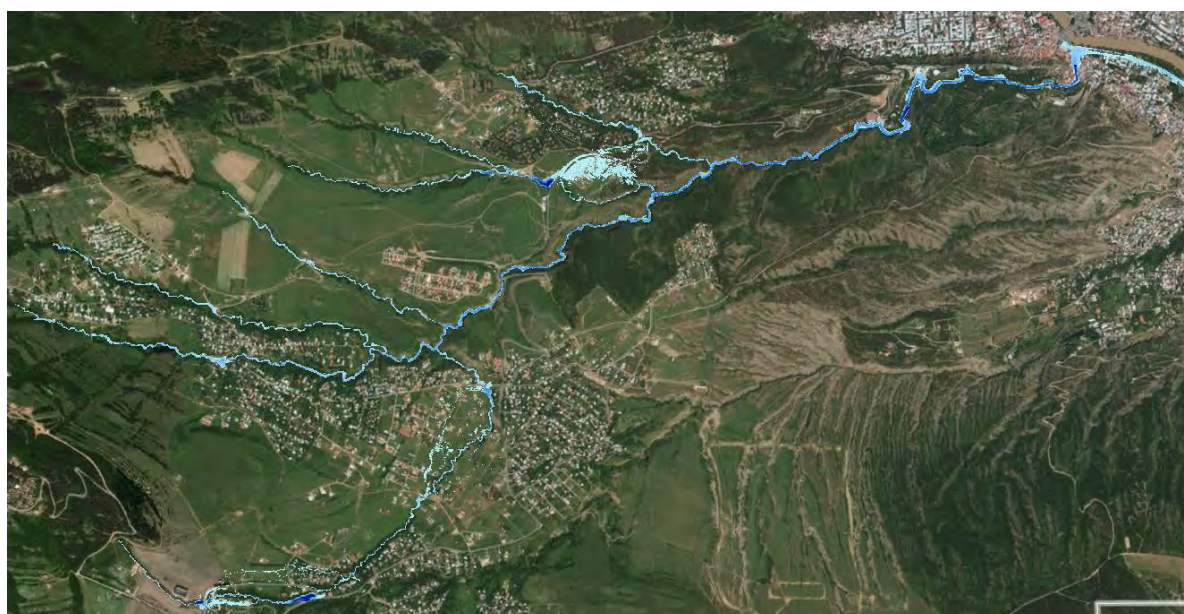


P170526

# Report on dissemination seminar

**Assessment of Suitable Flood Mitigation Measures (based on Tsavkistskali River Extreme Flood Analysis) in Tbilisi, Georgia**

CTCN REFERENCE NUMBER: 2016000043



**Document Information**

Date	29.07.2018
HYDROC project no.	P170526
HYDROC responsible	Nino Kheladze
Client	CTC-N/UNIDO
Reference No.	2016000043
Project No.	
Credit No.	

**Contact**

HYDROC GmbH  
Siegum 4  
24960 Siegum  
Germany

Tel - +49 172 450 91 49  
Email - [info@hydroc.de](mailto:info@hydroc.de)

**Contact**

Environment and Development  
39 Berdzeni Street  
0114, Tbilisi  
Georgia

Tel - +995 599 367978  
Email - [info@envdevelopment.org](mailto:info@envdevelopment.org)

## Table of Contents

1	Introduction .....	1
2	Project results dissemination meeting .....	1
3	Materials .....	3
4	Conclusions .....	3
	Annexes .....	4
1.	Meeting Agenda .....	4
2.	Leaflet .....	5
3.	Presentations in English .....	6
4.	Presentations in Georgian .....	10
5.	Photos of the Seminar .....	6
6.	Participants registration form .....	7

## 1 Introduction

The current report on dissemination seminar presents the overview of the final activity (project results dissemination workshop) of the project “Assessment of Suitable Flood Mitigation Measures in Tbilisi, Georgia, based on Tsavkistskali River Extreme Flood Analysis” that is implemented by HYDROC, in collaboration with Environment and Development (ED). The project is financially supported by Climate Technology Centre and Network (CTCN) and United Nations Industrial Development Organization (UNIDO). The main objective of the project was to improve the flood risk management in the Tsavkistskali River basin.

## 2 Project results dissemination meeting

The dissemination seminar was held on 12th of July, 2018 at Rooms Hotel, Tbilisi. The main objective of the meeting was to present and explain the project results to the stakeholders. During the seminar the following presentations were made by the project implementers Hydroc and Environment and Development, particularly about:

- Activity 1: Initial Analysis - data acquisition and methodology selection
- Activity 2: Modelling of flooding scenarios - hydrology, climate change and hydrodynamics
- Activity 3: Adaptation measures - mapping and mitigation
- Activity 4: Technology and knowledge transfer - upscaling and further application (see the meeting Agenda in Annex 1).

The meeting was attended by the project team members and representatives of the following government institutions

- Ministry of Environment Protection and Agriculture
- National Environmental Agency
- Georgian Amelioration
- Emergency Management Agency
- Tbilisi City Hall
- National Botanic Garden of Georgia
- Parliament of Georgia

Further, non-government-, scientific- and private organizations as well as the media attended (see the list of participants in the Table 1 /Annex 3 and meeting photos in Annex 2). The opening of the meeting was made by the representatives of the key project stakeholders, the head of National Environment Agency – Nino Tandilashvili and the deputy head of Municipal Department of Environment Protection – Tamar Sharashidze.

Table 1: List of participants of the meeting

No	Name	Organization/position	Contact information
1	Juan Fernandez	HYDROC, hydraulic modeller	jfernandez@hydroc.de
2	Georg Petersen	HYDROC, team leader	gpetersen@hydroc.de
3	Giorgi Korashvili	Emergency Management Agency, head of unit	g.korashvili@gmail.com

4	Archil Chargeishvili	Deputy head of Krtsanisi district mayor	archilevs73@gmail.com
5	Zurab Ekmetishvili	Head of Mtatsminda-Krtsanisi fire-emergency unit	577538165
6	Maia Jolokhava	Tbilisi City Hall	maiajolokhava@gmail.com
7	Nana Tsikvadze	Sustainable Caucasus	ntsikvadze@sd-caucasus.com
8	Ramaz Tchitanava	National Environmental Agency - NEA	ramazchitanava@gmail.com
9	Giorgi Kordzakhia	National Environmental Agency - NEA	giakordzakhia@gmail.com
10	Giorgi Unapkoshvili	National Environmental Agency - NEA	giauapkoshvili@gmail.com
11	Tinatin Barblishvili	National Botanic Garden of Georgia	tinabar7@yahoo.com
12	Tamaz Darchidze	National Botanic Garden of Georgia	tazodarchidze@gmail.com
13	Nikoloz Chkhetiani	Cartu Fund	nicoloz@gmail.com
14	Giorgi Gogaladze	Emergency Management Agency	gogaladze@gmail.com
15	Mariam Bakhtadze	G4G Project	mbakhtadze@g4g.ge
16	Lasha Sukhishvili	Institute of Earth Sciences & NSMC, Ilia State University	lasha.sukhishvili@iliauni.edu.ge
17	Tea Topuria	Radio Liberty	theatopuria@gmail.com
18	Zviad Ghadua	National Environmental Agency	ghadua@gmail.com
19	Mamuka Gvilava	"Geographic"	mgvilava@geographic.ge
20	Giorgi Machavariani	Ministry of Environment Protection and Agriculture	machavariani.geo@gmail.com
21	Marina Kordzakhia	National Environmental Agency	marinakordzakhia@gmail.com
22	Ketevan Tsiklauri	National Environmental Agency	tsiklauriqetevan@gmail.com
23	Iulia Bobrova	Institute of Earth Sciences & NSMC, Ilia State University	iulia.bobrova@iliauni.edu.ge,
24	Eliso Shanava	Parliament of Georgia	eshanava@parliament.ge
25	Nino Kheladze	Environment and Development	nino.kheladze@envdevelopment.org
26	Kakha Bakhtadze	Environment and Development	kakha.bahtadze@envdevelopment.org

The major issues noted during the meeting were:

- The Deputy Minister of the Ministry of Environment Protection and Agriculture and the Head of NEA expressed the importance of this technical assistance, especially considering the recent flood event that occurred in western Georgia;
- The Head of the Ecological Department of the Tbilisi City Hall mentioned the necessity to include the results from this project in the new Master Plan of Tbilisi. The need to undertake similar studies, replicating the approach, in all the relevant catchments in Tbilisi was also noted;
- The representative of National Environmental Agency, Mr. Giorgi Kordzakhia, expressed his gratitude to the project donor Climate Technology Centre and Network and implementers (HYDROC and Environment and Development) for the support and hard work;
- The special thank was given to Ilia State University who supported the project in facilitation during the trainings implemented within the project (see the news regarding training published at Ilia State University web site:  
<https://ies.iliauni.edu.ge/?lang=en>

- The representative of National Environmental Agency, Mr. Giorgi Kordzakhia, asked for a follow-up to this project. He requested for Tbilisi City Hall and other relevant stakeholders to take note of the results of this project and implement the recommendations regarding mitigation (both structural and non-structural).
- The quality of the provided training was mentioned, highlighting the relevance of the topics covered.
- Mr. Ramaz Tchitanava, head of the hydro-meteorological department of NEA asked for advice regarding the impact of landslides in flood events. Georg Petersen and Juan Fernandez noted the different impact that a landslide can have in a flood (and *vice-versa*), and how to address this from a modelling-forecasting point of view.
- Mr. Nikoloz Chkhetiani (Cartu Fund) requested more collaboration from NEA regarding data sharing activities. Mr. Giorgi Kordzakhia explained that this data is shared with relevant organisations periodically. He also explained that other organisations

The Media (Radio Liberty) attended the meeting and made the reportage that was published on their website and Facebook page (see the links below):

- <https://www.radiotavisupleba.ge/a/29388258.html>
- <https://www.facebook.com/radiotavisupleba/videos/10156644838987360/>

### 3 Materials

HYDROC prepared a leaflet describing the project activities and main results in Georgian and English language. This was distributed to all the participants in the seminar. Also, a flood map of the catchment (size A0) was made available to the participants for discussion.

During the seminar, Nino Kheladze, Kakha Bakhtadze, Georg Petersen and Juan Fernandez presented the activities undertaken within the framework of this project and the main results. Several presentations were used in order to convey this information. The English and Georgian versions of these presentations can be found in Annexes 3 and 4 respectively.

### 4 Conclusions

A dissemination seminar was held in Tbilisi in order to discuss among relevant stakeholders the activities and results of the “Assessment of Suitable Flood Mitigation Measures in Tbilisi, Georgia” technical assistance. The importance of this technical assistance and the relevance of the results were highlighted during the seminar.

## Annexes

### 1. Meeting Agenda

#### **Workshop Agenda**

Assessment of Suitable Flood Mitigation Measures (based on Tsavkistskali River Extreme Flood Analysis) in Tbilisi, Georgia

Funded by **Climate Technology Centre and Network**

Implemented by **HYDROC GmbH and Environment and Development (ED)**

12. July 2018

Rooms Hotel, Tbilisi

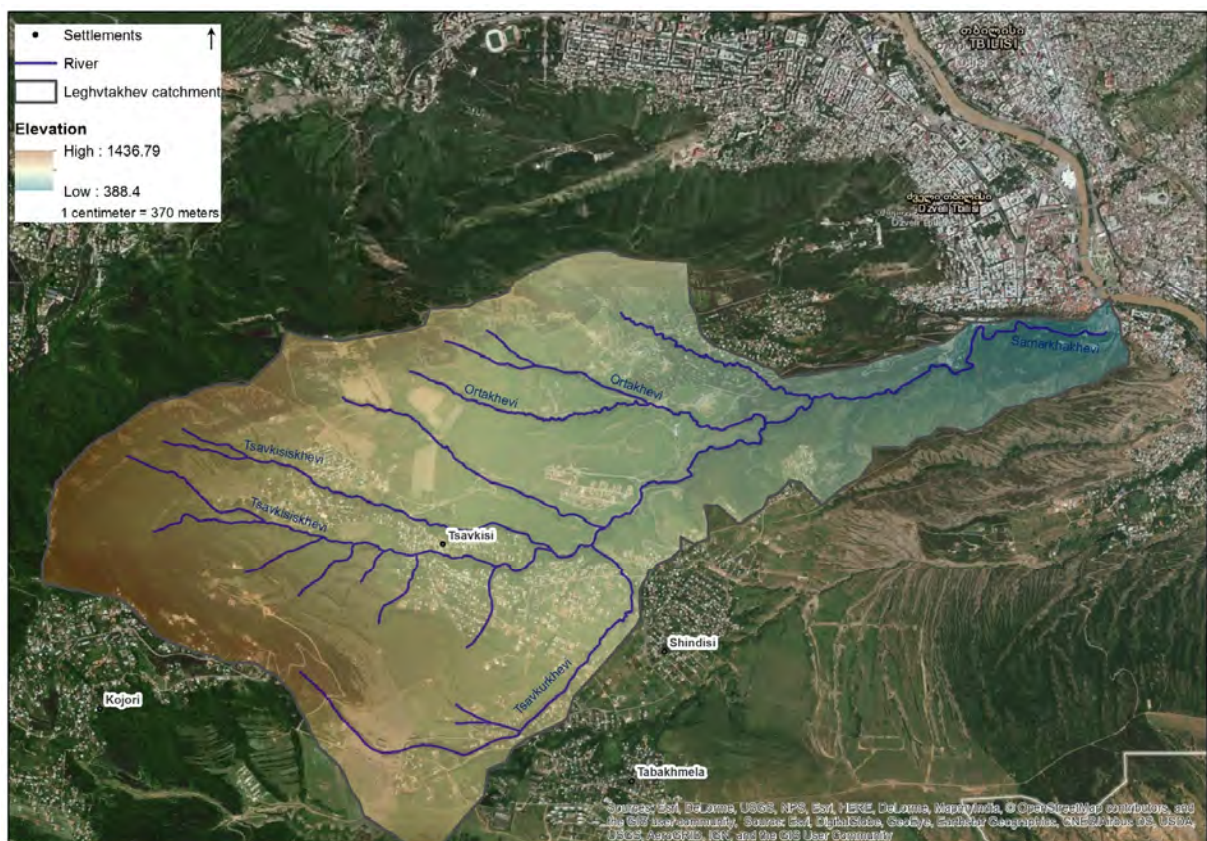
<b>Time</b>	<b>Topics</b>
09:30	Arrival and registration
10:00	Opening and welcome remarks
10:10	Introduction and background to the project
10:20	Activity 1: Initial Analysis - data acquisition and methodology selection
10:50	Activity 2: Modelling of flooding scenarios - hydrology, climate change and hydrodynamics
11:20	Coffee break
11:50	Activity 3: Adaptation measures - mapping and mitigation
12:20	Activity 4: Technology and knowledge transfer - upscaling and further application
12:50	Conclusions
13:00	Lunch

\* Time for questions and answers will be available at the end of each activity presentation

## 2. Leaflet

## Assessment of Suitable Flood Mitigation Measures in Tbilisi, Georgia

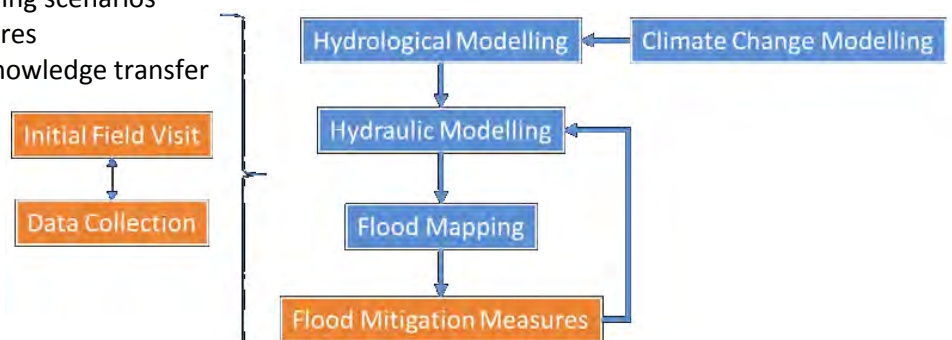
Financed by Climate Technology Centre and Network



Activities:

- Activity 1 - Initial analyses and support
- Activity 2 - Modelling of flooding scenarios
- Activity 3 - Adaptation measures
- Activity 4 - Technology and knowledge transfer

Integrated assessment



### Project overview and goals

The Assessment of Suitable Flood Mitigation Measures in Tbilisi makes use of state of the art approaches and intensive analysis for understanding the flood behaviour of Dukniskhevi River with the purpose to improve flood risk management and provide a best practice example for flood analysis in Georgia.

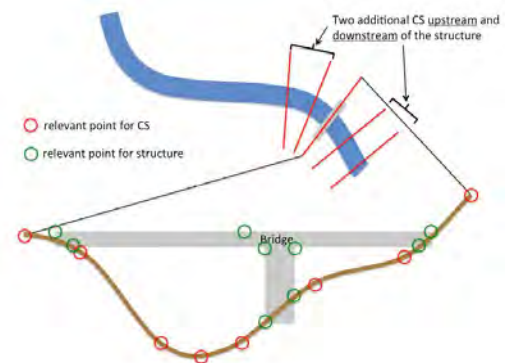
River characteristics: Permanent right bank tributary of Mtkvari River; Elevation range from 1200m to 385m; River length 9km; Basin area 21.3 km<sup>2</sup>; Water sources: rain, snow, groundwater; Average annual discharge 2,5 m<sup>3</sup>/s; Diverse catchment conditions ranging from a hilly upper catchment to an incised downstream gorge; Reported floods in 1903 and 1955; Flood discharge in 1955 >100 m<sup>3</sup>/s.

### Data

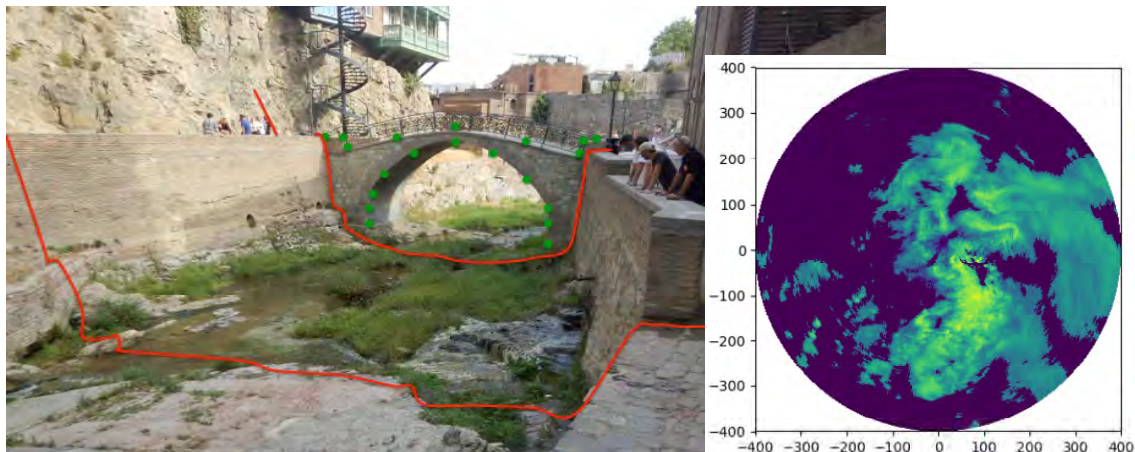
Existing and historic hydrometeorological gauging station network, water demand and water use, aerial/satellite images, hydraulic structures, digital elevation data, geology, soil, and land cover data. Further, information about flood history including events, flood damages and existing mitigation works and defences, critical infrastructure and socioeconomic data as well as non-structural measures. Projections of resources and demands under climate change as well as anthropogenic developments to understand future developments.

Relevant data in Georgia is held by

- Hydrometeorology and Climate Changes division of Ministry of Environment Protection and Agriculture (MoEPA)
- National Environment Agency (NEA) of MoEPA
- Emergency Management Agency (EMA)
- Department of Environment and Green Spaces and Municipal Services Development Agency – MSDA of Tbilisi City Hall



On-ground surveys to collect cross section- and hydraulic structure data

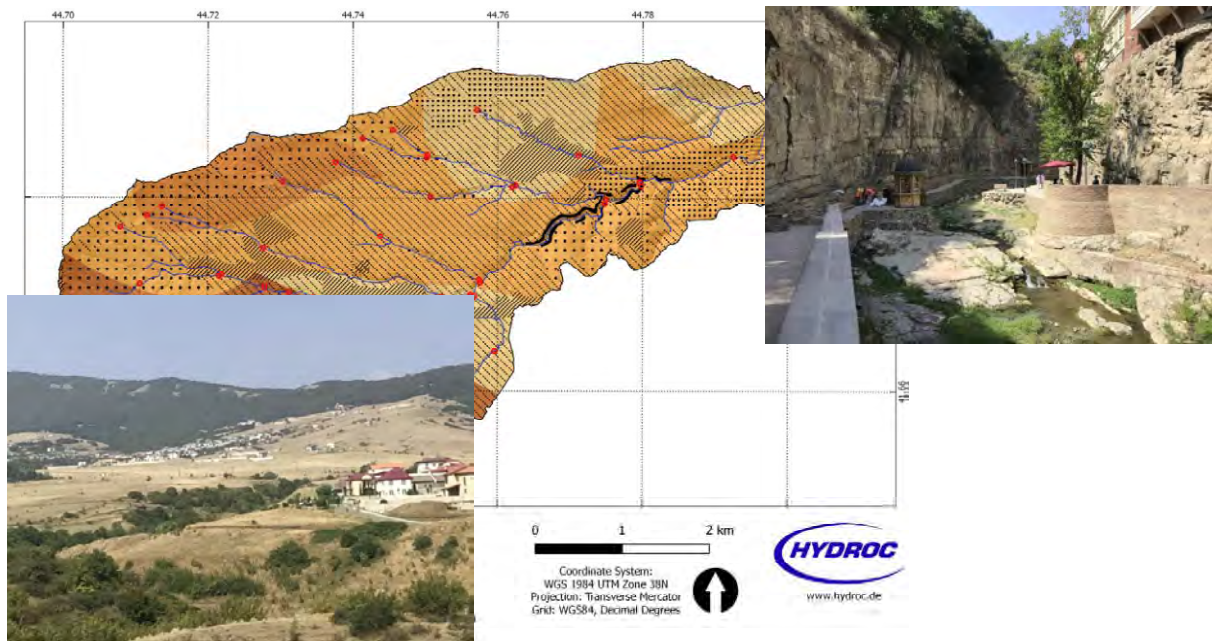


### Climate change

Future annual rainfall in Georgia is projected to decrease under all climate scenarios. The daily intensity of rainfall is, however, projected to increase. The net effect of these changes is a reduction in the return period for large rainfall events. The uncertainties on the rainfall thresholds are large and stem primarily from the difficulty of estimating the magnitude of rare events from short time series.

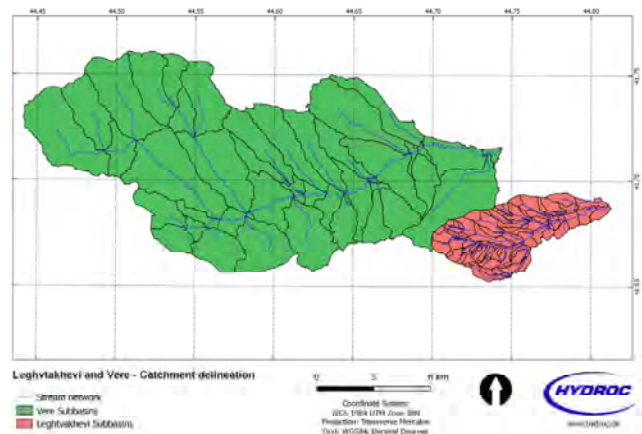
\* Other names: Leghvtakhevi Tsavkისტskali, Dabakhana, Tsavkისტskhevi, Samarkhikhevi

## Hydrological modelling



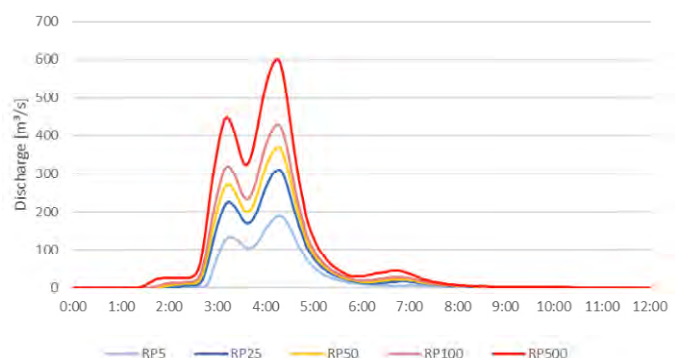
HEC-HMS and HEC-GeoHMS, developed by the U.S. Army Corps of Engineers, were chosen for hydrological modelling after careful evaluation of options and close coordination with NEA. HEC is freely available, sophisticated and well-tested software for runoff and flood analysis.

To drive the model, long-term, sub-hourly rainfall data for the Leghvtakhevi catchment is not readily available. In addition, no discharge observations took place in the Leghvtakhevi catchment. Therefore, a regionalized paired catchment approach was used to extrapolate observed storms causing the May 2012 and June 2015 flooding events in the adjacent Vere river basin and using these in the hydrologic model for calibration. The model was driven by available high resolution spatiotemporal rainfall radar data. Other possibilities would have been TRMM and GPM satellite observations, or the MPE product from EUMETSAT to temporally downscale daily gauge-readings from the stations Vashlijivari, Kojori or Tbilisi Airport.



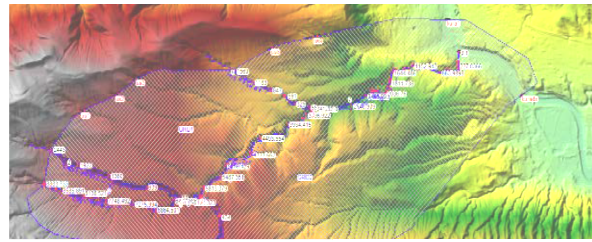
The calibrated model was then forced with design storms, generated using two options, Intensity-Duration-Frequency (IDF) curves and Monte-Carlo simulations. In addition climate change impacts were considered.

Results show discharge hydrographs ranging from 189 m<sup>3</sup>/s for the 5-year to 601 m<sup>3</sup>/s for the 500-year return period. The hydrographs under the RCP8.5 2070 climate change scenario show a strong increase compared to the baseline.



Hydraulic modelling

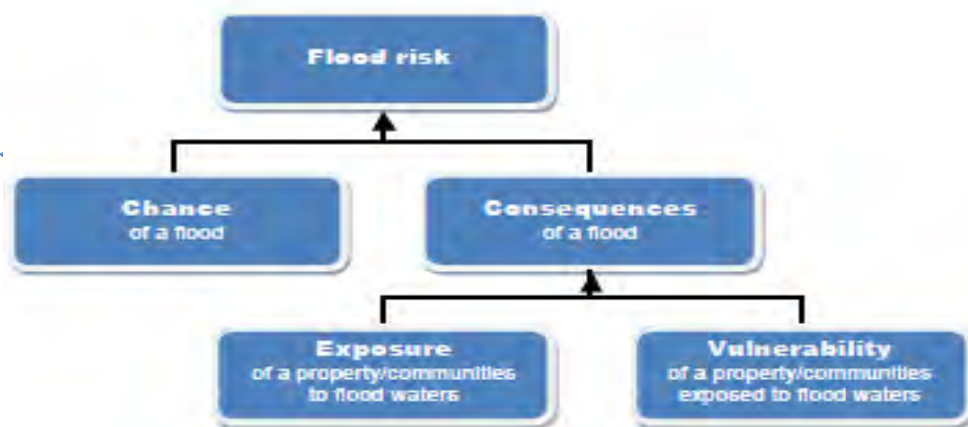
Approaches using 1D, 2D, coupled 1D-2D hydraulic modelling have been tested for Leghvtakhevi catchment. HEC-RAS software was used for the modelling.



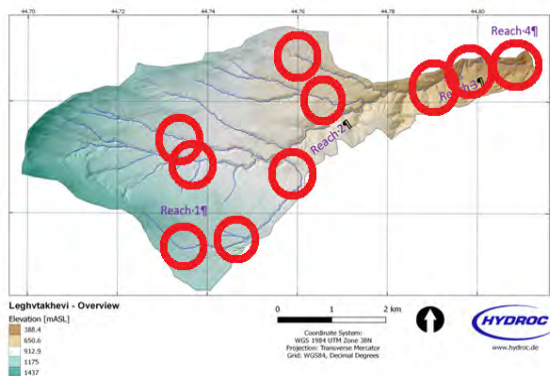
While in principle a coupled 1D-2D approach seemed suitable, results showed that this approach was unstable. There a full 2D approach was taken, showing plausible results, and reacting satisfactorily to the sensitivity tests.

Flood management and adaptation measures, upscaling

Flooding is treated in a risk management context for flood risk management, in which the flood itself is a natural hazard and risk results from the exposure of the community to the hazard and its ability to deal with the occurrence of the hazard.



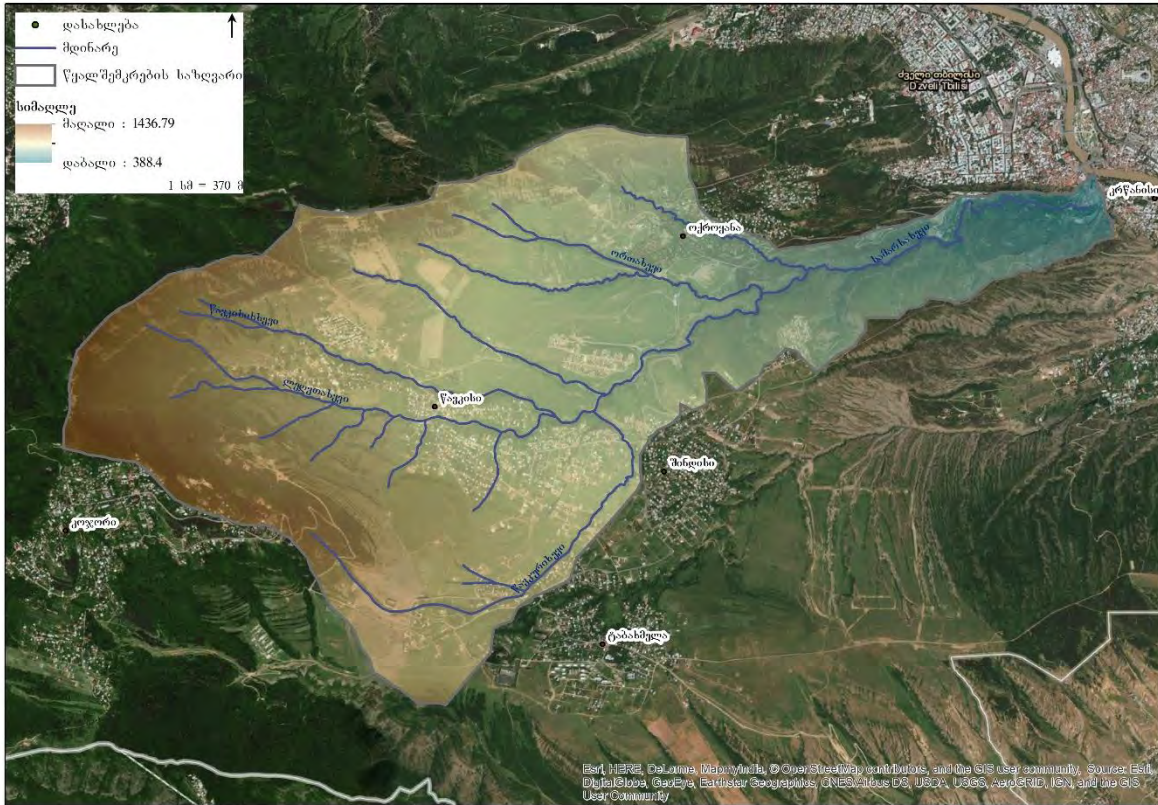
The aim of flood risk management is to reduce the vulnerability of the community to flooding by a combination of reducing their exposure and reducing the consequences of a flood event. This considers both structural and non-structural interventions, including upstream-downstream relations.



Areas of flood risk / flood hotspots in Leghvtakhevi catchment, caused by limited culvert capacity or limited channel capacity.

Increasing culvert size and implementing Flood Forecasting and Early Warning System is recommended.

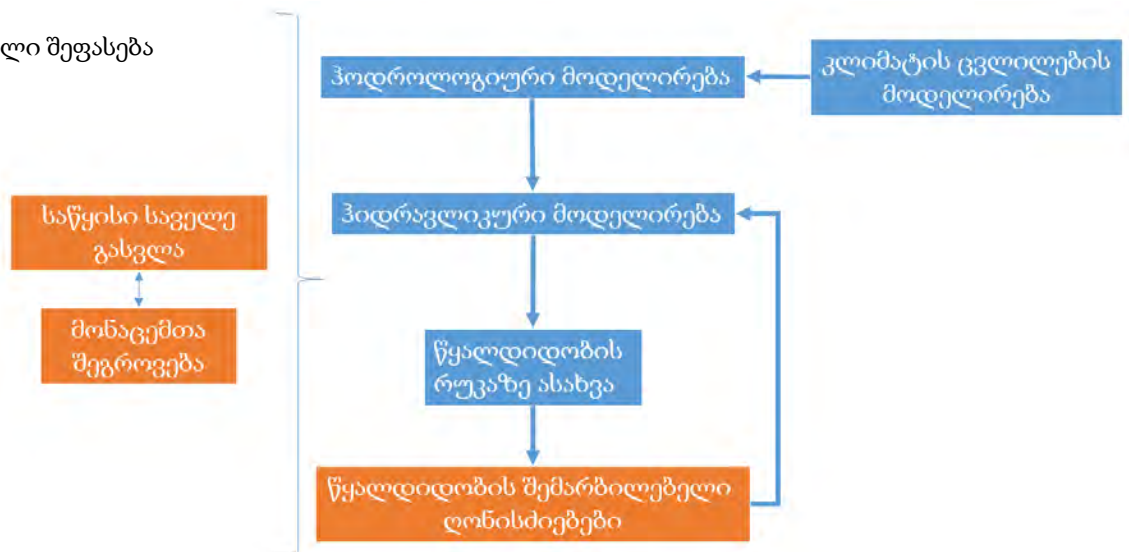
**წყალდიდობის შემარბილებელი ღონისძიებების შეფასება (მდინარე წავკისისწყლის ექსტრემალური წყალდიდობის ანალიზის საფუძველზე) თბილისში, საქართველო**  
 დაფინანსებულია კლიმატის ტექნოლოგიური ცენტრისა და ქსელის (CTCN) მიერ



**აქტივობები:**

- აქტივობა 1 - პირველადი ანალიზი და მხარდაჭერა
- აქტივობა 2 - წყალდიდობის სცენარების მოდელირება
- აქტივობა 3 - საადაპტაციო ღონისძიებები
- აქტივობა 4 - ტექნოლოგიისა და ცოდნის გადაცემა

**ინტეგრირებული შეფასება**



### პროექტის მიმოხილვა და მიზნები

წყალდიდობის რისკის შემარბილებელი ღონისძიებების შეფასება თბილისში (მდინარე წავკისისწყლის<sup>1</sup> ექსტრემალური წყალდიდობის ანალიზის საფუძველზე) ეფუძნება თანამედროვე მიდგომებს და ინტენსიურ ანალიზს იმისთვის, რომ მოხდეს მდინარე წავკისისწყლის წყალდიდობის განვითარების შესაძლებლობის უკეთ შესწავლა, წყალდიდობის რისკის მართვის გაუმჯობესება და საქართველოში წყალდიდობის ანალიზის საუკეთესო პრაქტიკის მაგალითის წარმოდგენა.

მდინარის მახასიათებლები: მდინარე მტკვრის მუდმივი მარჯვენა შენაკადი; სიმაღლე ზღვის დონიდან მერყეობს 1,200 მ-დან 385 მ-მდე; მდინარის სიგრძე 9 კმ; აუზის ფართობი 21.3 კმ<sup>2</sup>; მდინარის კვების წყარო: წვიმა, თოვლი, მიწისქვეშა წყლები; საშუალო წლიური ხარჯი 2,5 მ<sup>3</sup>/წმ; 1903 და 1955 წლებში დაფიქსირდა წყალდიდობა; წყალდიდობის ხარჯი 1955 წელს > 100 მ<sup>3</sup>/წმ.

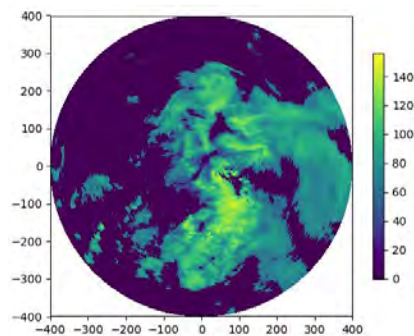
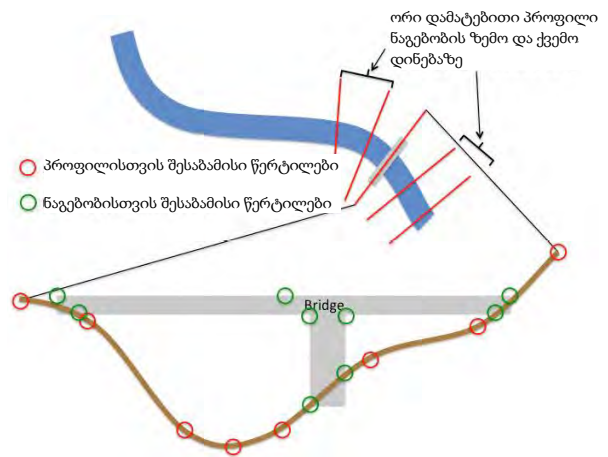
### მონაცემები

არსებული და ისტორიული ჰიდრომეტეოროლოგიური საგუშაგო/სადგურის ქსელი, წყლის მოთხოვნა და წყალმომარება, აერო/სატელიტური სურათები, ჰიდრავლიკური სტრუქტურები, ციფრული სიმაღლის მონაცემები, გეოლოგია, ნიადაგი და მიწის საფარის მონაცემები. ასევე, ინფორმაცია ისტორიული წყალდიდობის შესახებ, მათ შორის სტიქიური მოვლენები, წყალდიდობით გამოწვეული ზიანი და არსებული შემარბილებელი და დაცვითი სამუშაოების, კრიტიკული ინფრასტრუქტურისა და სოციო-ეკონომიკური მონაცემები. კლიმატის ცვლილების შედეგად არსებული რესურსებისა და მოთხოვნების პროგნოზი ისევე, როგორც ანთროპოგენული განვითარება მომავალი განვითარებების გასაგებად.

საქართველოში ზემოთხსენებული მონაცემების წყაროებია შემდეგი სტრუქტურები:

- გარემოს დაცვისა და სოფლის მეურნეობის სამინისტროს (MoEPA) გარემოსა და კლიმატის ცვლილებების დეპარტამენტი;
- MoEPA-ს გარემოს ეროვნული სააგენტო (NEA);
- საგანგებო სიტუაციების მართვის სამსახური;
- თბილისის მერიის გარემოს დაცვის და ინფრასტრუქტურის განვითარების საქალაქო სამსახური.

საველე კვლევები მდინარის პროფილებისა და ჰიდრავლიკური სტრუქტურების მონაცემების შეგროვების მიზნით

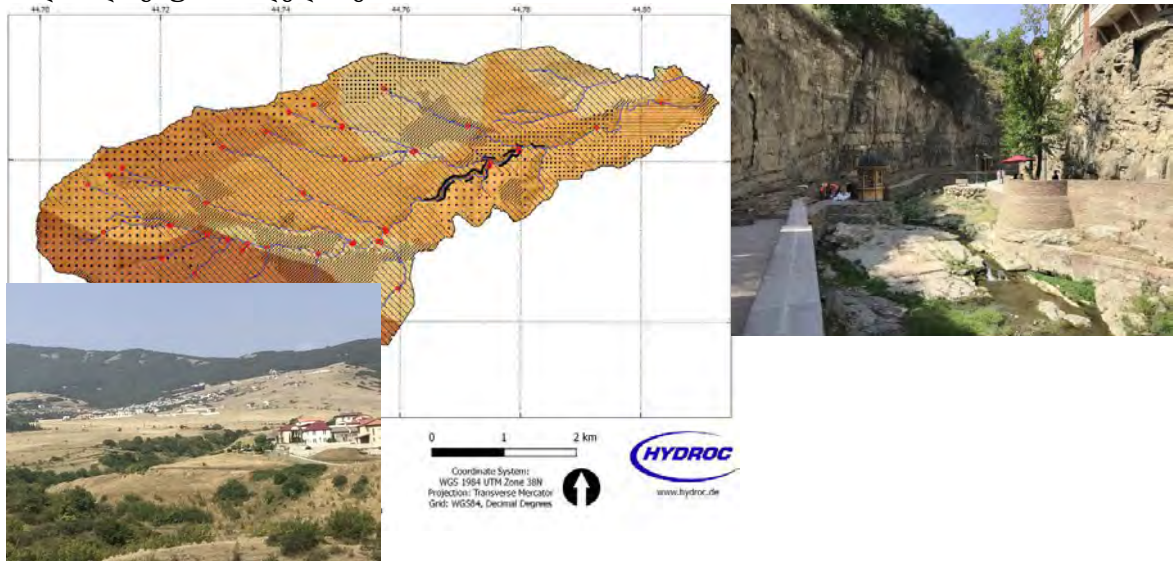


### კლიმატის ცვლილება

პროგნოზირებულია, რომ მომავალი წლიური ნალექი საქართველოში ყველა კლიმატური სცენარის ფარგლებში შემცირდება თუმცა ნალექების ყოველდღიური ინტენსივობა გაიზარდება. ამ ცვლილებების პირდაპირი შედეგია უზვინალექიანობის განმეორებადობის პერიოდის შემცირება. ნალექების ზღვრების ცდომილება დიდია და, პირველ რიგში, გამომდინარეობს დროის მოკლე მწკრივში მიღებული იშვიათი მოვლენების მაგნიტუტის შეფასების სირთულიდან.

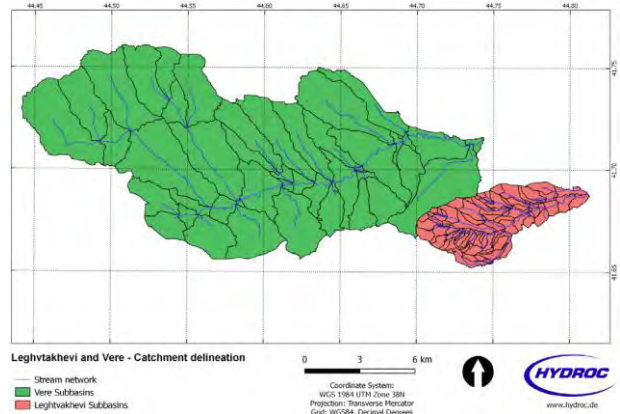
<sup>1</sup> სხვა სახელები: ლეღვახევი, დაბახანა, წავისისხევი, სამარხიხევი

**ჰიდროლოგიური მოდელირება**

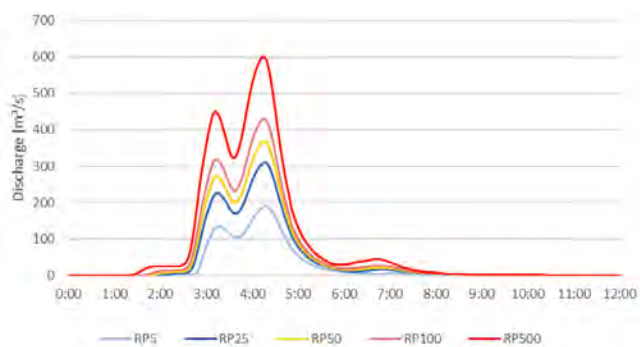


სხვადასხვა არჩევანის შეფასების და გარემოს ეროვნული სააგენტოსთან შეთანხმების საფუძველზე, ჰიდროლოგიური მოდელირებისათვის შეირჩა აშშ არმიის ინჟინერთა კორპუსის მიერ შემუშავებული პროგრამული უზრუნველყოფა HEC-HMS და HEC-GeoHMS. HEC თავისუფლად ხელმისაწვდომი, დახვეწილი და კარგად გამოცდილი პროგრამული უზრუნველყოფა ჩამონადენისა და წყალდიდობის ანალიზისთვის.

მდინარე წავკისისწყლის წყალშემკრების მოდელის ამუშავება გრძელვადიანი, ქვე-საათობრივი ნალექების მონაცემების გამოყენებით არ არის ამ ეტაპზე ხელმისაწვდომი. გარდა ამისა, წავკისისწყლის წყალშემკრებში არ ჩატარებულა ხარჯებზე დაკვირვებაც. შესაბამისად, გამოყენებულ იქნა რეგიონული დაწყვილებული წყალშემკრების მიდგომა წარსულში დაფიქსირებული ჭარბი ნალექების მონაცემებიდან პროგნოზის გასაკეთებლად, რომლებმაც გამოიწვია 2012 წლის მაისისა და 2015 წლის ივნისში დაფიქსირებული წყალდიდობის მოვლენები ახლომდებარე მდინარე ვერეს აუზში. ეს მონაცემები ასევე გამოიყენებული იყო ჰიდროლოგიური მოდელის კალიბრაციისთვის. მოდელი გაეშვა ხელმისაწვდომი მაღალი რეზოლუციის სივრცისა და დროის ნალექების რადარის მონაცემებით. სხვა ვარიანტები იქნებოდა TRMM და GPM სატელიტური დაკვირვებები ან EEMETSAT-ის MPE პროდუქტი, ვაშლიჯვრის, კოჯრის ან თბილისის აეროპორტის სადგურების დღიური მონაცემების დროითი მასშტაბის შემცირებისთვის.



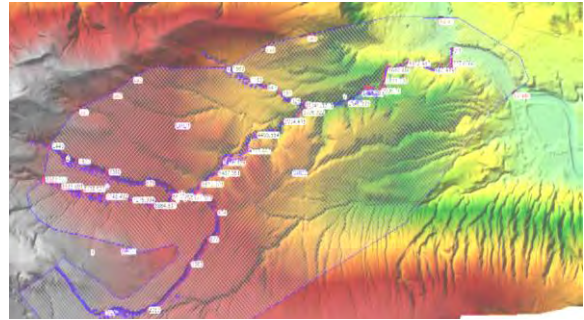
დაკალიბრებული მოდელი შემდგომ გამოყენებულ იქნა ჭარბი ნალექის მოდელირებისას, ორი სხვადასხვა საშუალების გამოყენებით, ინტენსივობის-ხანგრძლივობის-სიხშირის (IDF) მრუდებით და მონტე-კარლოს სიმულაციებით. გარდა ამისა, გათვალისწინებულ იქნა კლიმატის ცვლილების ზემოქმედება.



შედეგები აჩვენებს ხარჯის ჰიდროგრაფებს 5-დან (189 მ<sup>3</sup>/წ) 500 წლამდე (601 მ<sup>3</sup>/წ) განმეორებადობებით. RCP8.5 2070-ის კლიმატის ცვლილების სცენარების ჰიდროგრაფები აჩვენებს მკვეთრ ზრდას საბაზისო მონაცემებთან შედარებით.

**ჰიდრავლიკური მოდელირება**

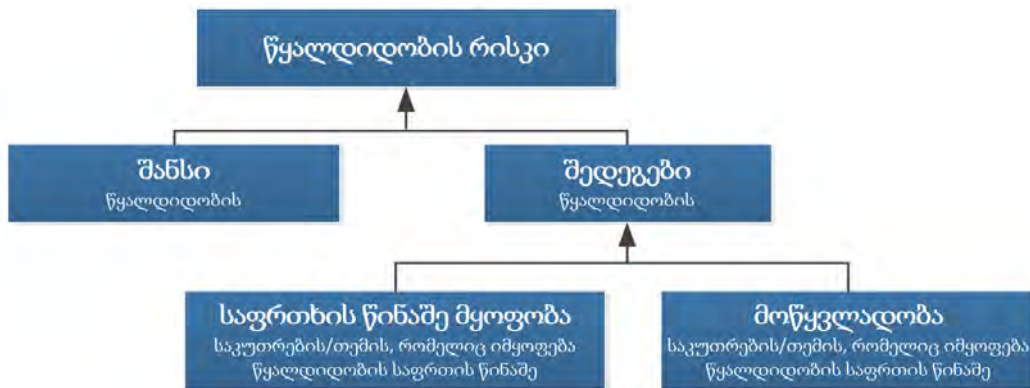
მდინარე წავკისისწყლის წყალშემკრებში მოხდა 1D, 2D და დაწყვილებული 1D-2D ჰიდრავლიკური მოდელირების მიდგომების გამოცდა. მოდელირებისთვის გამოყენებული იყო HEC-RAS პროგრამული უზრუნველყოფა.



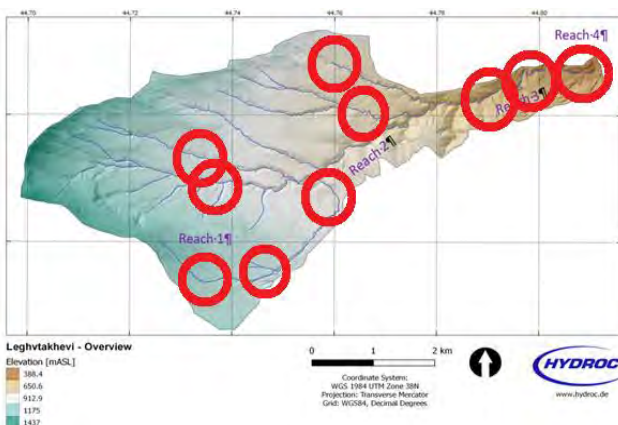
მიუხედავად იმისა, რომ დაწყვილებული 1D-2D-ის მიდგომის პრინციპი მიიჩნეოდა ყველაზე შესაფერის მიდგომად, შედეგებმა ცხადყო მისი არასტაბილურობა. შედეგად გამოყენებული იყო სრული 2D მიდგომა, რომელმაც აჩვენა დამაჯერებელი შედეგები და დამაკმაყოფილებელი რეაგირება მოახდინა მგრძნობელობის ტესტებზე.

**წყალდიდობის მართვა და საადაპტაციო ღონისძიებები, განზოგადება**

წყალდიდობის რისკის მართვის კონტექსტში, წყალდიდობა არის ბუნებრივი საფრთხე და რისკი გამომდინარეობს საფრთხის წინაშე მდგარი საზოგადოებისა და მათი სტიქიისადმი გამკლავების შესაძლებლობებიდან.



წყალდიდობის რისკის მართვის მიზანია საზოგადოების მოწყვლადობის შემცირება წყალდიდობის მიმართ, წყალდიდობის საფრთხის წინაშე დადგომისა და წყალდიდობით გამოწვეული შედეგების კომბინაციის შემცირების გზით. ეს მოიცავს როგორც სტრუქტურულ, ისე არასტრუქტურულ ქმედებებს, მათ შორის, ზემო და ქვემო დინებების ურთიერთქმედებებს.



წყალდიდობის რისკის/წყალდიდობის ცხელი „წერტილების“ მიდამოების არსებობა მდინარე წავკისისწყლის წყალშემკრებში, გამოწვეულია მიწების ან არხების შეზღუდული წყალგამტარუნარიანობით.

რეკომენდირებულია წყალგამტარი მიწების ზომის გაზრდა და წყალდიდობის პროგნოზირებისა და ადრეული შეტყობინების სისტემის დანერგვა.

