Erddämme (Chańcza, Świnna Poręba) – in Fällen des Überlaufens von Wasser über die Krone oder des hydraulischen Durchbruchs - Unterspülung des Korpus im zentralen Teil des Damms und an den Berührungspunkten mit dem Überlauf-Ablauf-Block
  - für Betondämme (Besko) - Beschädigung von Betonsektionen des Damms infolge einer Havarie des Untergrunds



III. 5. Beispielhafte Lokalisationen von Stellen der Entstehung von Beschädigungen des Korpus des Erddamms bei Überlaufen des Wassers über die Krone bzw. bei hydraulischem Durchbruch (Chańcza).



III. 6. Beispielhafte Lokalisationen von Stellen der Entstehung von Beschädigungen des Korpus des Erddamms bei Überlaufen des Wassers über die Krone bzw. bei hydraulischem Durchbruch (Świnna Poręba).



III. 7. Beispielhafte Lokalisationen von beschädigten Sektionen des Korpus des Betondamms infolge des Verlusts der Untergrundstabilität (Besko)

- d) im Bereich der Synchronisierung der Zeit des Kulmination der Hochwasserwelle und der Zeit der Dammkatastrophe:
  - keine Synchronisierung (der Anfangsmoment der Katastrophe ist unabhängig vom Verlauf der Schwellung)
  - volle Synchronisierung (Beginn des Katastrophenphänomens findet statt zum Zeitpunkt des Erreichens des Staubeckens durch die Kulmination der Hochwasserwelle)
- e) im Bereich der Regeln zur Steuerung des Abflusses:
  - "normale" Regeln (Betrieb aller Abwurfvorrichtungen mit voller Ergiebigkeit)
  - "Notfall-"Regeln (Abwurf des Wassers aus dem Staubecken begrenzt infolge einer Havarie der Schließvorrichtungen der Abläufe oder Abflüsse)

Der Effekt der Multivarianten-Vorgaben im Bereich der Anfangsbedingungen war im Fall aller drei Objekte eine breite Liste potentieller Berechnungsszenarien. Für die Simulation der Katastrophe des Erddamms in Chańcza wurden insgesamt 72 Berechnungsszenarien vorbereitet, für den Betondamm am Staubecken Besko- 25 Szenarien, hingegen für den Erddamm des Staubeckens Świnna Poręba – 20 Szenarien.

## 6. Durchführung von Modellberechnungen

Für die erarbeiteten Szenarien der Dammkatastrophen wurden Modellberechnungen ausgeführt, infolge derer Hydrogramme des Abflusses aus den Dammprofilen erlangt wurden, die den maximalen Herausfluss aus dem Loch berücksichtigen, das im Korpus des Damms entstanden ist.

In Abhängigkeit von den zu Grunde gelegten Vorgaben, wurde für das extremste Katastrophenszenario des Erddamms in Chańcza ein maximaler Abfluss aus dem Dammprofil von 3875 m<sup>3</sup>/s erzielt, im Fall des Betondamms Besko – 5730 m<sup>3</sup>/s, hingegen im Fall des Damms am