გარემო და განვითარება  
[www.envdevelopment.org](http://www.envdevelopment.org)  
[info@envdevelopment.org](mailto:info@envdevelopment.org)

P170526  
 HYDROC GmbH  
[www.hydroc.de](http://www.hydroc.de)  
[info@hydroc.de](mailto:info@hydroc.de)

### 3. Photos of the Seminar



#### 4. Participants registration form



პროექტის "წყალდიდობების შემარბილებელი ღონისძიებების შეფასება ქალაქ თბილისისთვის (მდინარე წავეისწყლის ექსტრემალური წყალდიდობის ანალიზის საფუძველზე)" შერეული შეხვედრა

12.07.18

N	სახელი გვარი/Name	სამუშაო ადგილი, პოზიცია/Organization, position	ტელეფონი/Telephone	ელ-ფოსტა/e-mail	ხელმოწერა/Signature
1	JUAN FERNANDEZ	HYDROC HYDRAULIC MODEL	-	JFERNANDEZ@HYDROC.DE	
2	Georg Petersen	Hydroc, Team leader		gpetersen@hydroc.de	
3	გიორგი კობახიძე	საქართველოს სივრცითი მისიონერი სივრცითი კვლევის ცენტრი	577600888	g.kobakhidze@gmail.com	
4	ანრიკ ჩიკოტიანი	საინჟინრო რესურსების ცენტრი	589225303	achilevs73@gmail.com	
5	გიორგი ჩიკოტიანი	საინჟინრო-საბინაო სისტემების ცენტრი	577538165	Gmail.com	
6	მაია ჯოღია	ქ. თბილისი	568-01-88-22	maia.joghia@gmail.com	
7	ნსიკვაძე	საინჟინრო ცენტრი	593134742	ntsikvadze@sd-caucasus.com	
8	რამაზ ჩიტაია	საინჟინრო ცენტრი NEA	591404070	ramazchitaya@gmail.com	
9	გიორგი კობახიძე	საინჟინრო ცენტრი	599145658	giorgi.kobakhidze@gmail.com	
10	გიორგი კობახიძე	საინჟინრო ცენტრი	595152434	giorgiakobakhidze@gmail.com	
11	ლინკა ბაქაძე	საინჟინრო ცენტრი	599933295	linkabakidze@yahoo.com	
12	ნინო ბაქაძე	საინჟინრო ცენტრი	577292622	ninobakidze@gmail.com	
13	ნიკოლოზ ბეგიაშვილი	საინჟინრო ცენტრი	57200778	nicoloz@gmail.com	
14	გიორგი გოგალაძე	საინჟინრო ცენტრი	599201461	gogaladze@gmail.com	
15	მარიკა გვილაძე	საინჟინრო ცენტრი	599546616	marika.gviladze@gmail.com	
16	მარიკა გვილაძე	საინჟინრო ცენტრი	599183091	mbakhtadze@sbp.ge	
17	ლარსა საჩხიძე	საინჟინრო ცენტრი	577493355	larsa.sachidze@ilioni.edu.ge	

18	ლპი ამსუქი	ლპი ამსუქი	593282610	theatopuria@gmail.com	ამსუქი
19	გიორგი გიორგი	გიორგი გიორგი ლითვი	574 28 44 11	gtadua@gmail.com	გი.
20	გამბა გამბა	გამბა გამბა გამბა	551 11 81 97	machadouriani.gcc@gmail.com	გ. გამბა
21	აჩი ამხი	აჩი ამხი ამხი	59980399	marinafortzaki@gmail.com	ამხი
22	ბეკა ბეკა	ბეკა	599699615	tsiklauri.jotaban@gmail.com	ბ. ბეკა
23	იულია იულია	იულია ბობრევა იულია	557942291	iulia.bobrova@iliauni.edu.ge	ი. ბობრევა
24	ესთერ ესთერ	ესთერ	595850856	eshenova@parliament.ge	ესთერ
25	ნინო ნინო	ნინო	599367378	nino.khebuladze@development.org	ნ. ნინო
26	კატა კატა	კატა	555926556	kakha.bakhtadze@development.org	კ. კატა

## 5. Presentations in English



# Flood Methodology

Assessment of Suitable Flood Mitigation Measures in Tbilisi, Georgia



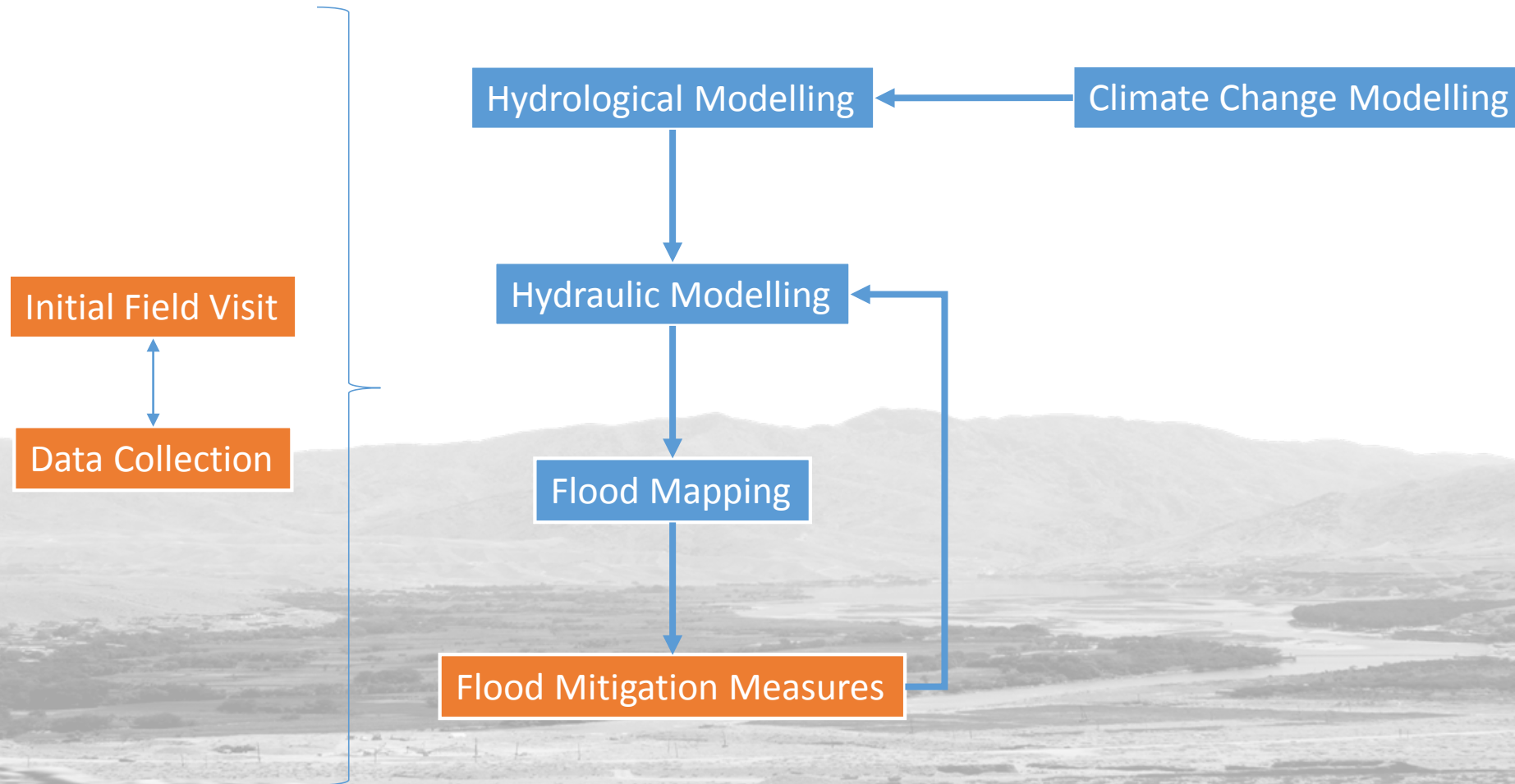
# Index



1. Flood Modelling Methodology
2. Data Collection
3. Constraints
4. Climate Change Modelling
5. Hydrological Modelling
6. Hydraulic Modelling
7. Flood Mapping and Mitigation



# Flood Modelling Methodology





# Data Collection and Site Visits

Several site visits have been undertaken

- Team leader
- Hydraulic Modelling Expert
- Data Collection Expert
- Hydrological Modelling Expert
- Flood Mitigation Expert
- Local Experts
- Stakeholder experts



# Site Visits



# Site Visits



# Data Collection



- Information outlined in the data collection presentation
- Additionally, river survey instructions were created
- Cross section and structure survey recommendations



# Data Collection

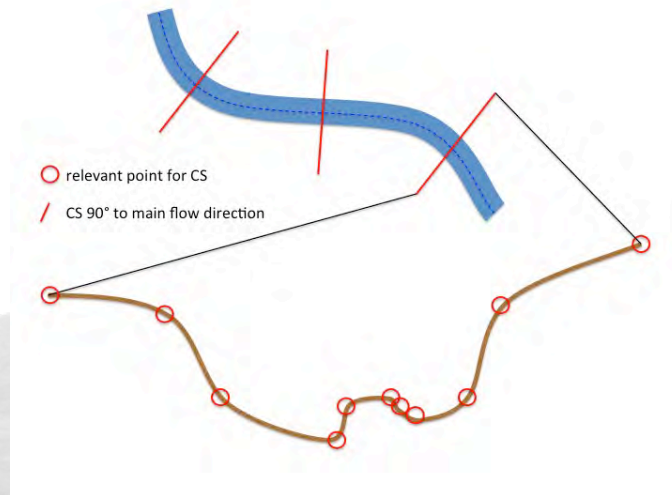


- Survey recommended in solid lines

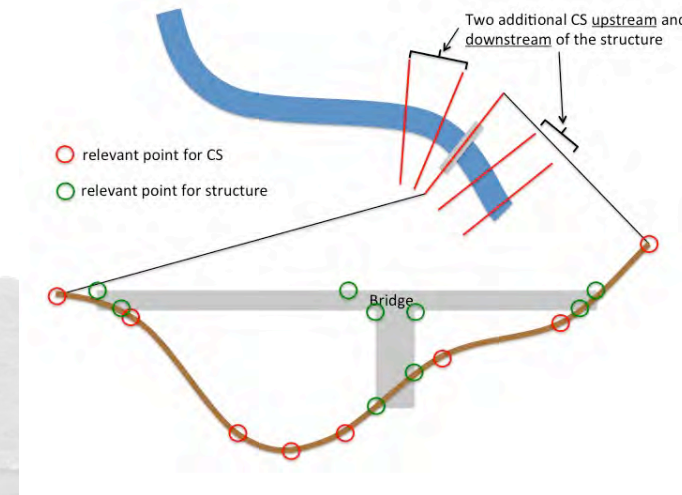


# Data Collection

- Catalogue of all Structures
- Terrestrial Survey



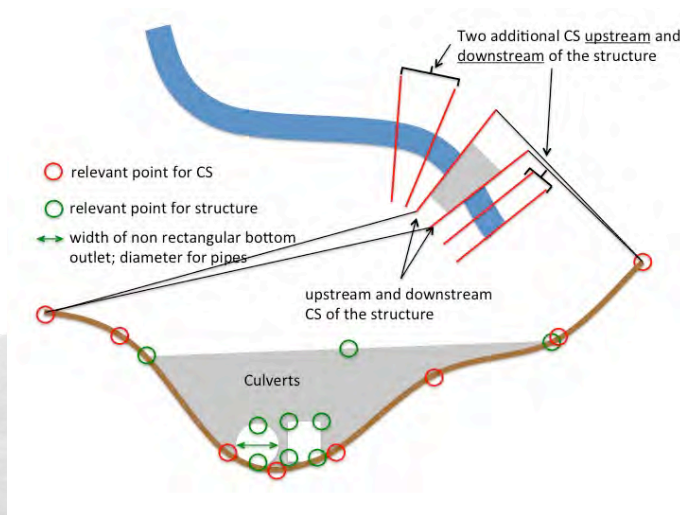
Cross section



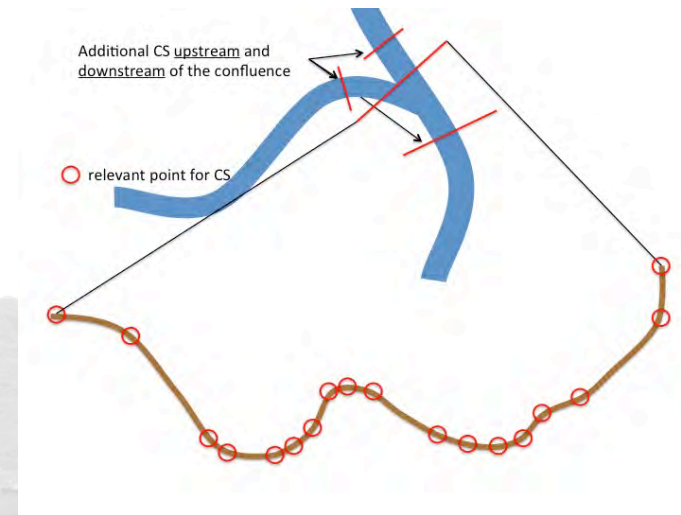
Bridge

# Data Collection

- Catalogue of all Structures
- Terrestrial Survey



Culvert



Confluence

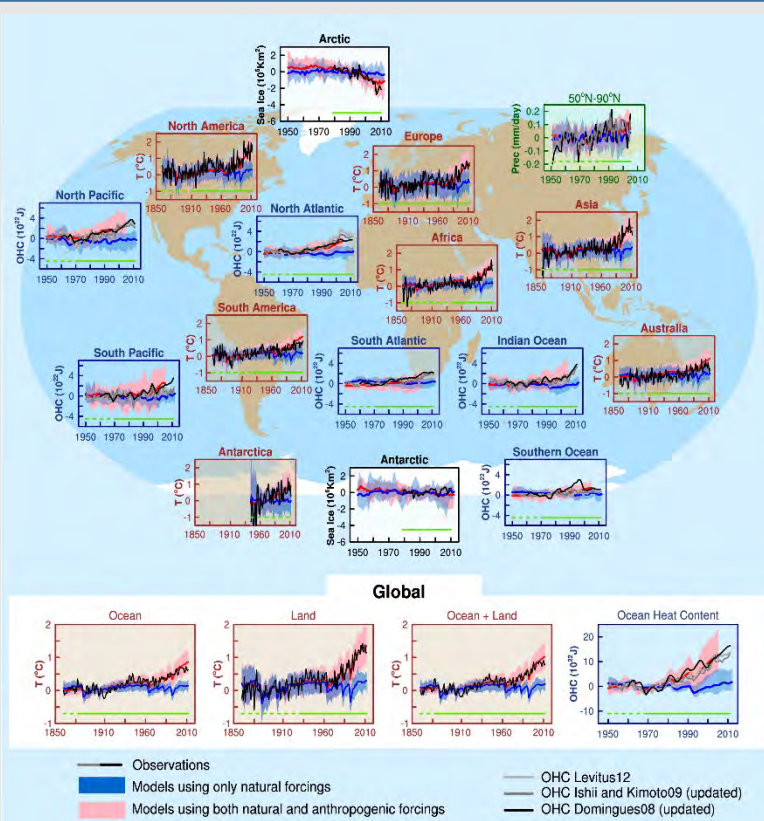
# Data Collection



# Climate Change Modelling



- Anthropogenic climate change is already evident at a global scale. The 5<sup>th</sup> IPCC assessment states: **“Warming of the climate system is unequivocal, and since the 1950s, many of the observed changes are unprecedented over decades to millennia.”**



Comparison of observed continental scale precipitation time series against modelled precipitation, with and without anthropogenic forcings

IPCC 5<sup>th</sup> assessment, working group 1 Figure 10.21

# Climate Change Modelling



- There are, however, large uncertainties about the magnitude of projected climate change at the regional scales of relevance to decision makers
- Projected changes in precipitation are less well constrained than changes in temperature



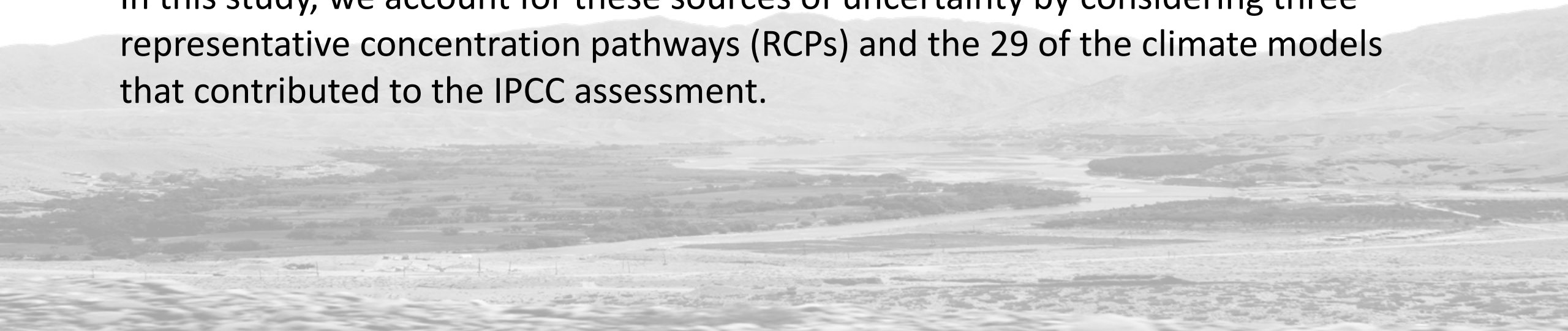
# Climate Change Modelling Methodological approach



## **Accounting for uncertainty**

- Scenario uncertainty arises from lack of knowledge of future greenhouse gas emissions
- Model uncertainty arises from limitations in climate model ability to represent key processes

In this study, we account for these sources of uncertainty by considering three representative concentration pathways (RCPs) and the 29 of the climate models that contributed to the IPCC assessment.



# Climate Change Modelling Methodological approach



## **Time scales**

Two time slices are analysed for the return periods: 2030-2050 and 2070-2090. 2030-2050 is the time scale of greatest relevance for decision making; 2070-2090 provides insight into the effect of large perturbations to the climate system.



# Climate Change Modelling Methodological approach



## **Analysis of extremes**

- Changes in standard metrics of extremes (as used in the IPCC process) are surveyed for 2070-2090 compared to 1970-1990
- Return periods for extreme rainfall are derived using extreme value statistics



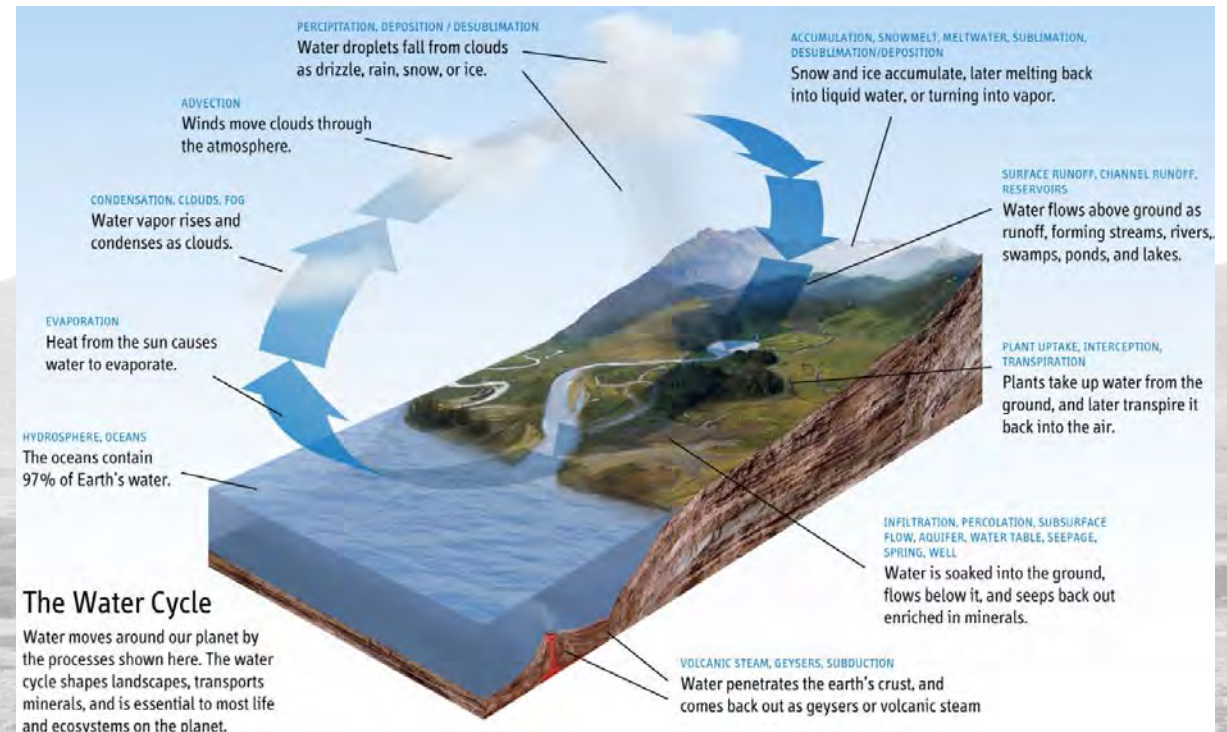
# Hydrological Modelling Methodological Approach



- Hydrological models can depict the full land phase of the hydrological cycle (general models)...
- ...or only parts of the hydrological cycle (e.g. flooding process) (specialized models)

➔ Focus on important and ignore negligible parts of the cycle depending on the task at hand

➔ Efficient modelling





# Hydrological Modelling cannot...

- provide a 100% exact solution to a problem
  - ➔ it will always remain a simplification of reality
- provide universal approaches to all types of hydrological problems
  - ➔ a specialized tool will always perform better than a general tool
- be a substitute for experience, knowledge and education of the hydrologist
  - ➔ (human) decisions are an integral part of any modelling process

# Types of Flooding



Pluvial floods



**River / flash floods**



Dam breaks

# Causes of river floods and flash floods



- Occurrence of exceptional discharge in river channels with breaching of river banks
- Caused by excessive rain or snowmelt upstream (dam break not considered here)
- Depends on interaction between
  - soil moisture
  - soil infiltration capacity
  - urbanization (impervious areas)
  - river channel properties
  - rainfall/snowmelt intensity
- Hydrate Project with data on Flash Floods  
<http://www.hydrate.tesaf.unipd.it/index.asp?sezione=FFDCPresentation>

# Model requirements: River-, flash floods



## Modelling task in the Leghtvakhevi

## Required model properties

Simulation of representative flood flows

Event-based simulation

Possible integration into early warning system

Continuous simulation, batch-runs

Small catchments with rapid response times

Sub-hourly time step simulation

Linkage to a hydraulic model

Spatially distributed or semi-distributed

Possibly depict impact of dams

Reservoir simulation algorithms

Suitable to teach and long-term usage at NEA

User-friendly interface

standard Operation Systems

wide application range

well maintained and constant development

good documentation and help manuals

low maintenance costs

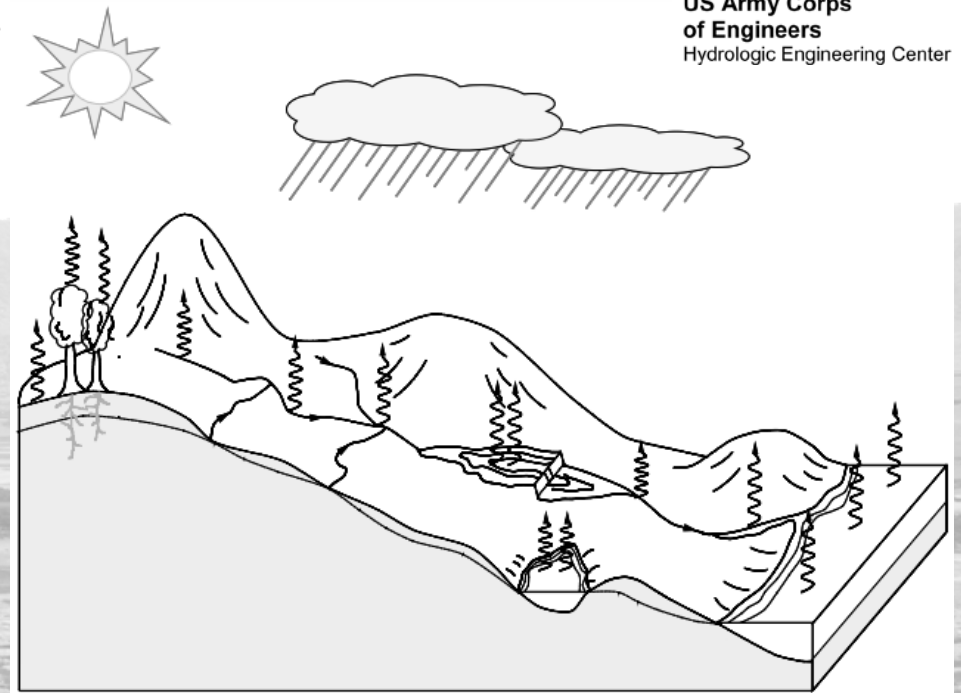
# Model Selection: HEC-HMS



- Freely available from the USACE-HEC
- 30 years of unprecedented experience in model development
- strong focus on flood modelling and engineering design
- Flexible software (multiple algorithms, continuous and event-based)
- Widely used due to constant development, GIS interface (HEC-GeoHMS), user groups and excellent documentation
- Linkage to other HEC models, e.g. HEC-RAS via the HEC-Data Storage System (DSS)



US Army Corps  
of Engineers  
Hydrologic Engineering Center



# Challenges and how to deal with them



- Observed precipitation data in Leghtvakhevi is only available at daily time steps, but should be smaller **Time of Concentration (ToC)** (app. 10 minutes)
- ➔ Use Radar precipitation data to disaggregate the daily design events
- No discharge observations at Leghtvakhevi (ungauged basin)
- ➔ Use regionalization approaches and carry out sensitivity analyses
- Daily discharge observations at Vere
- ➔ Calibrate the model to flow volumes (loss parameters) and transfer model parameters to Leghtvakhevi



# HEC-HMS model methodology

Process	Algorithms Leghtvakhevi	Algorithms Vere
Canopy storage	Simple Canopy	Simple Canopy
Surface depression storage	Simple Surface	Simple Surface
Infiltration (loss) method	Initial Constant Loss	Initial Constant Loss
Transformation method	Modified Clark	None
Baseflow	Constant Monthly	Constant Monthly
River Routing	Kinematic Wave	None
Channel losses/gain	None	None
Precipitation	Specified Hyetograph	Specified Hyetograph
Evapotranspiration	None	None
Snowmelt	None	None

# Hydraulic Modelling Methodological Approach



- Hydraulic Modelling
- Selection of Software
- Open-source Vs commercial
- 1D, 2D, 1D-2D
- Options
  - **HEC-RAS**
  - **MIKE FLOOD**
  - **ISIS-TUFLOW**
  - **INFOWORKS**
  - **FLOOD MODELLER**
  - **SOBEK**
  - **TELEMAC**

Method	Description	Application	Typical computation times	Outputs	Example Models
1D	Solution of the one-dimensional St-Venant equations.	Design scale modelling which can be of the order of 10s to 100s of km depending on catchment size.	Minutes	Water depth, cross-section averaged velocity, and discharge at each cross-section. Inundation extent if floodplains are part of 1D model, or through horizontal projection of water level.	Mike 11 HEC-RAS ISIS InfoWorks RS
1D+	1D plus a storage cell approach to the simulation of floodplain flow.	Design scale modelling which can be of the order of 10s to 100s of km depending on catchment size, also has the potential for broad scale application if used with sparse cross-section data.	Minutes	As for 1D models, plus water levels and inundation extent in floodplain storage cells	Mike 11 HEC-RAS ISIS InfoWorks RS
2D-	2D minus the law of conservation of momentum for the floodplain flow.	Broad scale modelling and applications where inertial effects are not important.	Hours	Inundation extent Water depths	LISFLOOD-FP JFLOW
2D	Solution of the two-dimensional shallow water equations.	Design scale modelling of the order of 10s of km. May have the potential for use in broad scale modelling if applied with very coarse grids.	Hours or days	Inundation extent Water depths Depth-averaged velocities	TUFLOW Mike 21 TELEMAC SOBEK InfoWorks-2D
2D+	2D plus a solution for vertical velocities using continuity only.	Predominantly coastal modelling applications where 3D velocity profiles are important. Has also been applied to reach scale river modelling problems in research projects.	Days	Inundation extent Water depths 3D velocities	TELEMAC 3D
3D	Solution of the three-dimensional Reynolds averaged Navier Stokes equations.	Local predictions of three-dimensional velocity fields in main channels and floodplains.	Days	Inundation extent Water depths 3D velocities	CFX

# Hydraulic Modelling Methodological Approach



## Hydraulic Modelling

- Both MIKE and HEC-RAS 5, appear to be suitable for hydraulic 1D and 2D modelling for the purpose of flood mapping. None of the models lacks the features needed for successful completion of the job
- The results of both models are comparatively accurate and efficient and can relatively easily be integrated within GIS database such as Arc-GIS or the like.
- Use of HEC-RAS, which is in a free public domain, does not require licensing for the modeller or final user, while MIKE (which is a commercial software) is tied to rather expensive licensing arrangements potentially preventing (some of the) end users to actively view and/or edit files.

# Hydraulic Modelling Methodological Approach



## Hydraulic Modelling

- Rating 1-5 (5 rating is better)

Evaluation Aspects	MIKE FLOOD	HEC-RAS 5.0
Price	1	5
Licensing	1	5
Capabilities	4	3
Simplicity	4	4
Accuracy	4	4
Available Information and Support	4	3
Speed	3	3
Local Experience	5	2

# Hydraulic Modelling Methodological Approach



## Hydraulic Modelling Approach

- Floodplain Topography
- Modelling Implementation
- Calibration and Validation
- Sensitivity Analyses (roughness, hydrological parameters, morphodynamics)

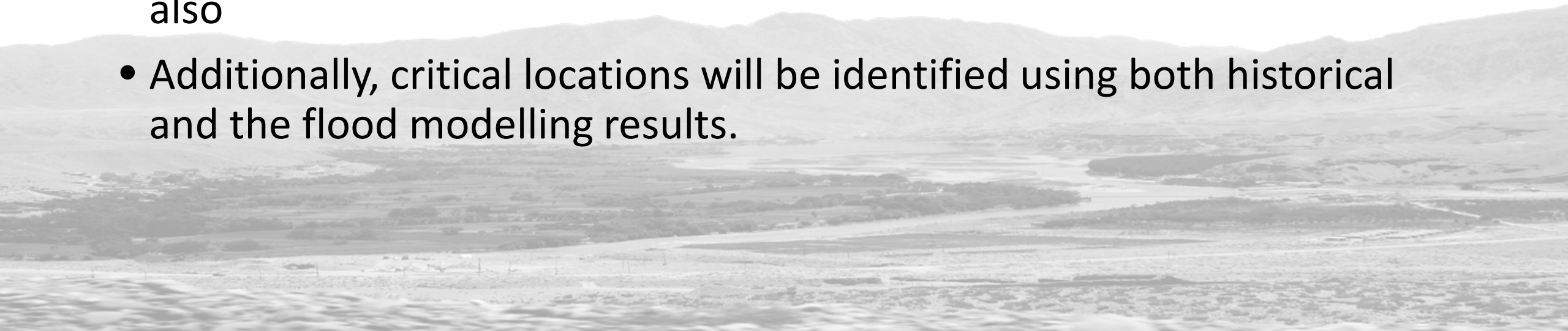


# Hydraulic Modelling Methodological Approach



## Hydraulic Performance:

- Full analysis of the flooding mechanism.
- Analysed in closer detail in urban areas, due to the increase risk in those areas (capacity of culverts)
- The influence of any other structure present in the study area will be also
- Additionally, critical locations will be identified using both historical and the flood modelling results.



# Flood Mapping Methodological Approach



- Maps to be produced using the modelling outputs from Activity 2 in combination with different GIS layers, such as different base-maps, aerial photographs or available socio-economic information.
- The results from the 1D and the coupled 1D-2D model will be combined in order to produce flood hazard maps for the study area.
- Ground truth survey will be undertaken in order to ensure that every area that has been flagged as susceptible to flood it is truly at risk of flooding after a field and historical verification.



# Flood Mitigation Methodological Approach



- The flood mitigation and adaptation options to be developed as part of the project will be modelled in the hydraulic model where necessary.
- Structural measures.
- Non-structural measures.
- Close collaboration



# Flood Mitigation Methodological Approach



The options will then be short listed and designed as follows.

- **Develop short list of options:** The long list of options will be examined and qualitatively assessed in terms of the socio-economic, environmental, engineering and hydrological impacts of the options
- **Options assessment:** The hydraulic impacts of the short-listed structural options could be simulated using the flood models developed for this study. An initial appraisal of the short-listed options will be carried out to determine technical performance in terms of flood hazard reduction in the basin.

# Technology Transfer Methodological Approach



All the products implemented and developed within the framework of this project will be delivered to NEA. All the numerical models used during the implementation will be installed at NEA. Also, the delivery of the final products (data and modelling files) will be undertaken in a 'friendly' manner with respective training elements, ensuring that NEA's modellers are capable of utilising all the different tools.



# Training



- River Survey
- Hydrological Modelling
- Climate Change Allowances
- Radar Data Processing
- Hydraulic Modelling
- Flood Forecasting Early Warning Systems





# Flood Modelling

Assessment of Suitable Flood Mitigation Measures in Tbilisi, Georgia



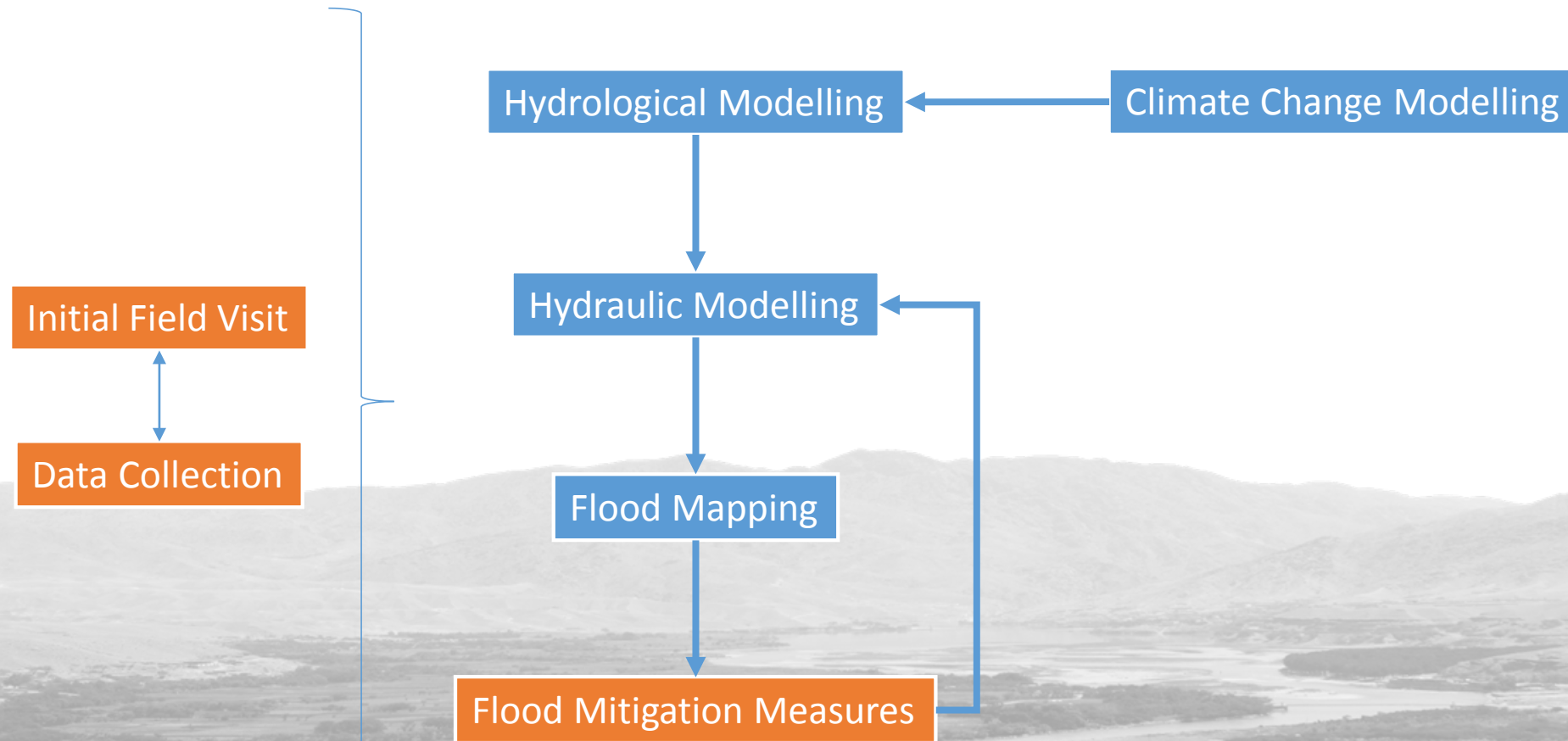
# Index



1. Flood Modelling Methodology
2. Climate Change Modelling
3. Hydrological Modelling
4. Hydraulic Modelling



# Flood Modelling Methodology



# Flood Modelling Methodology



- Climate Change Modelling
- Hydrological Modelling
- Hydraulic Modelling





# Climate Change Modelling



# Survey of changes in rainfall and extremes in the Tbilisi region



- Selected metrics of extreme precipitation were mapped over the region of interest (see table)
- At all points, the projected changes are compared against the year to year variability
- Multi-model means are shown, to highlight changes that are consistent across the CMIP5 models



# Survey of changes in rainfall and extremes in the Tbilisi region



Long name	CMIP5/Climdex name	Description
Maximum one-day cumulative precipitation	rx1day	Let $RR_{kj}$ be the precipitation amount for the 1-day interval ending $k$ , period $j$ . Then maximum 1-day values for period $j$ are:  $Rx1day_j = \max (RR_{kj})$
Total annual rainfall when the daily rainfall exceeds the 95 <sup>th</sup> percentile	r95p	Let $RR_{wj}$ be the daily precipitation amount on a wet day $w$ ( $RR \geq 1.0\text{mm}$ ) in period $i$ and let $RR_{wn95}$ be the 95 <sup>th</sup> percentile of precipitation on wet days in the 1961-1990 period. If $W$ represents the number of wet days in the period, then:
Simple precipitation intensity index	SDII	Let $RR_{wj}$ be the daily precipitation amount on wet days, $w$ ( $RR \geq 1\text{mm}$ ) in period $j$ . If $W$ represents number of wet days in $j$ , then:
Maximum dry spell length	CDD	Let $RR_{ij}$ be the daily precipitation amount on day $i$ in period $j$ . Count the largest number of consecutive days where:  $RR_{ij} < 1\text{mm}$
Maximum wet spell length	CWD	Let $RR_{ij}$ be the daily precipitation amount on day $i$ in period $j$ . Count the largest number of consecutive days where:  $RR_{ij} \geq 1\text{mm}$

$$R95p_j = \sum_{w=1}^W RR_{wj} \text{ where } RR_{wj} > RR_{wn95}$$

$$SDII_j = \frac{\sum_{w=1}^W RR_{wj}}{W}$$

# Projected changes in annual precipitation total

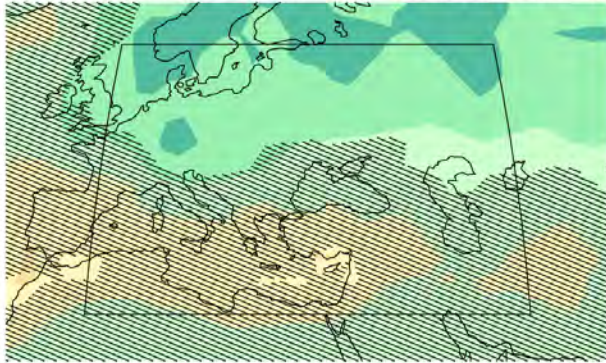


RCP2.6

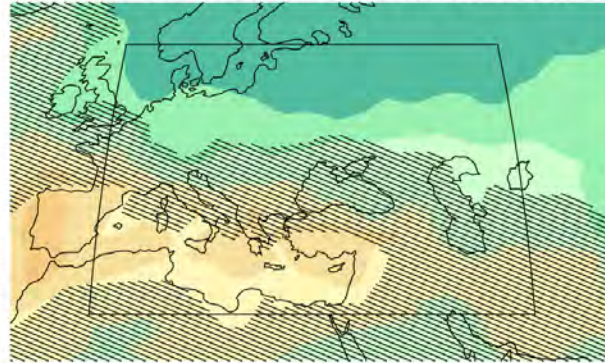
RCP4.5

RCP8.5

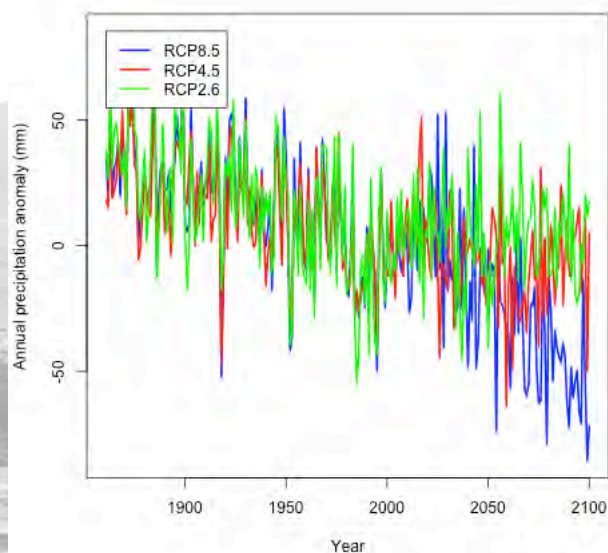
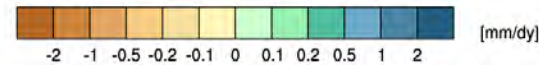
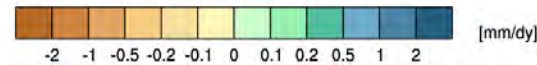
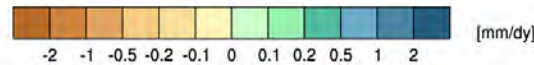
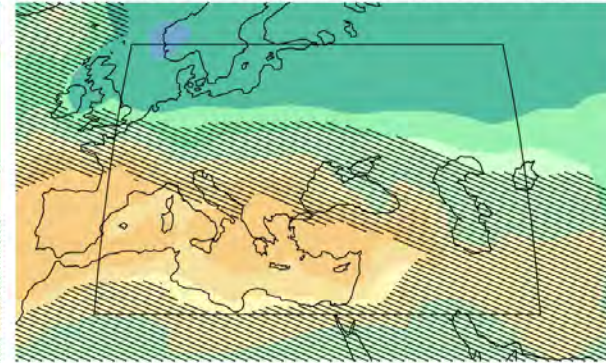
mean rcp26 PRCPTOT 2070-2090 minus 1960-1990 full CMIP5 ensemble



mean rcp45 PRCPTOT 2070-2090 minus 1960-1990 full CMIP5 ensemble



mean rcp85 PRCPTOT 2070-2090 minus 1960-1990 full CMIP5 ensemble



- There are projected to be fairly small reductions in annual precipitation in Georgia
- These are only significant in the RCP8.5 scenario

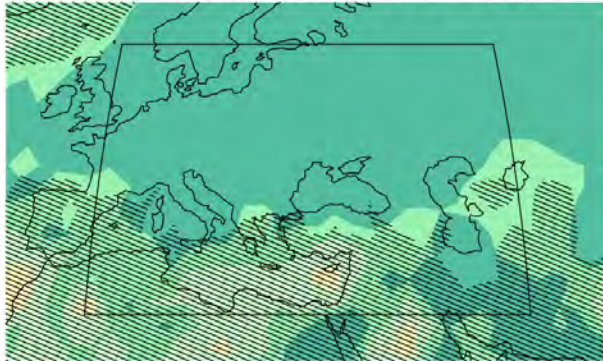
# Projected changes in rainfall intensity

RCP2.6

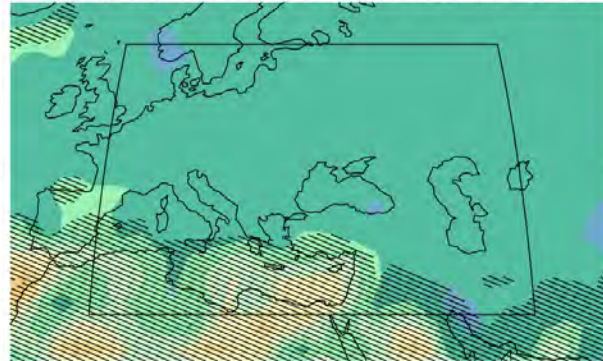
RCP4.5

RCP8.5

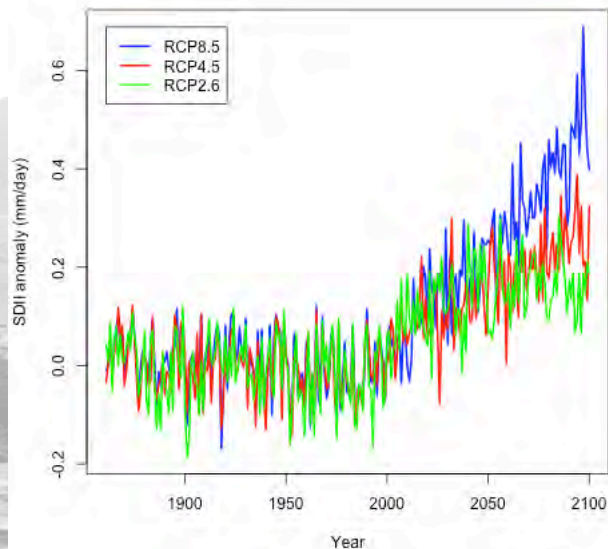
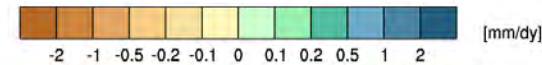
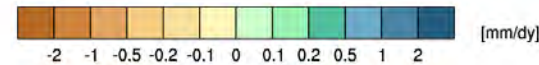
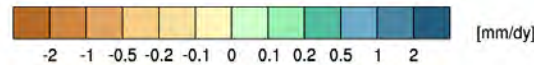
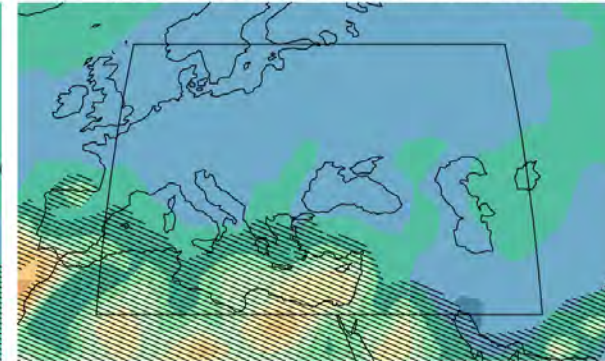
mean rcp26 SDII 2070-2090 minus 1960-1990 full CMIP5 ensemble



mean rcp45 SDII 2070-2090 minus 1960-1990 full CMIP5 ensemble

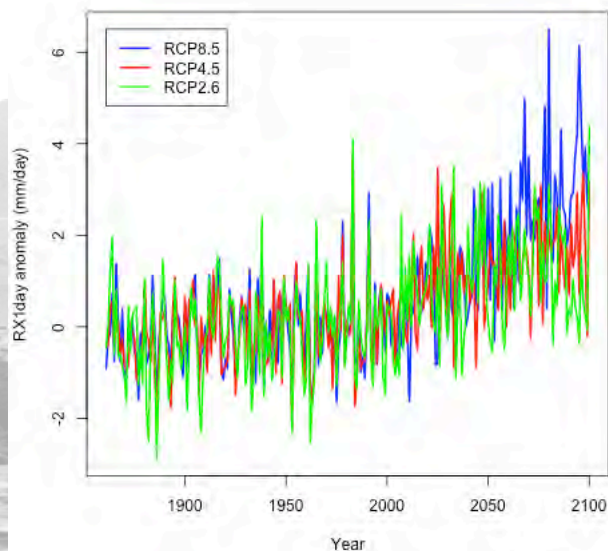
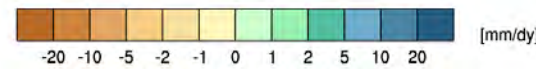
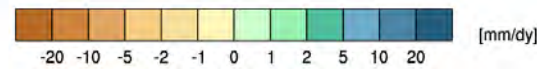
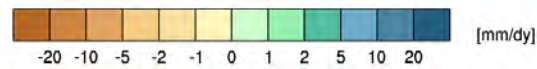
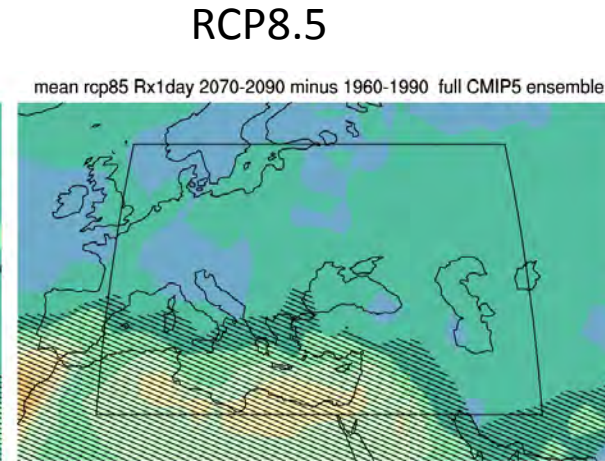
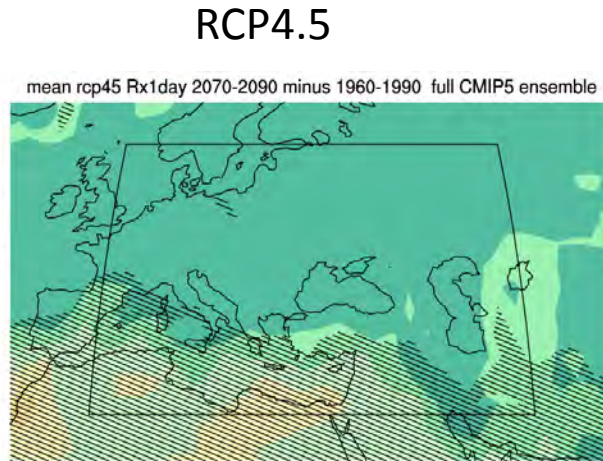
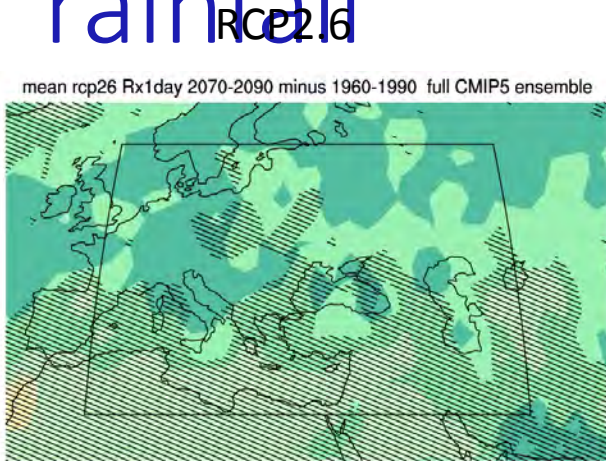


mean rcp85 SDII 2070-2090 minus 1960-1990 full CMIP5 ensemble



- There are projected to be significant increases in rainfall intensity in Georgia
- These increases are significant in all three scenarios

# Projected changes in annual maximum rainfall



- There are projected to be significant increases in annual maximum rainfall on one day in Georgia
- These increases are significant in all three scenarios

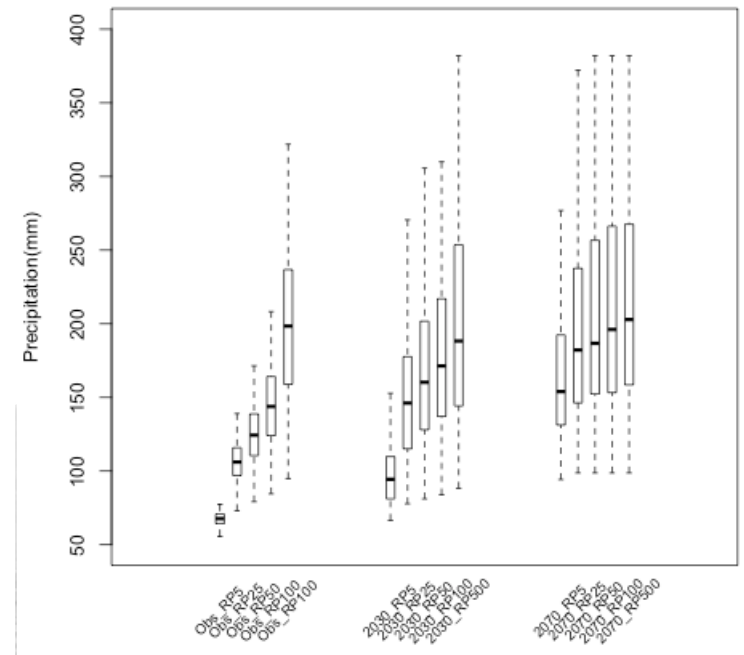
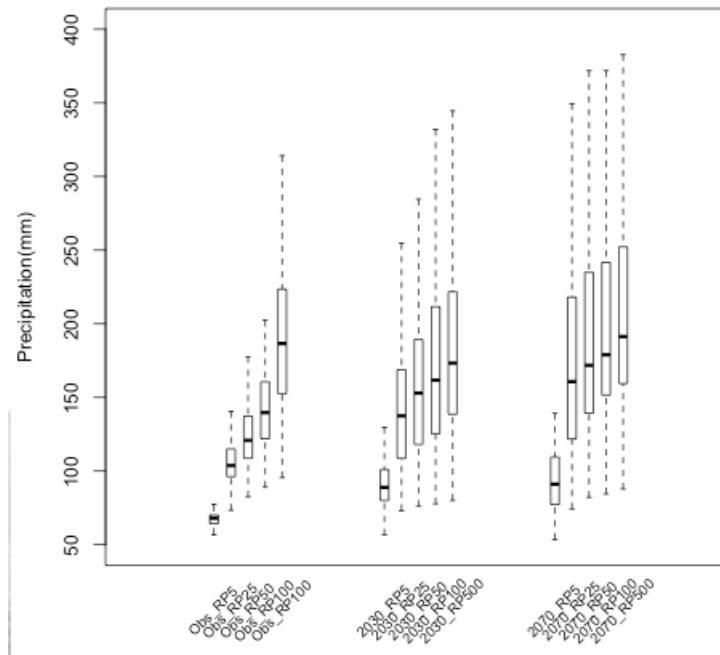
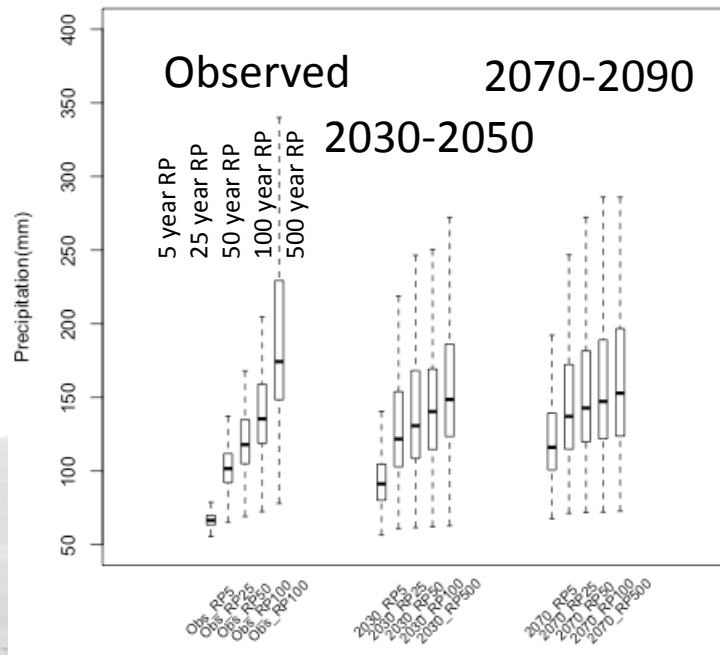
# Projected changes in return period for intensely rainy days



RCP2.6

RCP4.5

RCP8.5



Rainfall for a given return period is projected to increase significantly by 2030 under all scenarios, but there is huge uncertainty because of the short time series available to analyse

# Conclusions



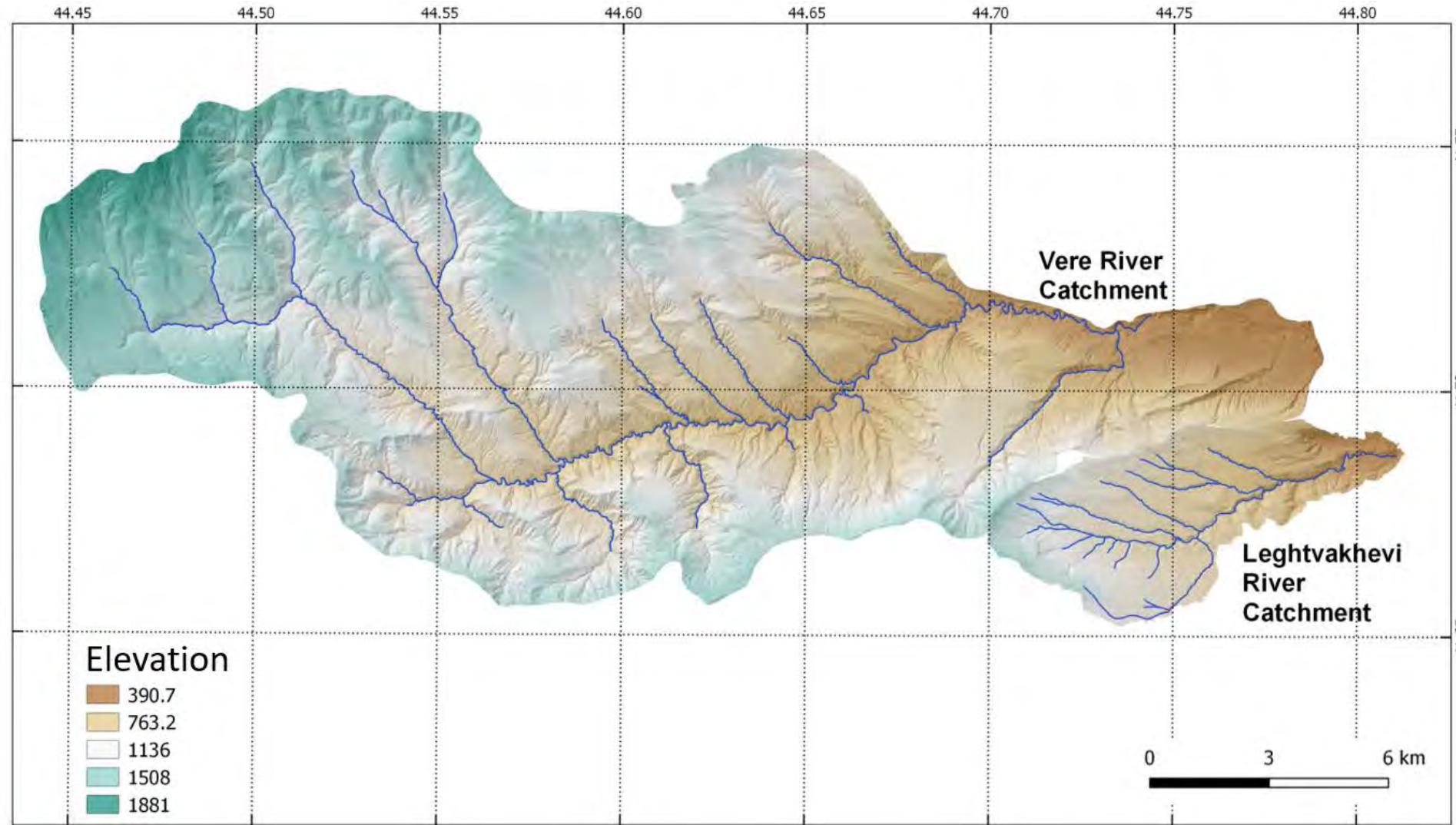
- Annual rainfall in Georgia is projected to decrease over the 21st centuries under all three RCP scenarios. The daily intensity of rainfall is, however, projected to increase. These findings are generally consistent with previously published work on mid-latitude climate change.
- The net effect of these changes is an increase in rainfall for a given return period - in other words, a reduction in the return period for large rainfall events.
- The uncertainties on the rainfall thresholds are large and stem primarily from the difficulty of estimating the magnitude of rare events from short time series - even using a large multi-model ensemble.



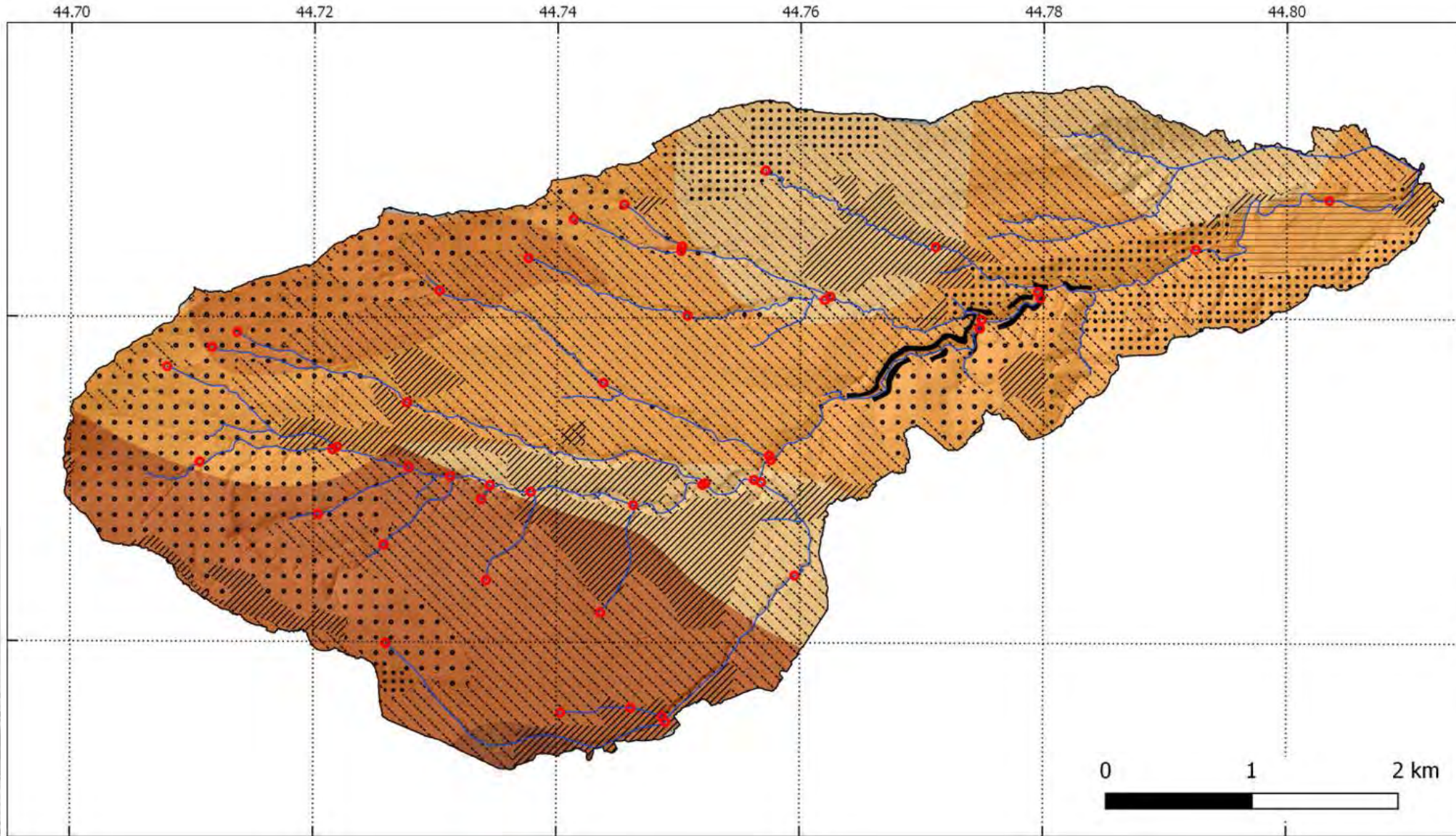
# Hydrological Modelling



# Vere and Legthvakhevi catchment



# Spatial data preparation



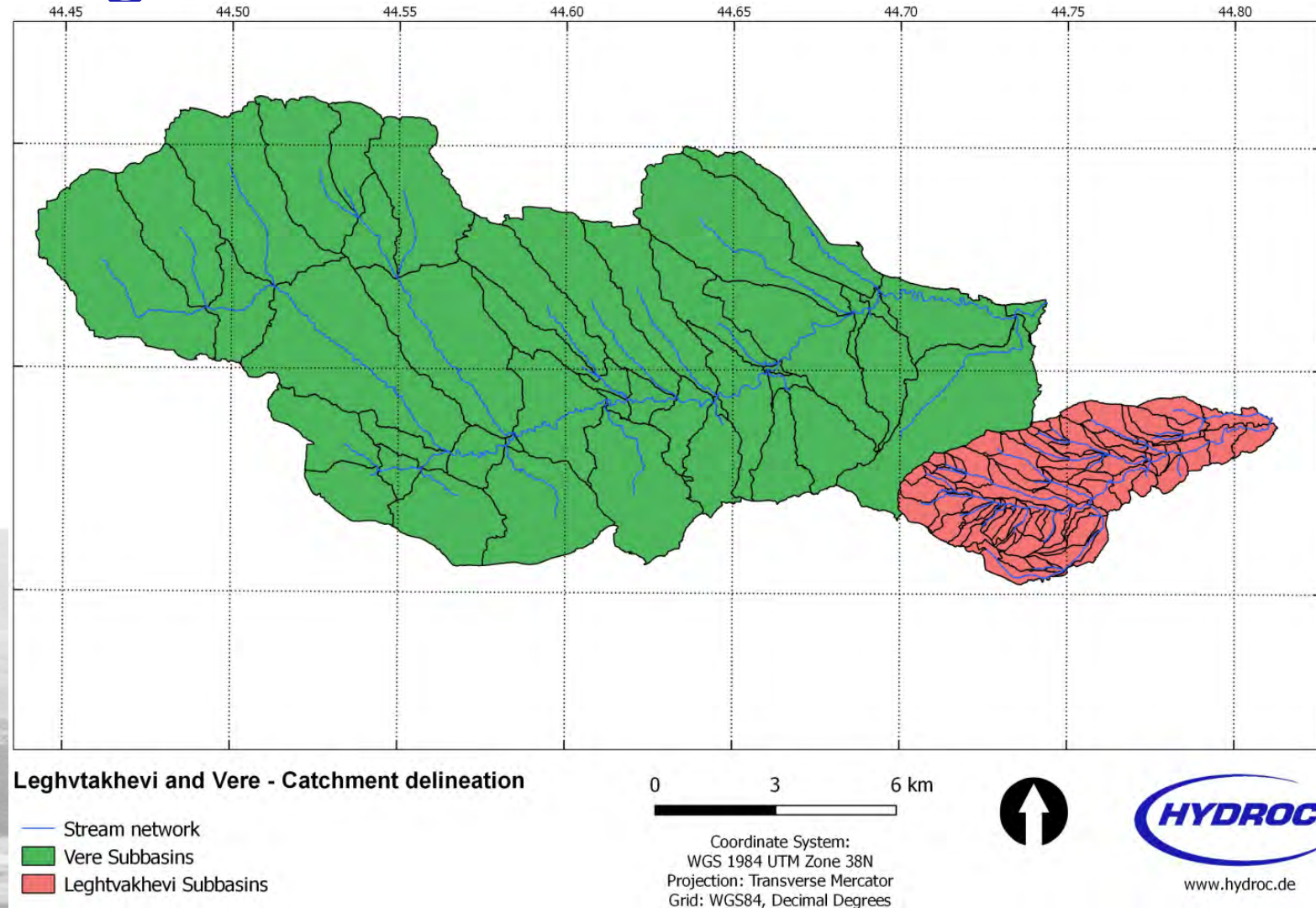
## Landcover

- Urban
- Light Forest
- Bare
- Shrubland / Arable land
- River
- Rock outcrops
- Shrubland
- Discharge points for hydraulic model

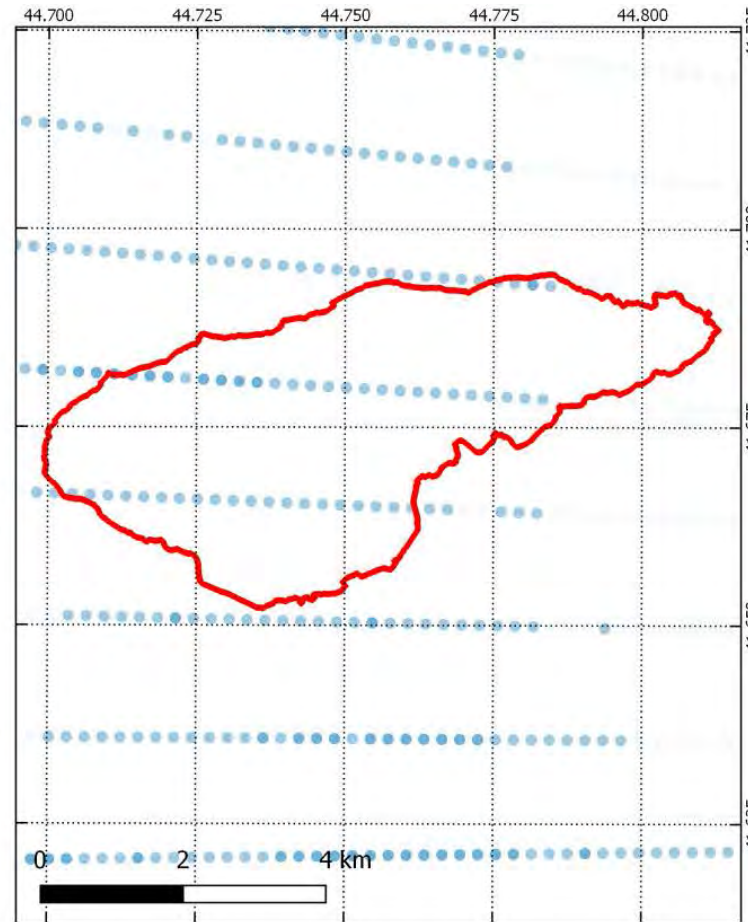
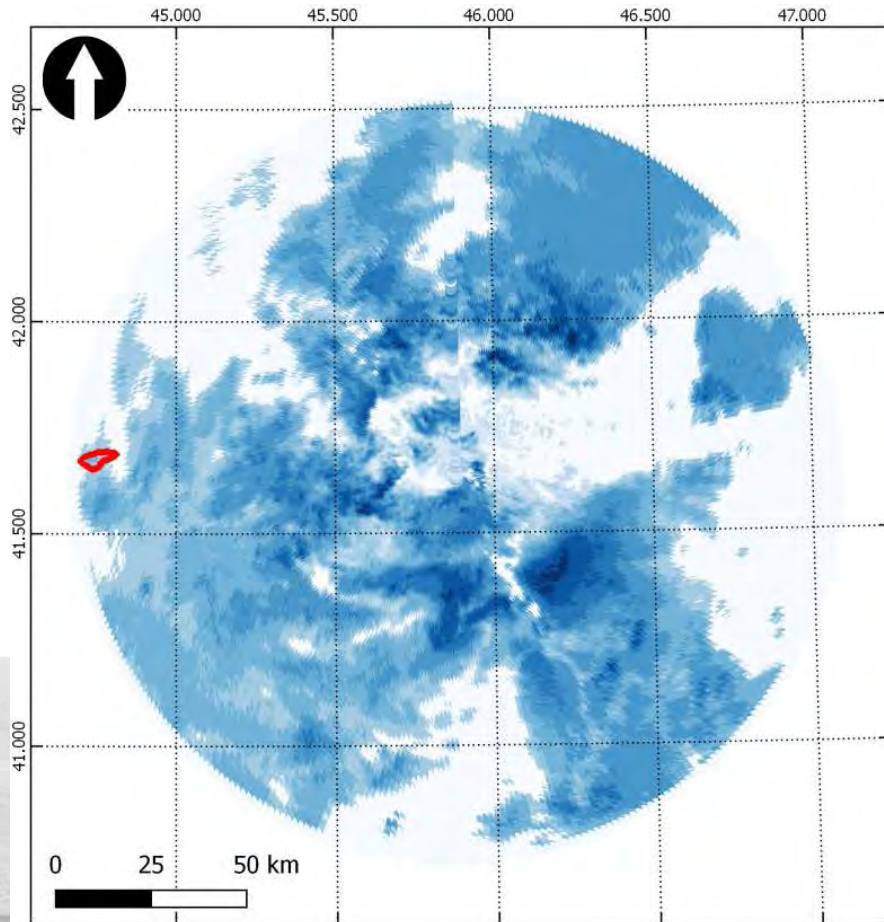
## Soil types

- Brown forest
- Cinnamonic medium
- Cinnamonic shallow
- Meadow field
- Brown forest medium
- Brown forest shallow

# HEC-HMS model of Vere and Leghtvakhevi



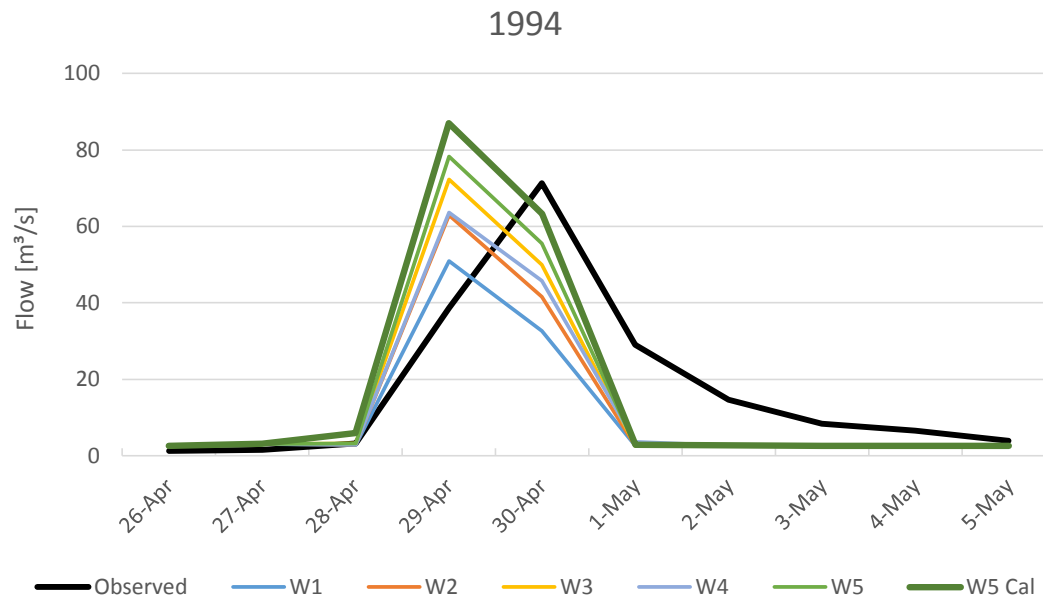
# Temporal data preparation



- Rainbow© data format readable with WRADLIB Python library
- Selecting 2016 rain events
- Inclination selection, reflectivity to rainfall, attenuation correction, clutter removal...
- Georeferencing and calculation of average rainfall intensity in the catchment in **3min** time step

# HEC-HMS Vere calibration

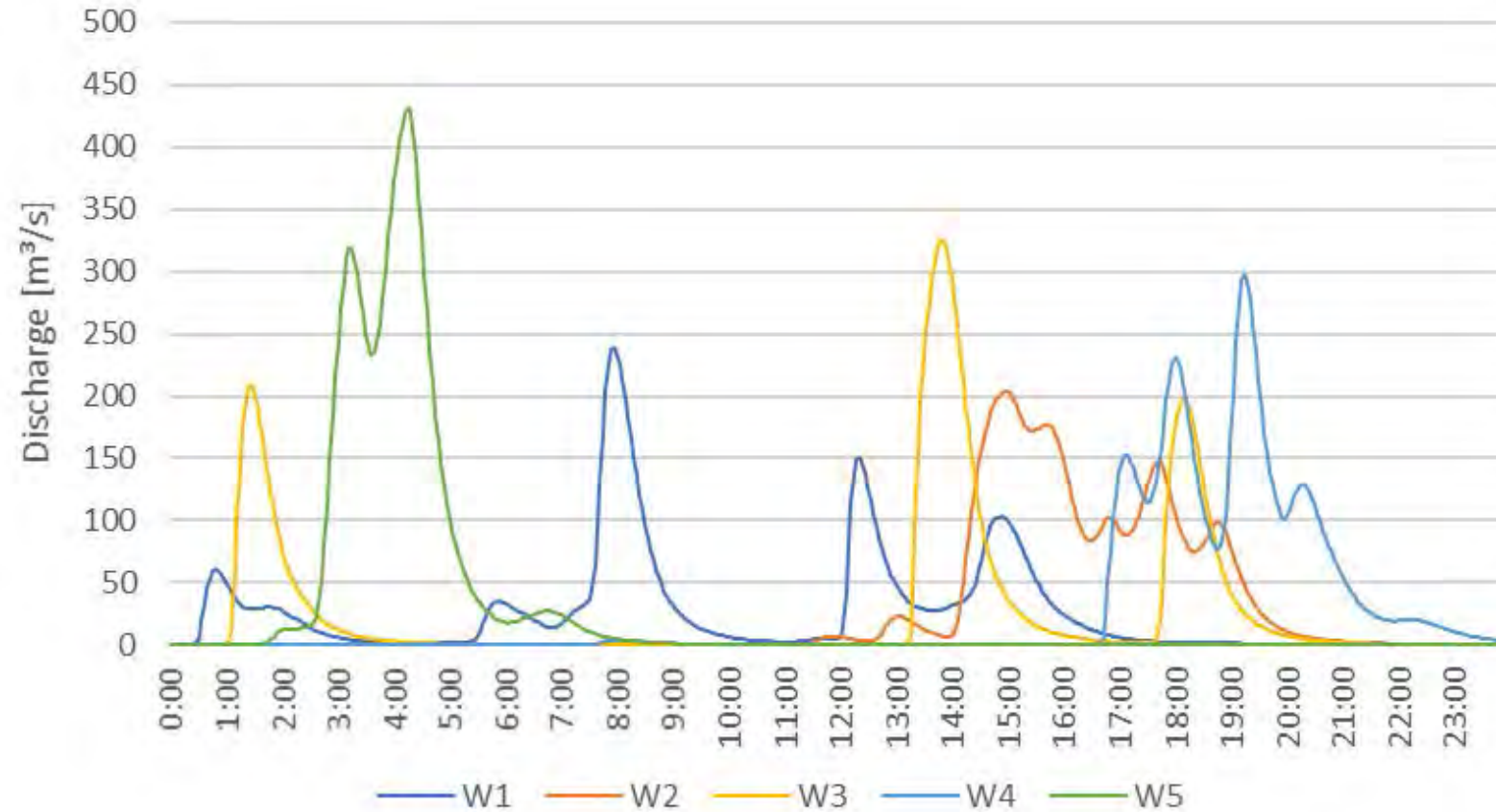
Event	Observed	W1 def.	W2 def.	W3 def.	W4 def.	W5 def.	W5 calib.
	Volume [Mill m <sup>3</sup> ]						
Aug-63	14.73	16.07	18.96	20.75	19.07	22.37	24.43
May-76	12.29	11.94	14.19	15.93	14.70	16.64	19.43
Apr-94	<b>15.43</b>	9.11	10.91	12.47	11.42	13.48	<b>15.16</b>



➔ Reduction of soil infiltration capacity (ksat) by 50% in both Vere and Legthvakhevi

➔ Selected the most conservative options: event 1994 and radar option W5

# Leghtvakhevi sensitivity analysis: Different radar disaggregation options

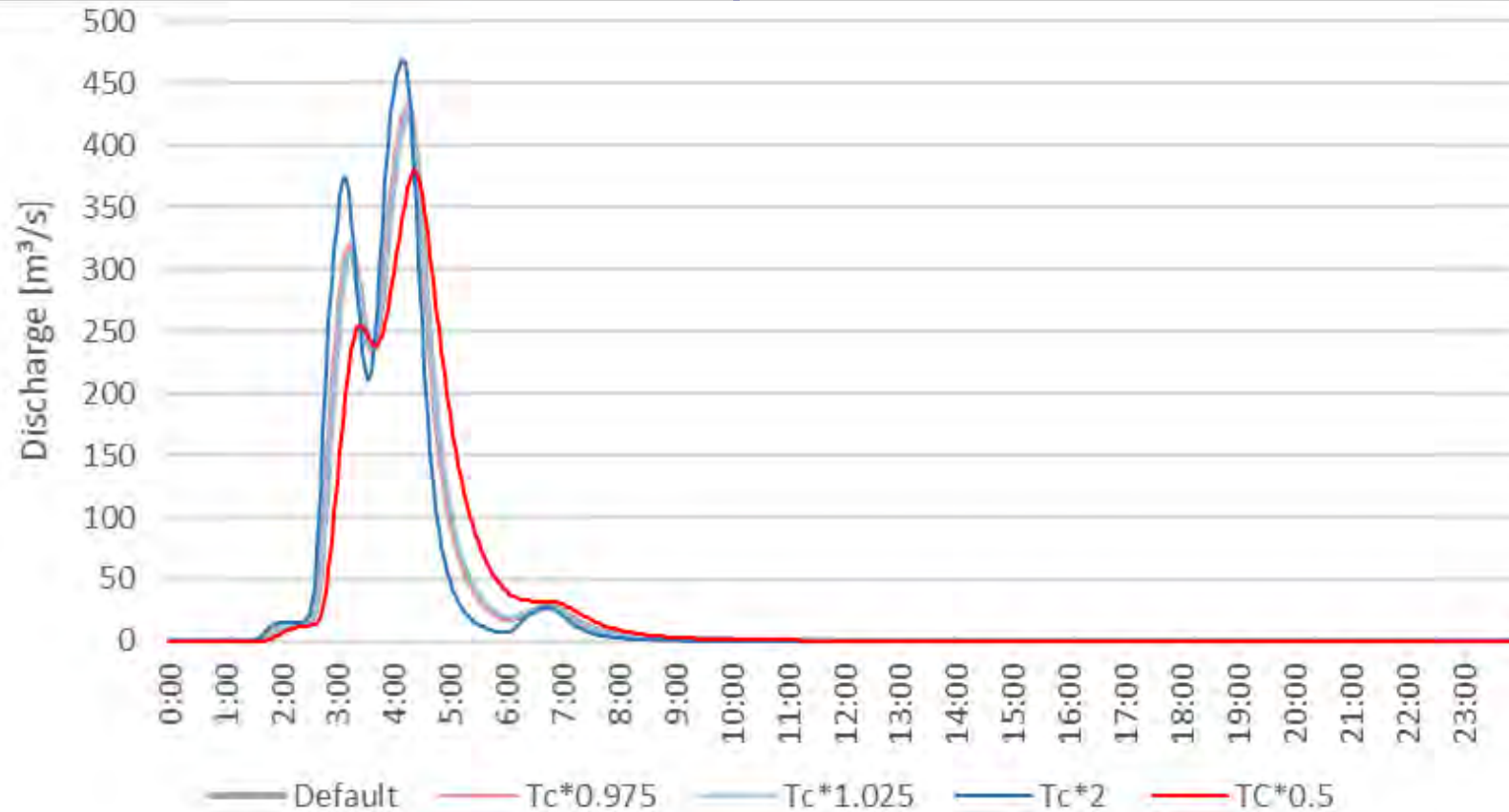


W4	W5
298	431

- Discharge (100yr RP) is very sensitive to the different distributions

➔ Use the most conservative option (W5)

# Leghtvakhevi sensitivity analysis: Transformation parameters



- Clark Transform method uses Time of Concentration
- Not extremely sensitive in reasonable ranges

	Tc*0.975	Tc*1.025	Tc*2	TC*0.5
Peak flow change [%]	0.4%	-0.5%	8.9%	-11.9%

# Leghtvakhevi sensitivity analysis: Routing parameters



	Width times 0.5	Width times 2	Side Slope = 1	Side Slope = 4	Mannings n = 0.03	Mannings n = 0.05
Peak flow change [%]	-0.1%	0.0%	+ 0.3%	-1.0%	+ 0.7%	-0.4%

- Not sensitive on peak flow magnitude



# Precipitation design events baseline and climate change



Return Period	Precipitation [mm/d]	
	Baseline	Scenario RCP8.5 - 2070
RP5	66.95	167.86
RP25	105.96	199.91
RP50	124.89	204.98
RP100	145.02	208.95
RP500	199.91	212.94

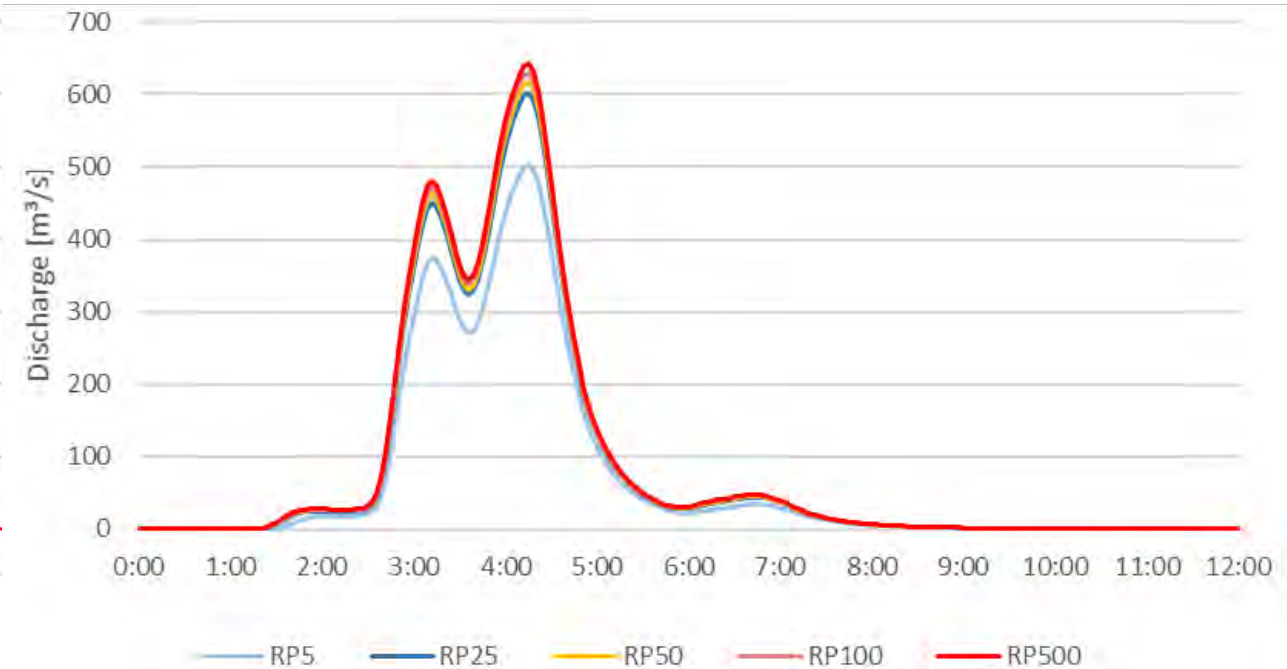
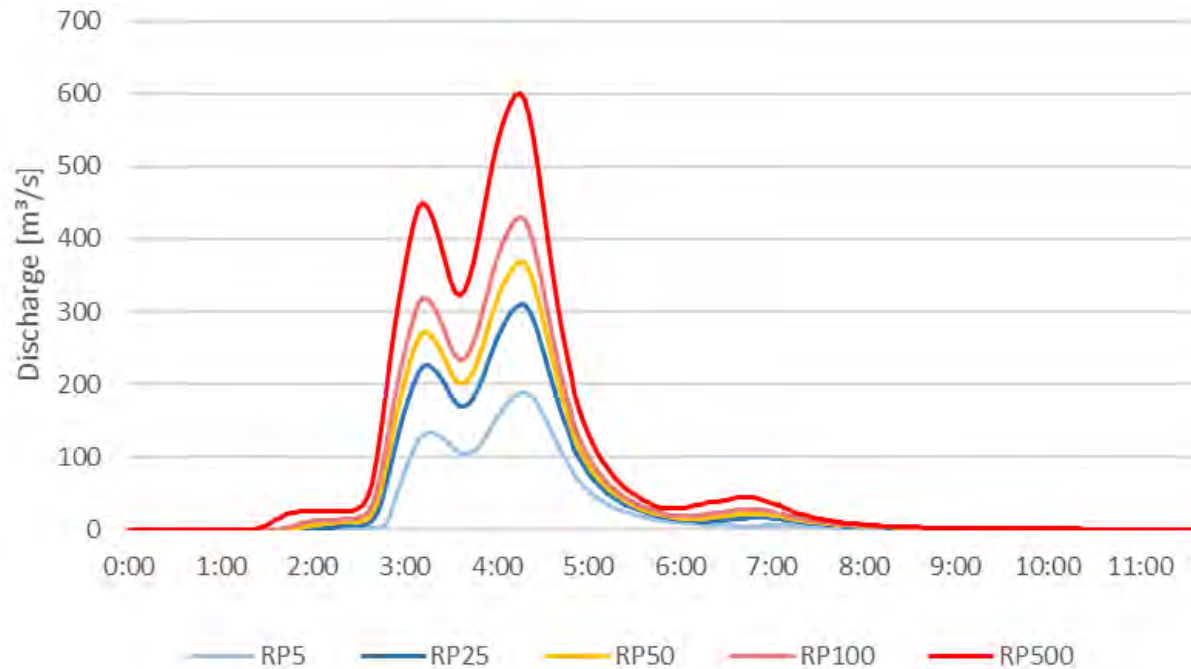
- Extrapolation of long-term daily precipitation data using probability distributions
- Climate change impacts from all available climate models
- Strong projected increase in the lower RPs

# Calculated discharges of design events



Baseline

Climate Change

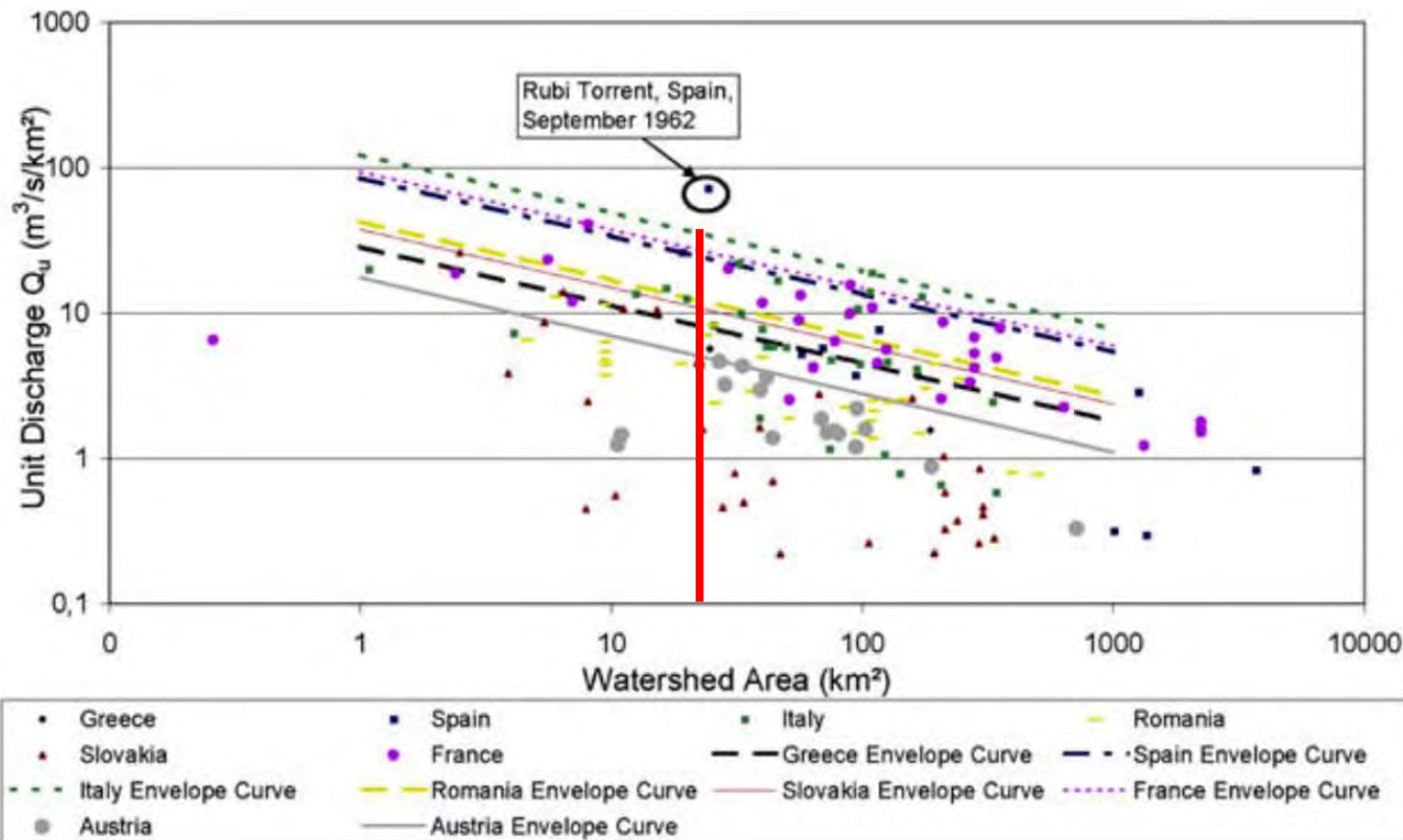


Peak flows [m <sup>3</sup> /s]	RP5	RP25	RP50	RP100	RP500
Baseline	189	310	369	431	601
RCP8.5 2070	502	601	617	629	642

# How does this compare to available flash flood data?



Peak flows [m <sup>3</sup> /s]	RP5	RP25	RP50	RP100	RP500
Baseline	189	310	369	431	601
RCP8.5 2070	502	601	617	629	642



The simulations are realistic when being compared to observed data from regions in Europe prone to flash-flooding

Gaume et al. (2009)  
Journal of Hydrology

<http://www.hydrate.tesaf.unipd.it/WareHouse/EuropeanDataCenter/>

# Summary



- Modelling efforts were severely hindered by the temporal data availability
- Extensive work was done to obtain sub-daily, recent precipitation time series
- A second HEC-HMS model was built in the Vere to carry out basic calibration
- Careful evaluation of model parameters and sensitivity checks was carried out
- First estimation of design discharges in the Leghtvakhevi are subject to a wide spread
- Increasing discharges are projected under climate change especially for lower RPs

# Limitations and their implications for decision-making



- Model building is always a spatial and temporal simplification process which introduces uncertainties in the results - these can be reduced if proper calibration of parameters is possible
- Highest uncertainties in the simulations arise from
  1. unknown distribution of sub-daily rainfall distribution
  2. unknown typical antecedent moisture conditions
  3. future climate change projections
- Conservative selections were made, indicating that the results are more likely to overestimate 'true' discharges than to underestimate
- Results are in realistic ranges when being compared to other flash flood data

# Recommendations



- Long-term observation of sub-daily rainfall to:
  1. obtain the likely sub-daily distribution of extreme storm events, calibrate radar data
  3. obtain information on typical antecedent moisture conditions of these storms
- Long-term observation of sub-daily discharge time series
- Record water levels and damages to infrastructure in the gorge
- Update the model once more reliable data are available
- For establishing an early warning system, reliable weather forecast and real-time radar data processing is most important



# Hydraulic Modelling



# Hydraulic Modelling



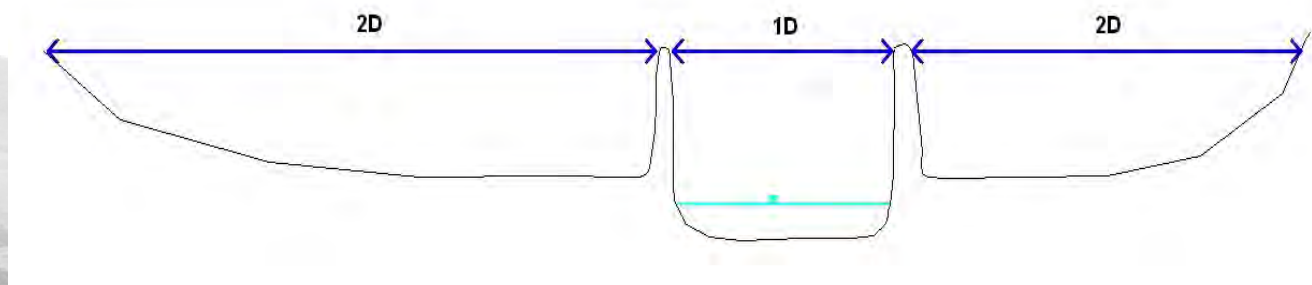
- Hydraulic model required for flood mapping and mitigation
- HEC-RAS 5.0.5 selected as the numerical model
- Initial hydraulic modelling methodology → 1D-2D



# Hydraulic Modelling – Overall Hydraulic Modelling Approach



- 1D-2D Modelling Approach
- River channel to be modelled in 1D
- Floodplains and urban area in 2D
- Approach decided due to adequacy and computational resources



# Hydraulic Modelling - Numerical Model technical description



- HEC-RAS 5.0.5
- Open software
- Comparable to any other commercial hydraulic modelling software
- Approved by FEMA and by the Environment Agency in England and Wales for flood studies
- 1D, 2D and 1D-2D approved



# Hydraulic Modelling - Numerical Model technical description



- The 1D computational scheme of HEC-RAS is based on:
  - The principle of conservation of mass (continuity), and
  - The principle of conservation of momentum.
- These laws are expressed mathematically in the form of partial differential equations.



# Hydraulic Modelling - Numerical Model technical description



- The 2D numerical equations are based on an Shallow Water Equations.
- An approximation to the Navier-Stokes equations assuming that the flow is:
  - Incompressible
  - Uniform density
  - Hydrostatic pressure



# Hydraulic Modelling - Numerical Model technical description



- The 1D and the 2D models can be linked:
  - Direct link
  - Lateral link



# Hydraulic Modelling – Implementation Steps



The general steps in any hydraulic modelling implementation with HEC-RAS are:

- Project creation
- Projection definition
- Geometry information
- Boundary condition information
- Simulation parameters
- Result analysis.



# Hydraulic Modelling – Data



The data requirement for a hydraulic modelling implementation are:

- Geometry data
  - Cross section data
  - River centre line
  - Structures
  - DEM
  - Land cover information
- Boundary conditions
  - Hydrological input
  - Historical information



# Hydraulic Modelling – Data



- A full cross section survey of the river was undertaken (119)







# Hydraulic Modelling – Data



- Several site visits were undertaken to the catchment
- No significant historical information is available for calibration purposes.

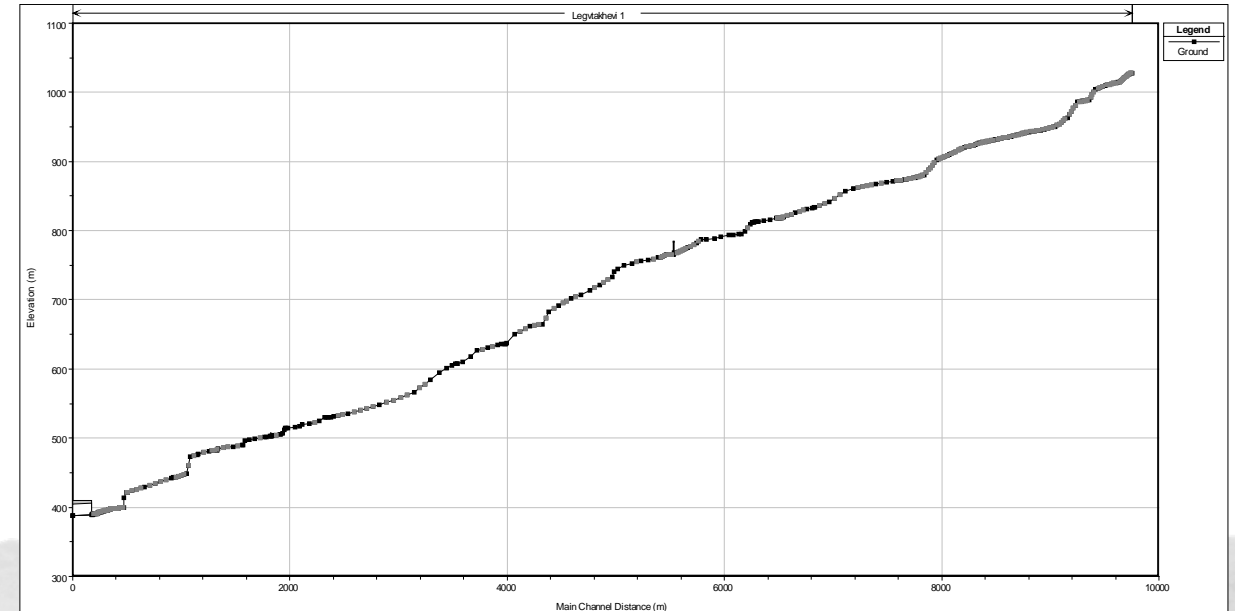




# Hydraulic Modelling – 1D Model Implementation



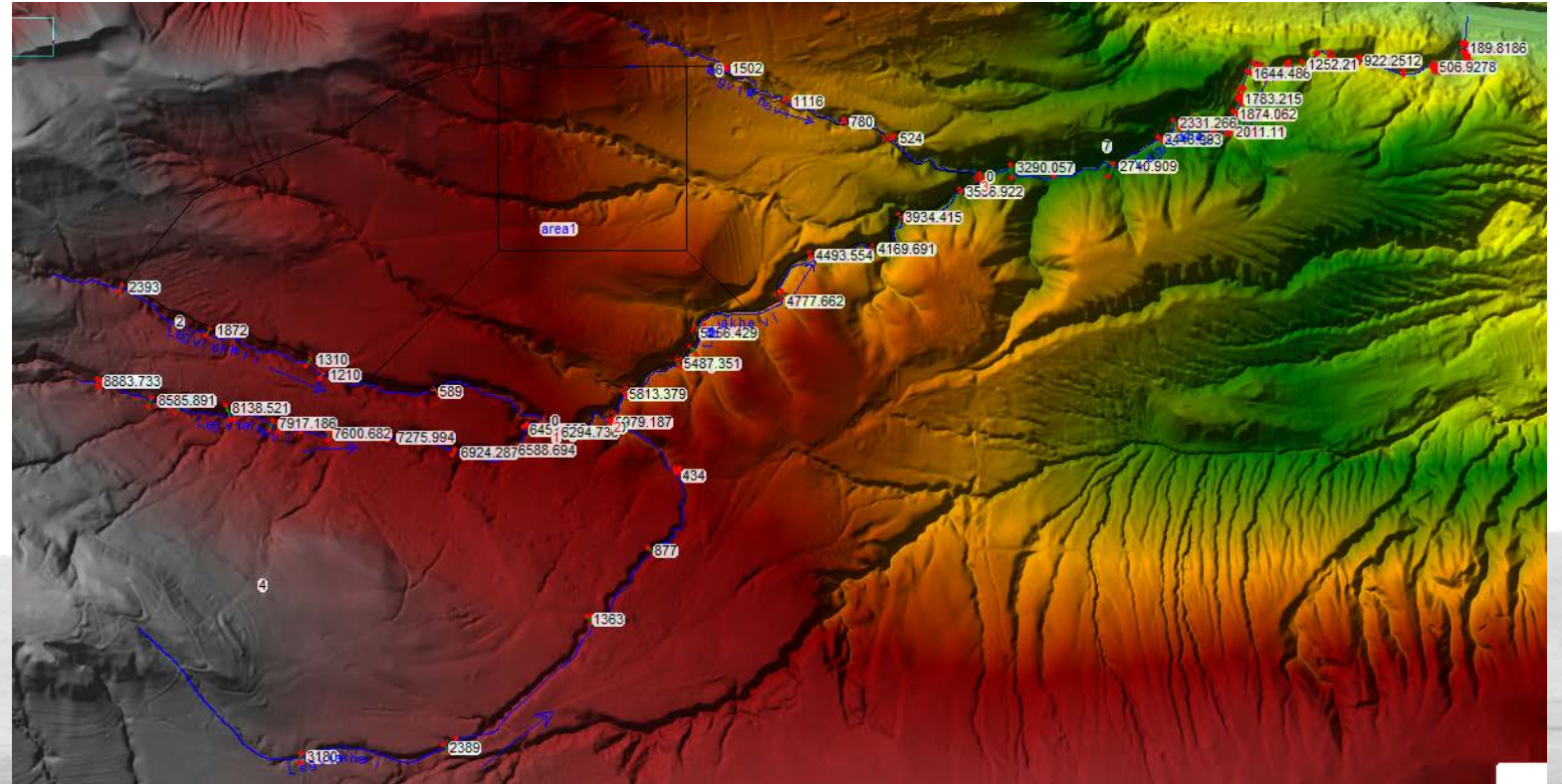
- Model domain including these watercourses
- Geometry including all the surveyed information



# Hydraulic Modelling – 1D Model Implementation



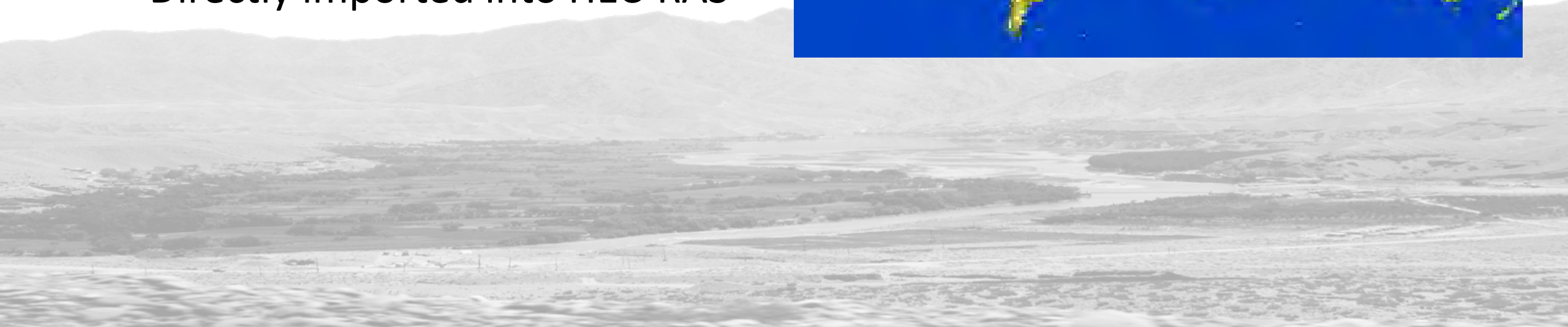
- Additional cross sections included for stability
- All structures included



# Hydraulic Modelling – 1D Model Implementation



- Roughness information was obtained from the GlobCover database
- 300m global land-cover information
- Directly imported into HEC-RAS

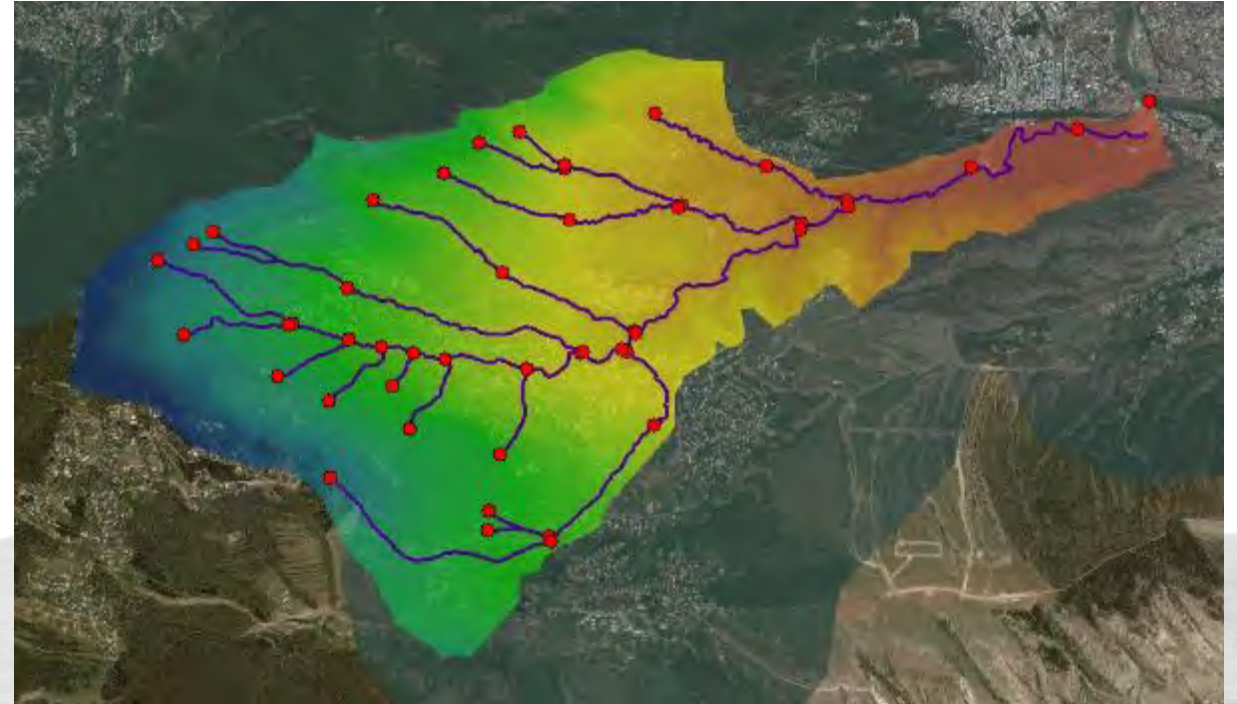


# Hydraulic Modelling – 1D Model Implementation



## Boundary conditions

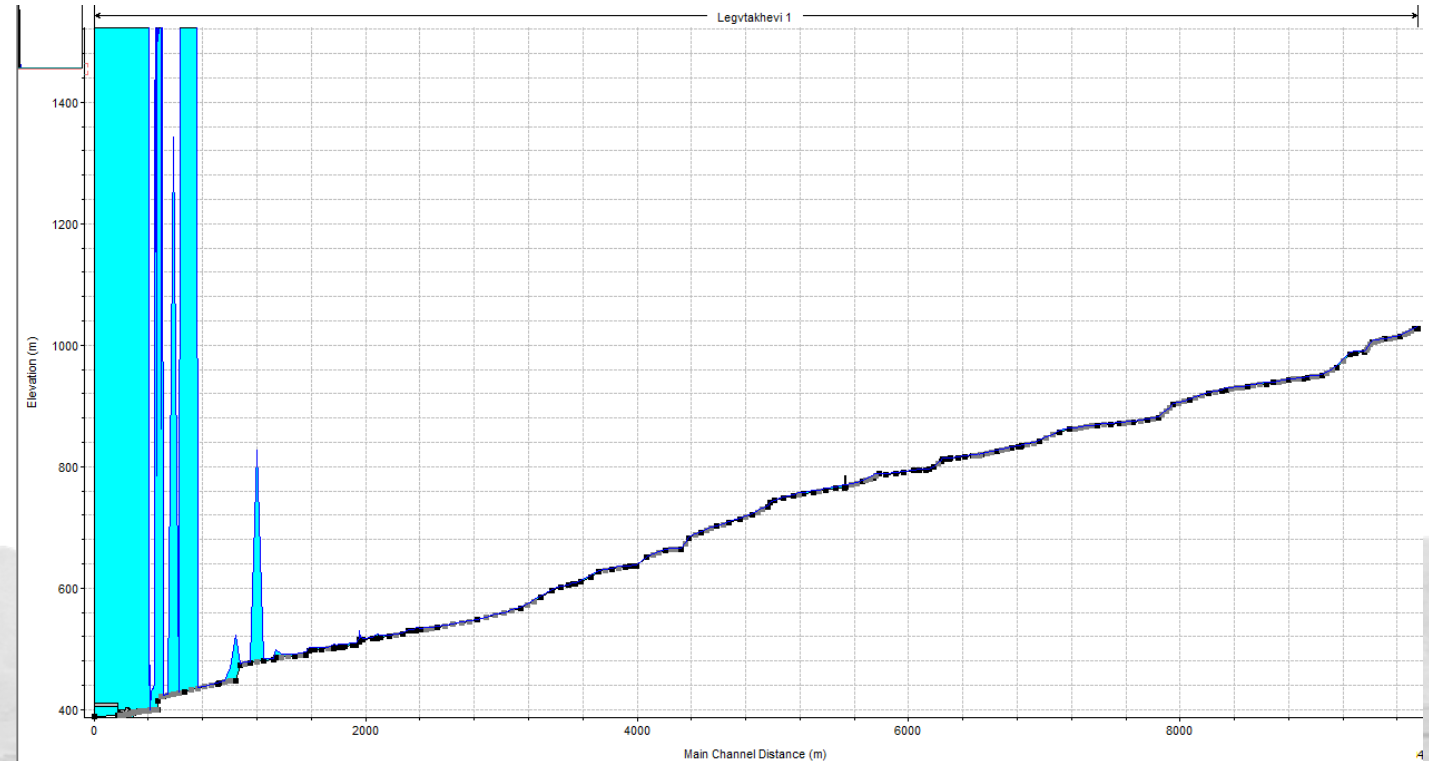
- Hydrological inputs obtained from the hydrological study
- Upstream conditions and lateral inflows
- Downstream boundary condition was a constant water stage



# Hydraulic Modelling – 1D model results analysis



- Initial results from the 1D model indicated a high model instability
- High gradient
- Several waterfalls
- Long culvert
- Drastic changes



# Hydraulic Modelling – 1D Model results analysis



- A significant modelling effort was undertaken in order to increase the stability of the model
- Interpolated cross sections
- Inline structures
- Hydraulic table calculations
- Increased tolerances
- Time-step reduction



# Hydraulic Modelling -1D model results analysis



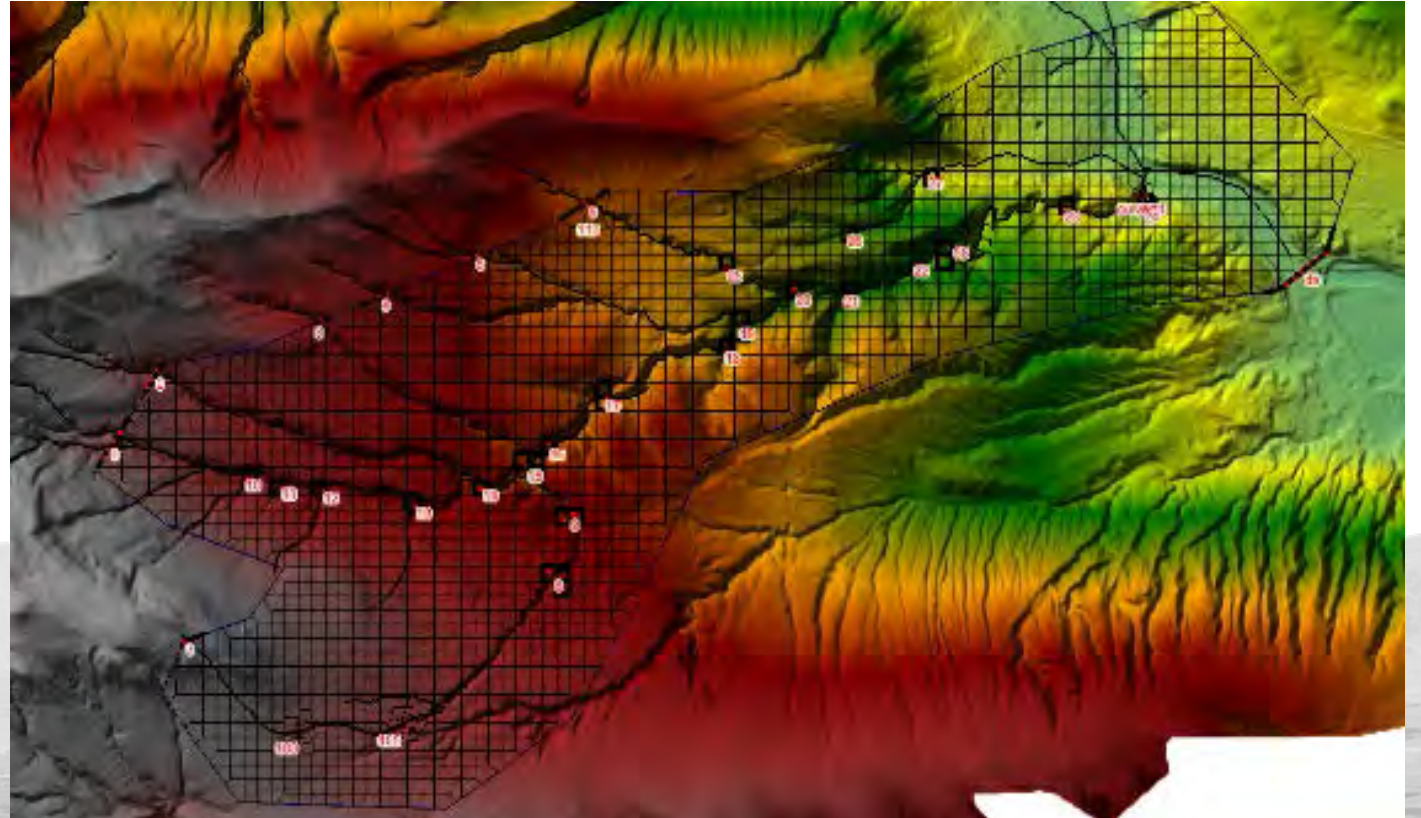
- The stability was reduced when 1D-2D linked undertaken
- The 1D model was not fit for purpose even after all these modifications
- 2D approach for the whole catchment was followed



# Hydraulic Modelling – 2D Modelling Implementation



- Model domain covering the whole catchment (10m)
- All structures included in the model
- Boundary conditions as defined by the hydrological modelling



# Hydraulic Modelling – 2D Modelling Results



- 2D model results indicated were analysed with sensitivity tests of:
  - Time-step
  - Downstream Boundary Condition
  - Roughness
- Satisfactory results



# Hydraulic Modelling – 2D Modelling Results



- The 2D results showed a much higher stability.
- The 2D model implemented can be considered to be fit for the purpose.
- The 2D model responded satisfactorily to the different sensitivity tests.
- The resulting 2D model was used to produce results for all the return period events (baseline and climate change scenarios).
- The use of a 2D modelling approach limits the reduction in accuracy that occurs in the linking process between 1D and 2D models.