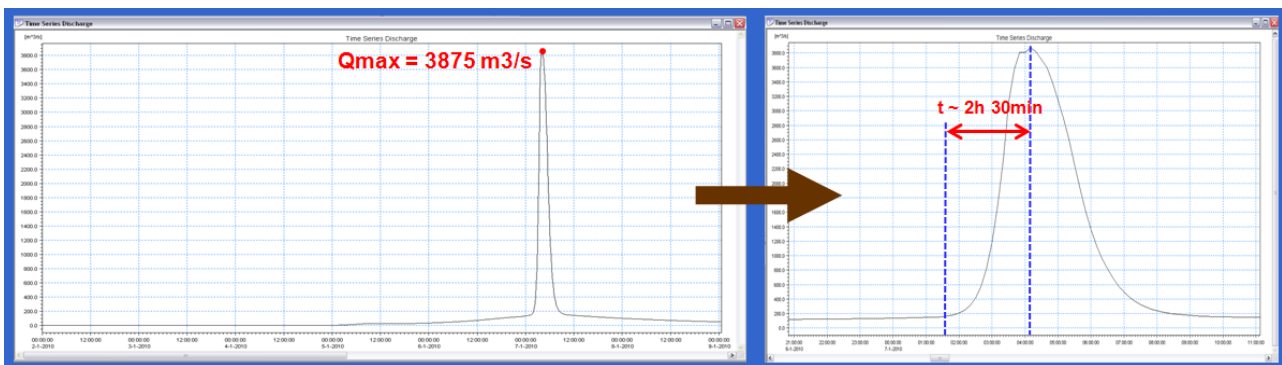
Staubecken

Świnna

Poreba

(mit dem größten Volumen unter den drei analysierten) – sogar 25 395 m<sup>3</sup>/s. Beim Damm in Chańcza und Świnna Poreba (beide Erddämme) dauerte die Etappe der Unterspülung des Erdkorpus bis zu den maximalen Maßen des Loch etwa 2,5-3,0 Stunden, die Dauer der gleichen Katastrophe bei einem Betondamm des Staubeckens betrug hingegen 5 Minuten.

Der Mechanismus für die Entwicklung des Phänomens der Katastrophe des Erdkorpus der Stirndämme der Staubecken Chańcza und Świnna Poreba wurde abgebildet im Modell mithilfe der Erosionsformel von Engelund-Hansen, die u.a. auf tatsächlichen physischen Eigenschaften des Bodens beruht, der in die Erdaufschüttungen der Dämme eingebaut ist. Die notwendigen geotechnischen Parameter des Bodens wurden in Anlehnung an die für beide Objekte verfügbare Dokumentation erarbeitet. Die maximale theoretische Breite des Lochs im Boden wurde mit allgemein bekannten empirischen Formeln von Froehlich, MacDonalds und Langridge-Monopolis sowie Von Thun & Gillette markiert, die auf dokumentierten, historischen Fällen von Katastrophen an Erddämmen weltweit basieren.



III. 8. Beispielhaftes maximales Hydrogramm des Durchflusses im Profil des Lochs im Korpus des Damm am Staubecken Chańcza.

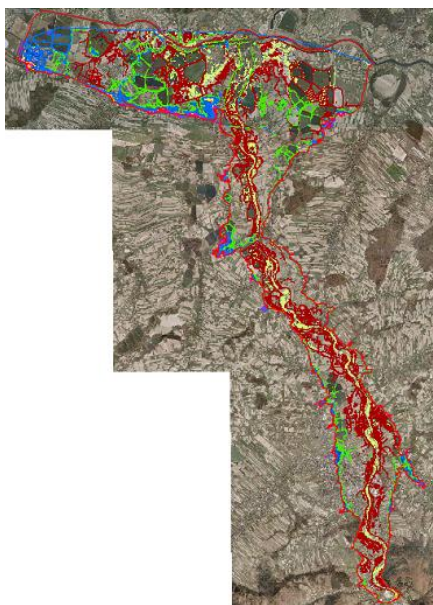
Hydrogramme der Durchflüsse in den Dammprofilen, die dann in hydraulische Modelle transformiert wurden, erarbeitet für Flußtäler unterhalb der Dämmen, wobei Ordinaten des Wasserspiegels und Werte für die Durchflüsse für jeden Querschnitt im Tal erzielt wurden - für ein bestimmtes Katastrophenszenario.



III. 9. Profil des Wasserspiegels und der Durchflüsse für eines der Katastrophenszenarien des Damms am Staubecken Świnna Poręba (Moment des maximalen Abflusses aus dem Profil des Lochs).