# Hydraulic Modelling – Conclusions



- A significant hydraulic modelling exercise was undertaken
- A 1D-2D approach was deemed unfit for flood mapping and mitigation purposes
- A 2D model for the whole catchment was implemented
- Results from the 2D model were satisfactory and performed correctly in the sensitivity tests



# Hydraulic Modelling – Next Steps



- This hydraulic model will be used for
- Flood mapping
- Flood mitigation purposes
- A modified version of this model can be used for flood forecasting purposes.





# Flood Mapping and Mitigation

Assessment of Suitable Flood Mitigation Measures in Tbilisi, Georgia



# Index



1. Flood Mapping Methodology
2. Flood Mapping Results
3. Analysis of Structures
4. Analysis of Lead Time
5. Flood Mitigation Methodology
6. Identification of Hotspots
7. Proposed Flood Interventions





# 1. Flood Mapping Methodology

- Based on 2D Hydraulic Modelling results
- A site visit was undertaken in order to corroborate results
- Flood maps developed for:
  - Water Depth
  - Water Surface Elevation
  - Velocity
  - Arrival Time
  - Duration





# 1. Flood Mapping Methodology

- Flood maps developed for the following return periods
  - 1:500 years
  - 1:100 years
  - 1:50 years
  - 1:25 years
  - 1:5 years



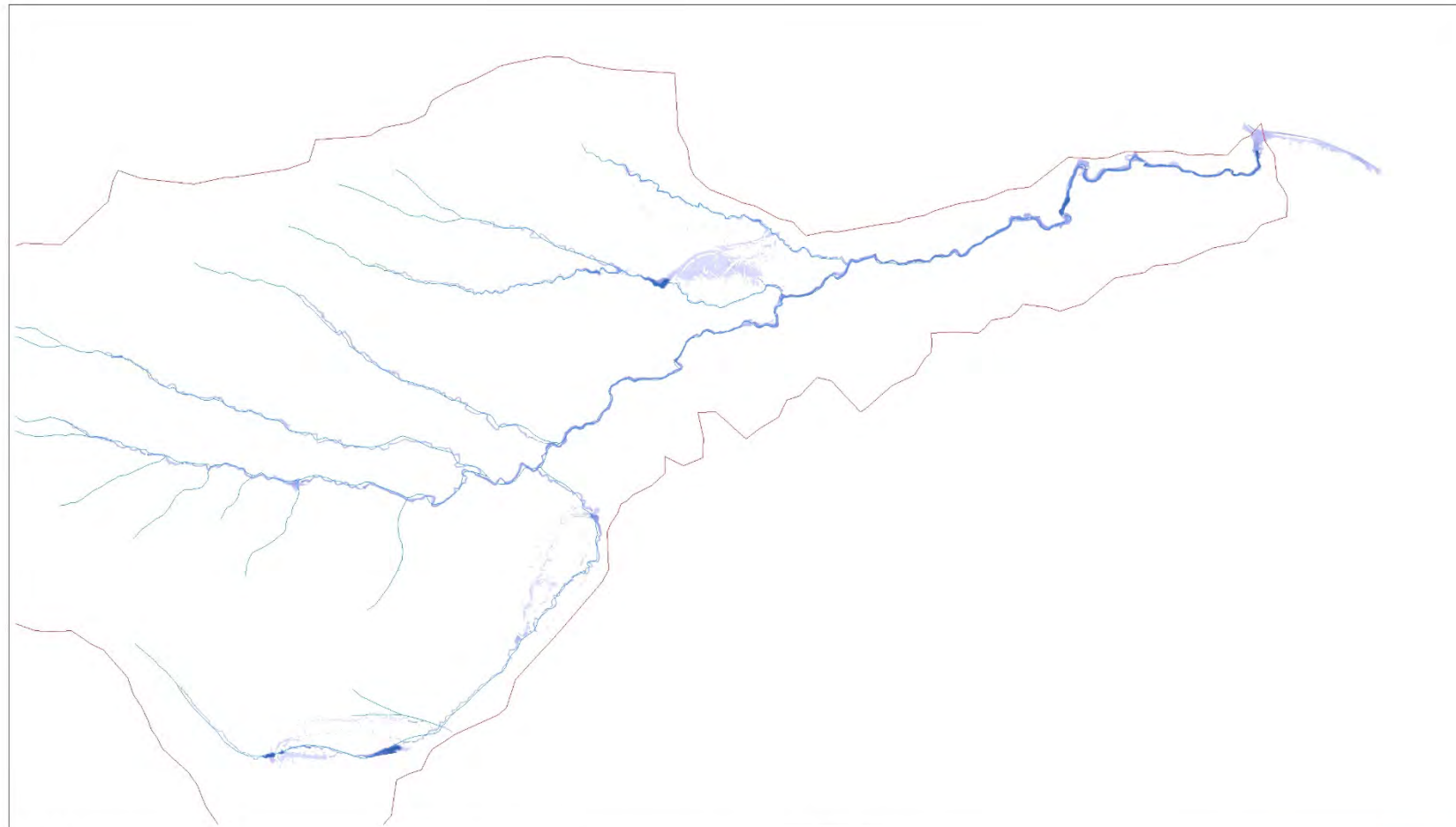


## 2. Flood Mapping Results

- Flood Mapping Results Submitted in the Flood Mapping Deliverable
- Results are available in digital format for all the mentioned variables and design events



# 2. Flood Mapping Results



**Legend**

- Leghvtakhevi\_Line
- Leghvtakhevi\_catchment

**Flood Depth (m) - 1.100yr Event**

Value

10

0

0 0.5 1 2 Kilometers

Coordinate System:  
WGS 1984 UTM Zone 38N  
Projection: Transverse Mercator



[www.hydroc.de](http://www.hydroc.de)

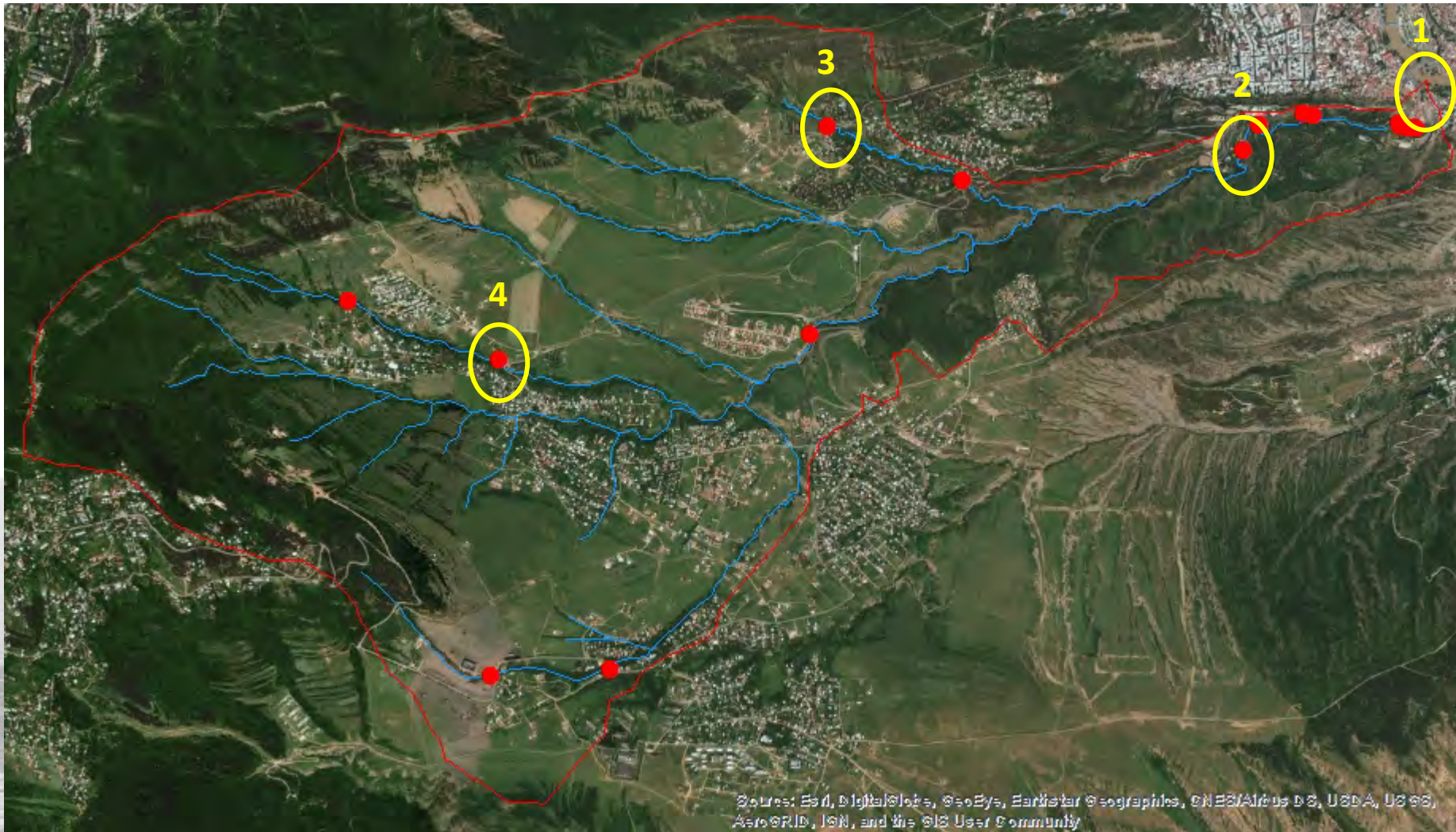


## 3. Analysis of Structures

- Relevant structures have been analysed
- Special attention has paid to the culvert downstream
- Different blockage depths have been used in some structures



# 3. Analysis of Structures



# 3. Analysis of Structures - 1





## 3. Analysis of Structures - 1

- The area is reduced significantly after the entrance
- Major constraint for flow
- The structure is not coping with 100yr flows or 5yr flows
- An analysis of 25%, 50%, and 75% blockage reveals further issues



# 3. Analysis of Structures - 1



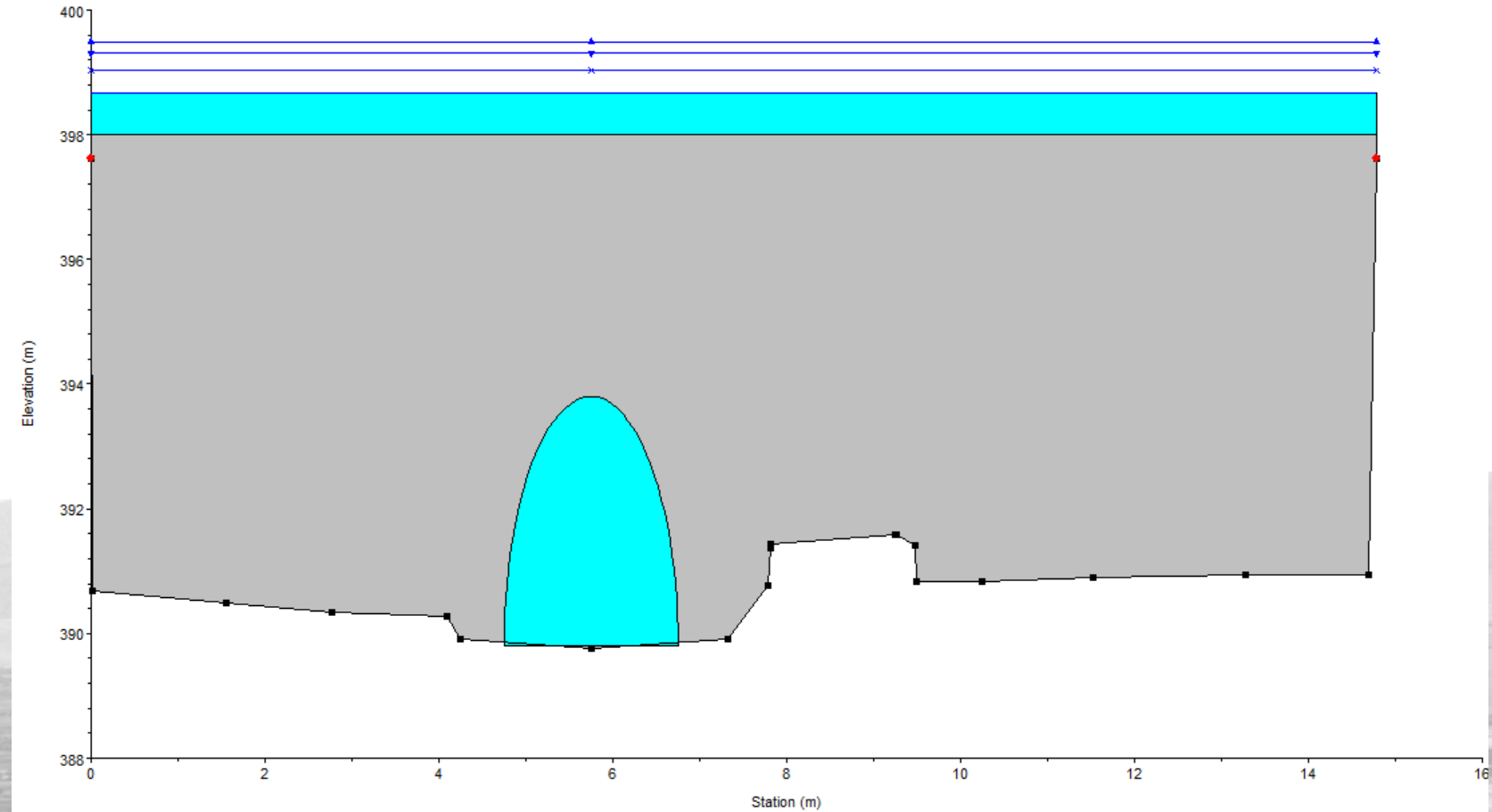
- Because of this, for the 100yr event, the flooding is significant, overtopping the banks



# 3. Analysis of Structures - 1

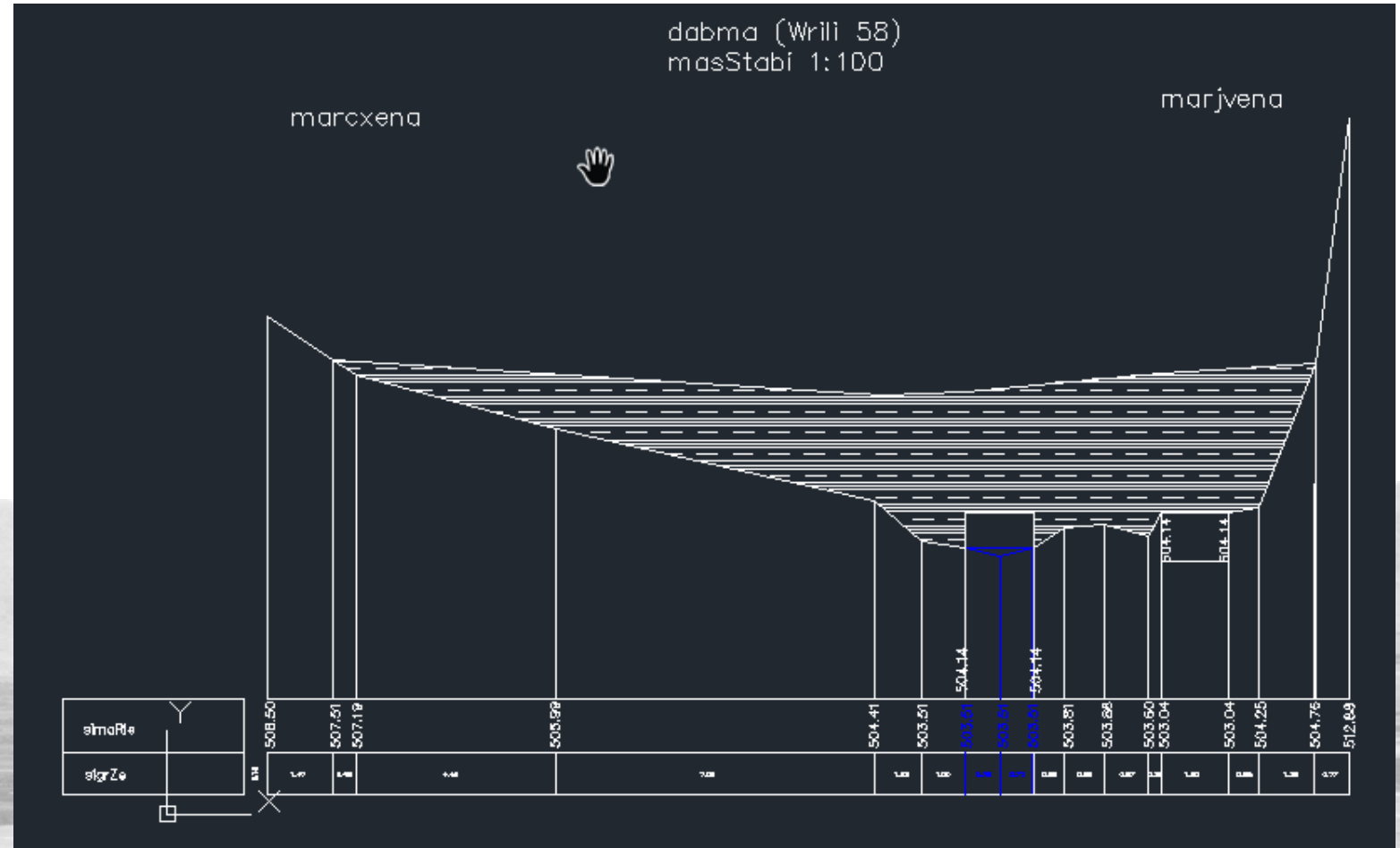


- The impact is higher with the blockage scenarios



# 3. Analysis of Structures - 2

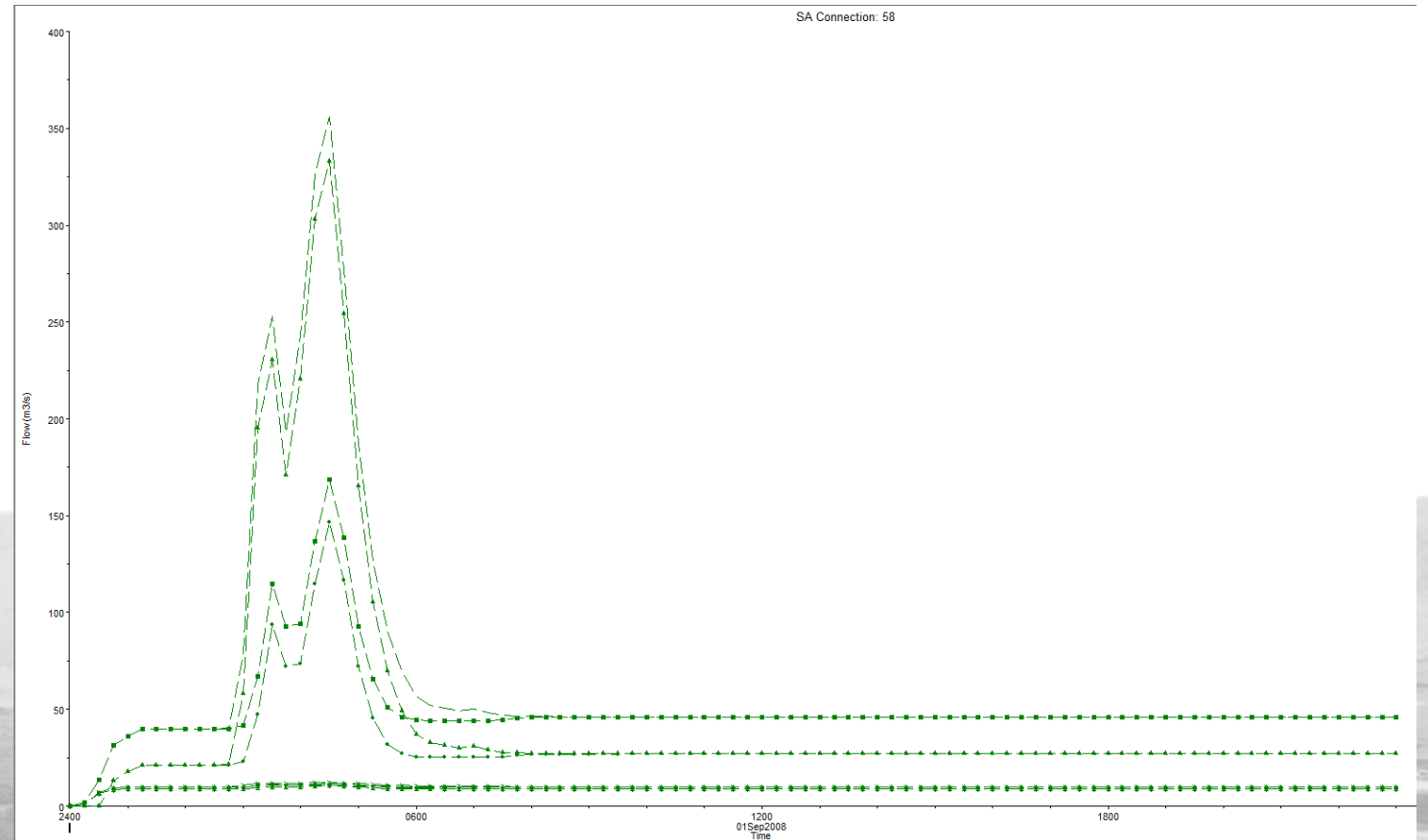
- Another key structure is the dam located in the botanical gardens
- This structure is being overtopped for the 100yr and 5yr return period



# 3. Analysis of Structures - 2

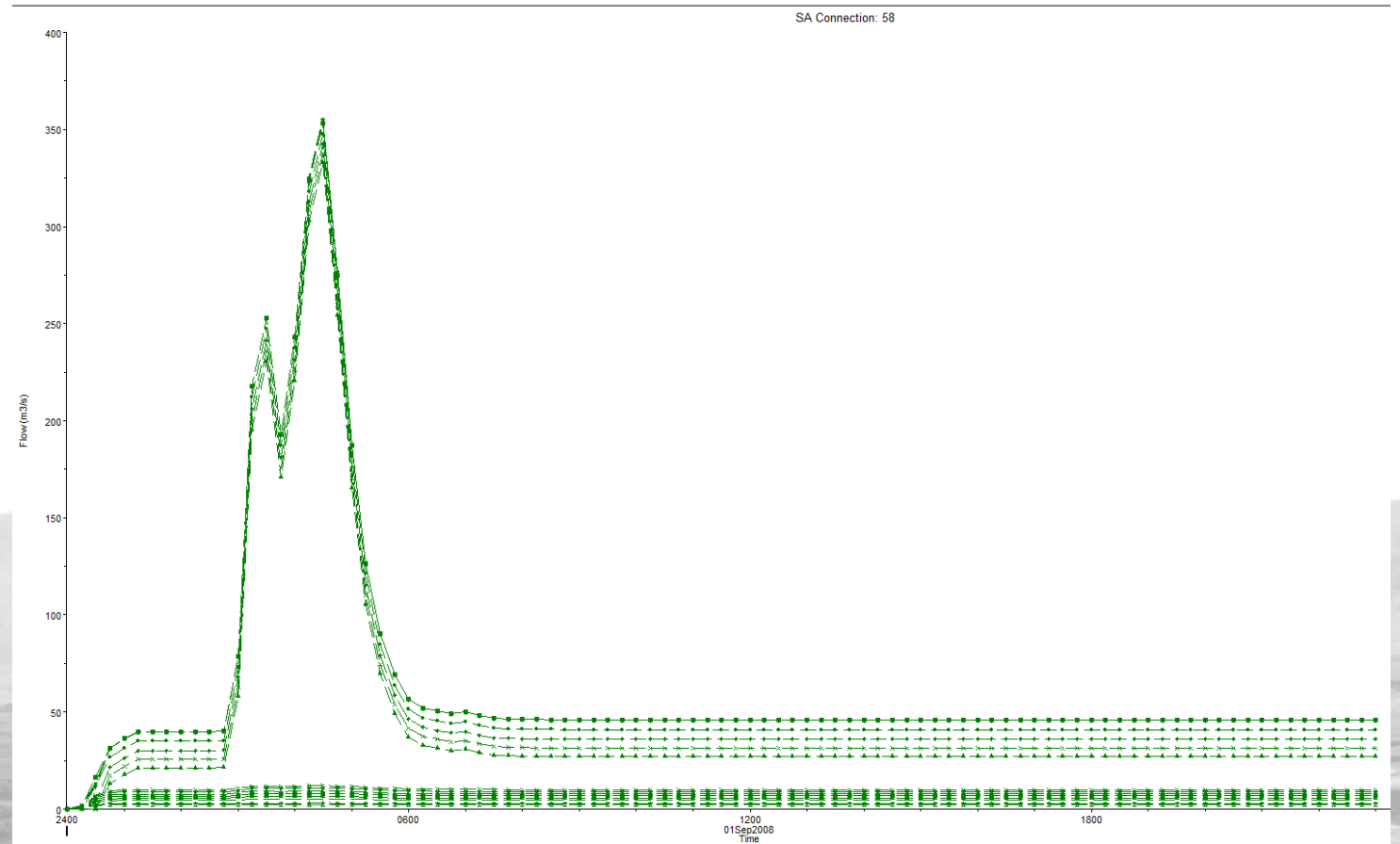


- Flow over the weir and through the culverts for these events



## 3. Analysis of Structures - 2

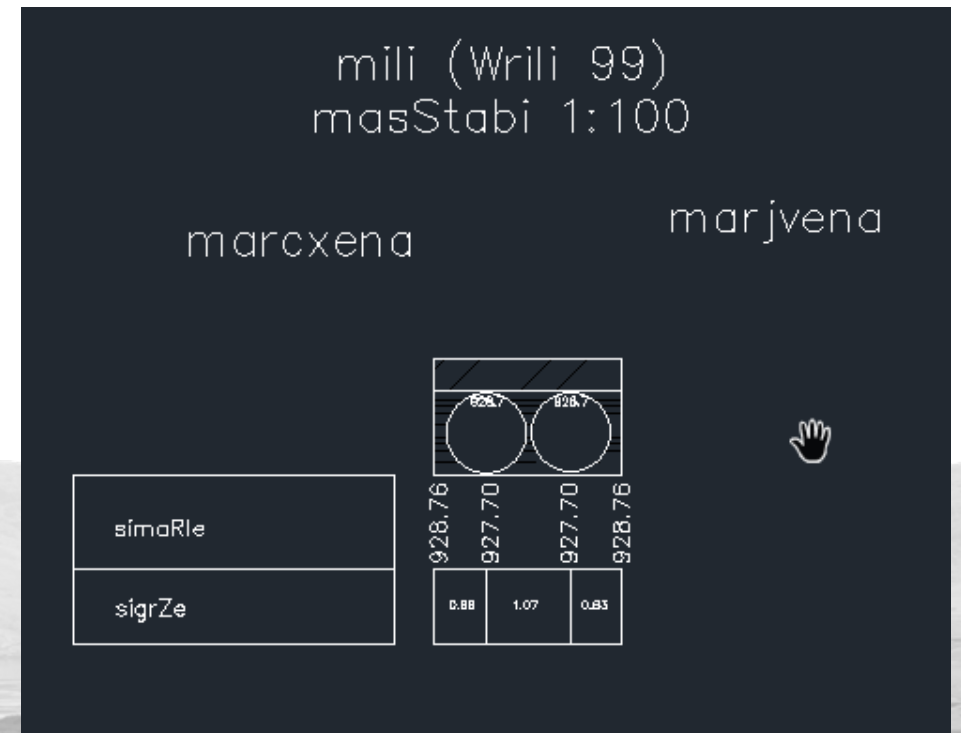
- This structure was also assessed for 25%, 50% and 75% blockage





## 3. Analysis of Structures - 4

- This structure in one of the tributaries was also analysed.
- The hydraulic capacity is not sufficient for any of the event
- The blockage of this structure increase the flood impact



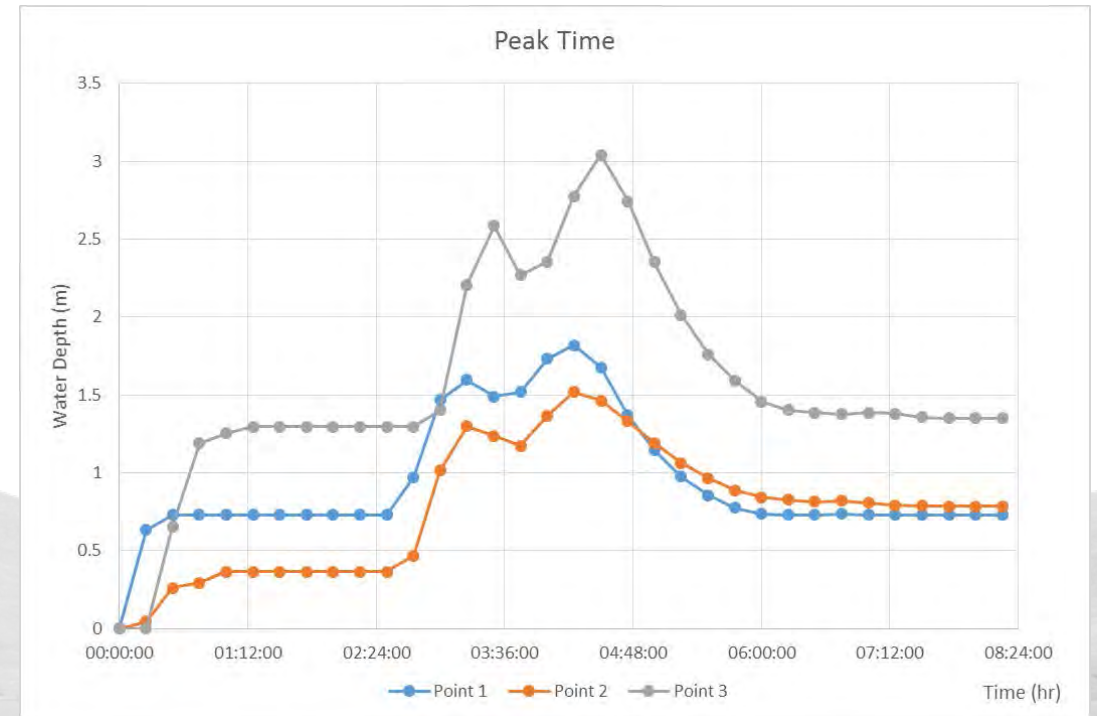
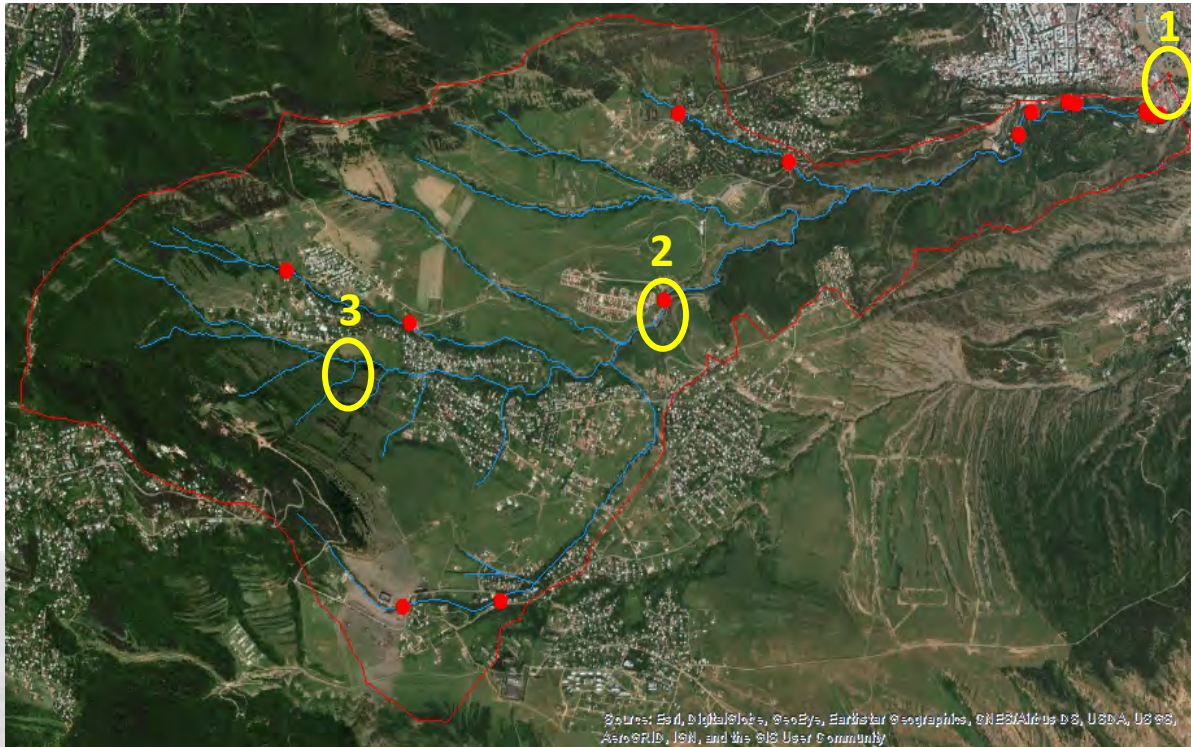
## 4. Analysis of Lead Time – Time to Peak



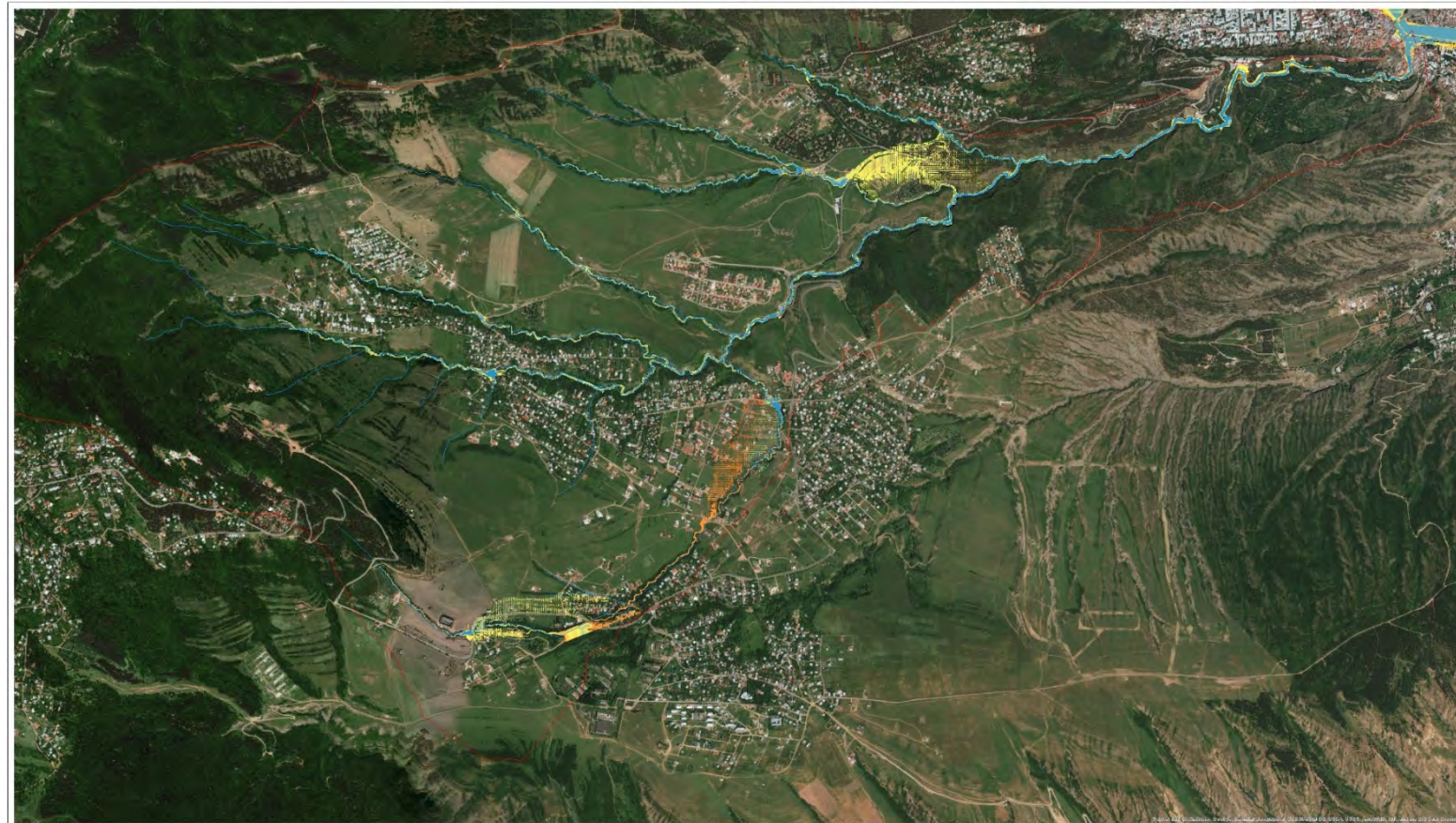
- The arrival time of the flood wave was investigated
- Difference in time to peak for key locations is short
- The duration of the flood was also assessed



# 4. Analysis of Lead Time



# 4. Analysis of Lead Time



**Legend**  
— Leghvakhevi\_Line  
□ Legvtakhevi\_catchment  
**Arrival Time (hr)**  
Value  
High: 2  
Low: 0.25

0 0.5 1 2 Kilometers

Coordinate System:  
WGS 1984 UTM Zone 38N  
Projection: Transverse Mercator



[www.hydroc.de](http://www.hydroc.de)

# 5. Flood Mitigation Methodology



- Structural measures.
- Non-structural measures.
- Develop short list of options
- Options assessment





## 6. Identification of Hotspots

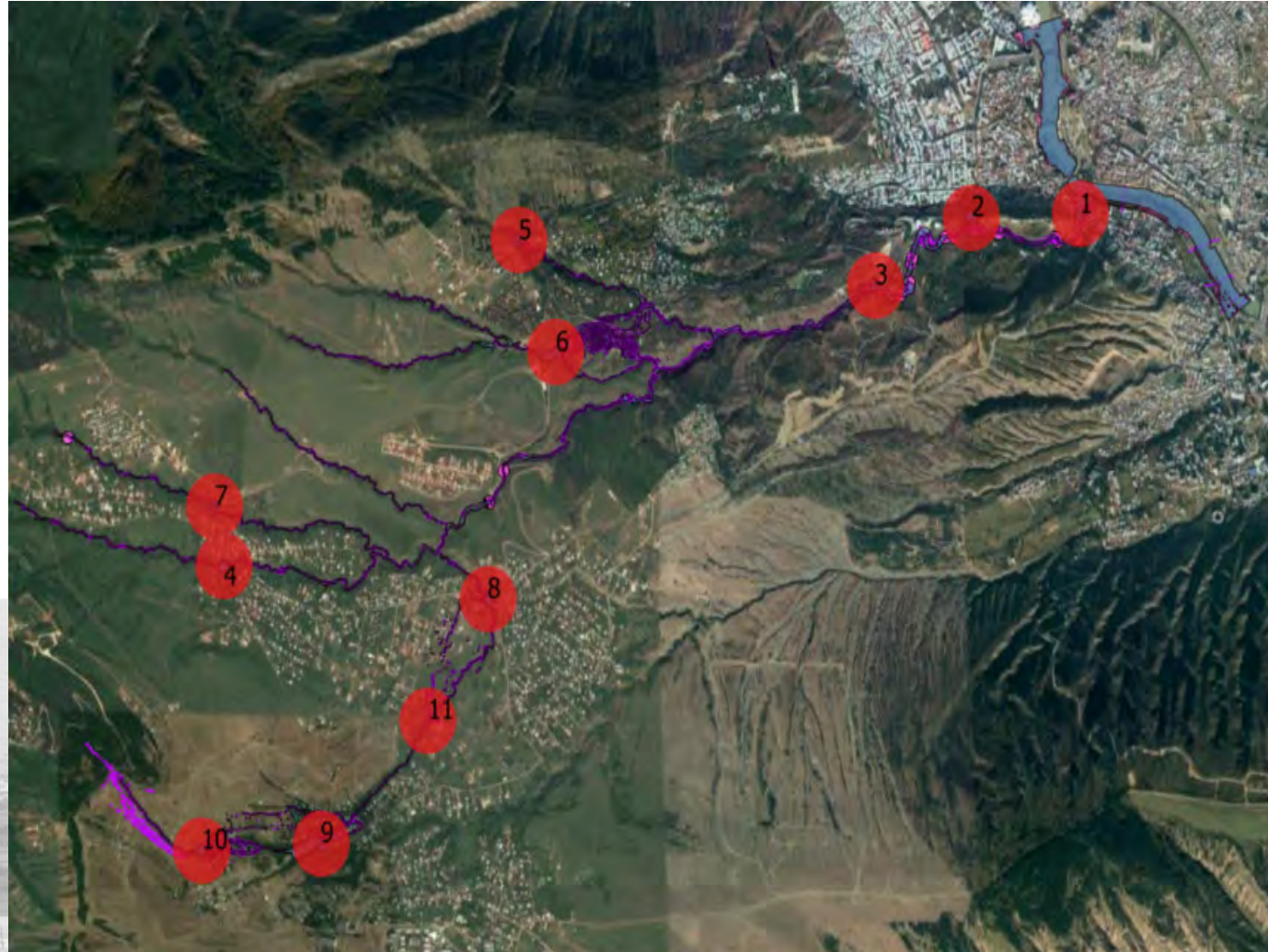
Hotspots were identified in areas where flooding affected:

- Urban areas
- Properties and gardens
- Roads
- Critical infrastructure

The 5yr and the 100yr event were taken as the baseline for the assessment



## 6. Identification of Hotspots



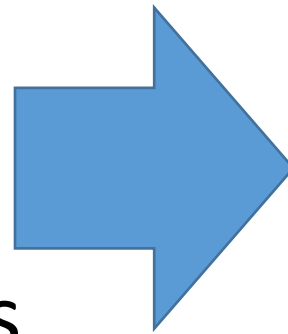
# 6. Identification of Hotspots



Flood Prone Area No	Reach	Issue
1	Main river	Flooding in Downstream Urban Area
2	Main river	Flooding on road and on property in house upstream Botanical Gardens
3	Main river	Flooding at large New Building
4	Main river	road flooding - insufficient culvert capacity
5	1st left bank tributary	road flooding - insufficient culvert capacity
6	2nd left bank tributary	road flooding - insufficient culvert capacity - resulting in breakout flow to the north
7	4th left bank tributary	road flooding - insufficient culvert capacity
8	1st right bank tributary	road flooding - insufficient culvert capacity
9	1st right bank tributary	road flooding - insufficient culvert capacity and flow out of catchment to adjacent river
10	1st right bank tributary	road flooding - insufficient culvert capacity - resulting in breakout flow to the north
11	1st right bank tributary	minor breakout in 100yr could be fixed with a levee

# 7. Proposed Flood Interventions

- Prevention
- Protection
- Preparedness



**Structural and  
non-structural  
measures**



# 7. Proposed Flood Interventions.

## Reduction in peak flows



### Structural Measures:

- Flood control dams  
(detention basins  
– can be wet or dry)

### Non-structural measures:

- Re-afforestation
- No/low till agriculture
- Contour farming/terracing
- Catchment management
  - erosion control (gullies)
  - Sediment control



# 7. Proposed Flood Interventions.

## Reduce exposure to flood flow



### Structural Measures:

- Levees (dykes)
- Enlargement of channels and culverts
- Channel straightening (not recommended)
- Diversion (bypass) channels

### Non-structural measures:

- Land use planning/development controls
  - No increase in runoff from new developments (on-site storage)
  - Floor level controls
- House raising
- Flood proofing/resilient materials
- Removal of buildings from worst areas

# 7. Proposed Flood Interventions.

## Reduce flood impacts



### Structural Measures:

### Non-structural measures

- Flood Mapping
- Raising community awareness
  - Education/awareness campaigns
  - How to understand and make use of flood warning information
- Flood forecasting and warning
  - Difficult in flash flooding situation due short lead times – usually rainfall based
  - Meaningful timely, dissemination of information
- Disaster Management Planning
- Emergency services response

# 7. Proposed Flood Interventions. List of Options



- Seven different structural options
- Aim to mitigate flooding when possible in population, key infrastructure
- Combination of increasing size of culverts and storage



# 7. Proposed Flood Interventions.

## List of Options – structural measures only

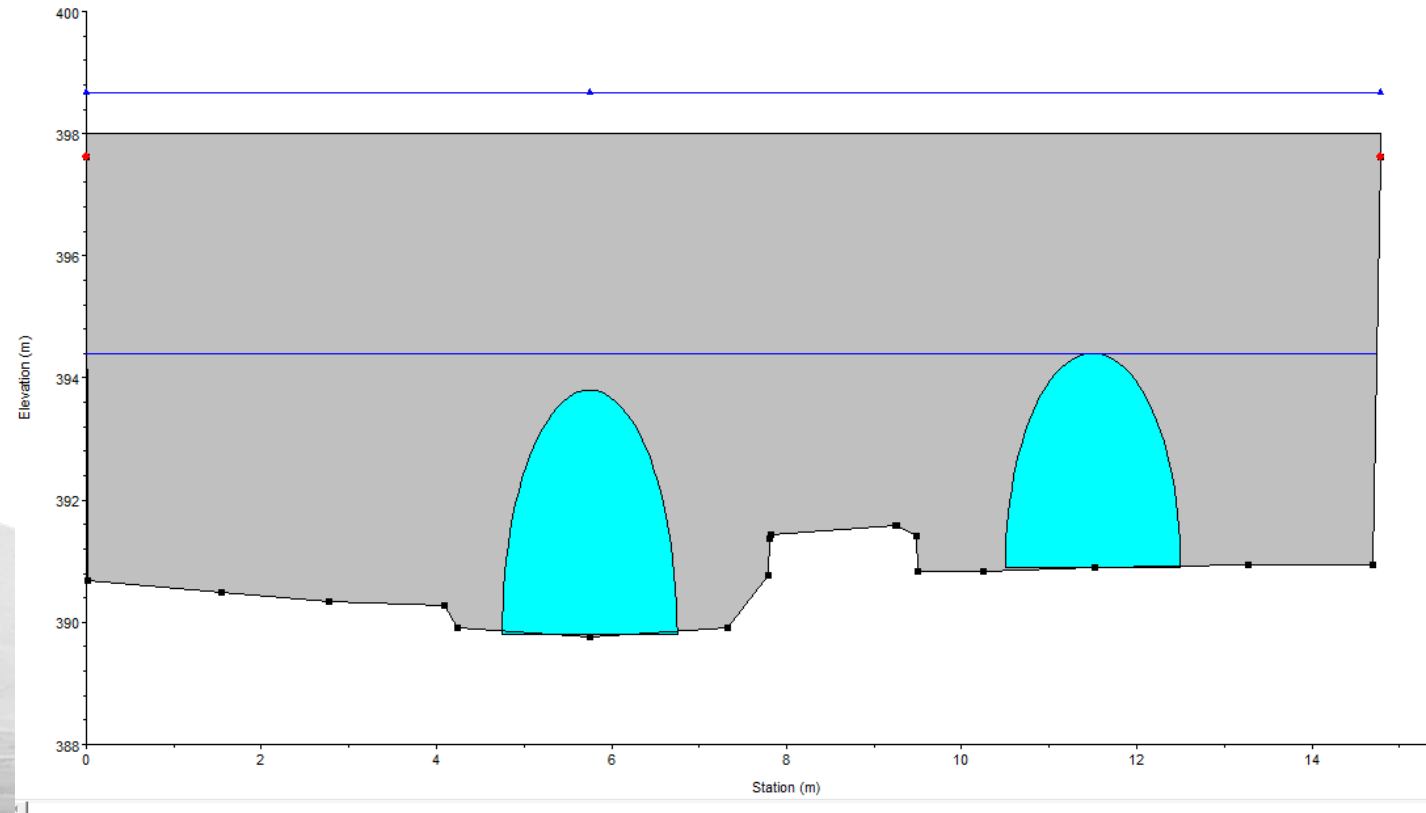


Option	Flood Prone Area No	Possible Mitigation	Old Culvert size	New Culvert Size	Peak Flow Through Culvert	Peak Flow Through Weir
0	1	re-open 2nd culvert	One Culvert	Using the Second Culvert		
1	2	Upstream storage				
1	3					
2	5	increase culvert capacity	Box 1.68x1.26	4 Box 2x1	2	20
3	4	increase culvert capacity	Circular 1.2m	3 Box 3x3m	0.5	23.63
4	6	increase culvert capacity plus levee to prevent breakout	Circular 2.4m	4 Box 3x3m	1.1	0
5	7	increase culvert capacity	2 circular 1.0m culverts	3 Box 2.1x0.9m	3.3	0
6	8	increase culvert capacity	Circular 1.2m	3 Box 3x3m	2	11.3
6	9	increase culvert capacity	Circular 1.0m	3 Box 3x3m	0.95	18.5
6	10	increase culvert capacity	Circular 1.0m	3 Box 3x3m	4.5	0

# 7. Proposed Flood Interventions. Option 0.



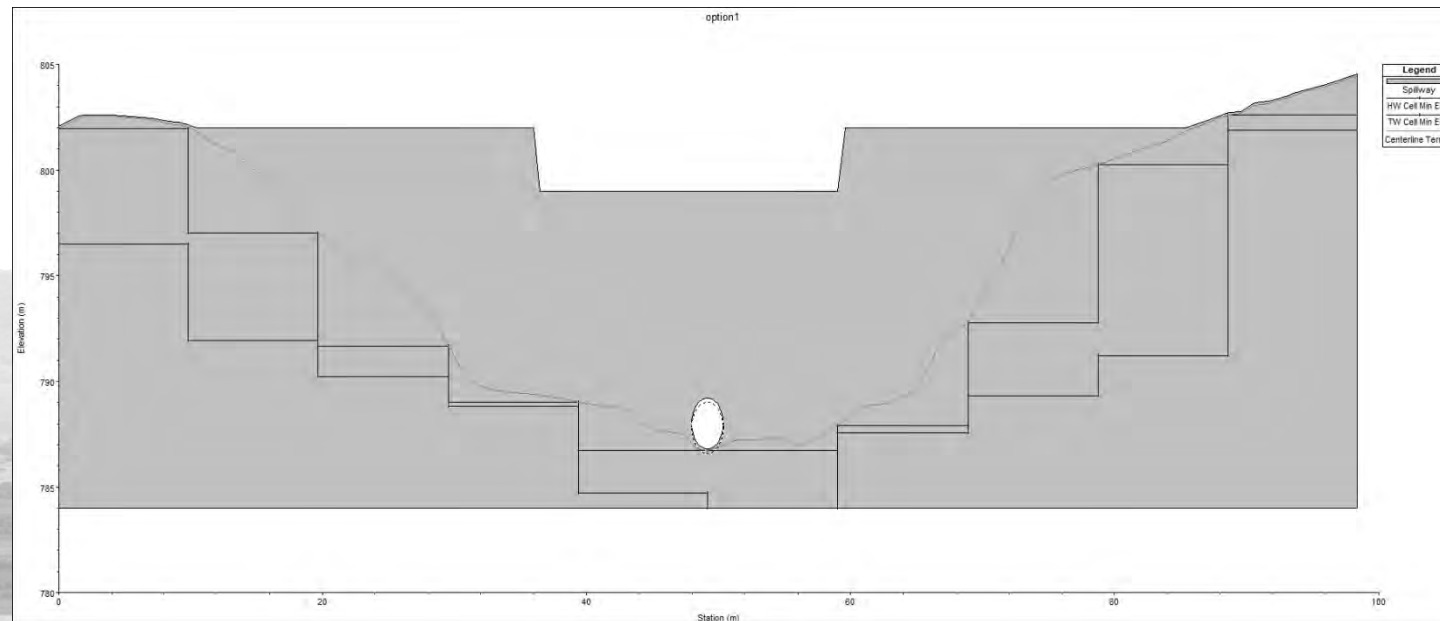
- Re-open second culvert in the downstream area.
- The existing culvert does not have enough capacity
- The resulting impact is reduced water levels upstream of the culvert significantly for the 100yr event (no overtopping)



# 7. Proposed Flood Interventions. Option 1.



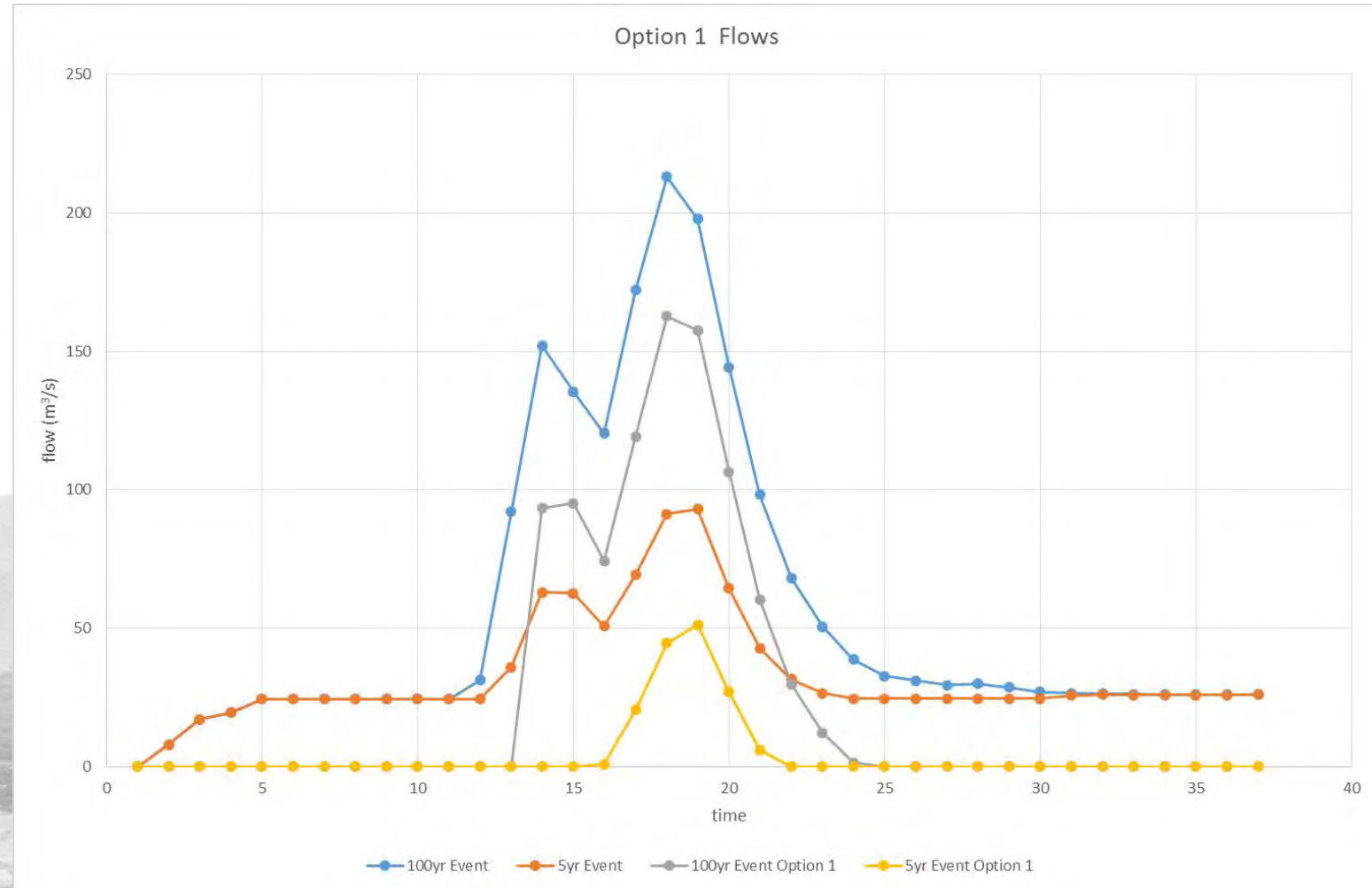
- Storage provided upstream of the existing hydrological station
- Dam 10m high, with a 20m spillway and a 2.4m culvert



# 7. Proposed Flood Interventions. Option 1.



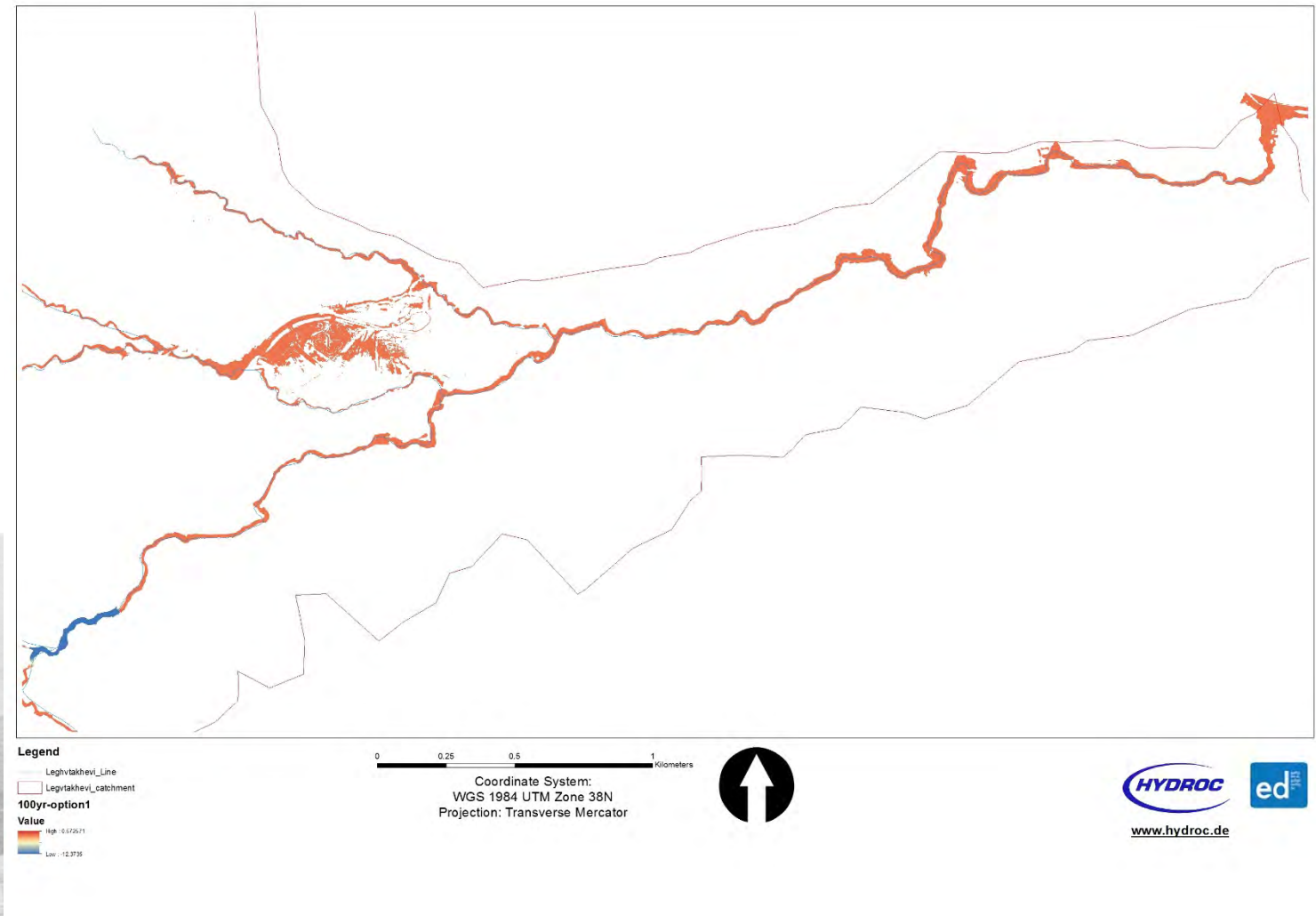
- Hydrographs through the dam for the baseline and option 1 scenarios (5yr and 100yr)



# 7. Proposed Flood Interventions. Option 1.



- Maximum impact of 0.6m reduction in water level downstream



# 7. Proposed Flood Interventions. Option 2.



Flooding at road crossing  
at hotspot 5

Existing culvert: 1.68m x 1.2m  
rectangular (box) culvert

Total flow (100yr) 22m<sup>3</sup>/s

Culvert flow: 2m<sup>3</sup>/s

Over road flow 20m<sup>3</sup>/s

Over road depth 0.8m

Road not trafficable for 6 hours



# 7. Proposed Flood Interventions. Option 3.



Flooding at road crossing  
at hotspot 4

Existing culvert: 1.2m diameter  
pipe

Total flow (100yr)  $24\text{m}^3/\text{s}$

Culvert flow:  $0.5\text{m}^3/\text{s}$

Over road flow  $23.5\text{m}^3/\text{s}$

Over road depth 1.5m

Road not trafficable for 3 hours



# 7. Proposed Flood Interventions. Option 4.



Flooding at road crossing  
at hotspot 6

Existing culvert: 2.4m diameter  
pipe

Total flow (100yr) ??m<sup>3</sup>/s

Culvert flow: ??m<sup>3</sup>/s

Over road flow 15m<sup>3</sup>/s

Over road depth 0.2m

Road not trafficable for 1.5 hours



Lack of capacity  
at road crossing  
causing overflow  
and widespread  
flooding

# 7. Proposed Flood Interventions. Option 5.



Flooding at road crossing  
at hotspot 7

Existing culvert: 2 1.0m diameter  
pipes

Total flow (100yr) ??m<sup>3</sup>/s

Culvert flow: 2.4m<sup>3</sup>/s

Over road flow 10m<sup>3</sup>/s

Over road depth 0.9m

Road not trafficable for 1.1 hours



# 7. Proposed Flood Interventions. Option 6.



Flooding at road crossing  
at hotspot 8

Existing culvert: 1.2m dia,

Total flow (100yr) 38m<sup>3</sup>/s

Culvert flow: 3m<sup>3</sup>/s

Over road flow 35m<sup>3</sup>/s

Over road depth 1m

Road not trafficable for 2 hours



# Road Crossing Results



- New culvert sizes modelled eliminates the overtopping of the road embankments and the backwater impact is reduced.
- No more flooding is predicted over the roads



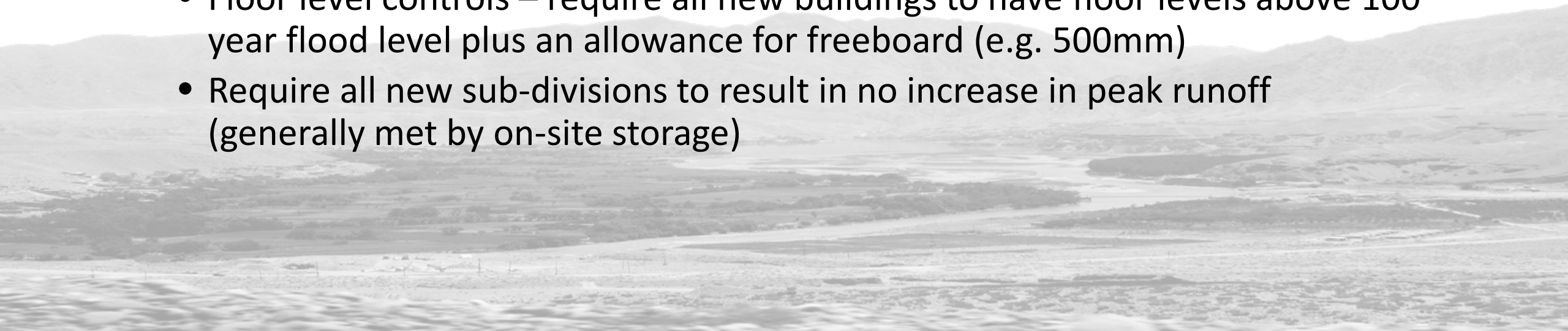
# 7. Proposed Flood Interventions.

## Non-structural flood mitigation measures



The following are practical measures which could be implemented now in respect of new buildings – these measures will reduce flood problems in the longer term

- Introduce land use planning/development controls
  - Floor level controls – require all new buildings to have floor levels above 100 year flood level plus an allowance for freeboard (e.g. 500mm)
  - Require all new sub-divisions to result in no increase in peak runoff (generally met by on-site storage)



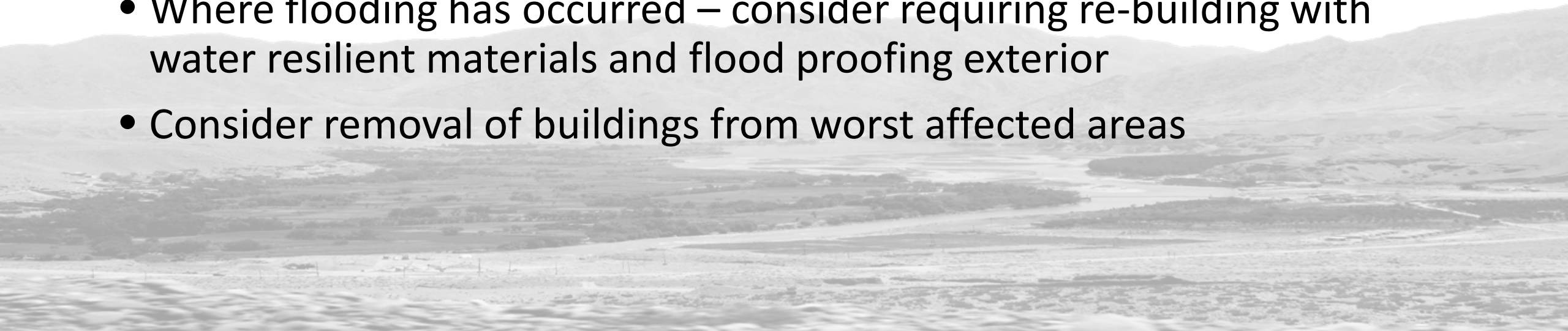
# 7. Proposed Flood Interventions.

## Non-structural flood mitigation measures



The following are practical measures which could be implemented now – in respect of existing buildings which flood

- For light construction i.e. timber houses – consider raising above flood level
- Where flooding has occurred – consider requiring re-building with water resilient materials and flood proofing exterior
- Consider removal of buildings from worst affected areas



# 7. Proposed Flood Interventions. Flood Forecasting Early Warning System



- It is suggested that a FFEWS is implemented
- Due to the short lead time available, inclusion of meteorological forecasting is recommended, with an increased resolution
- It is also advisable that weather radar sources are also used
- The deployment of weather stations in the catchment is recommended to increase the accuracy of the models and also for forecasting purposes





# Ecological Status



# Water Framework Directive



The main environmental objectives according to WFD:

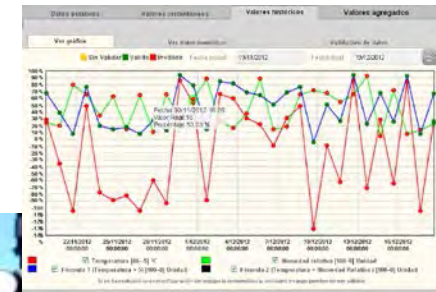
- No deterioration of status for surface and groundwater and the protection, enhancement and restoration of all water bodies;
- Achievement of good status by 2015 and the following years;
- Progressive reduction of pollution of priority substances and phase-out of priority hazardous substances in surface waters and prevention and limitation of input of pollutants in groundwaters;
- Reversal of any significant, upward trend of pollutants in groundwater;
- Achievement of Standards and objectives set for protected areas in Community legislation.



# Water Quality



- **Water quality can be described in terms of biological, hydromorphological and physical-chemical characteristics**
- Artificial (and in some cases natural) changes in the physical and chemical nature of freshwaters can produce diverse biological effects.
- There are different procedures to check the water quality:
  1. Comparing historical data with new data
  2. Field work
  3. Laboratory results
  4. Bibliography and Expert knowledge



# What to do?



Defining the main steps to do

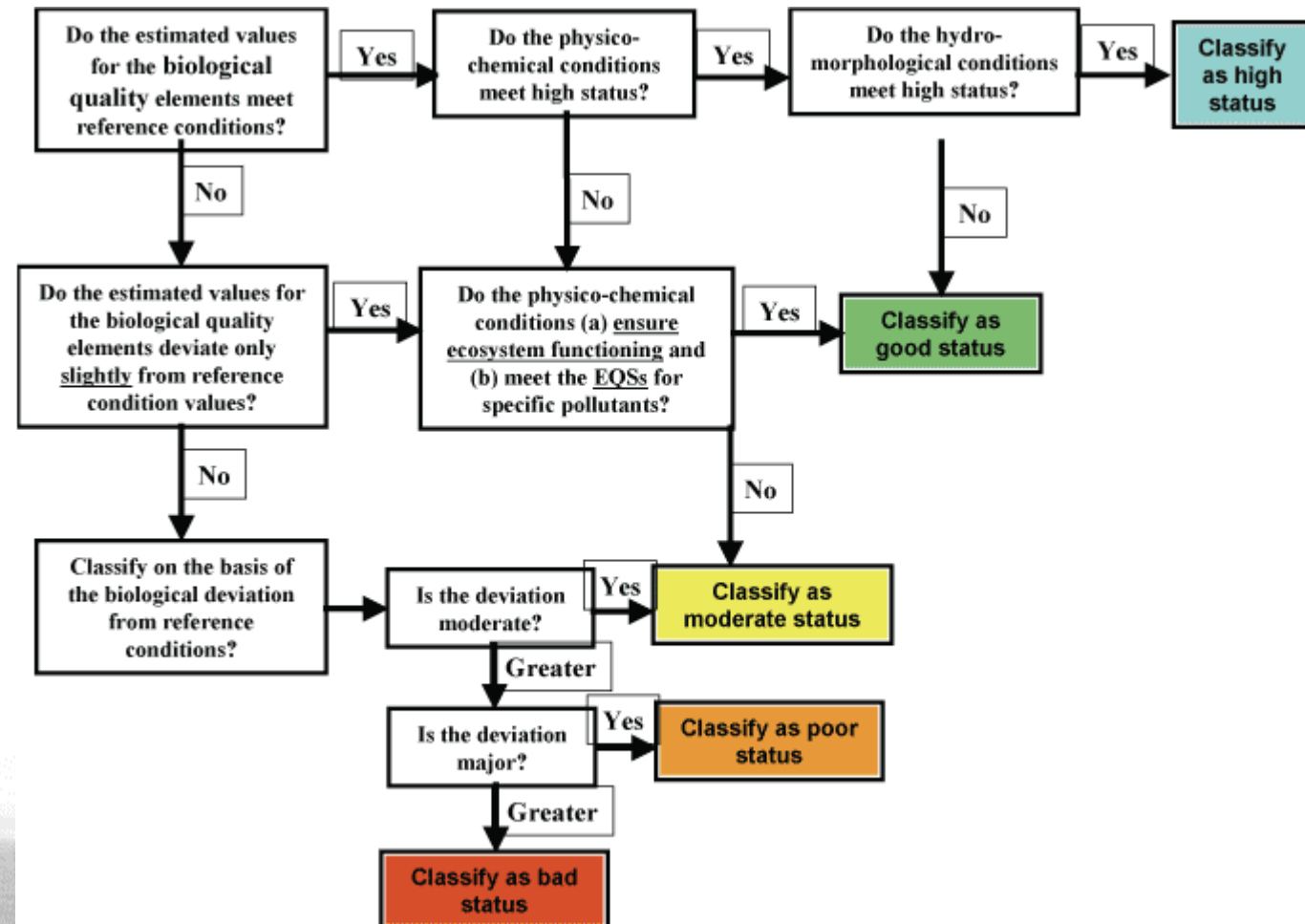
1. Interviews with different stakeholders and institutions for collecting information
2. Bibliography review
3. Field visit to check the possible impacts and pressure and status of the river
4. Planning future needs for the monitoring (frequency, locations, parameters) for increasing the knowledge of the evolution of water quality
5. Proposing measures to ensure reaching the environmental objectives



# Ecological Status...How to evaluate the rivers?



- Hydromorphological processes are a key component of fluvial ecology, as they create the hydrodynamic and habitat conditions to support biota
- Pressure on hydromorphology is one of the most common causes for water bodies to fail the WFD environmental objectives



# Elements according to WFD



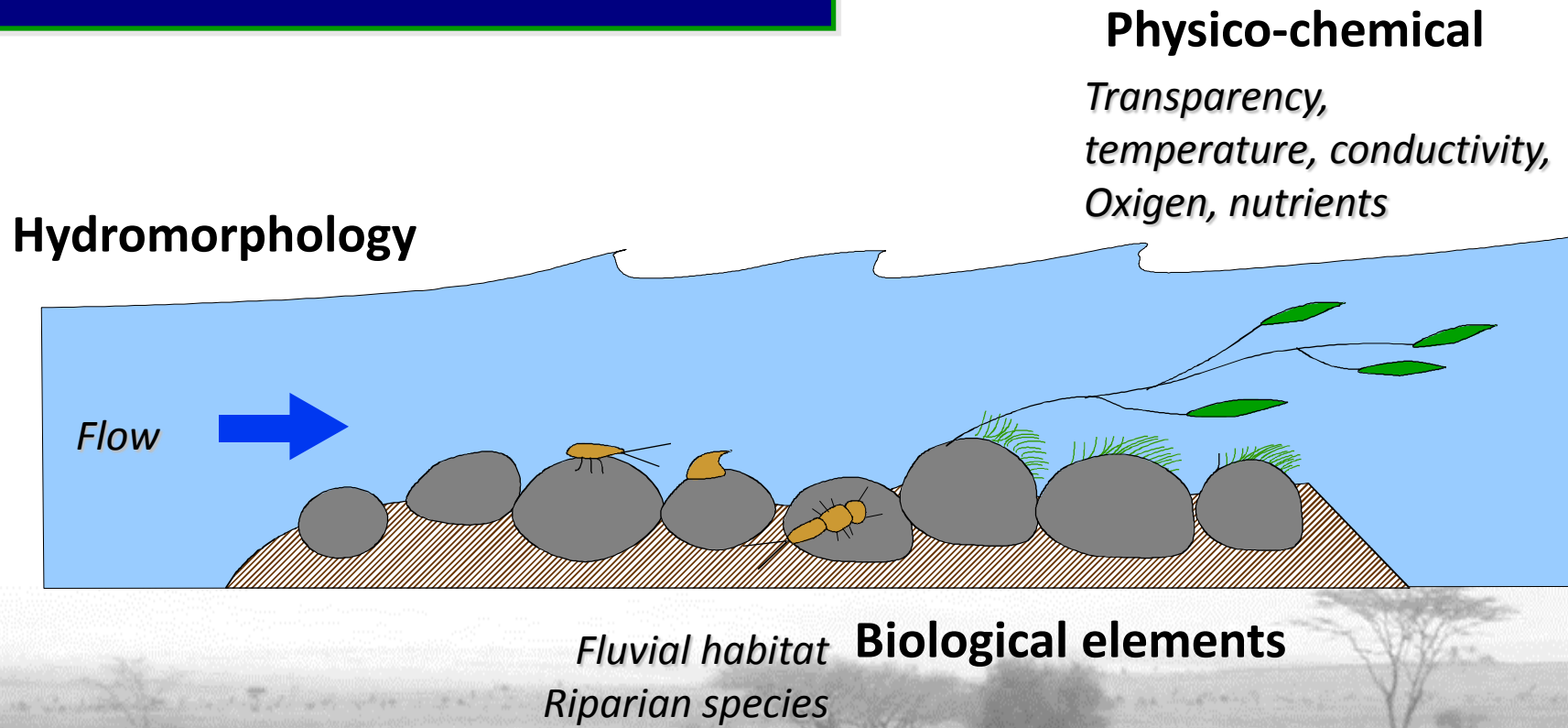
- **Sampling methods** and devices based on the European Standards will be used in the monitoring programmes.
- The **biological quality elements** incorporate for this river: Macroinvertebrates (abundance and composition)
- The **physico-chemical quality elements** include for rivers :
  - General conditions
  - Specific both synthetic and non synthetic pollutants
- EN, ISO and other international standards will be applied for the analysis of the water samples
- The **hydromorphological quality elements** will incorporate the following elements:
  - Hydrological regime
  - River continuity
  - Morphological conditions



# Quality elements as waterbody indicators



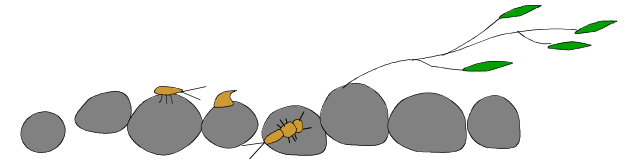
## Quality elements



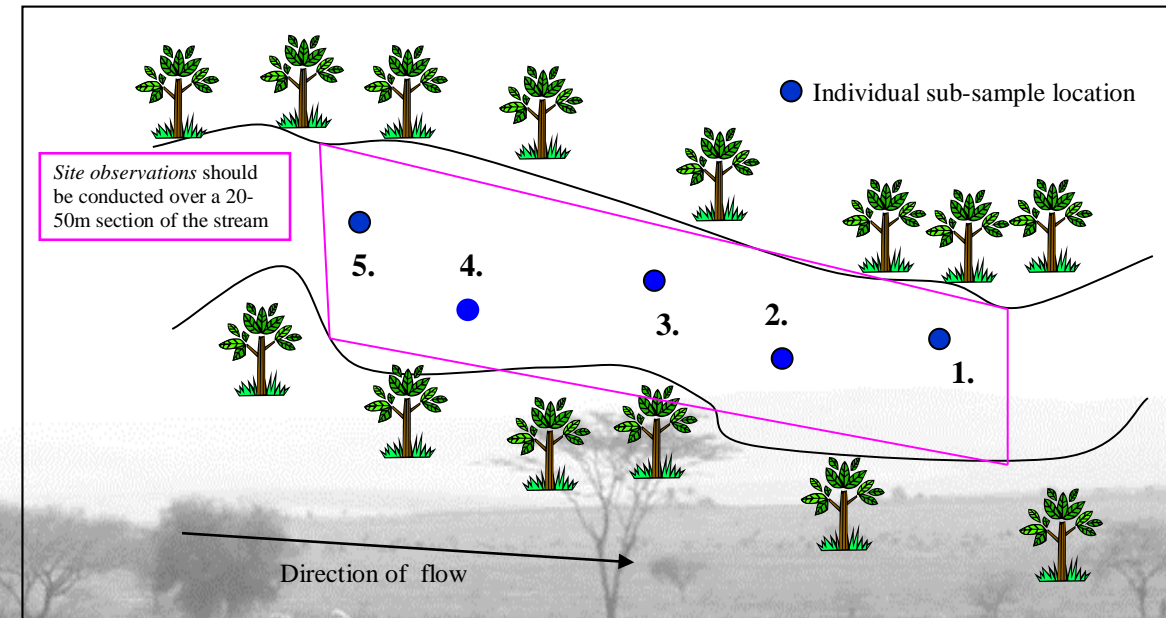
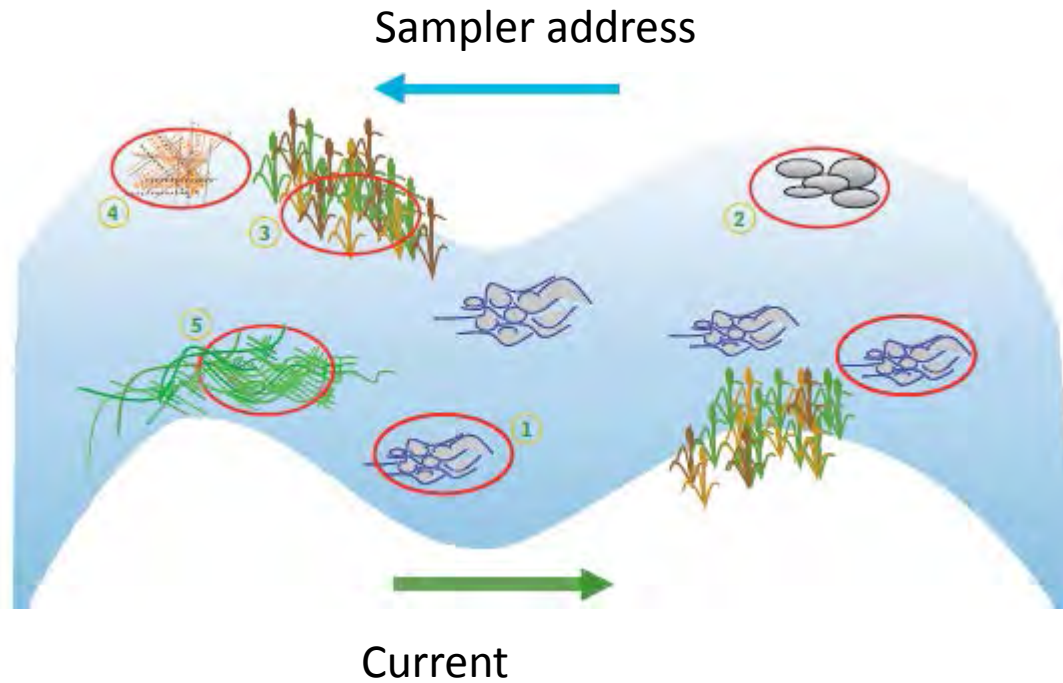
# Importance of quality elements

In the field of implementation of the WFD, benthic invertebrates are considered useful for the detection and monitoring of the following types of pressures:

- Physico-chemical pressures related to:
  - thermal pollution
  - changes in water mineralization
  - organic pollution
  - eutrophication
  - contamination by metals or other contaminants
- Hydromorphological pressures related to:
  - altered flow regime
  - altered morphology of river



# WATERBODY INDICATORS: HABITATS





# Importance of habitats

- Every theoretical and empirical construct related to the dynamics of freshwater ecosystems identifies hydrology and sediment movement as being fundamental to physical habitat creation and maintenance (Ritcher et al., 2006).
- Physical habitat characteristics constitute an important factor that controls the structure and composition of fluvial biological communities and they may also play an important role in determining fluvial ecosystem functioning (Dent et al., 2002; Murray et al., 2008).
- Physical habitat characteristics are among the most common targets in many restoration programs (Palmer et al., 2010).



# (Micro-)habitat types



- With high current speed and hard substrate.
- Lentic with hard substrates.
- Woody debris.
- Among the submerged portion of emergent vegetation of the river edges.
- Among submerged macrophytes or macroalgae.
- With sand, gravel or mud.



# (Micro-)habitat types desirable for good quality



# List of proposed parameters and frequency

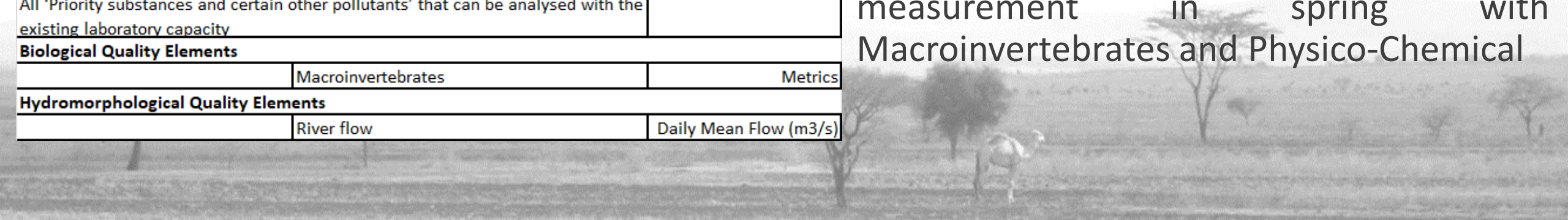


	Parameter	Unit
<b>Physico-chemical Quality Elements</b>		
<b>General conditions</b>		
	Temperature – in situ	°C
	Dissolved Oxygen – in situ	mgO <sub>2</sub> /l
	pH – in situ	pH units
	Conductivity – in situ	µS/cm
	Hardness	mg/l CaCO <sub>3</sub>
	Colour – in situ	visual
	o-Phosphate	mg P/l
	Nitrate	mg N/l
	Ammonium	mg N/l
	Chloride	mg/l
	Sulphate	mg/l
	Total suspended solids	mg/l
	Biochemical oxygen demand (BOD <sub>5</sub> )	mg O <sub>2</sub> /l
	Chemical oxygen demand (COD - dichromide)	mg O <sub>2</sub> /l
	Oil substances – in situ	visual
<b>Priority Substances and Certain Other Pollutants</b>		
All 'Priority substances and certain other pollutants' that can be analysed with the existing laboratory capacity		
<b>Biological Quality Elements</b>		
	Macroinvertebrates	Metrics
<b>Hydromorphological Quality Elements</b>		
	River flow	Daily Mean Flow (m <sup>3</sup> /s)

**Physico-chemical parameters:** each 3 months

**Macroinvertebrates:** 1 sample per year, in spring at the same time as the physico-chemical sampling

**Hydromorphological elements:** 1 measurement in spring with Macroinvertebrates and Physico-Chemical



# Field visit to the Leghvtakhevi river basin



- During 31<sup>st</sup> of January it took place a field visit of the members of the team in order to review:
  1. The location of the river
  2. The water quality and the riparian vegetation in all the basin
  3. The possible sites to be defined as monitoring sites for future samplings
  4. The main pressures and impacts in the basin



# SITE 1 Upstream Tsavkisi



The stream is very narrow in this area, there are old pipelines crossing the section of the river. Few houses in the area. The vegetation is well preserved and typical riverine trees

# SITE 2 Tsavkisi (middle part of the stream)



Garbage in the basin, river watershed altered with some trees but limited vegetation, one pipeline in the river basin

# SITE 3 Tsavkisi (middle part of the river)

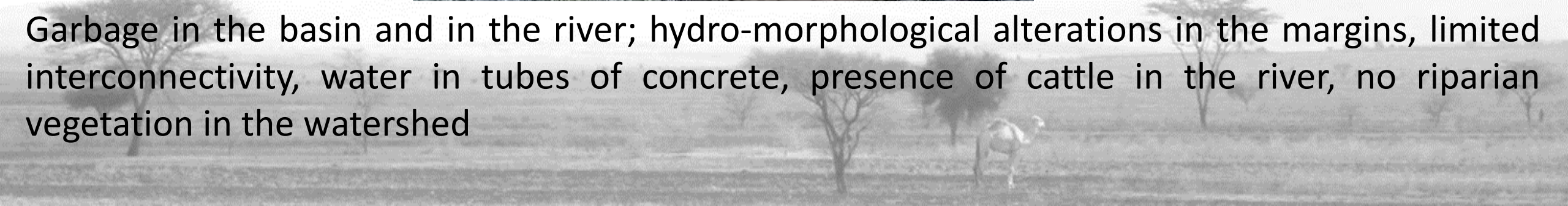


Garbage in the basin, some pipelines crossing the river, river watershed with limited vegetation but autochthonous

# SITE 4 Shindisi (below the settlement)



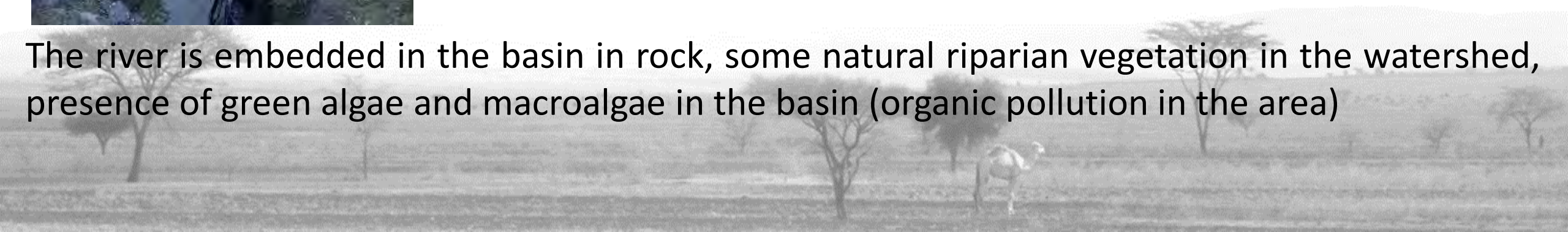
Garbage in the basin and in the river; hydro-morphological alterations in the margins, limited interconnectivity, water in tubes of concrete, presence of cattle in the river, no riparian vegetation in the watershed



# SITE 5 Shindisi (downstream the bridge)



The river is embedded in the basin in rock, some natural riparian vegetation in the watershed, presence of green algae and macroalgae in the basin (organic pollution in the area)

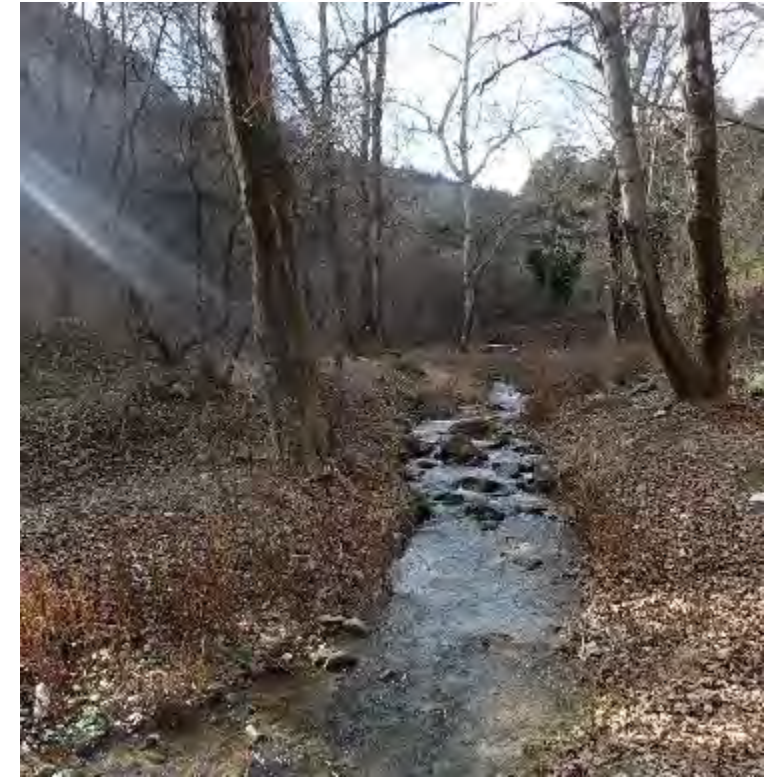


# SITE 6 Botanical Garden (upstream)



Water abstraction at certain site of the river, some interesting woody debris that could be refuge for macroinvertebrates and increase the biodiversity and abundance of some good indicators for future sampling, different dams or dikes present in the stream

# Site 6 Botanical Garden (upstream)



The river is embedded in the basin in rock as in the previous section, natural riparian vegetation in the watershed, presence of green algae and macroalgae in the basin (organic pollution in the area), presence of white foam in the water downstream of the works of the new building

# SITE 6 Botanical Garden (downstream)



The river is embedded in the basin in rock as in the previous sections, natural riparian vegetation in the watershed, presence of green algae and macroalgae in the basin (organic pollution in the area), but in general the transparency of water is very high and there is no garbage in the river basin

# SITE 7 Downstream-confluence Kura



The river is embedded in rock in the low part of the old Tblisi, close to the touristic area where the bath are located, 50 m upstream from Kura river. It is clean and the water transparent, but there are many green algae (macrophytes) due to possible organic pollution in water

# Conclusions about the status of the river



1. During the field visits some interesting sites for monitoring were visited and could be suggested as official sites: SITES 1-7
2. In general, there are different impacts in the river basin, mostly caused by human activities from the settlements (pipelines, garbage in the river and in the , and organic pollution from the untreated wastewater that comes from the old and new settlements )
3. Some works in the riverbed are needed in order to remove the garbage and some old infrastructure
4. It has been presented a possible list of parameters and frequency for future monitoring in order to evaluate the Ecological Status and with the results a package of more measures to do in order to reach a good status of the river



# Next steps



- ❑ Confirm the sites for the monitoring, frequency and the list of parameters for ecological evaluation: proposal sites 1-7 in the river
- ❑ Define who is in charge of monitoring for supplementing and validating risk assessment
- ❑ Collect results from the field + laboratory and prepare the ecological status evaluation
- ❑ Organize the field works to remove the diffuse source pollution (garbage of the riverbed) and the old infrastructure in there, allowing the connectivity in the river and better visual aspect of the area
- ❑ Include the river in the River Basin Plan Management for coordinate other activities in the area (works in the basin, public use, settlement development,...) according to the environmental objectives defined for the basin



# Proposed mitigation measures: Sediment Management



- **Good Practice Sediment Management** : Sediment forms a variety of habitats, which directly and indirectly support a broad range of flora and fauna. This solution is proposed for middle parts of the river (Site 4, 5 and 6)



✘ Poor practice. Lack of vegetation and poaching of the ground by livestock has led to increased bank erosion and input of fine sediment to the watercourse.



✔ Good practice. Creation of a butter strip by fencing off the river bank from livestock and allowing bank side vegetation to establish has strengthened the bank, reduced erosion and reduced input of fine sediments.

# Proposed mitigation measures: Good Practice Vegetation Management



- **Good Practice Vegetation Management:** Vegetation is a natural part of river ecosystems providing shade and cover; promoting bank stability; enhancing physical in-channel features; providing an input of woody debris; filtering sediment and serving as a source of nutrients to support fauna and flora.

Strategy

## Watercourse Improvements

- Improved channel hydraulics, water quality, aquatic and riparian habitat.
- Improved Protection of Infrastructure Crossings
- Better protection of private property.
- Amenity to local community



# Proposed mitigation measures: Improve Fish Passage



- **Improve Fish Passage:** It is worth noting that where structures can be removed, other measures to improve habitat upstream and downstream should be undertaken after the flow and sediment regime have had time to adjust.
  - Fish passes in river systems: Fish passes in river systems
  - Mitigation for pumping station intakes
- This solution is proposed for middle parts of the river (Site 4, 5, 6 and 7)



# Proposed mitigation measures: Culverts

## Modification



- **Improve Culverts in the river:** Implementation of this measure can help deliver the requirements of the Water Framework Directive, by:
  - Re-creating a more natural, self-sustaining river system, within which hydromorphological and ecological processes can be re-established.
  - Assisting with improving or restoring fish passage; offering benefits to other mobile species (e.g. invertebrates).
  - Providing access to valuable habitat that may be otherwise isolated from migratory species.
  - Culverts can also be a barrier to the longitudinal movement of other species, such as mammals (e.g. water voles).
- **This solution is proposed for**
- **middle parts of the river (Site 3 and 4)**





# Upscaling and further application

Assessment of Suitable Flood Mitigation Measures in Tbilisi, Georgia



# Index



1. Upscaling and further application
2. Further recommendations



# Upscaling and further application



- Utilization of approach/methodology in similar catchments
- Implementation in larger catchments





# Upscaling and further application

- Utilization of approach/methodology in similar catchments
  - Individual consideration of conditions
    - Available data
    - Topographic conditions
    - Damage potential and required accuracy
  - Selection of approach
    - 1D/2D/combined
    - Data collection

Prioritization



# Upscaling and further application



- Implementation in larger catchments
  - Catchment size matters
  - Available data
  - Required accuracy
  - Computation power
  - Selection of approach
- Possibly combined approach with focus on hotspots (Catchment wide hydrological model with nested flood models at hotspots)



# Further recommendations



- Catchment management
- Catchment maintenance
- Flood Early Warning System (dynamic)
- Flood zoning and planning (static)



# Further recommendations



- Catchment management
  - Regulations for catchment use
  - Avoiding catchment deterioration
  
- Agriculture
- Private construction
  - Drainage
- Public infrastructure construction
- Maintenance

who and how  
regulations to reduce runoff



# Further recommendations



- Catchment maintenance

- Culverts and streambeds

- Ensure free drainage

- Reservoirs and floodplains

- Ensure capacity for retention

- Both private and public

include in regulations – followup necessary



# Further recommendations



- Flood Early Warning System
  - Consider reaction potential
    - what can be saved in case of alarms (human life / mobile assets)
  - Consider monitoring needs
  - Real time analysis needs
    - Predefined trigger scenarios
    - Real time modelling
  - Alerting mechanisms
  - Training



# Further recommendations



- Flood zoning and planning
  - Definition of hazard zones for different events, current and future
  - Utilization regulations
  - Building codes





# Technology and Knowledge Transfer

Assessment of Suitable Flood Mitigation Measures in Tbilisi, Georgia



# Index



1. Technology Transfer
2. Training



# Technological Transfer



- All the data, models and results yielded by the project to be deliver to stakeholders
- All the results thoroughly explained in reports and through training



# Training



- Hydrological training
- From the 13<sup>th</sup> to the 28<sup>th</sup> of May
- 8 people from NEA, EMA, Delta and Ilia State University attended the training successfully.



# Training



- Hydraulic Modelling
- From the 2<sup>nd</sup> to the 11<sup>th</sup> of July
- 8 people from NEA, EMA and Ilia State University attended the training successfully.