## 7. Ausarbeitung der Reichweiten von Flutungszonen und Karten der Ausbreitung der Hochwasserwelle im Tal

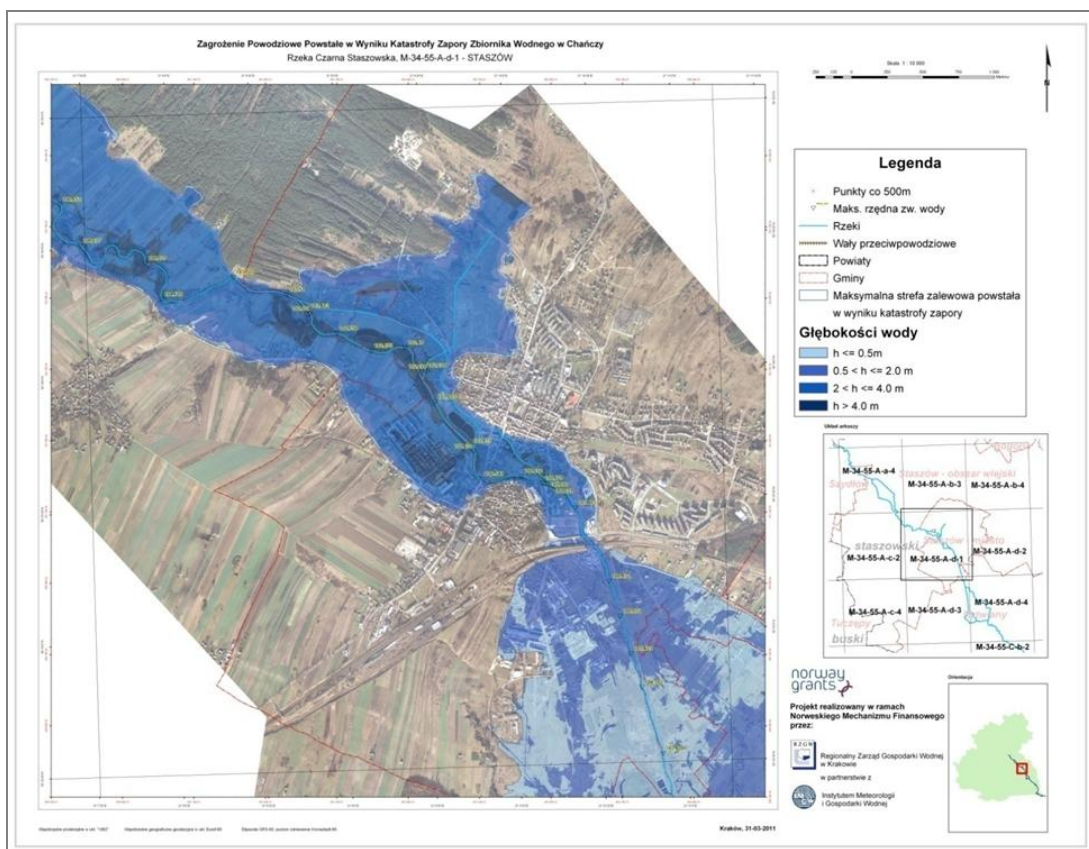
Anhand der Ergebnisse der hydraulischen Modellierung und des numerischen Geländemodells für die Täler unterhalb der Dämme wurden die Reichweiten der Flutungszonen für jede der in Erwägung gezogenen Katastrophen markiert. Beim Damms des Staubeckens in Chańcza wurde außer den Reichweiten der Flutungszonen, die auf Grundlage eines 1D-Modells markiert wurden, auch Animationen zur Präsentation der Fortbewegung der Hochwasserwelle erarbeitet, die von einer Dammkatastrophe hervorgerufen wurde - für das extremste Szenario.



III. 10. Die Reichweiten der Flutungszone im 1D-Modell, erarbeitet für das Tal unterhalb des Damms in Świnna Poręba (links) und Fragment der Animation aus dem 2D-Modell, dass die Ausbreitung der Hochwasserelle im Tal unterhalb des Damms in Chańcza präsentiert.