# Training



- During the training the modelling process was explained
- All the issues faced by the modellers were addressed
- Information and training provided would allow the replication of this in similar studies





# Training

- Topics covered
- Hydrological Modelling
- Hydraulic Modelling
- Climate change allowance
- Weather Radar data processing
- Flood Forecasting



## 6. Presentations in Georgian

პროექტი „წყალდიდობის სათანადო  
შემარბილებელი ღონისძიებების შეფასება (მდინარე  
წავკისისწყლის ექსტრემალური წყალდიდობის  
ანალიზის საფუძველზე) თბილისში, საქართველო“

მდინარე წავკისისწყლის წყალდიდობის მოდელირებისთვის  
საჭირო საბაზისო მონაცემების შეგროვება



კახა ბახტაძე  
გარემო და განვითარება

12.07.18

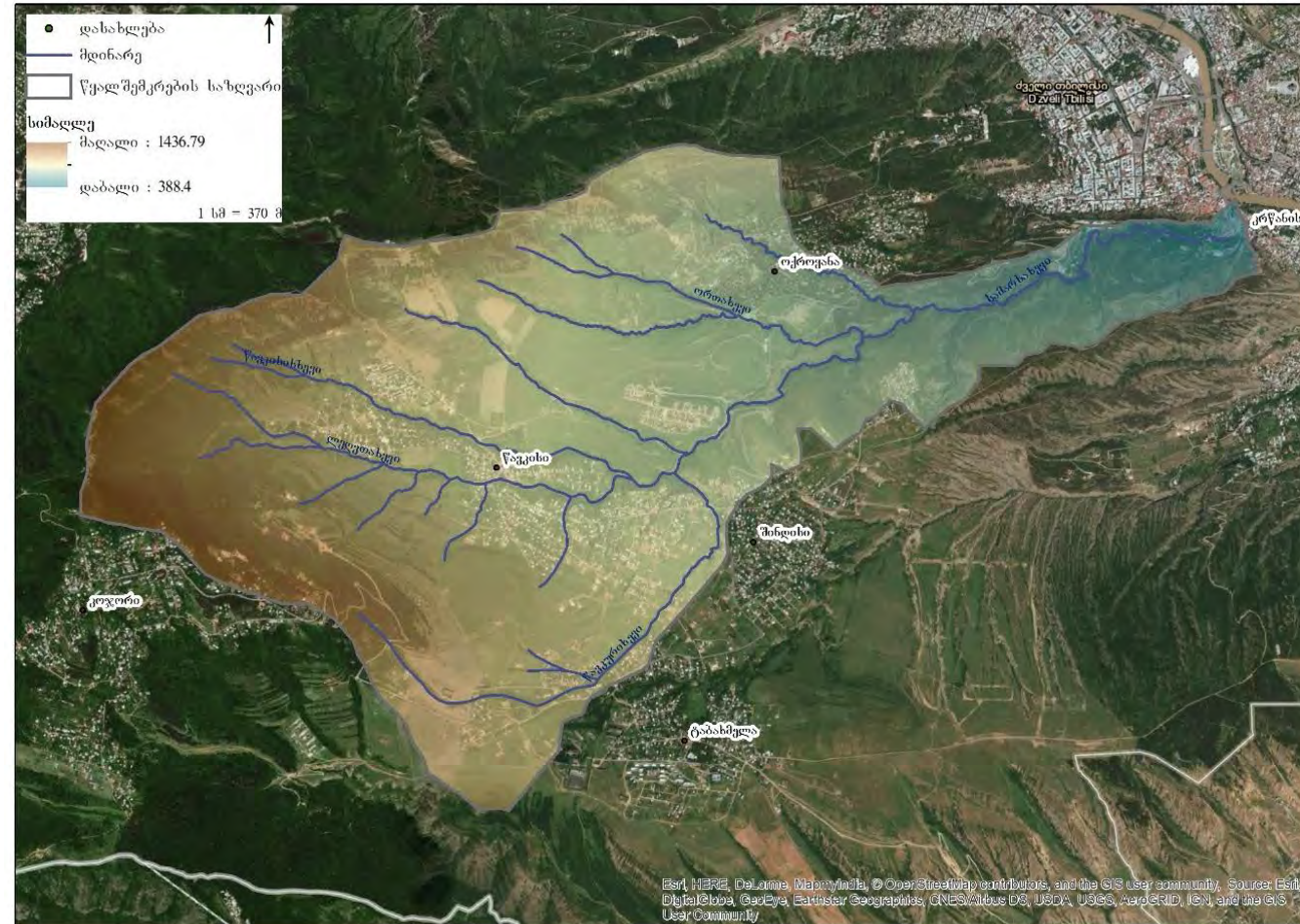
# მონაცემთა წყაროები

- მონაცემთა წყაროები
  - გარემოს ეროვნული სააგენტო
  - თბილისის მერია
  - ბოტანიკური ბაღი
  - სახელმწიფო სამხედრო სამეცნიერო-ტექნიკური ცენტრი „დელტა“
  - საქსტატი
- საველე გასვლები



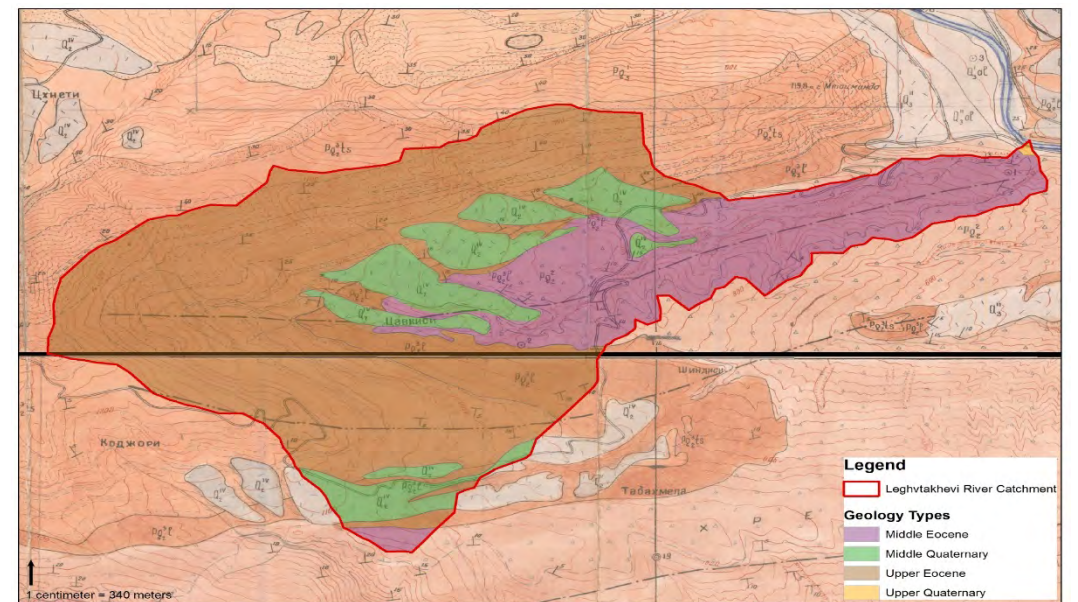
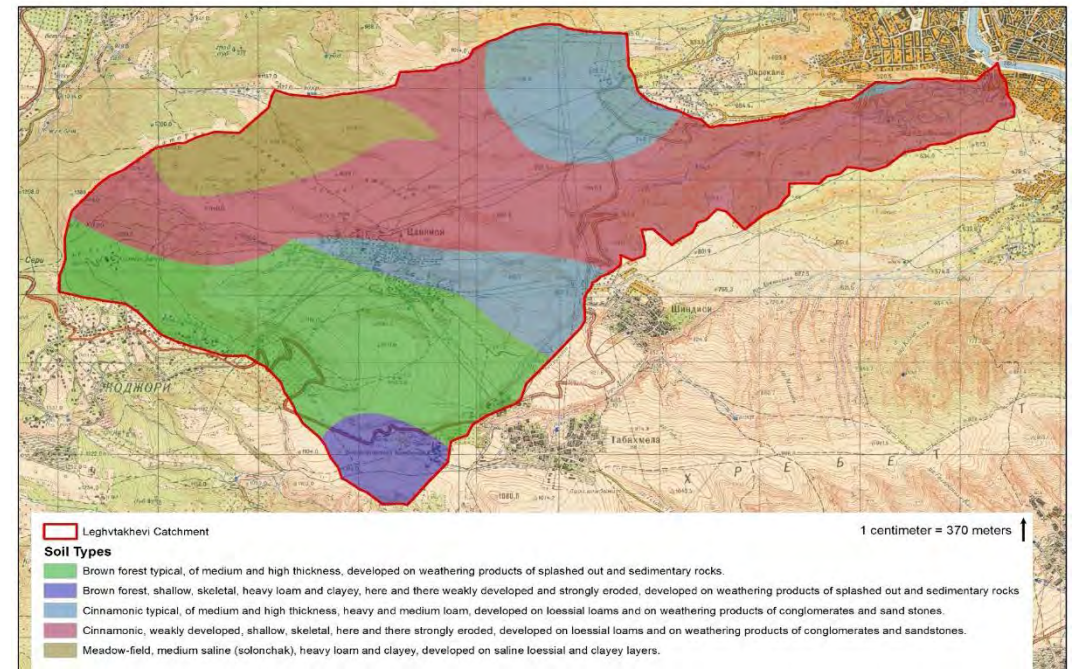
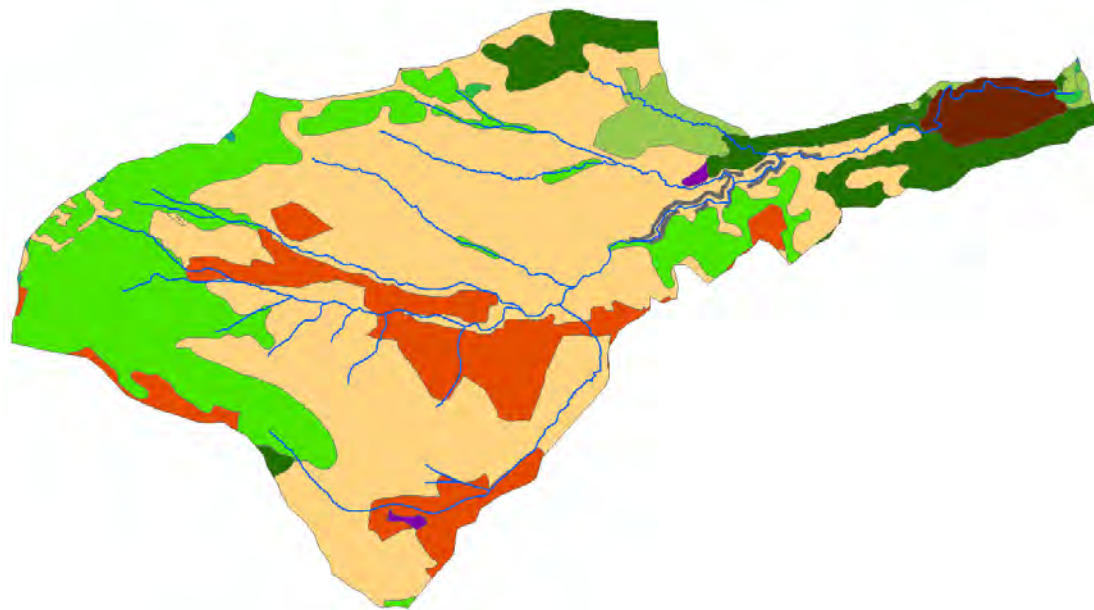
# გამოყენებული მონაცემები

- მდინარე წავკისისწყლის წყალშემკრები აუზის საზღვრები
- მდინარეთა ქსელი
- ციფრულ სასიმალო მოდელი (1 მ)
- აერო/სატელიტური სურათები
- წყალდიდობის ისტორიული მონაცემები (1903 და 1955 წლებში; წყალდიდობის ხარჯი 1955 წელს  $> 100 \text{ მ}^3/\text{წმ}$ )



# გამოყენებული მონაცემები

- მიწის საფარი (1:50,000)
- ნიადაგები (1:200,000)
- გეოლოგია (1:25,000)



# გამოყენებული მონაცემები

- ნალექების მონაცემები (დღიური)

სადგური	სიმაღლე	დაწყების წელი	დასრულების წელი
ვაშლიჯვარი	427	1961	2016
თბილისის აეროპორტი	462	1980	2010
კოჯორი	1381	1961	2005

- რადარის ნალექების მონაცემები
  - 07.06.2016-10.06.2016
  - 01.07.2016
  - 21.09.2016-24.09.2016
  - 16.11.2016-17.11.2016

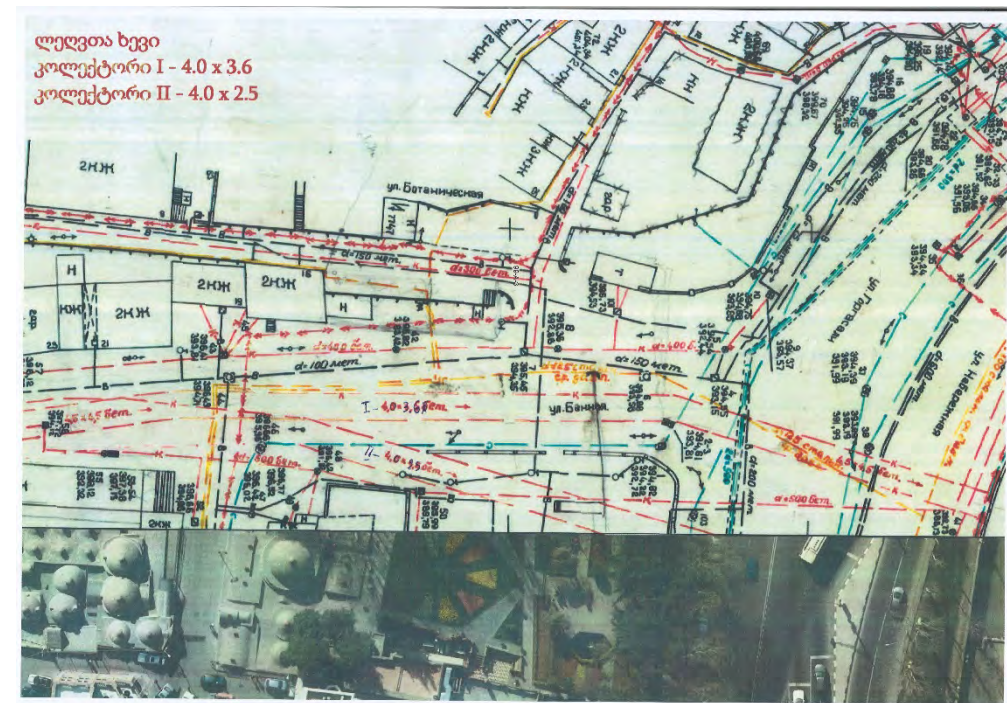
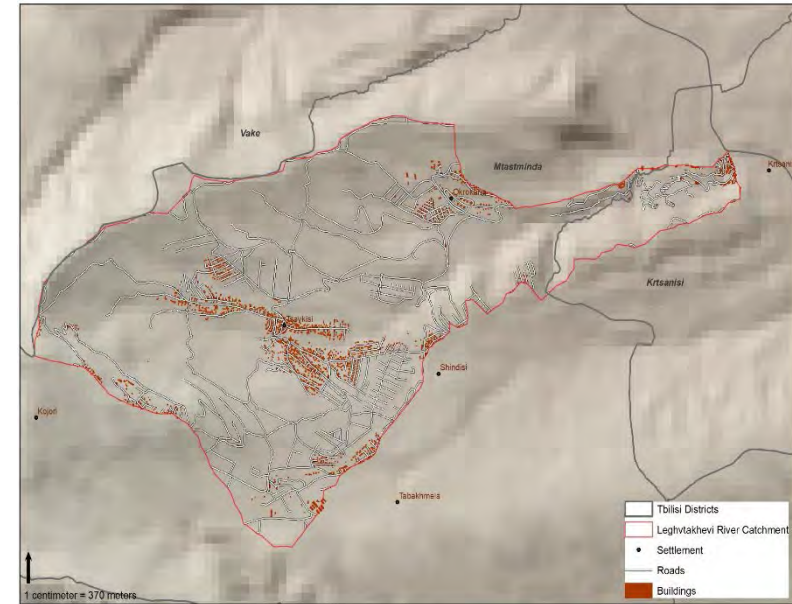
# გამოყენებული მონაცემები

- მდინარე ვერეს დღიური ხარჯის მონაცემები (1941 – 2014 წლები)
- კლიმატის ცვლილების პარამეტრები
- წყლის დონეები ჭაბურღილებში
- მდინარის, ხიდების პროფილები, 2018 (საველე სამუშაოების შედეგად სულ 119 ჭრილი)



# გამოყენებული მონაცემები

- კოლექტორი
- არხები
- დასახლებული პუნქტები
- გზები
- შენობები
- ბოტანიკური ბაღის ტოპორაფიული გეგმა, 2017



მადლობა ყურადღებისთვის



# წყალდიდობის მოდელირების მეთოდოლოგია

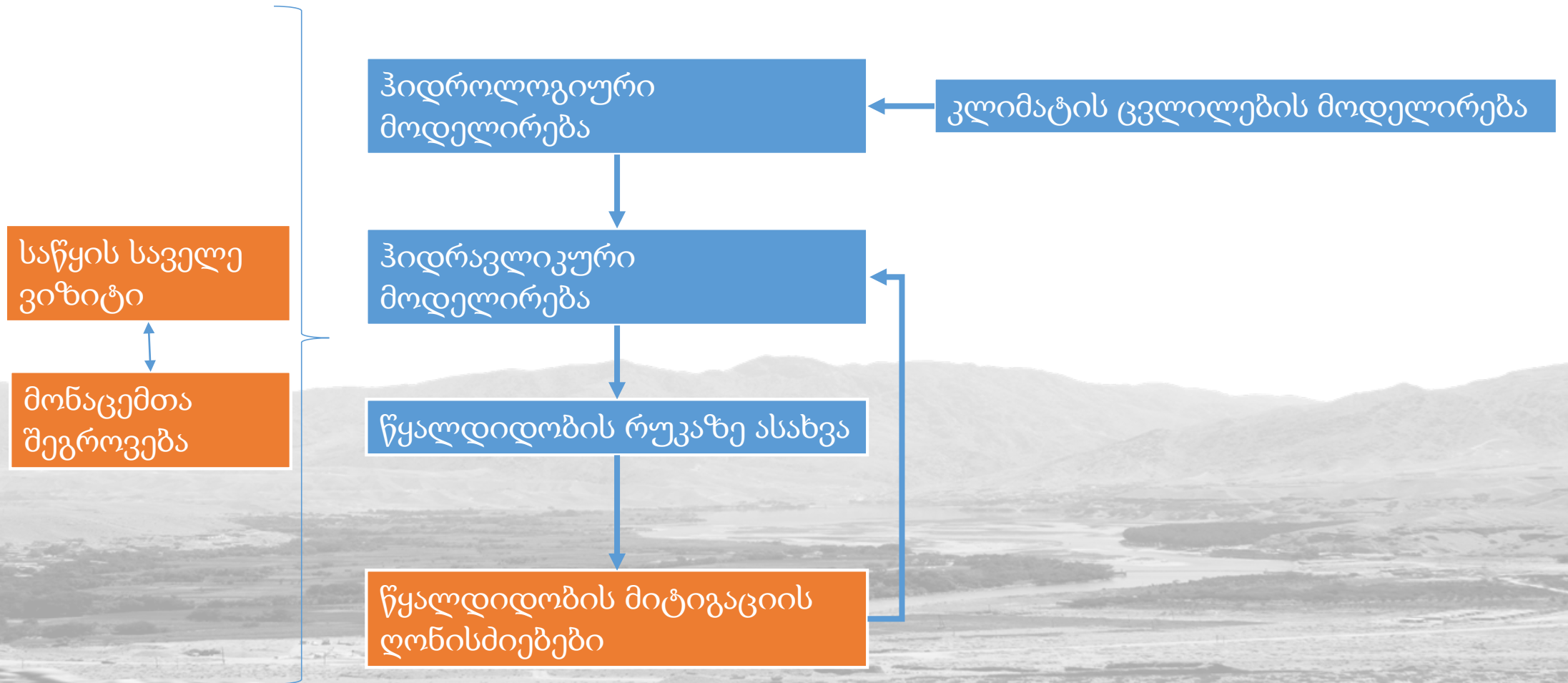
წყალდიდობის შემარბილებელი ღონისძიებების შეფასება  
თბილისში, საქართველო

# შინაარსი



1. წყალდიდობის მოდელირების მეთოდოლოგია
2. მონაცემთა შეგროვება
3. შეზღუდვები
4. კლიმატის ცვლილების მოდელირება
5. ჰიდროლოგიური მოდელირება
6. ჰიდრაულიკური მოდელირება
7. წყალდიდობის რუკაზე ასახვა და მიტიგაცია

# წყალდიდობის მოდელირების მეთოდოლოგია



# მონაცემთა შეგროვება და საველე გასვლები



განხორციელდა რამოდენიმე საველე ვიზიტი

- გუნდის ხელმძღვანელი
- ჰიდრაულიკური მოდელირების ექსპერტი
- მონაცემთა შეგროვების ექსპერტი
- ჰიდროლოგიური მოდელირების ექსპერტი
- წყალდიდობის მიტიგაციის ექსპერტი
- ადგილობრივი ექსპერტები
- დაინტერესებულ მხარეთა ექსპერტები

# საველე ვიზიტები



# საველე ვიზიტები



# მონაცემთა შეგროვება



- მონაცემთა შეგროვების პრეზენტაციაში ხაზგასმული ინფორმაცია
- გარდა ამისა, შეიქმნა მდინარის საველე კვლევის ინსტრუქციები
- მდინარის პროფილებისა და სტრუქტურების კვლევების რეკომენდაციები



# მონაცემთა შეროვება

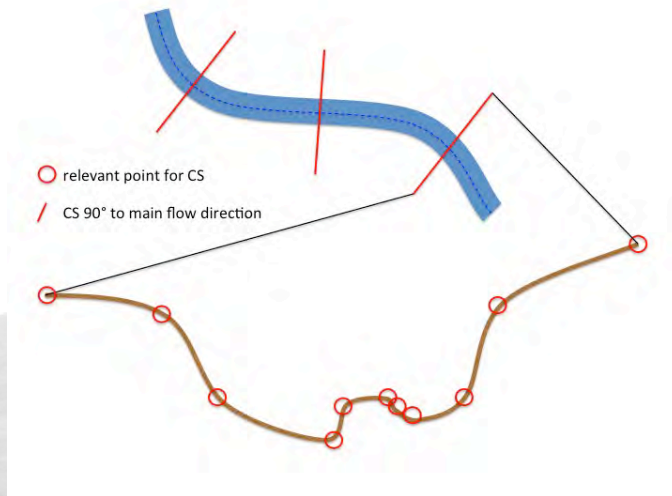


- კვლევა რეკომენდებულია მყარ სეგმენტებში

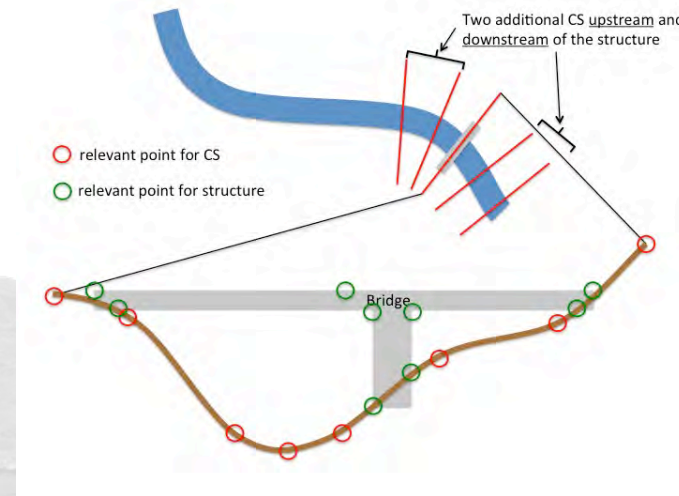


# მონაცემთა შეგროვება

- ყველა სტრუქტურაზე ინფორმაციის კატალოგი
- სახმელეთო კვლევა



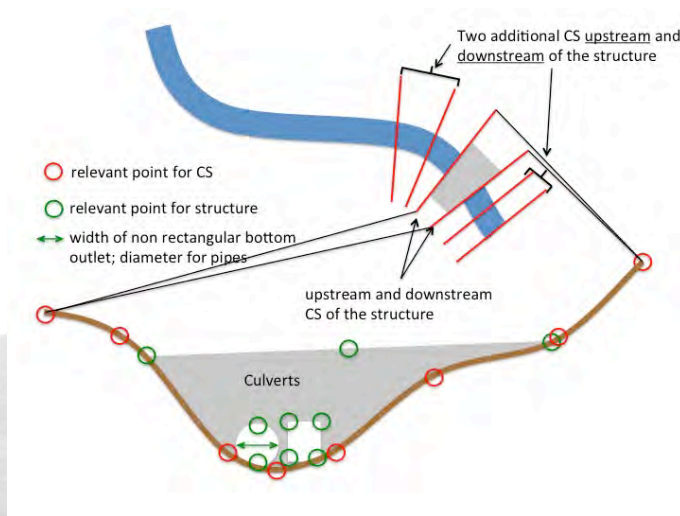
პროფილები



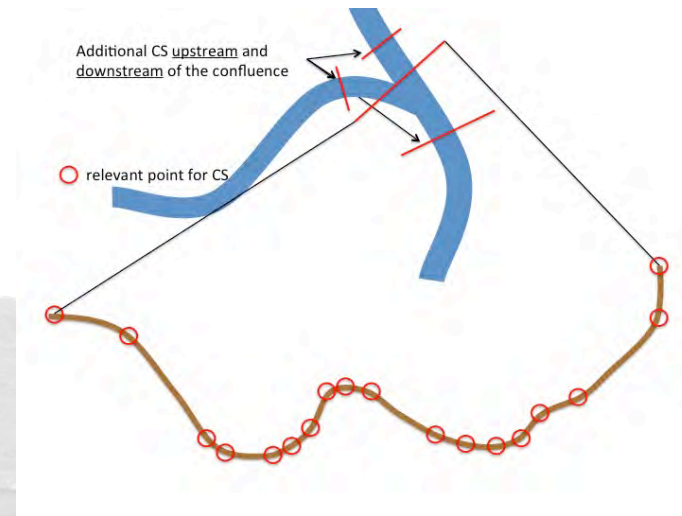
ხიდი

# მონაცემთა შეგროვება

- ყველა სტრუქტურაზე ინფორმაციის კატალოგი
- სახმელეთო კვლევა

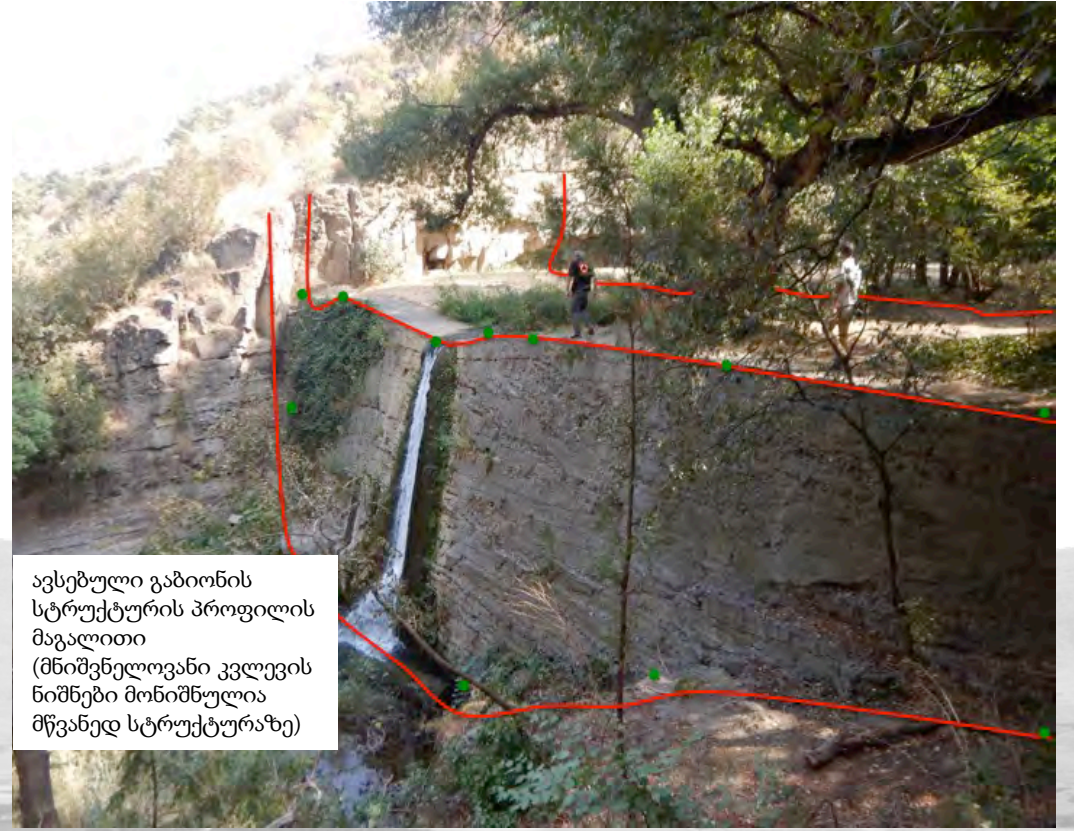


კოლექტორი



შესართავი

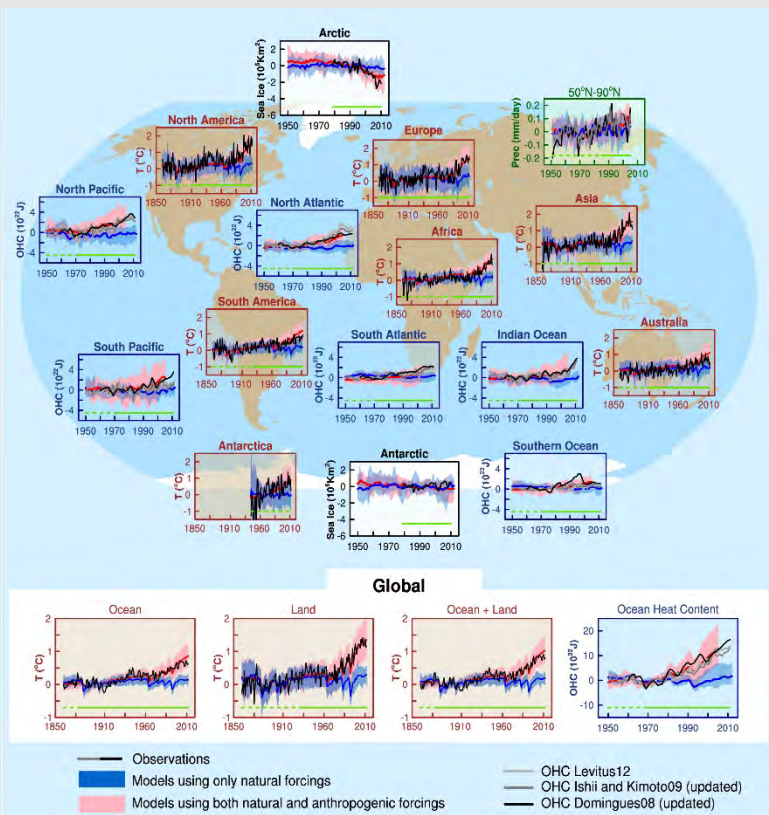
# მონაცემთა შეგროვება



# კლიმატის ცვლილების მოდელირება



- ანთროპოგენური კლიმატის ცვლილება უკვე გლობალურ დონეზეა შესამჩნევი. მე-5 IPCC-ის შეფასებაში ნათქვამია: „კლიმატური დათბობა ერთმნიშვნელოვანია და 1950-იანი წლების შემდეგ, ბევრი დაკვირვებული ცვლილება არის უპრეცედენტო ათწლეულებიდან ათასწლეულების მანძილზე.“



დაკვირვებული კონტინენტური მასშტაბის ნალექების დროის მწკრივების შედარება მოდელირებულ ნალექებთან, ანთროპოგენური ჩარევით ან მის გარეშე. IPCC მე-5 შეფასება, სამუშაო ჯგუფი სურათი 1 10.21

# კლიმატის ცვლილების მოდელირება



- გადაწყვეტილების მიმღები პირებისათვის არსებობს დიდი გაურკვევლობა პროგნოზირებული კლიმატის ცვლილების სიმძლავრის შესახებ რეგიონალური მასშტაბების მიხედვით
- ნალექების პროგნოზირებული ცვლილები უფრო ნაკლებად ცვალებადია, ვიდრე ცვლილებები ტემპერატურაში



# კლიმატის ცვლილების მოდელირების მეთოდოლოგიური მიდგომა



## უზუსტობის აღრიცხვა

- სცენარების უზუსტობა წარმოიქმნება მომავალი სათბურის გაზის ემისიების შესახებ ცოდნის ნაკლებობის გამო
- მოდელის უზუსტობა წარმოიქმნება კლიმატის მოდელის იმ შესაძლებლობების შეზღუდვებიდან, რომელიც წარმოაჩენს მთავარ პროცესებს

კვლევაში ჩვენ აღვრიცხავთ ამ უზუსტობების რესურსებს სამი RCPs-ის და 29 კლიმატის მოდელის გათვალისწინებით, რომლებმაც წვლილი შეიტანეს IPCC-ს შეფასებაში.

# კლიმატის ცვლილების მოდელირების მეთოდოლოგიური მიდგომა



## დროის შკალა

განმეორებადობის პერიოდებისათვის გაანალიზებულია დროის ორი  
ჭრილი : 2030-2050 და 2070-2090. 2030-2050 არის გადაწყვეტილების  
მიღების მაქსიმალურად მნიშვნელოვანი დროის ხანგრძლივობა; 2070-  
2090 აჩვენებს კლიმატის სისტემისადმი დიდი შემფოთების ეფექტს



# კლიმატის ცვლილების მოდელირების მეთოდოლოგიური მიდგომა



## ექსტრემალურობის ანალიზი

- უკიდურესობების სტანდარტული მონაცემების ცვლილებები (როგორც ეს გამოყენებულია IPCC პროცესში) გამოკვლეულია 2070-2090 წლებისთვის 1970-1990 წლებთან შედარებით
- განმეორებადობის პერიოდები ექტრემალური ნალექების დროს, მიღებულია ექსტრემალური მნიშვნელობის სტატისტიკის გამოყენებით

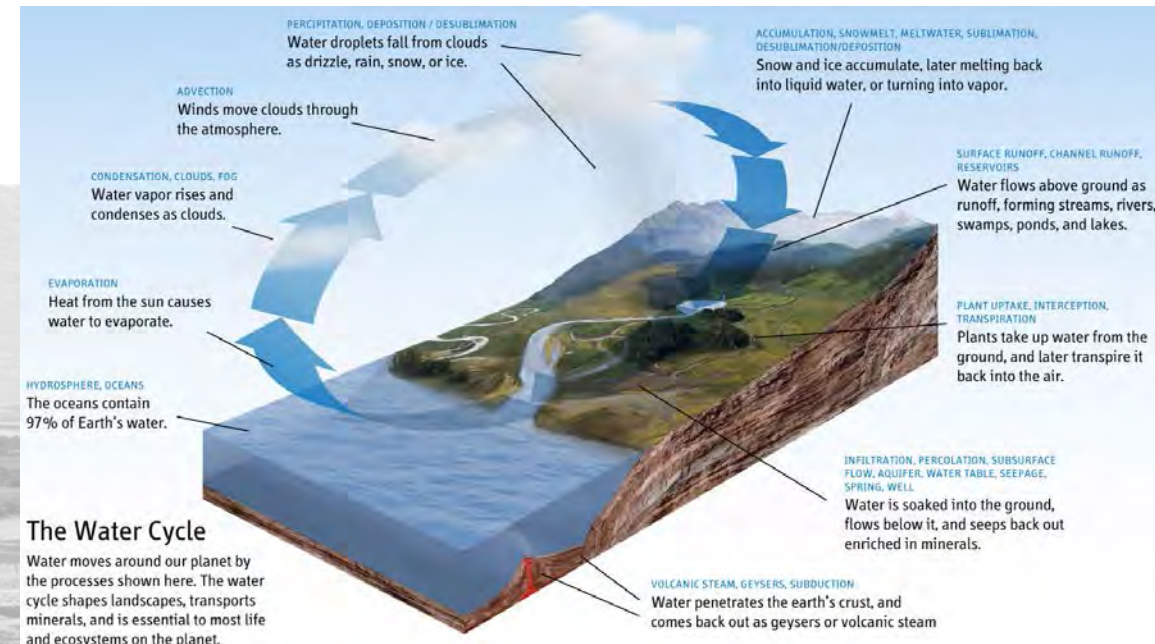


# კლიმატის ცვლილების მოდელირების მეთოდოლოგიური მიდგომა



- ჰიდროლოგიური მოდელებს შეუძლიათ ჰიდროლოგიური ციკლის სრული მიწის ფაზის (ზოგადი მოდელების) ასახვა ...
- ...ან ჰიდროლოგიური ციკლის მხოლოდ ნაწილის (მაგ. წყალდიდობის პროცესი) (სპეციალიზებული მოდელები)

- ➔ ყურადღება მიაქცეით მნიშვნელოვან და უგულებელყავით ციკლის უმნიშვნელო ნაწილები, რაც დამოკიდებულია ხელთ არსებულ დავალებებზე
- ➔ ეფექტური მოდელირება





## ჰიდროლოგიურ მოდელირს არ შეუძლია ...

- უზრუნველყოს პრობლემის გადაჭრა 100% სიზუსტით
- ➔ ის ყოველთვის დარჩება რეალობის გამარტივების მოდელი
- უზრუნველყოს უნივერსალური მიდგომები ყველა ტიპის ჰიდროლოგიურ პრობლემებთან
- ➔ სპეციალიზებული ინსტრუმენტი ყოველთვის უკეთესად იმუშავებს, ვიდრე - ჩვეულებრივი
  - ჩაანაცვლოს ჰიდროლოგის გამოცდილება, ცოდნა და განათლება
- ➔ (ადამიანი) გადაწყვეტილებები ნებისმიერი მოდელირების პროცესის ინტეგრირებული ნაწილია

# წყალდიდობის ტიპები

სანაპირო წყალდიდობა



პლუვიური  
წყალდიდობა



მდინარე / წყალმოვარდნა



კაშხლის განრღვევა

# მდინარის წყალდიდობის გამომწვევი ფაქტორები და წყალმოვარდნები



- განსაკუთრებული ხარჯის წარმოქმნა მდინარის არხებში მდინარის ნაპირების რღვევებით
- გამომწვეული ჭარბი წვიმის ან თოვლის დნობის გამო (კაშხლის რღვევა აქ არ განიხილება)
- დამოკიდებულია ურთიერთქმედებაზე ქვემოთ ჩამოთვლილთ შორის:
  - მიწის ტენიანობა
  - ნიადაგის ინფილტრატის შესაძლებლობა
  - ურბანიზაცია (გაუვალი ადგილები)
  - მდინარის არხის თვისებები
  - წვიმის ნალექი/თოვლის დნობის ინტენსივობა
- „Hydrate“ პროექტი წყალმოვარდნის მონაცემებით  
<http://www.hydrate.tesaf.unipd.it/index.asp?sezione=FFDCPresentation>



# მოდელის მოთხოვნები: მდინარე, წყალმოვარდნები

მოდელირების დავალებები ლელვთახევიზე			აუცილებელი მოდელის თვისებები
რეპრეზენტატიული სიმულაცია	წყალდიდობის	დინების	მოვლენაზე დაფუძნებული სიმულაცია
შესაძლო ინტეგრირება სისტემებში	ადრეული	შეტყობინებების	განგრძობითი სიმულაცია, გამოთვლის გაშვება
პატარა წყალშემკრებების კავშირი კაშხლის ზეგავლენის ხელსაყრელია გამოყენებისთვის	სწრაფი რეაგირების დროით		ქვე-საათობრივი დროის ბიჯის სიმულაცია
სწავლებისთვის და გრძელვადიანი			სივრცულად განაწილებული ან ნახევრად განაწილებული რეზერვუარის სიმულაციის ალგორითმი
გარემოს ეროვნულ სააგენტოში			მომხმარებელზე ორიენტირებული ინტერფეისი
			სტანდარტული ოპერაციული სისტემები
			ფართო აპლიკაციების სპექტრი
			კარგად მართვადი და მუდმივად განვითარებადი
			კარგი დოკუმენტაცია და დახმარების სახელმძღვანელო
			უზრუნველყოფის დაბალი ფასები

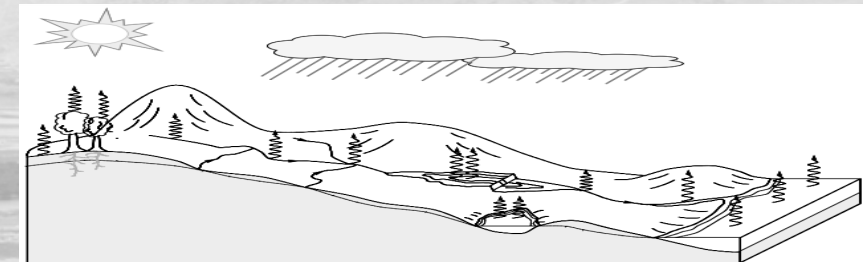
# მოდელის შერჩევა : HEC-HMS



- თავისუფლად ხელმისაწვდომია USACE-HEC-დან
- 30 წლიანი უპრეცედენტო გამოცდილება მოდელის განვითარებაში
- ძლიერი ფოკუსირება წყალდიდობის მოდელირებასა და საინჟინრო დიზაინზე
- მოქნილი პროგრამული უზრუნველყოფა(მრავალჯერადი ალგორითმები, უწყვეტი და ღონისძიებებზე დაფუძნებული)
- ფართოდ გამოყენებადი მუდმივი განვითარების, GIS ინტერფეისის (HEC-GeoHMS), მომხმარებელთა ჯგუფებისა და შესანიშნავი დოკუმენტაციის გამო
- კავშირი სხვა HEC მოდელებთან, მაგ. HEC-RAS  
HEC მონაცემთა შენახვის სისტემის მეშვეობით (DSS)



US Army Corps  
of Engineers  
Hydrologic Engineering Center



# გამოწვევები და როგორ გაუმკლავდეთ მათ



- ლელვთვახევში დაკვირვებული ნალექების მონაცემები მხოლოდ ყოველდღიურ ეტაპზეა ხელმისაწვდომი, მაგრამ უნდა არსებობდეს უფრო მცირე კონცენტრაციის დრო (ToC)(აპლიკაცია 10 წუთი)
- ➔ გამოიყენეთ რადარის ნალექების მონაცემები რომ ჩაიშალოს ყოველდღიური მოვლენების დიზაინი
- არ აღინიშნება ხარჯის დაკვირვებები ლელვთახევზე (აუზი საგუშაგოს გარეშე)
- ➔ გამოიყენეთ რეგიონული მიდგომები და განახორციელეთ სენსიტიურობის ანალიზი
- დღიური ხარჯის დაკვირვება ვერეზე
- ➔ მოახდინეთ მოდელის დაკალიბრება, რათა შეძლოთ მოცულობის ნაკადის მიმართვა (დანაკარგის პარამეტრები) და გადაიტანოთ მოდელის პარამეტრები ლელვთახევში

# HEC-HMS მოდელის მეთოდოლოგია



პროცესი	ალგორითმები ლელვთახევი	ალგორითმები ვერე	კალიბრაცია / სენსიტიურობა
კანოპეს საცავი	მარტივი კანოპე	მარტივი კანოპე	არა
ზედაპირის დეპრესიის საცავი	მარტივი ზედაპირი	მარტივი ზედაპირი	არა
ინფილტრაციის (დანაკარგი) მეთოდი	საწყისი მუდმივი დანაკარგი	საწყისი მუდმივი დანაკარგი	კალიბრაცია ვერე
ტრანსფორმაციის მეთოდი	მოდულიზირებული კლარკი (Clark)	არა	სენსიტიურობა ლელვთახევი
ძირითადი დინება	მუდმივი ყოველთვიური	მუდმივი ყოველთვიური	არა
მდინარის მიმართულება	კინემატიკური ტალღა	არა	სენსიტიურობა ლელვთახევი
არხის დანაკარგები/ნამატი	არა	არა	არა
ნალექი	განსაზღვრული ჰიპოგრაფი	განსაზღვრული ჰიპოგრაფი	არა
აორთქლება	არა	არა	არა
თოვლის დნობა	არა	არა	არა

# ჰიდრაულიკური მოდელირების მეთოდოლოგიური მიდგომა



- ჰიდრაულიკური მოდელირება
- პროგრამული უზრუნველყოფის არჩევა
- ღია-წყარო კომერციულის წინააღმდეგ
- 1D, 2D, 1D-2D
- ვარიანტები
  - **HEC-RAS**
  - **MIKE FLOOD**
  - **ISIS-TUFLOW**
  - **INFOWORKS**
  - **FLOOD MODELLER**
  - **SOBEK**
  - **TELEMAC**

Method	Description	Application	Typical computation times	Outputs	Example Models
1D	Solution of the one-dimensional St-Venant equations.	Design scale modelling which can be of the order of 10s to 100s of km depending on catchment size.	Minutes	Water depth, cross-section averaged velocity, and discharge at each cross-section. Inundation extent if floodplains are part of 1D model, or through horizontal projection of water level.	Mike 11 HEC-RAS ISIS InfoWorks RS
1D+	1D plus a storage cell approach to the simulation of floodplain flow.	Design scale modelling which can be of the order of 10s to 100s of km depending on catchment size, also has the potential for broad scale application if used with sparse cross-section data.	Minutes	As for 1D models, plus water levels and inundation extent in floodplain storage cells	Mike 11 HEC-RAS ISIS InfoWorks RS
2D-	2D minus the law of conservation of momentum for the floodplain flow.	Broad scale modelling and applications where inertial effects are not important.	Hours	Inundation extent Water depths	LISFLOOD-FP JFLOW
2D	Solution of the two-dimensional shallow water equations.	Design scale modelling of the order of 10s of km. May have the potential for use in broad scale modelling if applied with very coarse grids.	Hours or days	Inundation extent Water depths Depth-averaged velocities	TUFLOW Mike 21 TELEMAC SOBEK InfoWorks-2D
2D+	2D plus a solution for vertical velocities using continuity only.	Predominantly coastal modelling applications where 3D velocity profiles are important. Has also been applied to reach scale river modelling problems in research projects.	Days	Inundation extent Water depths 3D velocities	TELEMAC 3D
3D	Solution of the three-dimensional Reynolds averaged Navier Stokes equations.	Local predictions of three-dimensional velocity fields in main channels and floodplains.	Days	Inundation extent Water depths 3D velocities	CFX

# ჰიდრაულიკური მოდელირების მეთოდოლოგიური მიდგომა



ჰიდრაულიკური მოდელირება

ორივე MIKE და HEC-RAS 5, შესაბამისია ჰიდრაულიკური 1D და 2D მოდელირებისთვის წყალდიდობის რუკაზე ასახვის თვალსაზრისით. არცერთ მოდელს არ აკლია სამუშაოების წარმატებით დასრულებისთვის საჭირო მახასიათებლები

- ორივე მოდელის შედეგები შედარებით ზუსტი და ეფექტურია და უფრო ადვილად შეიძლება იყოს ინტეგრირებული GIS მონაცემთა ბაზაში, როგორცაა Arc-GIS ან მსგავსი.
- HEC-RAS-ის გამოყენება, რომელიც უფასო საყოველთაო დომეინია, არ საჭიროებს ლიცენზიას მოდელირების სპეციალისტისთვის ან საბოლოო მომხმარებლისთვის, მაშინ როცა MIKE (რომელიც კომერციული პროგრამული უზრუნველყოფაა) ძვირადღირებული სალიცენზიო შეთანხმებებით, კოტენციურად ხელს უშლის (ზოგიერთ) საბოლოო მომხმარებელს აქტიურად ნახონ/შეცვალონ ფაილები.

# ჰიდრაულიკური მოდელირების მეთოდოლოგიური მიდგომა



ჰიდრაულიკური მოდელირება

- შეფასება 1-5 (5 ქულით შეფასება უკეთესია)

შეფასების ასპექტები	MIKE წყალდიდობა	HEC-RAS 5.0
ფასი	1	5
ლიცენზია	1	5
შესაძლებლობები	4	3
სიმარტივე	4	4
სიზუსტე	4	4
ხელმისაწვდომია ინფორმაცია და მხარდაჭერა	4	3
სიჩქარე	3	3
ადგილობრივი გამოცდილება	5	2

# ჰიდრაველიკური მოდელირების მეთოდოლოგიური მიდგომა



ჰიდრაველიკური მოდელირების მიდგომა

- ჭალის ტოპოგრაფია
- მოდელირება
- დაკალიბრება და დამტკიცება
- სენსიტიურობის ანალიზი (უსწორმასწორობა, ჰიდროლოგიური პარამეტრები, მორფოდინამიკა)

# ჰიდრაავლიკური მოდელირების მეთოდოლოგიური მიდგომა



ჰიდრაავლიკური შესრულება:

- მოდელირების მექანიზმის სრული ანალიზი.
- უფრო დეტალურად გაანალიზებული ურბანულ რაიონებში, ამ ადგილებში რისკის ზრდის გამო (წყალგამტარი მილების მოცულობა)
- ასევე წარმოდგენილი იქნება საკვლევ ტერიტორიაზე არსებული სხვა ნებისმიერი სტრუქტურის გავლენა.
- გარდა ამისა, კრიტიკული ადგილები განისაზღვრება ისტორიული და წყალდიდობის მოდელირების შედეგების გამოყენებით.

# წყალდიდობის რუკაზე ასახვის მეთოდოლოგიური მიდგომა



- რუკების წარმოდგენა მოდელირების შედეგების გამოყენებით აქტივობა 2-დან სხვადასხვა GIS ფენებთან კომბინაციით, როგორცაა სხვადასხვა საბაზისო რუკები, აერო სურათები ან ხელმისაწვდომი სოციო-ეკონომიკური ინფორმაცია.
- 1D-დან მიღებული შედეგები და დაწყვილებული 1D-2D მოდელი იქნება გაერთიანებული, რათა წარმოადგინოს წყალდიდობის საშიშროების ამსახველი რუკები სასწავლო ადგილისთვის.
- ადგილზე გადამოწმების კვლევა ჩატარდება იმის დასადგენად, რომ ყველა ტერიტორია, რომელიც მონიშნული იყო როგორც წყალდიდობის მიმართ მოწყვლადი, მართლაც წყალდიდობის რისკის წინაშე დგას საველე და ისტორიული გადამოწმების შედეგად.

# წყალდიდობის შერბილების მეთოდოლოგიური მიდგომა



- წყალდიდობის მიტიგაციისა და ადაპტაციის ვარიანტების შექმნა როგორც პროექტის შემადგენელი ნაწილი, რომელიც საჭიროების შემთხვევაში მოდელირებული იქნება ჰიდრაულიკურ მოდელში.
- სტრუქტურული ღონისძიებები
- არა-სტრუქტურული ღონისძიებები.
- მჭიდრო თანამშრომლობა



# წყალდიდობის შერბილების მეთოდოლოგიური მიდგომა



ვარიანტები შეირჩევა და შემუშავდება შემდეგნაირად:

- **ვარიანტების მოკლე ჩამონათვალის შექმნა:** ვარიანტების გრძელი ნუსხა განიხილება და ხარისხობრივად შეფასდება ვარიანტების სოციო-ეკონომიკური, გარემოსდაცვითი, საინჟინრო და ჰიდროლოგიური ზემოქმედების თვალსაზრისით.
- **ვარიანტების შეფასება:** არჩეული სტრუქტურული ვარიანტების ჰიდრაულიკური ზეგავლენა შეიძლება სიმულირებული იქნას სწავლებისთვის შექმნილი წყალდიდობის მოდელების გამოყენებით. ჩატარდება შერჩეული ვარიანტების თავდაპირველი შეფასება, რათა განისაზღვროს ტექნიკური უზრუნველყოფა აუზში წყალდიდობის საშიშროების შემცირების თვალსაზრისით.

# ტექნოლოგიების გადაცემის მეთოდოლოგიური მიდგომა



ამ პროექტის ფარგლებში განხორციელებული და განვითარებული ყველა პროდუქტი გადაეცემა გარემოს ეროვნულ სააგენტოს. განხორციელების დროს გამოყენებული ყველა რიცხვითი მოდელი დაინსტალირდება სააგენტოში. ასევე, საბოლოო პროდუქტების (მონაცემები და მოდელირების ფაილები) მიწოდება განხორციელდება "მეგობრული" ფორმით შესაბამისი სასწავლო ელემენტებით, რაც უზრუნველყოფს NEA-ს მოდელირების სპეციალისტებს შეძლონ ყველა ინსტრუმენტის გამოყენება.

# ტრენინგი



- მდინარის კვლევა
- ჰიდროლოგიური მოდელირება
- კლიმატის ცვლილების პროგნოზი
- რადარის მონაცემთა დამუშავება
- ჰიდრაულიკური მოდელირება
- წყალდიდობის პროგნოზირების ადრეული გაფრთხილების სისტემები



# წყალდიდობის მოდელირება

წყალდიდობის შემარბილებელი ღონისძიებების შეფასება  
თბილისში, საქართველო

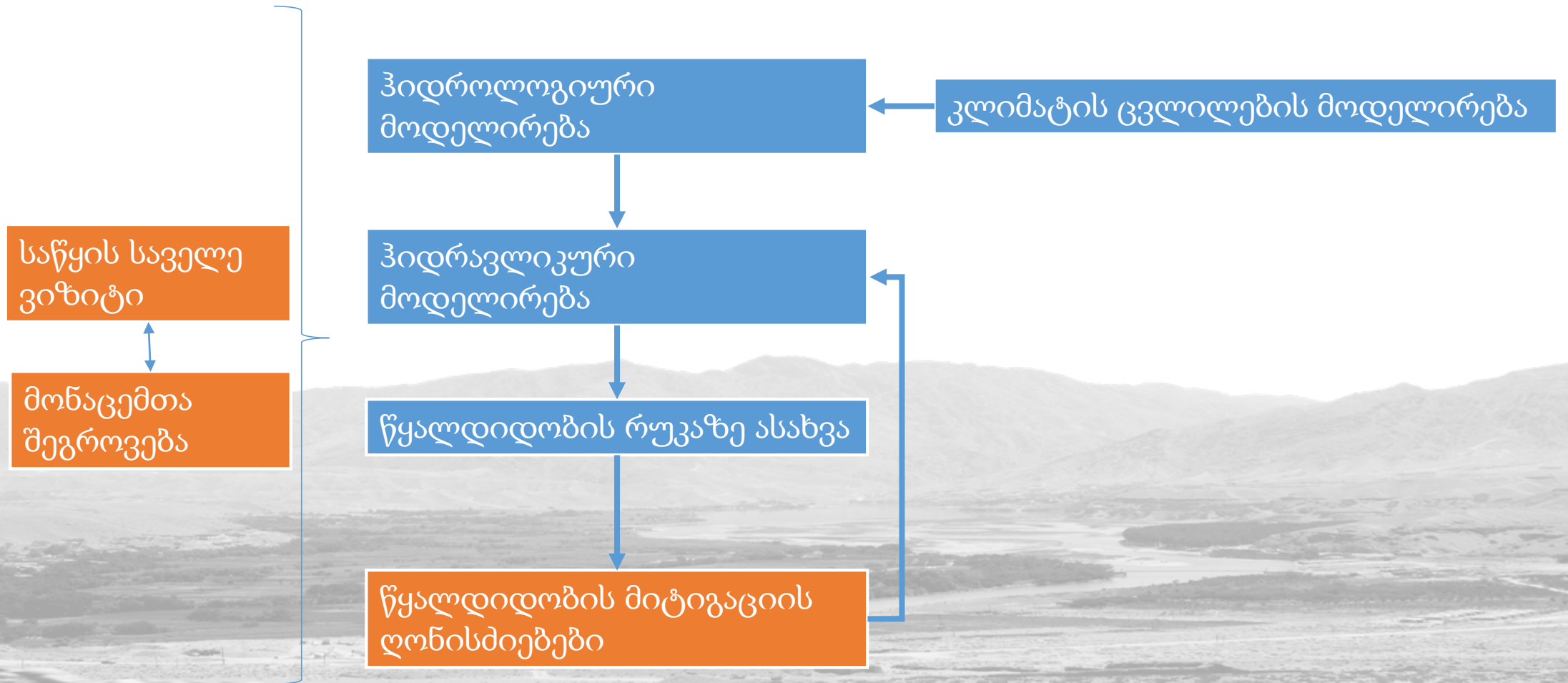
# შინაარსი



1. წყალდიდობის მოდელირების მეთოდოლოგია
2. კლიმატის ცვლილების მოდელირება
3. ჰიდროლოგიური მოდელირება
4. ჰიდრაულიკური მოდელირება



# წყალდიდობის მოდელირების მეთოდოლოგია



# წყალდიდობის მოდელირების მეთოდოლოგია



- კლიმატის ცვლილების მოდელირება
- ჰიდროლოგიური მოდელირება
- ჰიდრაულიკური მოდელირება





# კლიმატის ცვლილების მოდელირება



# ნალექების და ექსტრემალური მოვლენების ცვლილებების კვლევა თბილისში



- მოხდა ექტრემალური ნალექების შერჩეული პარამეტრების რუკაზე ასახვა შერჩეული რეგიონისთვის (იხ. ცხრილი)
- ყოველი წერტილისთვის მოხდა პროგნოზირებული ცვლილებების შედარება წლიდან წლამდე ცვალებადობის მიმართ
- ნაჩვენებია მულტი-მოდელის საშუალო, რომ ხაზი გაესვას იმ ცვლილებებს რომელიც უცვლელია CMIP5 მოდელის მიმართ

# ნალექების და ექსტრემალური მოვლენების ცვლილებების კვლევა თბილისში



დასახელება	CMIP5/კლიმატური ინდექსის დასახელება	განმარტება
ერთდღიანი ჯამური ნალექების მაქსიმუმი	rx1day	Let $RR_{kj}$ be the precipitation amount for the 1-day interval ending $k$ , period $j$ . Then maximum 1-day values for period $j$ are: $Rx1day_j = \max (RR_{kj})$
წლიური ნალექების ჯამი როცა ნალექები მეტია 95 პროცენტზე	r95p	Let $RR_{wj}$ be the daily precipitation amount on a wet day $w$ ( $RR \geq 1.0\text{mm}$ ) in period $i$ and let $RR_{wn95}$ be the 95 <sup>th</sup> percentile of precipitation on wet days in the 1961-1990 period. If $W$ represents the number of wet days in the period, then:
ნალექების ინტენსიურობის მარტივი ინდექსი	SDII	Let $RR_{wj}$ be the daily precipitation amount on wet days, $w$ ( $RR \geq 1\text{mm}$ ) in period $j$ . If $W$ represents number of wet days in $j$ , then:
მშრალი დღეების ხანგრძლივობის მაქსიმუმი	CDD	Let $RR_{ij}$ be the daily precipitation amount on day $i$ in period $j$ . Count the largest number of consecutive days where: $RR_{ij} < 1\text{mm}$
ნალექიანი დღეების პერიოდის მაქსიმუმი	CWD	Let $RR_{ij}$ be the daily precipitation amount on day $i$ in period $j$ . Count the largest number of consecutive days where: $RR_{ij} \geq 1\text{mm}$

$$R95p_j = \sum_{w=1}^W RR_{wj} \text{ where } RR_{wj} > RR_{wn95}$$

$$SDII_j = \frac{\sum_{w=1}^W RR_{wj}}{W}$$

# წლიური ჯამური ნალექების ცვლილებების პროგნოზი

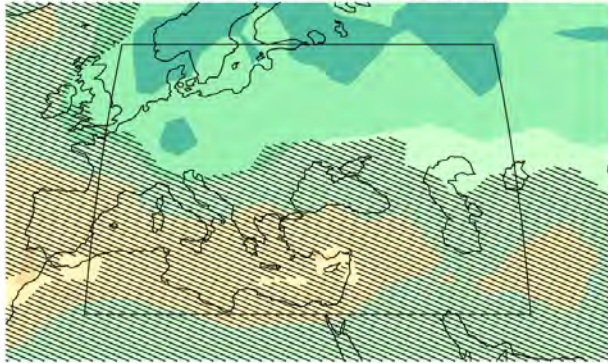


RCP2.6

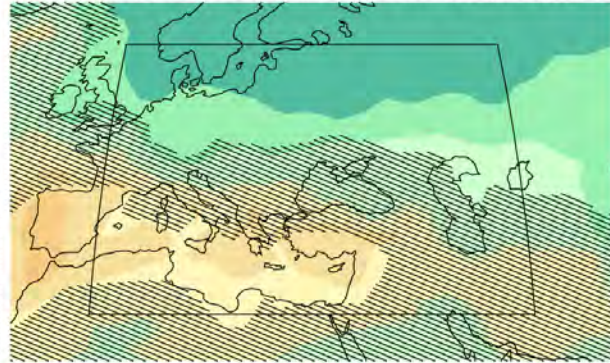
RCP4.5

RCP8.5

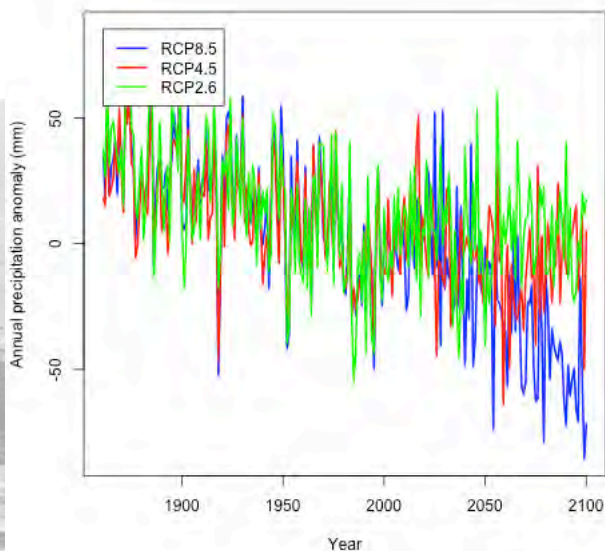
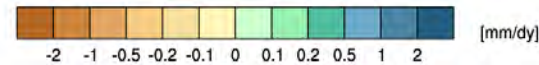
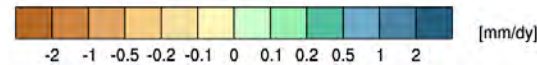
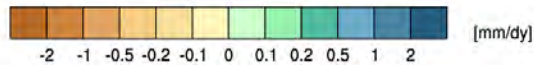
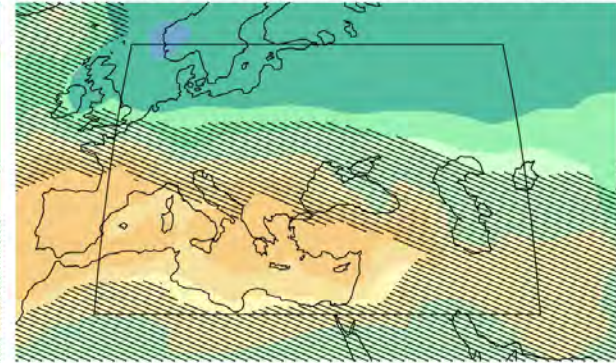
mean rcp26 PRCPTOT 2070-2090 minus 1960-1990 full CMIP5 ensemble



mean rcp45 PRCPTOT 2070-2090 minus 1960-1990 full CMIP5 ensemble



mean rcp85 PRCPTOT 2070-2090 minus 1960-1990 full CMIP5 ensemble



- საქართველოში წლიური ნალექების შემცირების პროგნოზი საკმაოდ მცირეა
- ეს ცვლილებები მნიშვნელოვანია მხოლოდ RCP8.5 სცენარისთვის

# ნალექების ინტენსიურობის ცვლილებების პროგნოზი

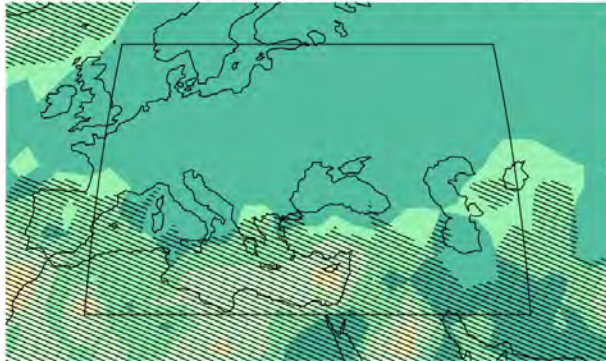


RCP2.6

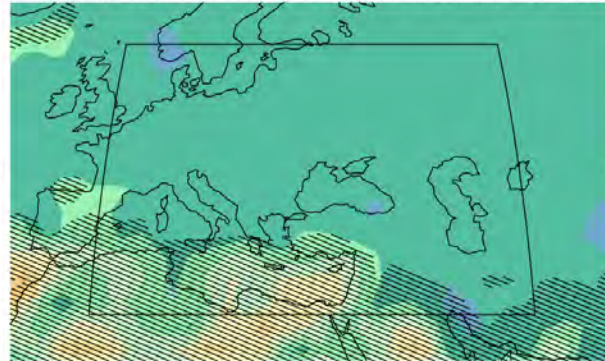
RCP4.5

RCP8.5

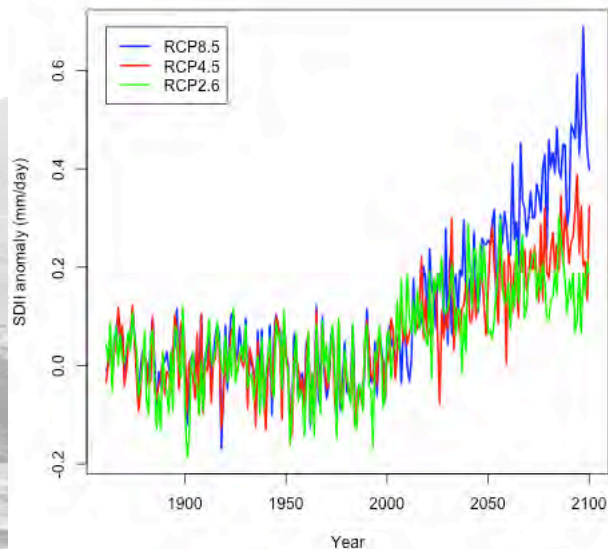
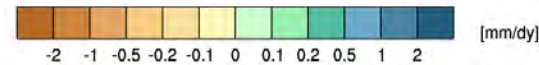
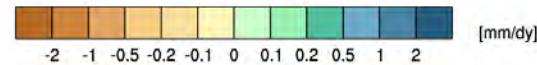
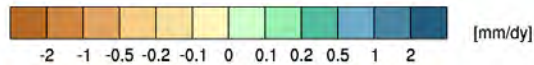
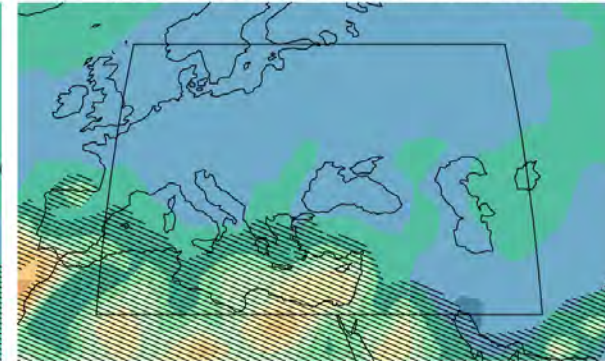
mean rcp26 SDII 2070-2090 minus 1960-1990 full CMIP5 ensemble



mean rcp45 SDII 2070-2090 minus 1960-1990 full CMIP5 ensemble



mean rcp85 SDII 2070-2090 minus 1960-1990 full CMIP5 ensemble



- ნალექების ინტენსიურობის მნიშვნელოვანი ზრდაა პროგნოზირებული საქართველოში
- ეს ზრდა მნიშვნელოვანი სამივე სცენარისთვის

# წლიური მაქსიმალური ნალექების ცვლილებების პროგნოზი

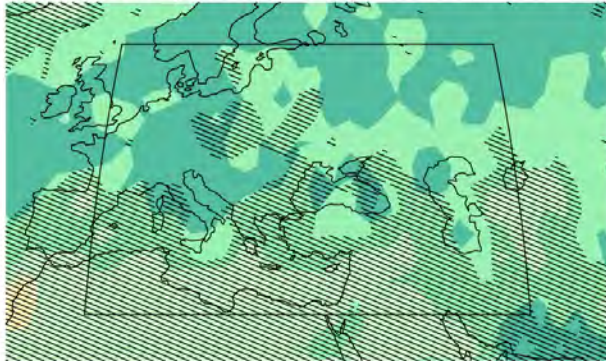


RCP2.6

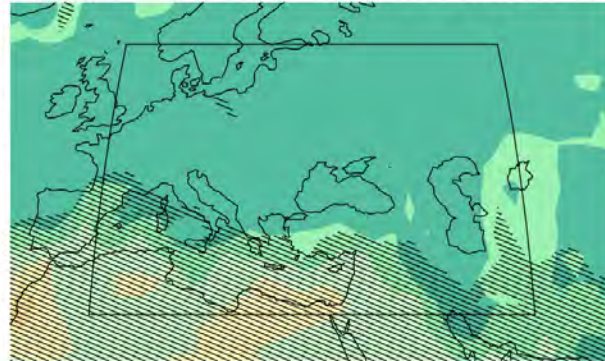
RCP4.5

RCP8.5

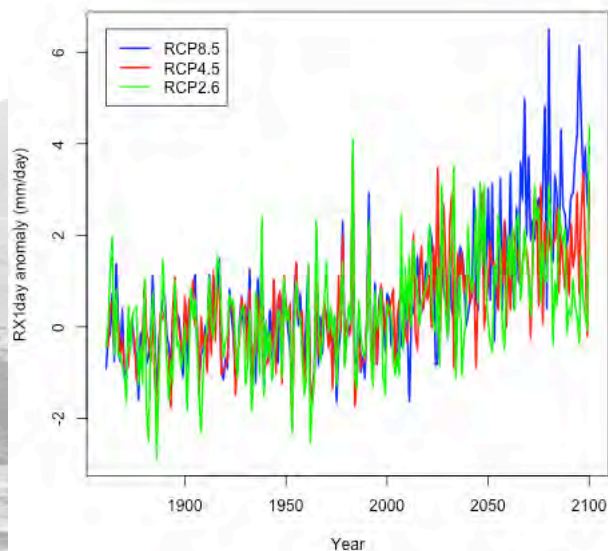
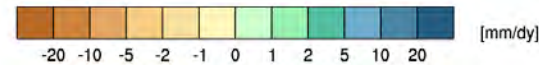
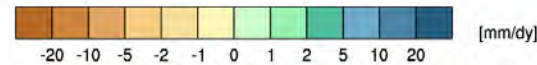
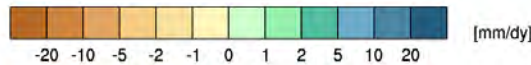
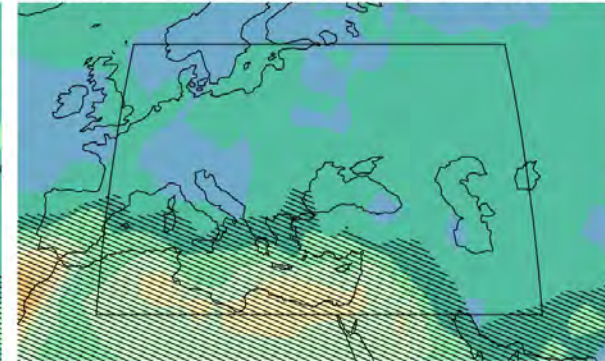
mean rcp26 Rx1day 2070-2090 minus 1960-1990 full CMIP5 ensemble



mean rcp45 Rx1day 2070-2090 minus 1960-1990 full CMIP5 ensemble

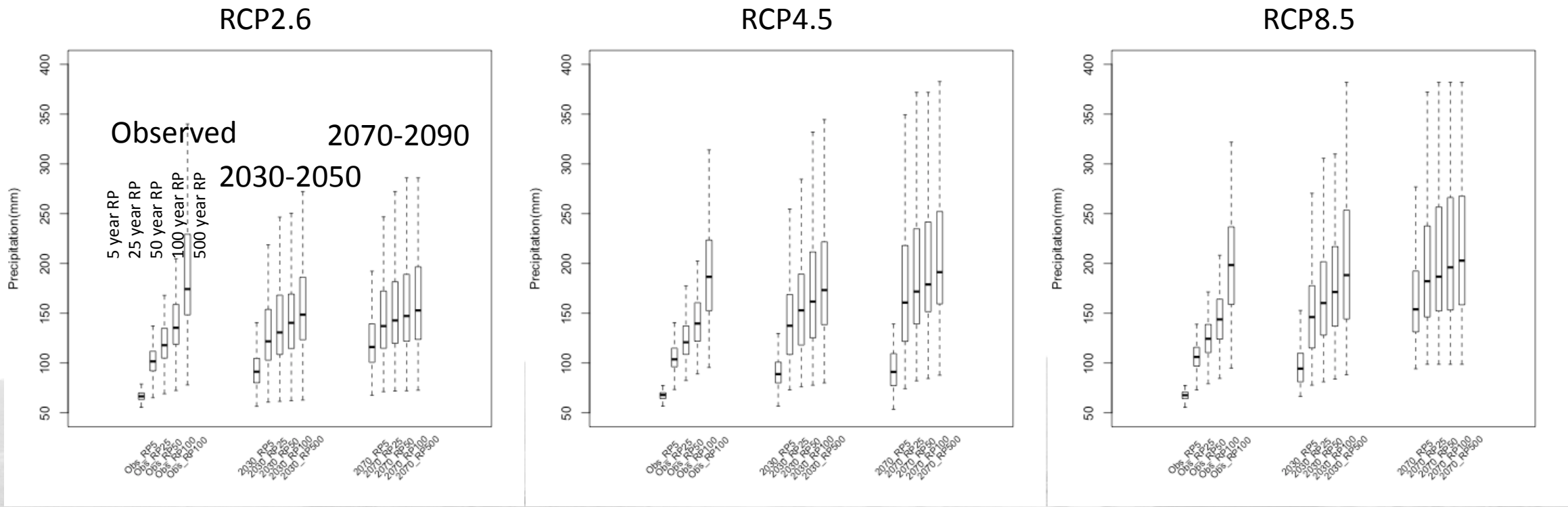


mean rcp85 Rx1day 2070-2090 minus 1960-1990 full CMIP5 ensemble



- წლიური მაქსიმალური ნალექების მნიშვნელოვანი ზრდაა პროგნოზირებული საქართველოში
- ეს ზრდა მნიშვნელოვანი სამივე სცენარისთვის

# ნალექიანი დღეების ინტენსიურობის განმეორებადობის ცვილებების პროგნოზი



პროგნოზირებულია რომ მნიშვნელოვნად გაიზრდება მოცემული განმეორებადობის ნალექები 2030 წლისთვის ყველა სცენარის შემთხვევაში, მაგრამ ადგილი აქვს დიდ უზუსტობას მოკლე დროითი მწკრივის ანალიზის შედეგად

# დასკვნა



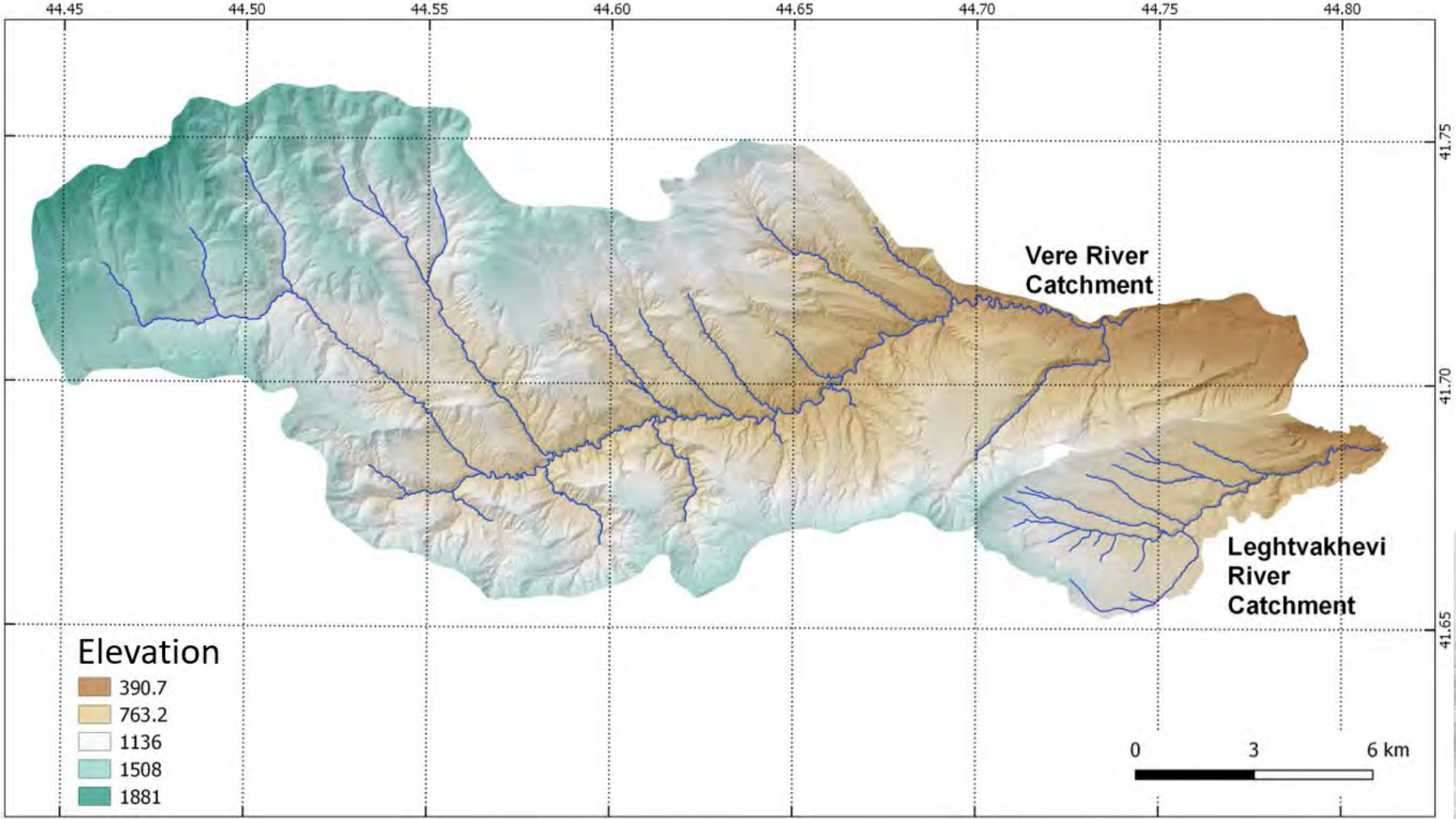
- საქართველოში, XXI საუკუნეში მოსალოდნელია წლიური ნალექების რაოდენობის კლება სამივე RCP სცენარისთვის, თუმცა პროგნოზირებულია დღიური ნალექების რაოდენობის ზრდა. ეს შედეგები თანმიმდევრულია წინა გამოცემულ ნამუშევართან
- ამ ცვლილებების ზეგავლენაა ნალექების ზრდა მოცემული განმეორებადობისთვის - სხვა სიტყვებით, ჭარბნალექიანი მოვლენების განმეორებადობის შემცირება.
- ნალექების ზღვარის უზუსტობა დიდია და განპირობებულია იშვიათი მოვლენების სიმძლავრის არასაკმარისი მონაცემების დროითი მწკრივის შეფაების სირთულით - თუნდაც გამოყენებული იყოს ფართო მულტი-მოდელო



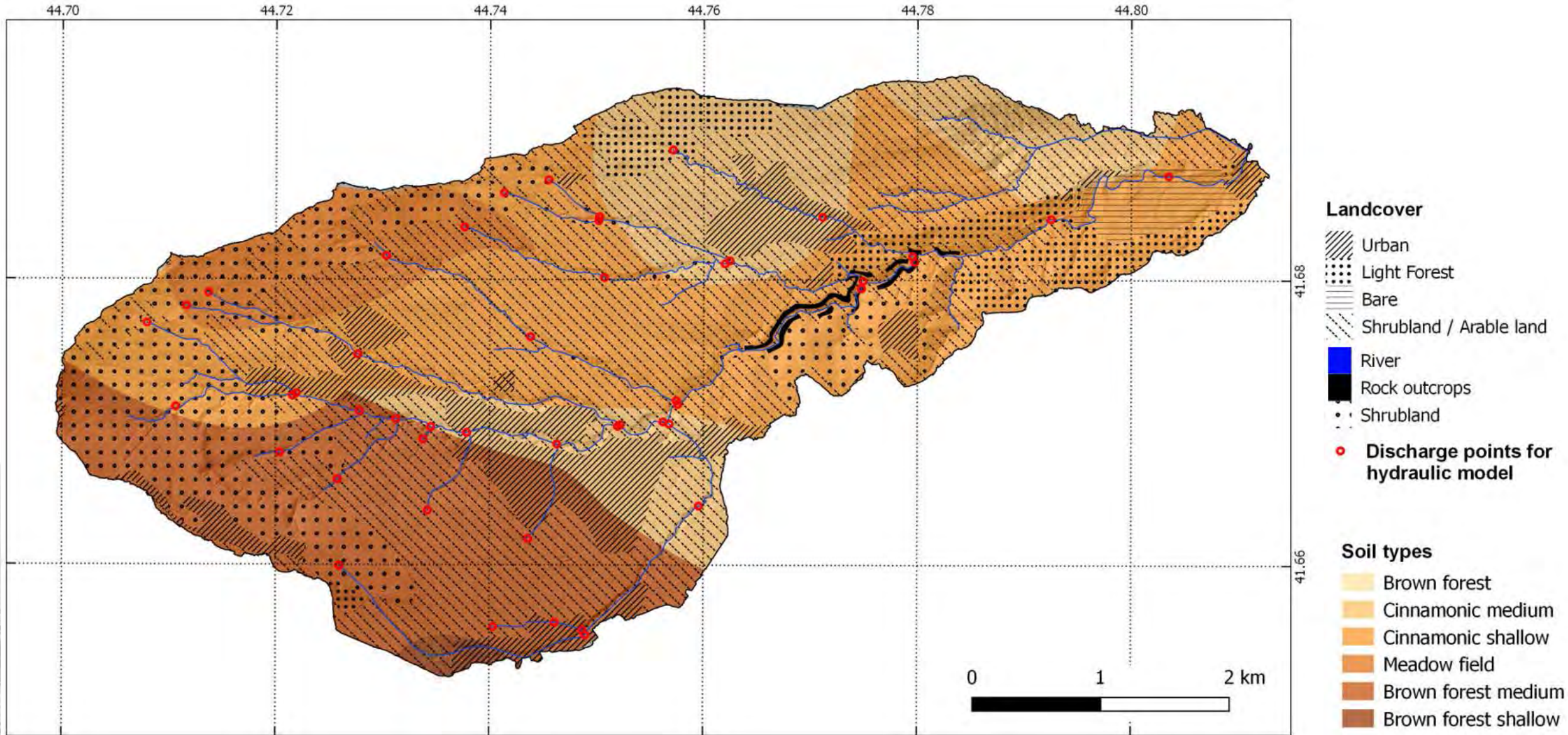
# ჰიდროლოგიური მოდელირება



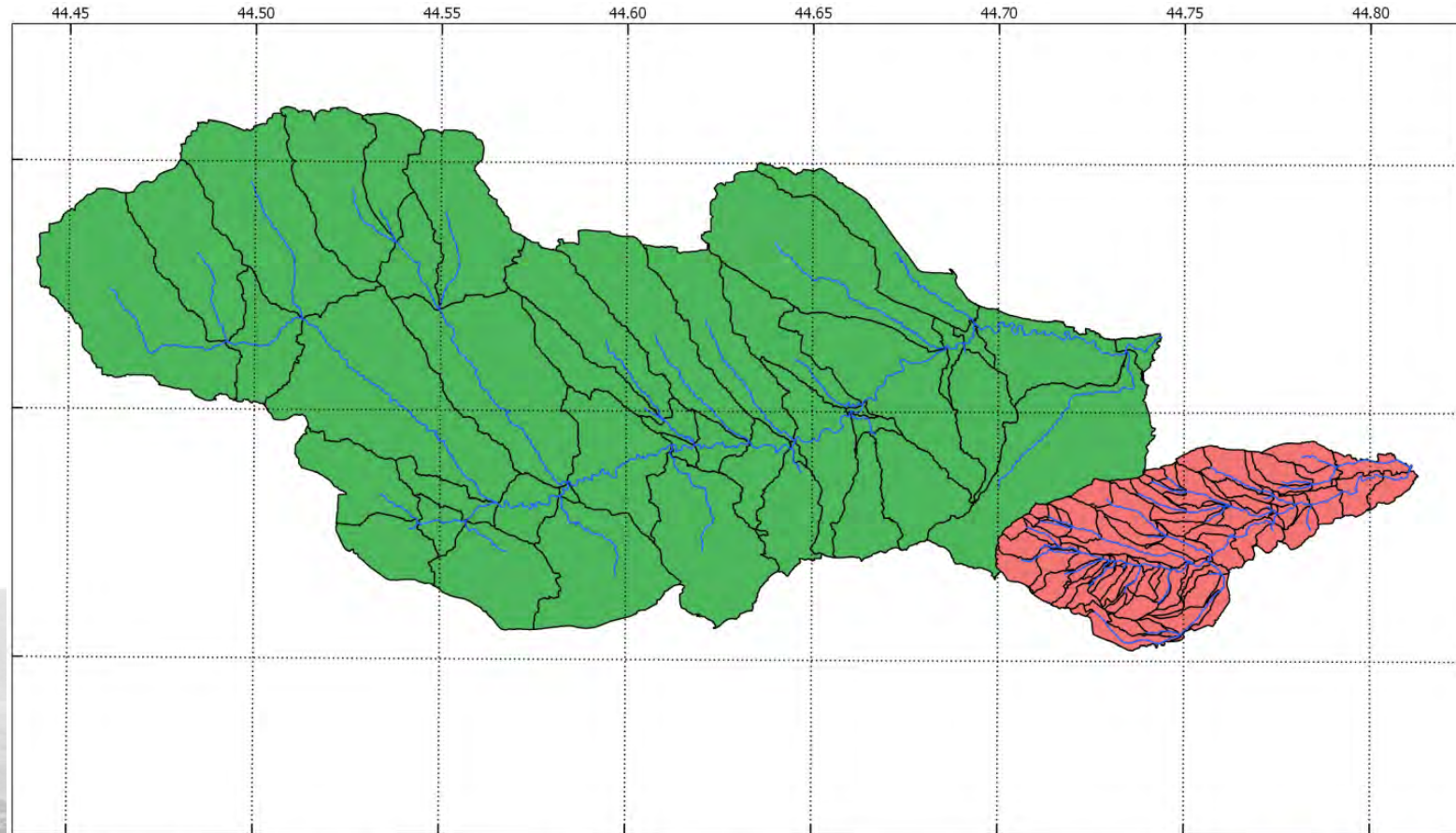
# ვერესა და წავკისისწყლის წყალშემკრები



# სივრცული მონაცემების მომზადება



# ვერესა და ლავკისისწყლის HEC-HMS მოდელი



Leghtvakhevi and Vere - Catchment delineation

- Stream network
- Vere Subbasins
- Leghtvakhevi Subbasins

0 3 6 km

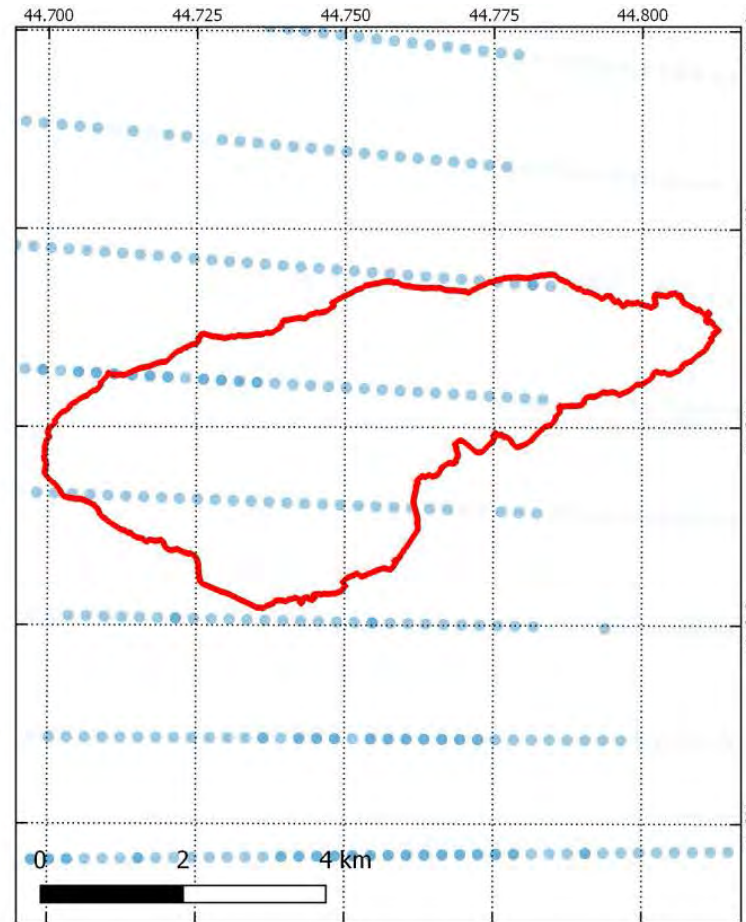
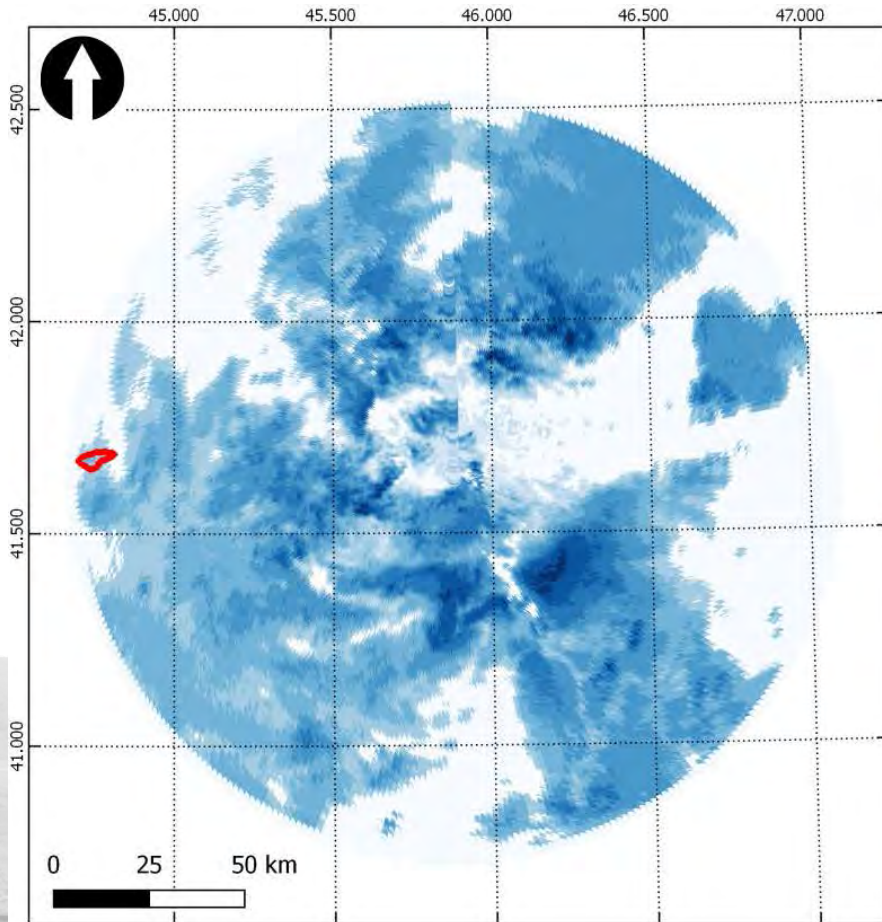


Coordinate System:  
WGS 1984 UTM Zone 38N  
Projection: Transverse Mercator  
Grid: WGS84, Decimal Degrees



www.hydroc.de

# დროით მონაცემების მომზადება

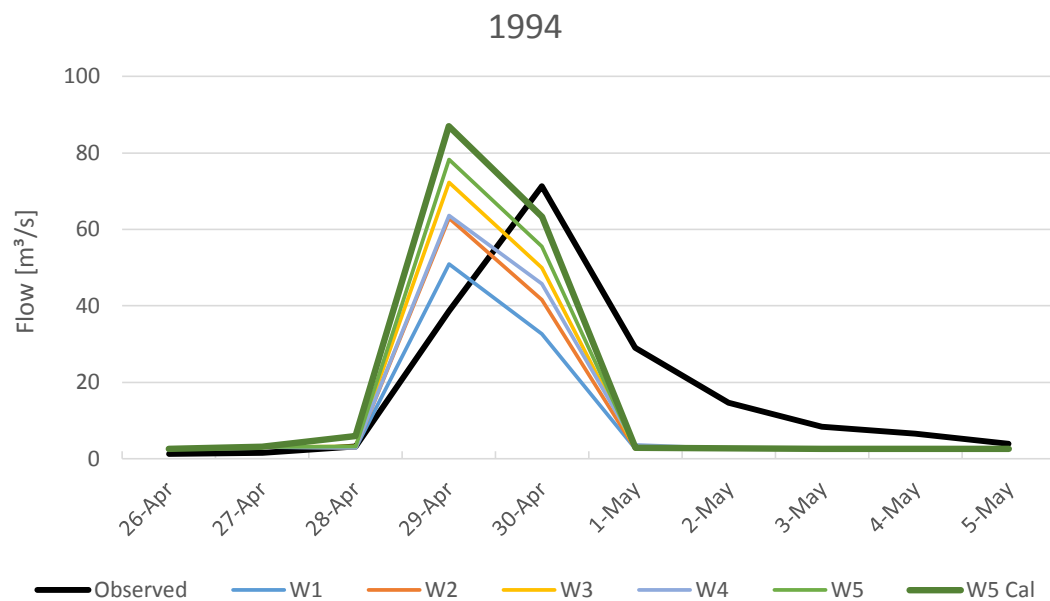


- Rainbow© მონაცემთა ფორმატი იკითხება „WRADLIB Python library“-ის გამოყენებით
- შეიქმნა 2016 წლის ნალექიანი მოვლენები
- დახრილობის შერჩევა, ნალექების არეკვლადობა, რადარის ატენიანობა, უწყესრიგობის წაშლა...
- გეორეფერენსირება და ნალექების საშუალო ინტენსივობა წყალშემკრებში 3 წუთიანი დროის ინტერვალით

# ვერეს HEC-HMS კალიბრაცია

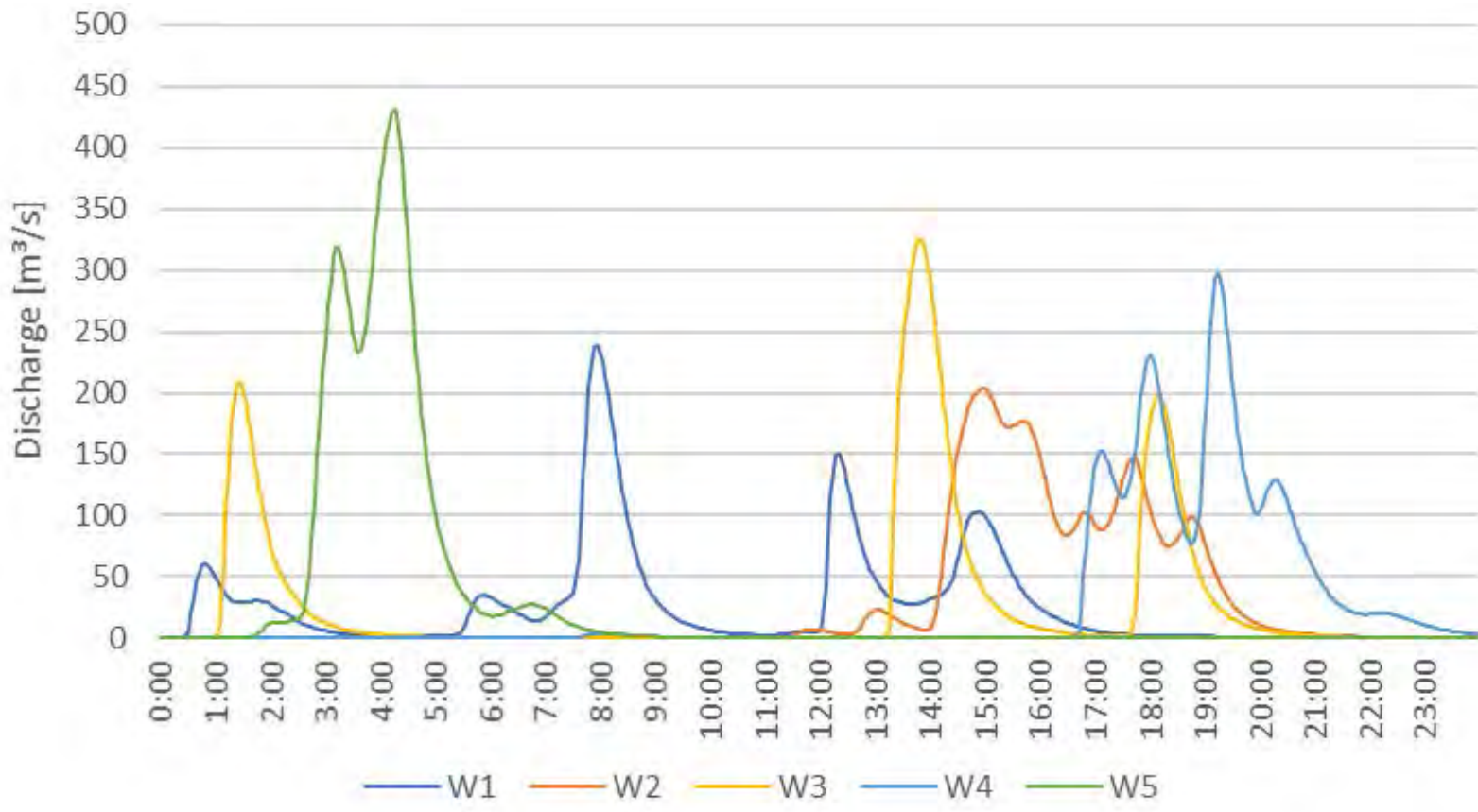


მოვლენა	დაკვირვება	W1 def.	W2 def.	W3 def.	W4 def.	W5 def.	W5 კალიბრ.
	მოცულობა [მლნ მ <sup>3</sup> ]						
აგვისტო-63	14.73	16.07	18.96	20.75	19.07	22.37	24.43
მაისი-76	12.29	11.94	14.19	15.93	14.70	16.64	19.43
აპრილი-94	<b>15.43</b>	9.11	10.91	12.47	11.42	13.48	<b>15.16</b>



- ➔ ნიადაგის ინფილტრაციის შესაძლებლობების შემცირება (ksat) 50%-ით, როგორც ვერე ისე წავკისისწყლის წყალშემკრებში
- ყველაზე კონსერვატიული ვარიანტების შერჩევა: 1994 წლის მოვლენა W5 ვარიანტი

# წავკისისწყლის სენსიტიურობის ანალიზი: სხვადასხვა რადარის დეტალურად ჩაშლის ვარიანტები

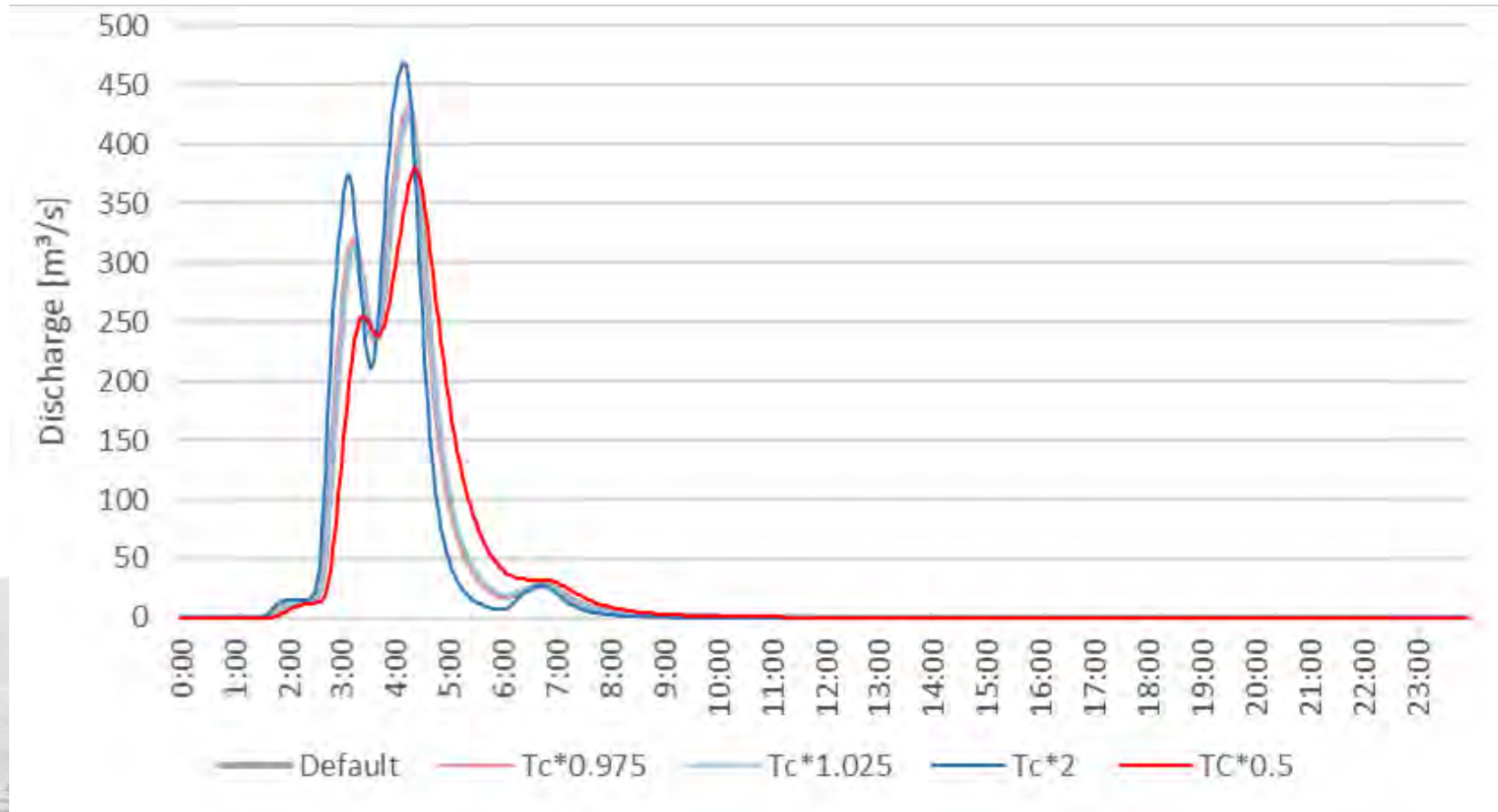


W4	W5
298	431

- ხარჯი (100 წლის განმეორებადობა) ყველაზე სენსიტიურია სხვადასხვა განაწილებაზე

➔ გამოიყენეთ ყველაზე კონსერვატიული ვარიანტი (W5)

# წავკისისწყლის სენსიტიურობის ანალიზი: ტრანსფორმაციის პარამეტრები



- Clark-ის ტრანსფორმაციის მეთოდი იყენებს კონცენტრაციის დროს
- არ არის ძალიან სენსიტიური, გონივრული მერყეობის ფარგლებში

	Tc*0.975	Tc*1.025	Tc*2	TC*0.5
პიკური ნაკადის ცვლილება [%]	0.4%	-0.5%	8.9%	-11.9%

# წავკისისწყლის სენსიტიურობის ანალიზი: მარშრუტიზაციის პარამეტრები



	სიგანე, დრო 0.5	სიგანე, დრო 2	გვერდითი ფერდობი = 1	გვერდითი ფერდობი = 4	მანიპულ ირება n = 0.03	მანიპულ ირება n = 0.05
პიკური ნაკადის ცვლილება [%]	-0.1%	0.0%	+ 0.3%	-1.0%	+ 0.7%	-0.4%

- არ არის სენსიტიური პიკური ნაკადის სიმძლავრის მიმართ



# ჰარბნალექიანი მოვლენები, საბაზისო და კლიმატის ცვლილების სცენარები

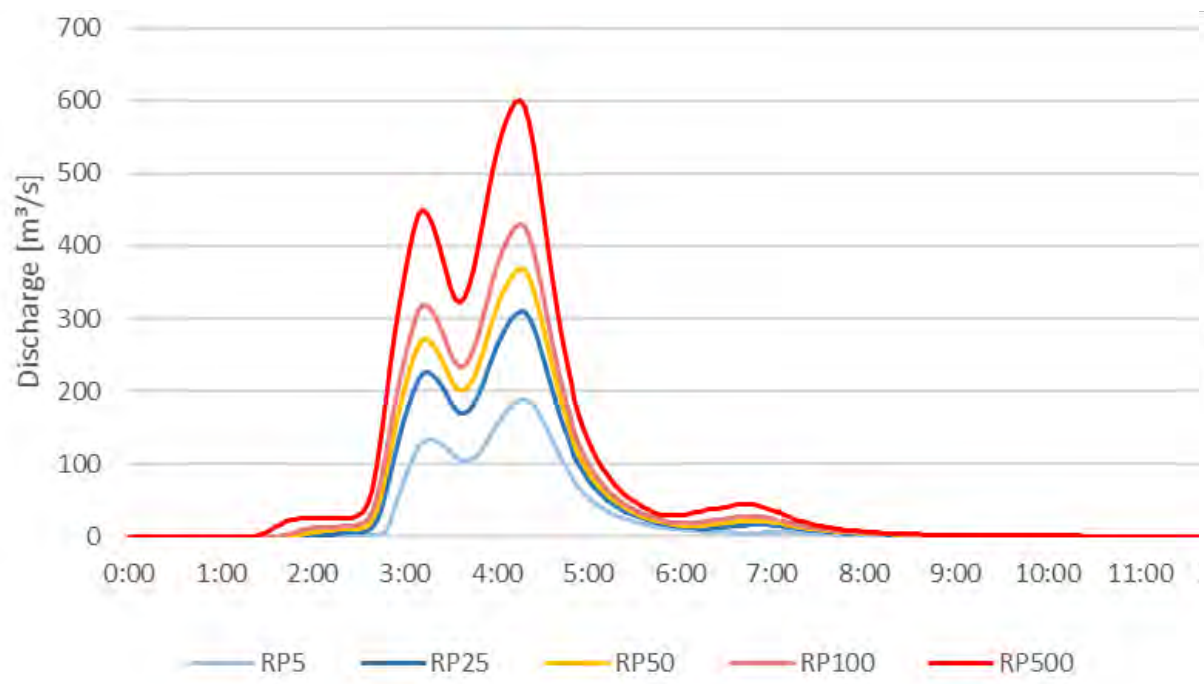


განმეორებადობა	ნალექები [მმ/დ]	
	საბაზისო	სცენარი RCP8.5 - 2070
RP5	66.95	167.86
RP25	105.96	199.91
RP50	124.89	204.98
RP100	145.02	208.95
RP500	199.91	212.94

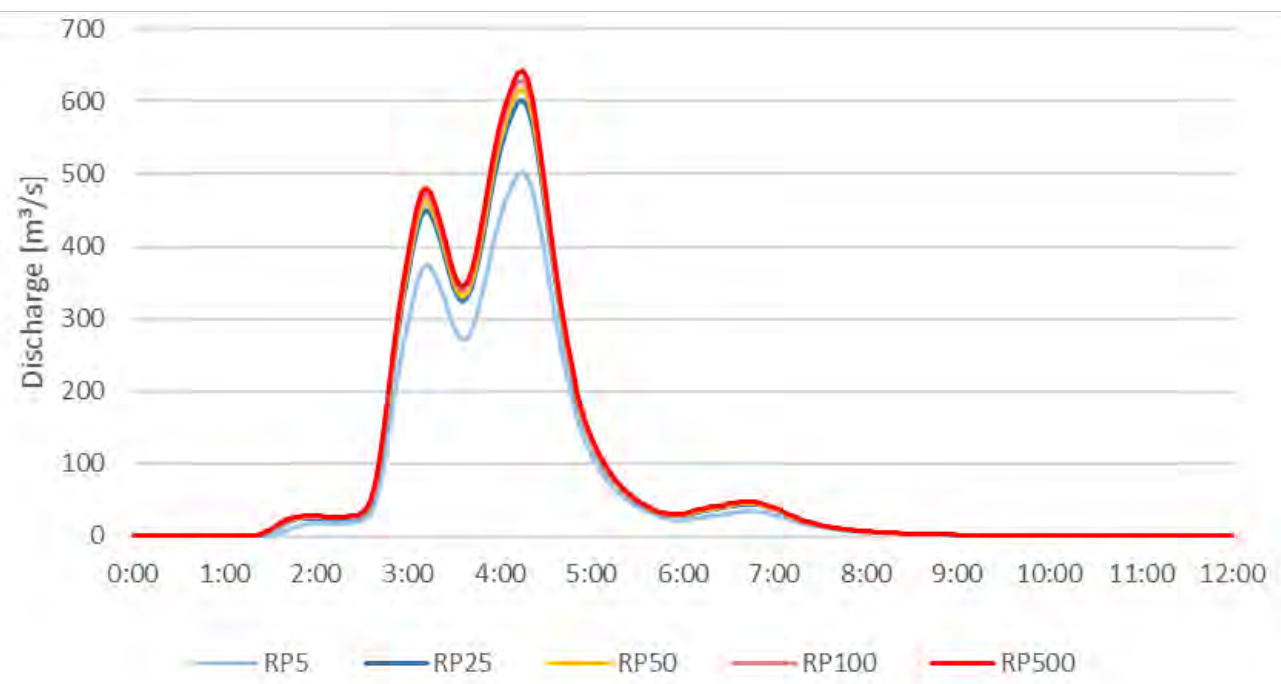
- გრძელვადიანი დღიური ნალექების მონაცემების ექსტრაპოლაცია, ალბათობის განაწილების გამოყენებით
- კლიმატის ცვლილების ზეგავლენა ყველა არსებული კლიმატის მოდელიდან
- მოკლე განმეორებადობისთვის პროგნოზირებული მკვეთრი მატება

# გამოთვლილი ხარჯები მოვლენებისთვის

საბაზისო



კლიმატის ცვლილება

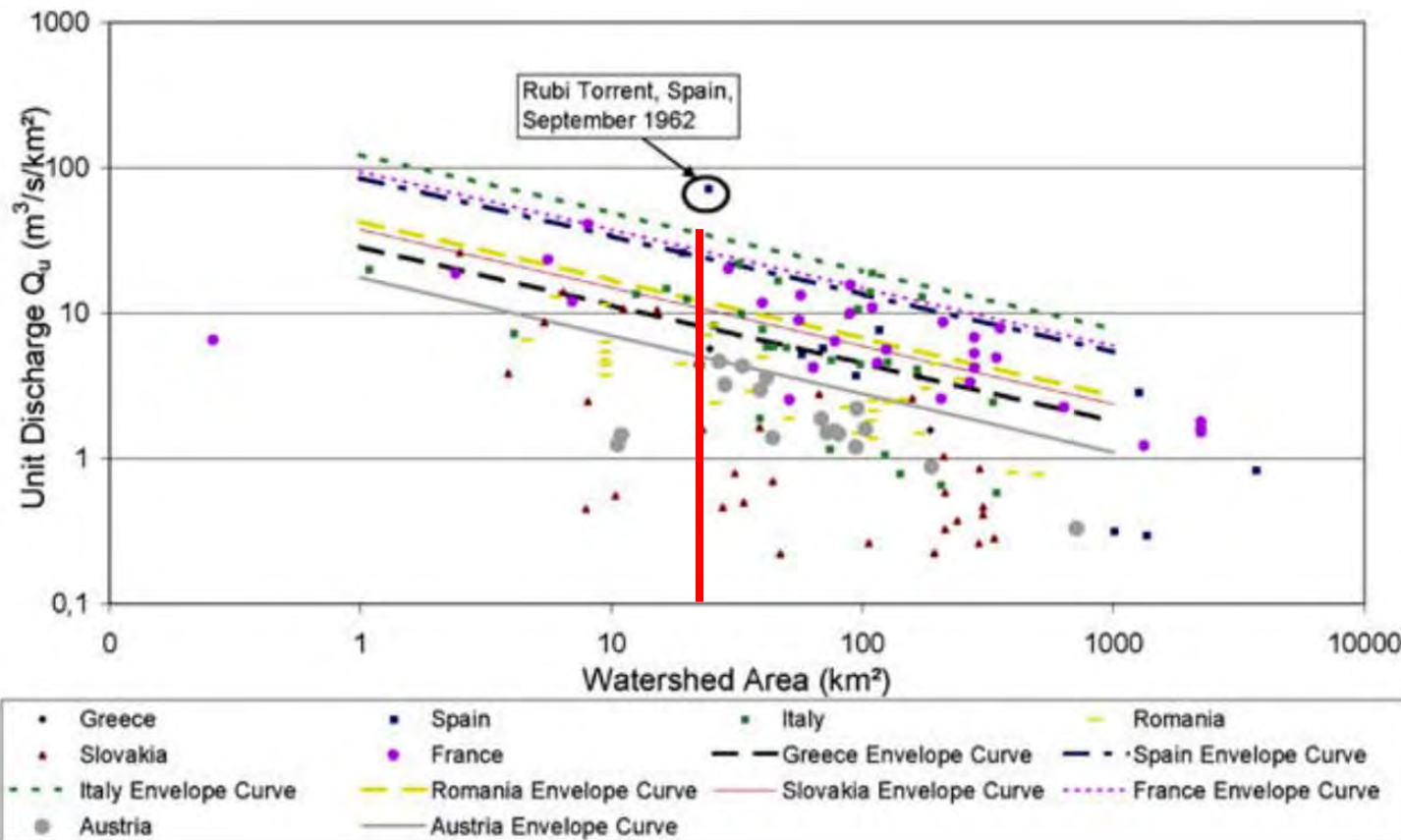


პიკური ნაკადი [მ³/წ]	RP5	RP25	RP50	RP100	RP500
საბაზისო	189	310	369	431	601
RCP8.5 2070	502	601	617	629	642

# შედარებადია თუ არა არსებულ წყალმოვარდნის მონაცემებთან?



პიკური ნაკადი [მ <sup>3</sup> /წ]	RP5	RP25	RP50	RP100	RP500
საბაზისო	189	310	369	431	601
RCP8.5 2070	502	601	617	629	642



სიმულაცია რეალისტური აღმოჩნდა როდესაც შედარდა წყალდიდობების მიმართ მოწყვლად ევროპის რეგიონების დაკვირვების მონაცემებთან

Gaume et al. (2009)  
Journal of Hydrology

<http://www.hydrate.tesaf.unipd.it/WareHouse/EuropeanDataCenter/>

# შეჯამება



- მოდელირების მცდელობა შეფერხდა დროითი მონაცემებზე ხელმისაწვდომობის საკითხის გამო
- მნიშვნელოანი სამუშაოები ჩატარდა ნალექების ნახევრადლიანი დროითი მწკრივის მონაცემების მისაღებად
- შეიქმნა მეორე HEC-HMS მოდელი ვერესთვის, რომ მომხდარიყო საბაზისო კალიბრაცია
- განხორციელდა მოდელის პარამეტრების ფრთხილი შეფასება და სენსიტიურობის შემოწმება
- წავკისისწყლის აუზის ხარჯების პირველადი შეფასება ფართდ გავრცელებადია
- მოსალოდნელია ხარჯების მომატება კლიმატის ცვლილების შედეგად, უფრე მეტად კი მოკლე განმეორებადობისთვის

# შეზღუდვები და მათი გავლენა გადაწყვეტილების მიღებისათვის



- მოდელის შედგენა ყოველთვის სივრცული და დროებითი გამარტივების პროცესია, რომელიც წარმოშობს გაურკვევლობას შედეგების შესახებ - ამის შემცირება შესაძლებელია თუ შესაბამისი პარამეტრები არსებობს
- მაღალი უზუსტობა სიმულაციის დროს წარმოიშვება
  1. ნახევარ-დღიური ნალექების განაწილების უცნობი განაწილებით
  2. უცნობი ტიპიური ძველი ტენიანობის პირობები
  3. სამომავლო კლიმატის ცვლილების პროგნოზი
- კონსერვატიული შერჩევა გაკეთდა, რომელიც აჩვენებს, რომ შედეგები 'true' ხარჯების შეფასებაზე უფრო გადაჭარბებულია, ვიდრე პირიქით
- შედეგები რეალურია, როცა შედარებულია სხვა წყალმომარაგების მონაცემებთან

# რეკომენდაციები



- გრძელვადიანი დაკვირვება ნახევარ-დღიურ ნალექებზე:
  1. ექსტრემალური მოვლენების სავარაუდო ნახევარ-დღიური განაწილება, რადარის მონაცემების კალიბრაცია
  2. ინფორმაციის მიღება ამ მოვლენების ტიპური წარსული ტენიანობის შესახებ
- . ნახევარ-დღიური ხარჯის დროის მწკრივების გრძელვადიანი დაკვირვება
- წყლის დონისა და ზიანის აღრიცხვა ხეობის ინფრასტრუქტურისთვის
- მოდელის განახლება საიმედო მონაცემების ხელმისაწვდომობის შემთხვევაში
- ადრეული გაფრთხილების სისტემის ჩამოსაყალიბებლად ყველაზე მნიშვნელოვანია სანდო ამინდის პროგნოზი და რადარის მონაცემთა დამუშავება რეალურ დროში



# ჰიდრაველიკური მოდელირება



# ჰიდრაულიკური მოდელირება



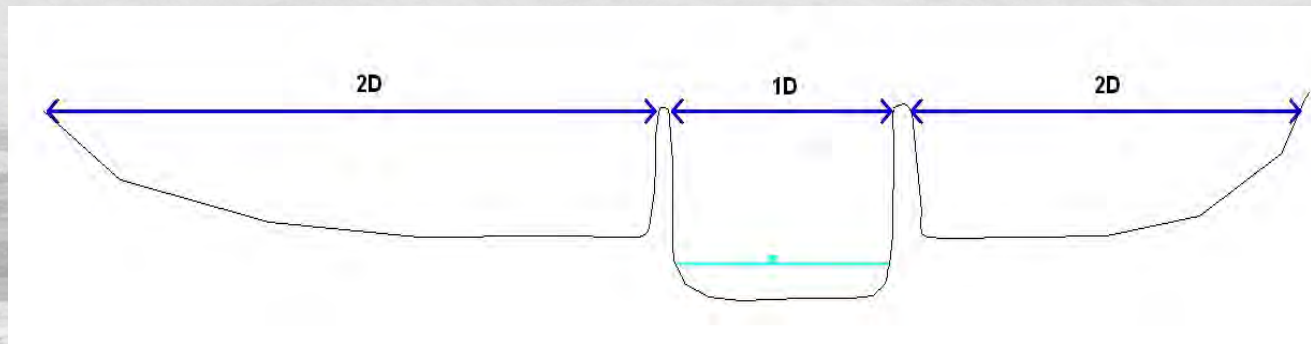
- ჰიდრაულიკური მოდელი, რომელიც საჭიროა წყალდიდობის რუკაზე ასახვისა და მიტიგაციისთვის
- HEC-RAS 5.0.5 შერჩეულია როგორც რიცხვითი მოდელი
- საწყისი ჰიდრაულიკური მოდელირების მეთოდოლოგია → 1D-2D



# ჰიდრაულიკური მოდელირება – სრული ჰიდრაულიკური მოდელირების მიდგომა



- 1D-2D მოდელირების მიდგომა
- მდინარის არხის მოდელირება მოხდება 1D-ში
- ჭალები და ურბანული ტერიტორია 2D-ში
- მიდგომა შეირჩა ადეკვატურობისა და გამოთვლითი რესურსების შედეგად



# ჰიდრაულიკური მოდელირება - რიცხვითი მოდელის ტექნიკური აღწერა



- HEC-RAS 5.0.5
- ღია პროგრამული უზრუნველყოფა
- შედარებადია სხვა კომერციული ჰიდრაულიკური მოდელირების პროგრამულ უზრუნველყოფასთან, დამტკიცებულია FEMA-სა და ინგლისისა და უელსის გარემოს სააგენტოს მიერ, რომელიც იკვლევს წყალდიდობებს
- 1D, 2D და 1D-2D დამტკიცებულია

# ჰიდრაულიკური მოდელირება - რიცხვითი მოდელის ტექნიკური აღწერა



- HEC-RAS-ია 1D მოდელის კომპიუტერული სქემა ეფუძნება:
  - მასობრივი (გაგრძელება) კონსერვაციის პრინციპს და
  - იმპულსის კონსერვაციის პრინციპს.
- ეს წესები გამოხატულია მათემატიკურად ნაწილობრივი დიფერენციალური განტოლებების ფორმით.