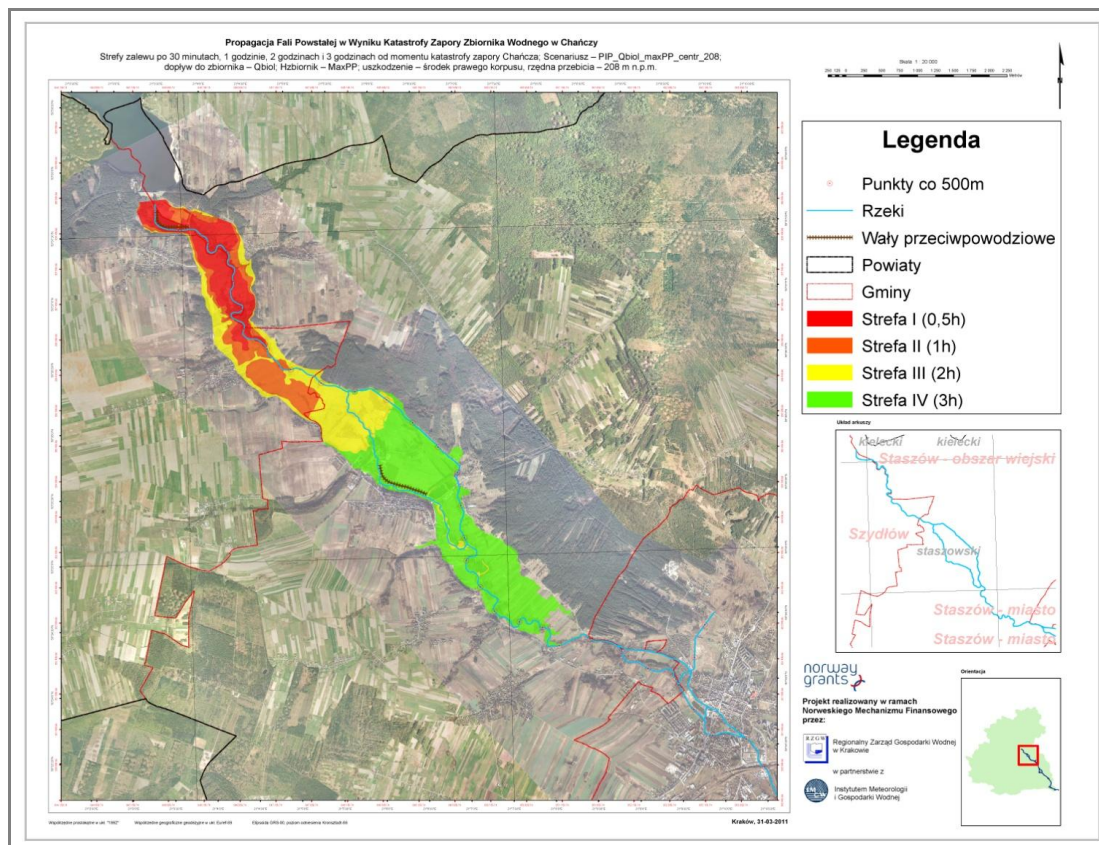
In den Reichweiten der jeweiligen Flutungszone unterhalb der Dämme in Chańcza und Besko wurden Raumanalysen (GIS) durchgeführt, die auf der Inventarisierung der im Fall einer Katastrophe gefährdeten technischen Infrastruktur beruht (Straßen, Eisenbahnlinien u.ä.) sowie der Bebauung (Wohn- und Wirtschaftsgebäude, Industriebetriebe, öffentliche Gebäude).

Schließlich wurden für jedes der drei analysierten Objekte, das heißt des Erddamms des Staubeckens in Chańcza und Świnna Poręba, aber auch für den Betondamm des Staubeckens in Besko, Karten erarbeitet, die die Reichweiten der Flutungszone einschl. der Wassertiefen für ausgewählte Szenarien präsentieren. Diese Karten wurden im Format von Bögen im Maßstab 1: 10 000, auf Grundlage von topographischen Karten und Ortofotokarten erarbeitet. Die Wassertiefen in den Flutungszone wurden gemäß den Tiefenaufteilungen dargestellt, die als für die Ausarbeitung von Karten zur Hochwassergefährdung als gültig angenommen wurden.



III. 11. Beispielhaftet Bogen einer Karte zur Hochwassergefährdung, erarbeitet für ein Katastrophenszenario des Staubeckens Chańcza.

Außer der Erarbeitung der Karten, die die maximalen Reichweiten der Flutungszone für die jeweiligen Katastrophenszenarien präsentieren, wurden auch Karten erarbeitet, die die Ausbreitung der Hochwasserwelle, die durch eine Katastrophe im Tal unterhalb des Damms hervorgerufen wurde, für das ausgewählte Szenario darstellt. Die auf diesen Karten dargestellte Information ermöglicht es, das Tempo der Fortbewegung der Stirn der Hochwasserwelle im Tal festzustellen, indem es Schlüsselmaterial für Krisendienste darstellt, das die Planung von Einzelheiten einer eventuellen Evakuierungsaktion bei Auftauchen einer Katastrophengefährdung ermöglicht.



III. 12. Karte der Ausbreitung der Hochwasserwelle in der Zeit, erarbeitet für das Katastrophenszenario am Staubecken Chańcza.

## Zusammenfassung

Im Rahmen der im Artikel beschriebenen Ausarbeitungen wurden Modellberechnungen für Katastrophen von Stirndämmen von Staudämmen durchgeführt: Chańcza, Besko und Świnna Poręba und auf der Grundlage der erzielten Ergebnisse wurden die Reichweiten der Flutungszonen für die angenommenen Katastrophenszenarien generiert. Es wurden hydraulische Modelle erarbeitet, die die Schale der Staubecken umfassen, die Stirndämme (inkl. Abwurfvorrichtungen) und die Flußtäler unterhalb der Objekte. Die Modelle für die Täler unterhalb der Dämme wurden dem Prozess der Kalibrierung und Verifizierung an historischen Schwellungen unterzogen. Es wurde auch die Kalibrierung des Volumens der Schalen der Staubecken durchgeführt, die eine Widerspiegelung ihrer faktischen Auffüllungen bei verschiedenen Pegeln der Stauungen durch das hydraulische Modell garantiert.

Bei den Modellberechnungen wurde eine Reihe von Ufervorgaben zu Grunde gelegt, u.a. im Bereich der Ursachen für die Initiation von Katastrophen, hydrologischen Bedingungen, Anfangsauffüllungen der Staubecken oder Stellen der Entstehung von Beschädigungen an den Korpora der Dämme, unter Analyse des Betriebs der Abwurfvorrichtungen (Überläufe, Bodenabflüsse, Elektrizitätswerke) - unter normalen und Hochwasserbedingungen. Auf Basis dieser Vorgaben wurde eine Liste potentieller Katastrophenszenarien erarbeitet.

Die Szenarien wurden in die hydraulischen Modelle eingebracht und es wurden Simulationsberechnungen durchgeführt. Im Endeffekt hat man Ergebnisszenarien erhalten, für die die Reichweiten von Flutungszonen in den Tälern unterhalb der Dämme erarbeitet wurden.

Für ausgewählte Flutungszonen wurden Karten erarbeitet, die die Verteilung der Wassertiefe präsentieren. Für die ungünstigsten Szenarien wurden auch Karten der Ausbreitung der Hochwasserwelle in den Flußtälern unterhalb der Dämme erarbeitet, die die Verteilung der Stirn der Welle im Tal in den folgenden Stunden ab dem Zeitpunkt der Katastrophe illustrieren.

Die vom RZGW in Krakau bisher erarbeiteten Analysen der Hochwassergefährdungen, die durch Katastrophen an Dämmen der Staubecken in Chańcza und Besko (2009-2011) und Świnna Poręba (2012) hervorgerufen wurden, stellen ein umfassendes Informationsmaterial zu den hypothetischen Folgen der Katastrophen dieser Objekte für die Gebiete dar, die sich in den Tälern unterhalb befinden - erarbeitet unter Nutzung moderner Berechnungstechniken (hydraulische Modellierung) sowie basierend auf aktuellen geodätischen und kartographischen Daten (numerisches Geländemodell, Ortofotokarten).

Die Ergebnisse der Ausarbeitungen können die Grundlage für den Bau bzw. die Modernisierung der Warnsysteme vor dem Herannahen der Hochwasserwelle darstellen, die durch eine Katastrophe im Tal unterhalb des Objekts hervorgerufen wurde, sowie Informationsmaterial für Krisendienste, das es ermöglicht, Einzelheiten einer Evakuierungsaktion für den Fall einer eventuellen Katastrophe des Damms zu planen.

## **BIBLIOGRAPHIE**

1. DHI, Mike 11, MikeNAM, MikeGIS User Guide and Scientific Documentation, Hørsholm, Denmark, 2009.
2. DHI, Mike 21 Flow Model, Hydrodynamic Module, Scientific Documentation, Hørsholm, Denmark, 2009.
3. DHI, Mike Flood, 1D-2D Modelling, User Manual, Hørsholm, Denmark, 2009.
4. J. Jorgeson, X. Ying, W. Wardlaw, Two-Dimensional Modeling Of Dam Breach Flooding, US-China Workshop On Advanced Computational Modelling In Hydroscience & Engineering, USA.
5. Mirosław-Świątek D., Radoń R. Raport z wykonania poddziałania nr 4.3 Wykonanie opracowania końcowego - Projekt PL0456 Zagrożenia powodziowe powstałe w wyniku katastrof budowli piętrzących, Warszawa, Kraków 2011.
6. Radoń R. Zielińska M., Piórecki M., Metodyka analizy zagrożeń powodziowych spowodowanych katastrofami zapór - Projekt PL0456 Zagrożenia powodziowe powstałe w wyniku katastrof budowli piętrzących, Kraków 2011.
7. Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains, USGS, Water-supply Paper 2339.
8. A. Borowicz, J. Kwiatkowski, J. Spatka, E. Zeman, Metodyka opracowania map zagrożenia powodziowego dla potrzeb wdrażania Dyrektywy 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2007 r. w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim, DHI Polska, Warszawa 2009.