# ჰიდრაულიკური მოდელირება - რიცხვითი მოდელის ტექნიკური აღწერა



- 2D რიცხვითი განტოლებები დაფუძნებულია ზედაპირული წყლის განტოლებებზე
- Navier-Stokes-ის განტოლებასთან მიახლოება ვარაუდობს, რომ ნაკადის არის:
  - შეუთავსებელი
  - ერთგვაროვანი სიმჭიდროვით
  - ჰიდროსტატიკური წნევით



# ჰიდრაულიკური მოდელირება - რიცხვითი მოდელის ტექნიკური აღწერა



- შეიძლება 1D და 2D მოდელების დაკავშირება:
  - პირდაპირი ბმული
  - გვერდითი ბმული



# ჰიდრაულიკური მოდელირება – განხორციელების ნაბიჯები



ნებისმიერ ჰიდრაულიკურ მოდელირების განხორციელების, HEC-RAS-თან ერთად, ზოგადი ნაბიჯებია:

- პროექტის შექმნა
- პროექტის განმარტება
- გეომეტრიული ინფორმაცია
- საზღვრის მდგომარეობის ინფორმაცია
- სიმულაციების პარამეტრები
- შედეგების ანალიზი.

# ჰიდრაულიკური მოდელირება – მონაცემები



ჰიდრაულიკური მოდელირების განხორციელების მონაცემთა მოთხოვნაა:

- გეომეტრიული მონაცემები
  - პროფილის მონაცემები
  - მდინარის ცენტრალური ხაზი
  - სტრუქტურები
  - DEM
  - მიწის საფარის ინფორმაცია
- საზღვრის მდგომარეობა
  - ჰიდროლოგიური მონაცემების შეყვანა
  - ისტორიული ინფორმაცია

# ჰიდრაულიკური მოდელირება – მონაცემები



- ჩატარდა მდინარის სრული პროფილის კვლევა (119)

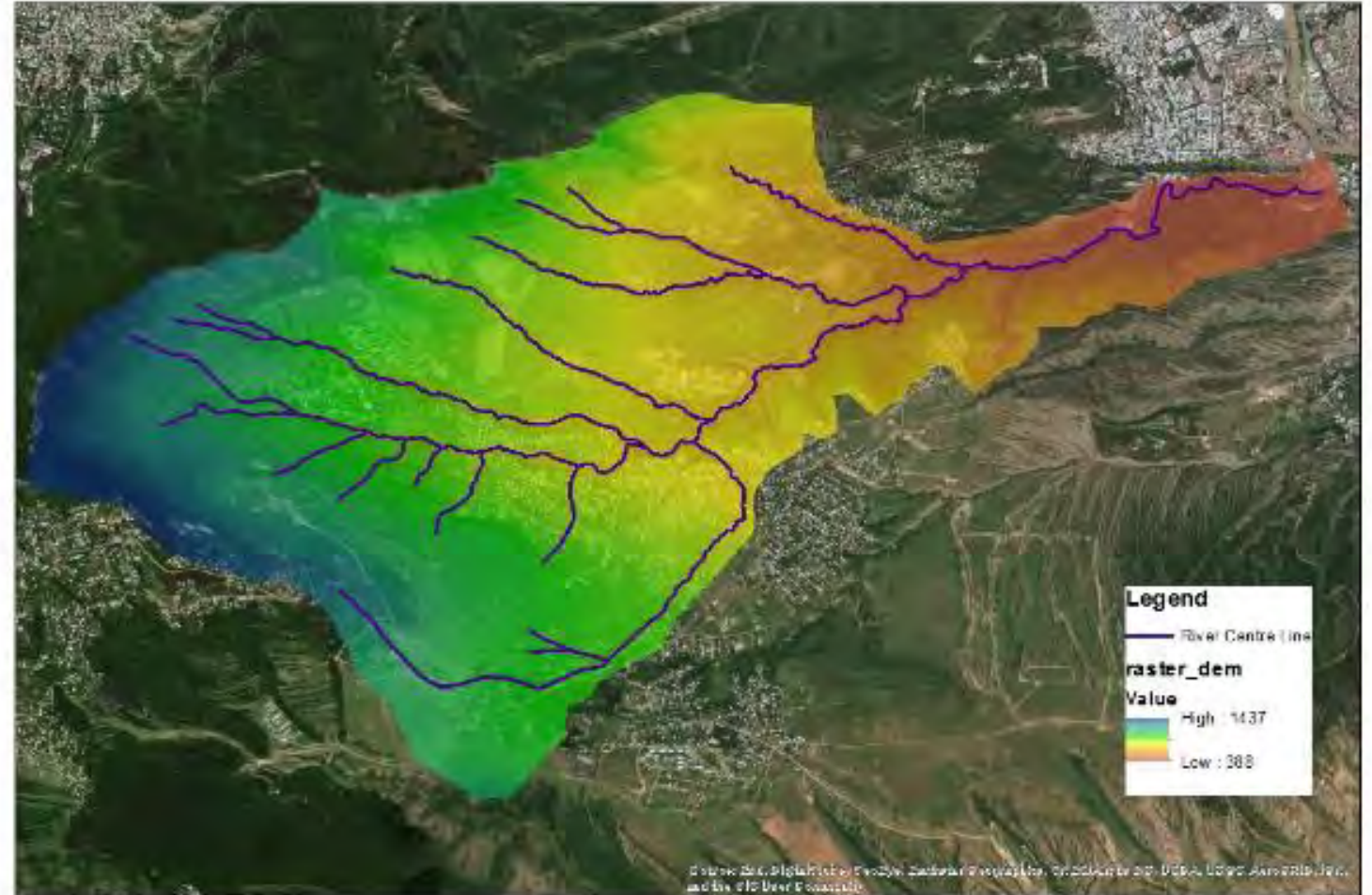




# ჰიდროლოგიური მოდელირება – მონაცემები



- DEM. 1m LiDAR



# ჰიდრაულიკური მოდელირება – მონაცემები



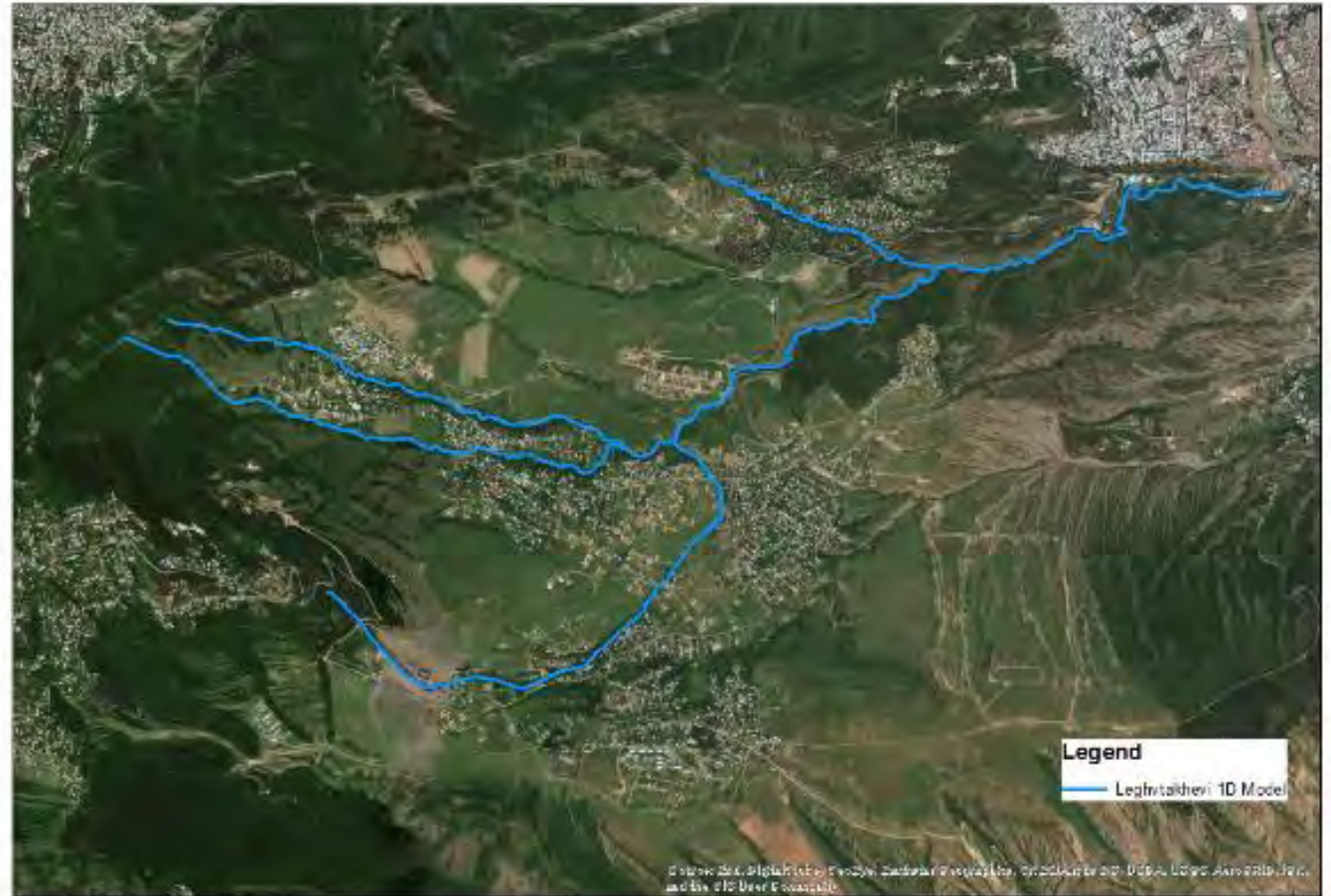
- რამოდენიმე საველე ვიზიტი განხორციელდა წყალშემკრებზე
- კალიბრაციისთვის მნიშვნელოვანი ისტორიული ინფორმაცია არ არის ხელმისაწვდომი



# ჰიდრაულიკური მოდელირება - მოდელის განხორციელება



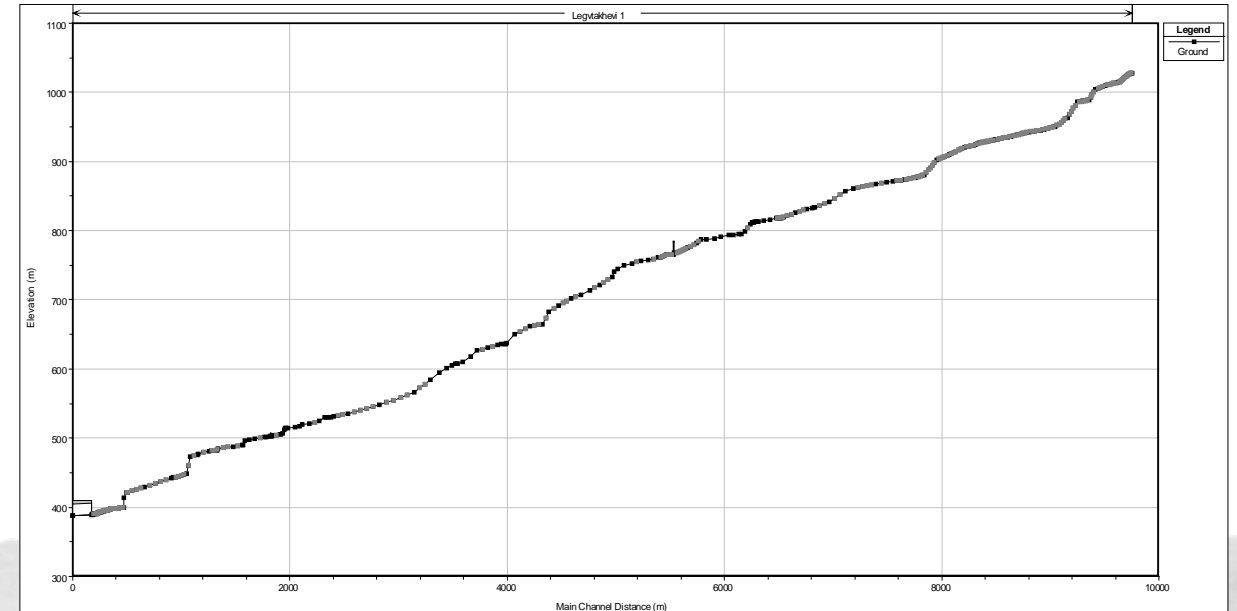
- 1D-2D განხორციელება საჭიროებს 2 სხვადასხვა მოდელის დამოუკიდებელ მუშაობას
- 1D განხორციელდა გამოკვლევული წყლის წყაროებისთვის



# ჰიდრაულიკური მოდელირება – 1D მოდელის განხორციელება



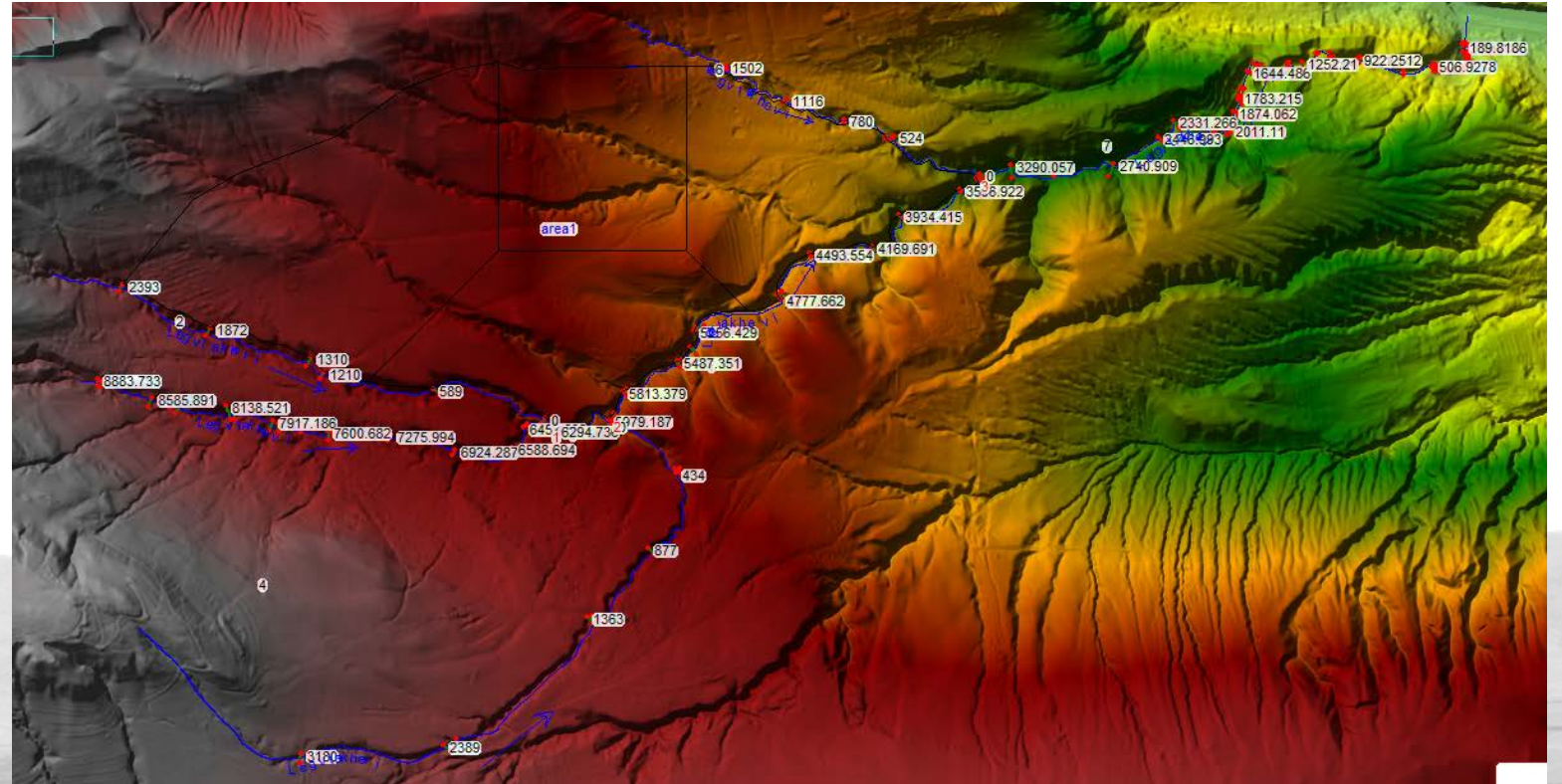
- მოდელის დომენი შეიცავს ყველა წყლის წყაროს გეომეტრია მოიცავს ყველა კვლევის ინფორმაციას



# ჰიდრაულიკური მოდელირება – 1D მოდელის განხორციელება



- დამატებითი პროფილები შედის მოდელში სტაბილურობისთვის
- მოიცავს ყველა სტრუქტურას



# ჰიდრაულიკური მოდელირება – 1D მოდელის განხორციელება



- ინფორმაცია უსწორ-  
მასწორების შესახებ  
მოპოვებულ იქნა GlobCover-  
ის მონაცემთა ბაზიდან
- ინფორმაცია 300მ  
გლობალური მიწის საფარის  
შესახებ
- პირდაპირ  
იმპორტირებულია HEC-RAS-  
დან

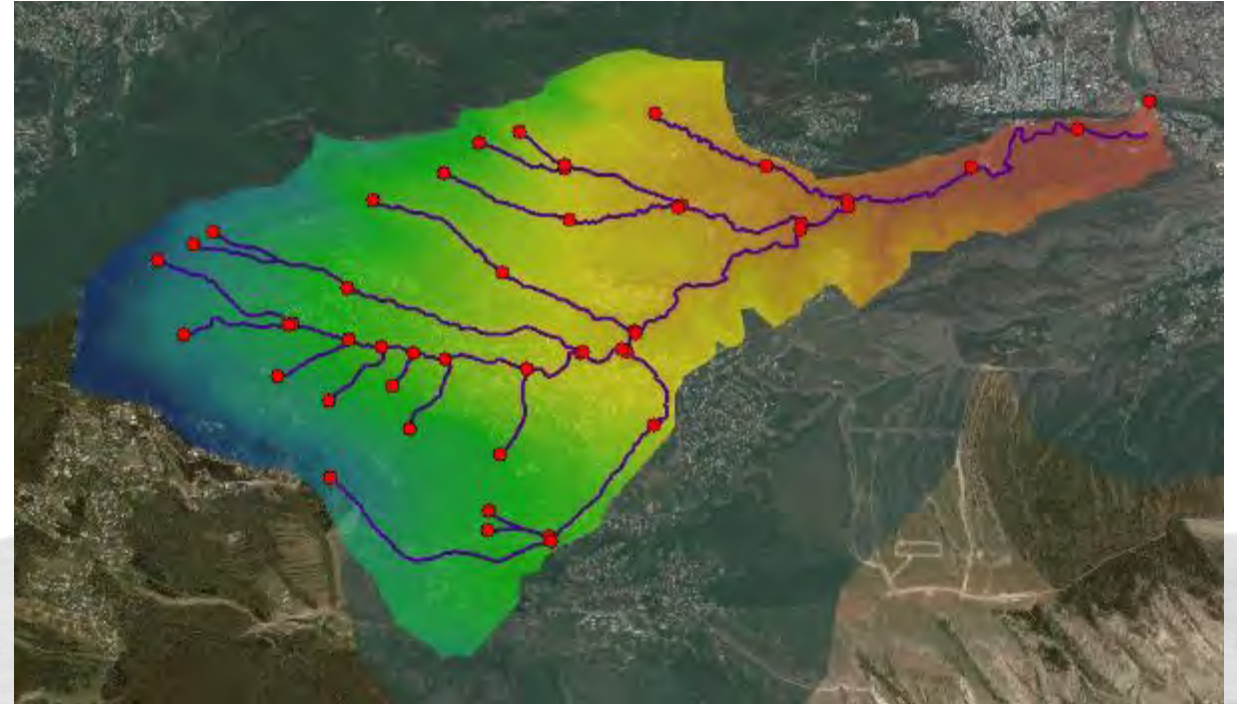


# ჰიდრაულიკური მოდელირება – 1D მოდელის განხორციელება



საზღვრის მდგომარეობა

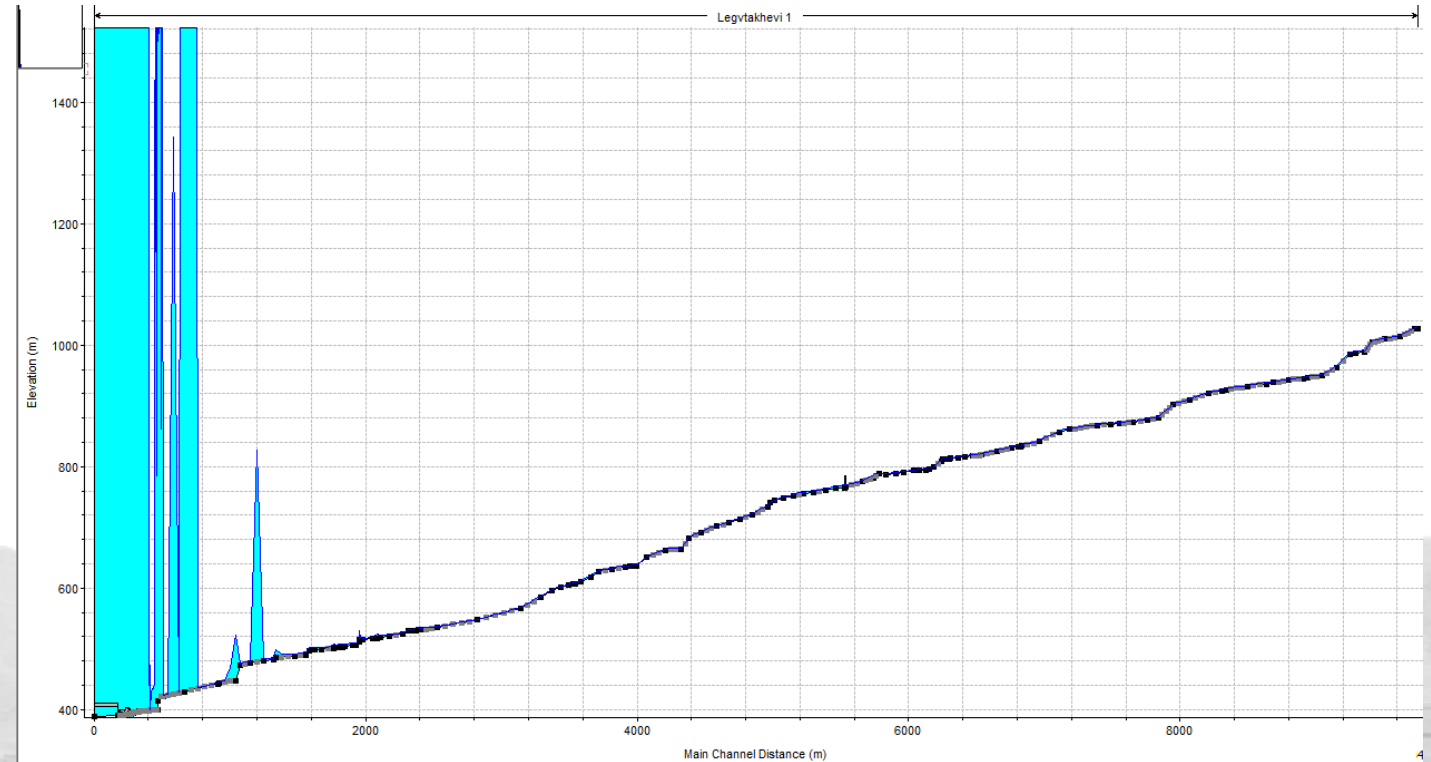
- ჰიდროლოგიური მონაცემები მოპოვებულია ჰიდროლოგიური სწავლებიდან
- ზედა დინების პირობები და გვერდითი შემოდინება
- ქვედა დინების საზღვრის მდგომარეობა წარმოადგენდა წყლის მუდმივ მდგომარეობას



# ჰიდრაულიკური მოდელირება – 1D მოდელის შედეგების ანალიზი



- პირველადი შედეგები 1D მოდელიდან მიუთითებდა მოდელის მაღალ არასტაბილურობაზე
- მაღალი გრადიენტი
- რამოდენიმე ჩანჩქერი
- გრძელი გამტარი მილები
- მკვეთრი ცვლილებები



# ჰიდრაულიკური მოდელირება – 1D მოდელის შედეგების ანალიზი



- მნიშვნელოვანი მოდელირების ძალისხმევა განხორციელდა მოდელის სტაბილურობის გაზრდის მიზნით
- ინტერპოლაციური პროფილები
- შემადგენელი სტრუქტურები
- ჰიდრაულიკური ცხრილის გამოანგარიშება
- გაზრდილი ტოლერანტობა
- დროის ბიჯის შემცირება

# ჰიდრაულიკური მოდელირება -1D მოდელის შედეგების ანალიზი



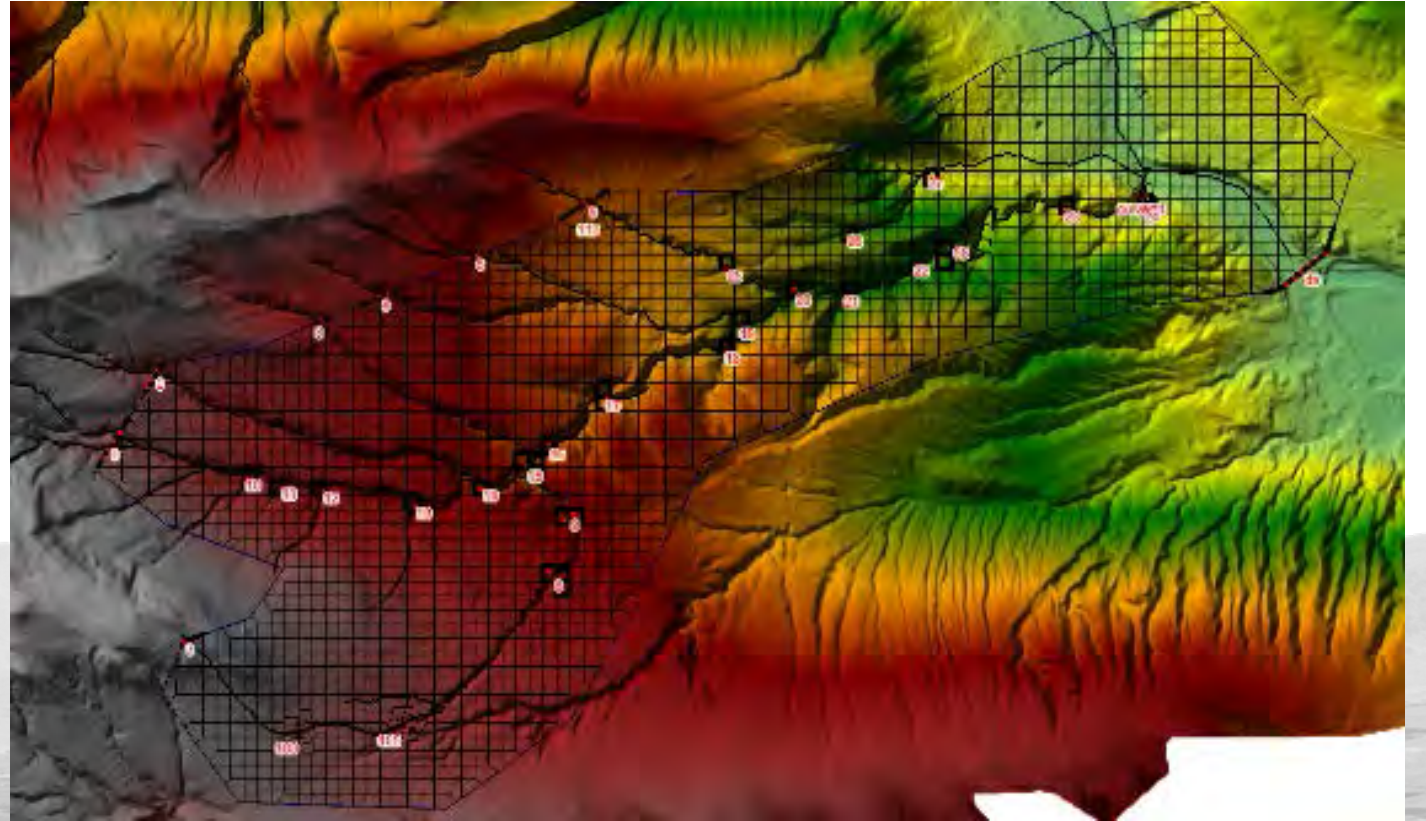
- სტაბილურობა შემცირდა როდესაც მოხდა 1D-2D დაკავშირება
- 1D მოდელი არ მიესადაგა მიზანს ყველა ამ მოდიფიკაციის შემდგომადაც კი
- 2D მთელი წყალშემკრებისადმი მიდგომა იქნა გათვალისწინებული



# ჰიდრაულიკური მოდელირება – 2D მოდელირების განხორციელება



- მოდელის დომეინი ფარავს მთლიან წყალშემკრებს (10მ)
- მოდელი მოიცავს ყველა სტრუქტურას
- საზღვრის მდგომარეობა განსაზღვრულია ჰიდროლოგიური მოდელირების მიერ



# ჰიდრაულიკური მოდელირება – 2D მოდელირების შედეგები



- მოხდა 2D მოდელის მითითებული შედეგების ანალიზი შემდეგ სენსიტივობის ტესტებთან:
  - დროის ბიჯი
  - ქვემო დინების საზღვარი
  - პირობა
  - უსწორ-მასწორობა
- დამაკმაყოფილებელი შედეგები



# ჰიდრაულიკური მოდელირება – 2D მოდელირების შედეგები



- 2D-ის შედეგებმა გაცილებით მაღალი სტაბილურობა წარმოაჩინა.
- 2D განხორციელებული მოდელი ითვლება მიზნისთვის შესაფერისად.
- 2D დამაკმაყოფილებლად უპასუხა სხვადასხვა სენსიტიურობის ტესტს.
- 2D მოდელი გამოყენებული იქნა ყველა განმეორებადობის პერიოდის მოვლენების (საბაზისო და კლიმატის ცვლილების სცენარები) შედეგების დასადგენად.
- 2D მოდელის გამოყენების მიდგომა ზღუდავს სიზუსტის შემცირებას, რომელიც ხდება ხოლმე 1D და 2D მოდელების დაკავშირების პროცესის დროს.

# ჰიდრაულიკური მოდელირება – დასკვნები



- ჩატარდა მნიშვნელოვანი ჰიდრაულიკური მოდელირების სწავლება
- 1D-2D მიდგომა არ მოერგო წყალდიდობის რუკებზე ასახვისა და მიტიგაციის მიზნებს
- 2D მოდელი განხორციელდა მთლიანი წყალშემკრებისთვის
- 2D-ის შედეგები იყო დამაკმაყოფილებელი და სწორად იქნა ჩატარებული სენსიტიურ ტესტებში

# ჰიდრაველიკური მოდელირება – შემდეგი ნაბიჯები



ჰიდრაველიკური მოდელი გამოყენებული იქნება:

- წყალდიდობის რუკაზე ასახვისთვის
- წყალდიდობის მიტიგაციის მიზნებისთვის
- ამ მოდელის შეცვლილი ვერსია შეიძლება გამოყენებულ იქნას წყალდიდობის პროგნოზირების მიზნით





# წყალდიდობის რუკაზე ასახვა და მიტიგაცია

წყალდიდობის შემარბილებელი ღონისძიებების შეფასება  
თბილისში, საქართველო



# შინაარსი



1. წყალდიდობის რუკაზე ასახვის მეთოდოლოგია
2. წყალდიდობის რუკაზე ასახვის შედეგები
3. სტრუქტურების ანალიზი
4. წამყვანი დროის (Lead time) ანალიზი
5. წყალდიდობის მიტიგაციის მეთოდები
6. ცხელი წერტილების გამოვლენა
7. შეთავაზებული წყალდიდობის ინტერვენციები



# 1. წყალდიდობის რუკაზე ასახვის მეთოდოლოგია



- 2D ჰიდრაულიკური მოდელირების შედეგებზე დაყრდნობით შედეგების დადგენის თბალსაზრისით განხორციელდა საველე ვიზიტი
- წყალდიდობის რუკები შედგენილია იმისთვის, რომ განისაზღვროს:
  - წყლის სიღრმე
  - წყლის ზედაპირის სიმაღლე
  - სიჩქარე
  - დრო
  - ხანგრძლივობა



# 1. წყალდიდობის რუკაზე ასახვის მეთოდოლოგია



- წყალდიდობის რუკები შედგენილია შემდეგი განმეორებადობის პერიოდებისთვის
  - 1:500 წლები
  - 1:100 წლები
  - 1:50 წლები
  - 1:25 წლები
  - 1:5 წლები



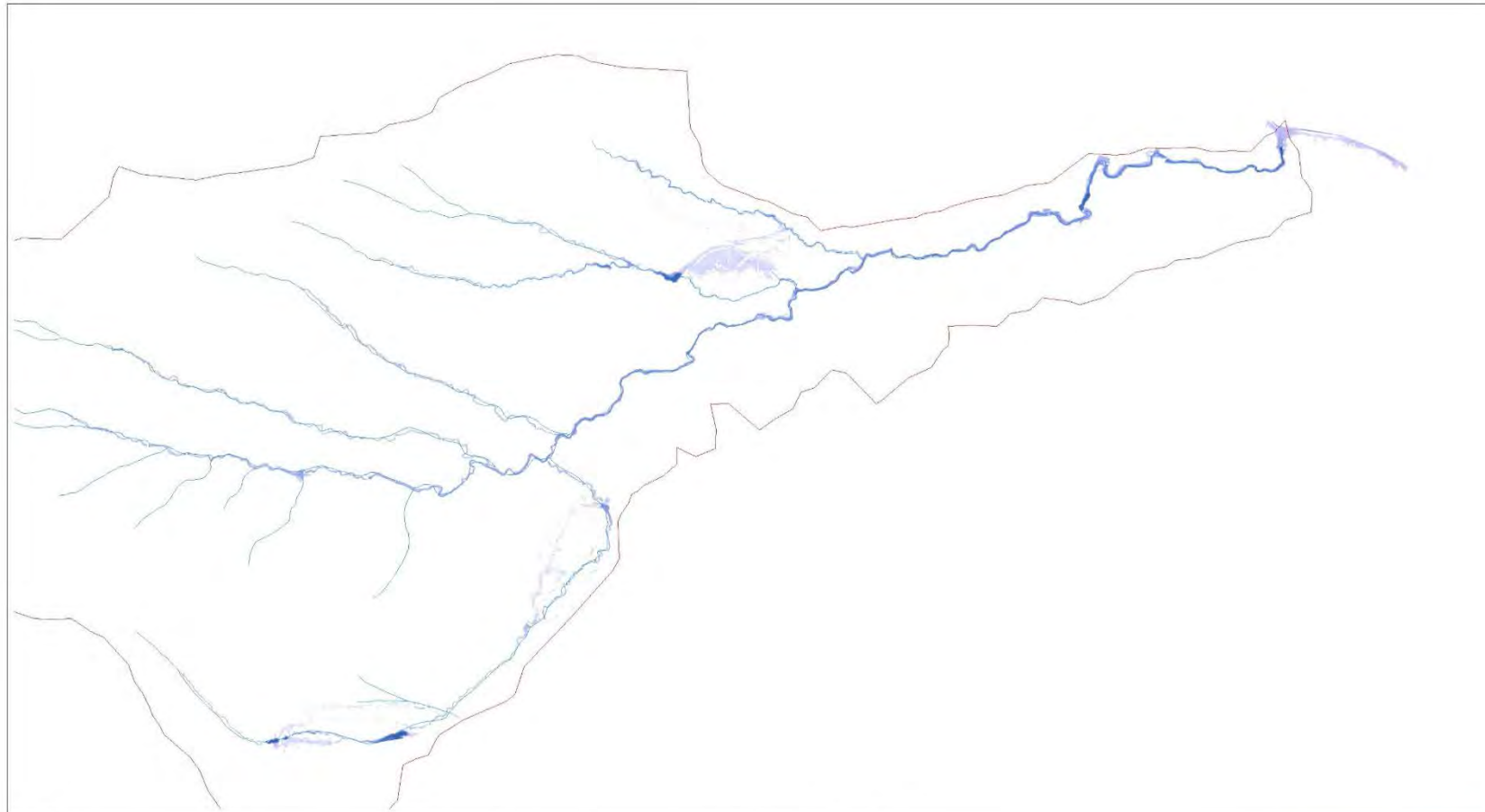
## 2. წყალდიდობის რუკაზე ასახვის შედეგები



- წყალდიდობის რუკაზე ასახვის შედეგები წარმოდგენილია წყალდიდობის რუკაზე ასახვის შესახებ ანგარიშში
- შედეგები ხელმისაწვდომია ციფრულ ფორმატში ყველა აღნიშნული ცვლადებისა და მოვლენებისთვის



# 2. წყალდიდობის რუკაზე ასახვის შედეგები



**Legend**  
— Leghvtakhevi\_Line  
□ Legvtakhevi\_catchment  
**Flood Depth (m) - 1.100yr Event**  
Value  
10  
0

0 0.5 1 2 Kilometers

Coordinate System:  
WGS 1984 UTM Zone 38N  
Projection: Transverse Mercator



[www.hydroc.de](http://www.hydroc.de)

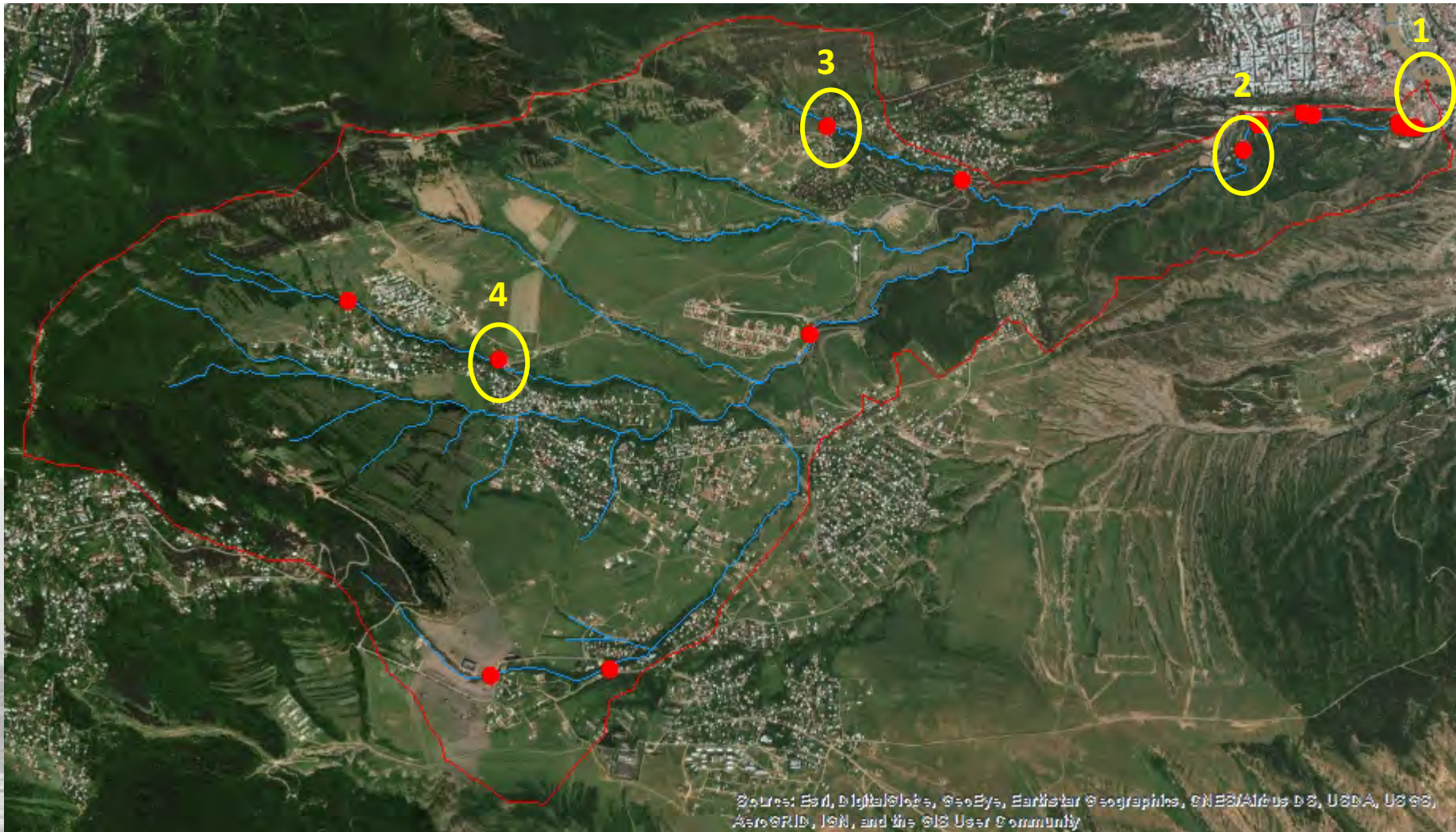


### 3. სტრუქტურების ანალიზი

- მოხდა შესაბამისი სტრუქტურების ანალიზი
- განსაკუთრებულ ყურადღება დაეთმო ქვემო დინების კოლექტორს
- ზოგ სტრუქტურებში გამოყენებულია სხვადასხვა ბლოკირების სიღრმე



# 3. სტრუქტურების ანალიზი



# 3. სტრუქტურების ანალოზი - 1





### 3. სტრუქტურების ანალიზი - 1

- შესასვლელის შემდეგ ტერიტორია მნიშვნელოვნად შემცირებულია
- ძირითადი შეზღუდვა ნაკადისთვის
- სტრუქტურა ვერ უმკლავდება 100 ან 5 წლიან დინებას
- 25%, 50%, და 75% ბლოკირების ანალიზი ავლენს დამატებით საკითხებს



### 3. სტრუქტურების ანალიზი - 1



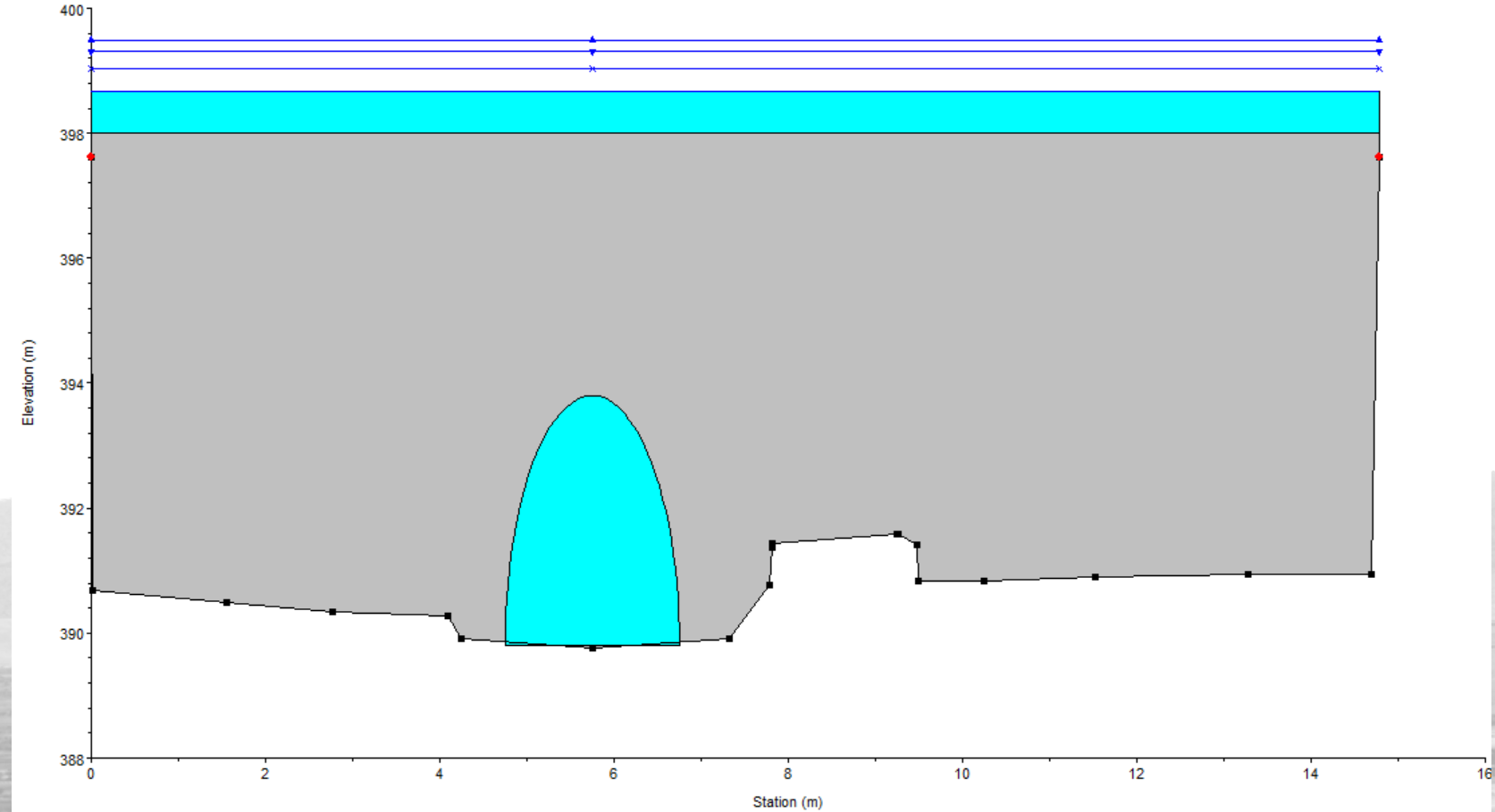
- შედეგად, 100 წლიანი მოვლენისთვის, წყალდიდობა მნიშვნელოვანია, იგი სცდება მდინარის ნაპირებს



# 3. სტრუქტურების ანალიზი - 1

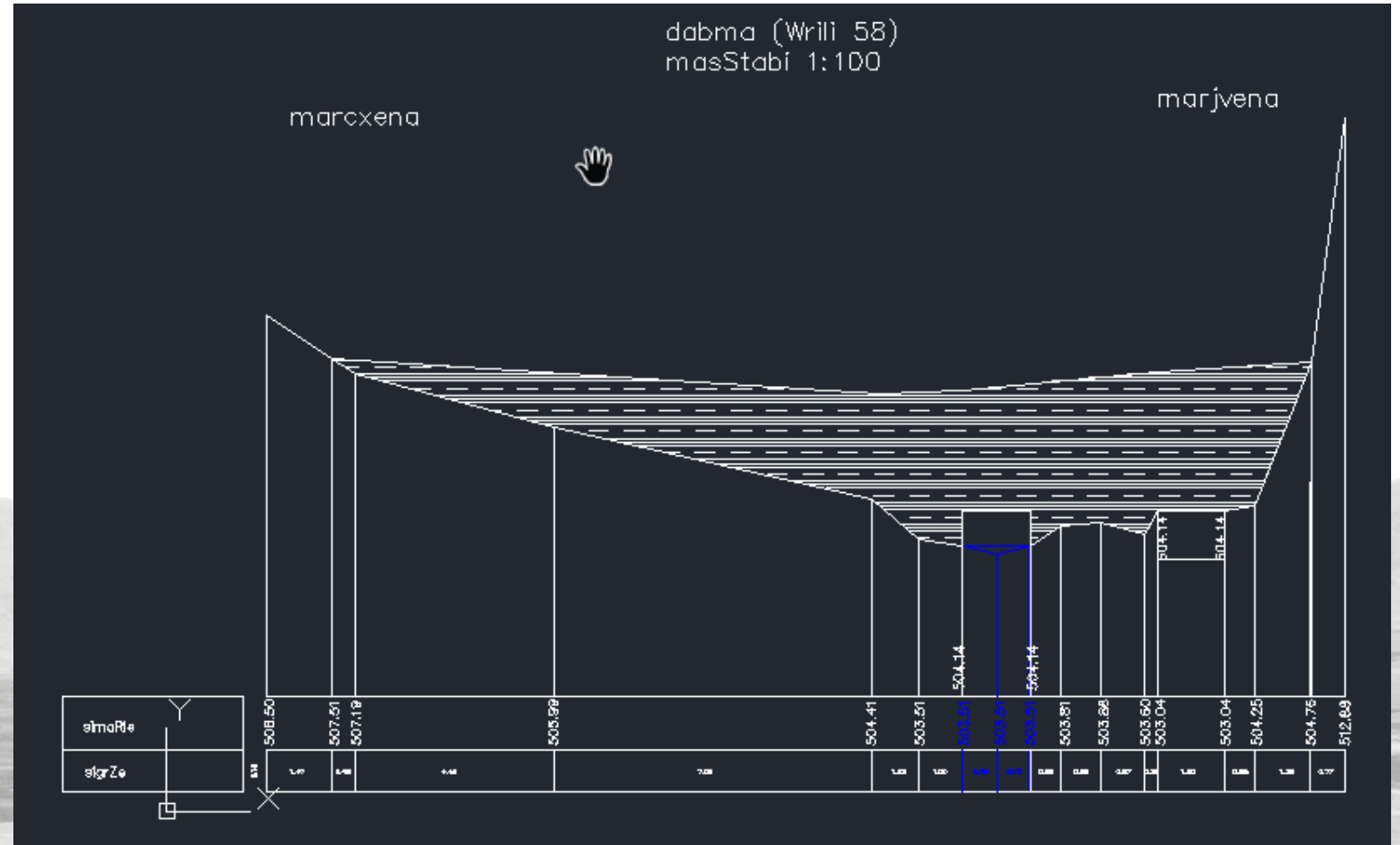


- გავლენა უფრო მაღალია ბლოკირების სცენარით



# 3. სტრუქტურების ანალიზი - 2

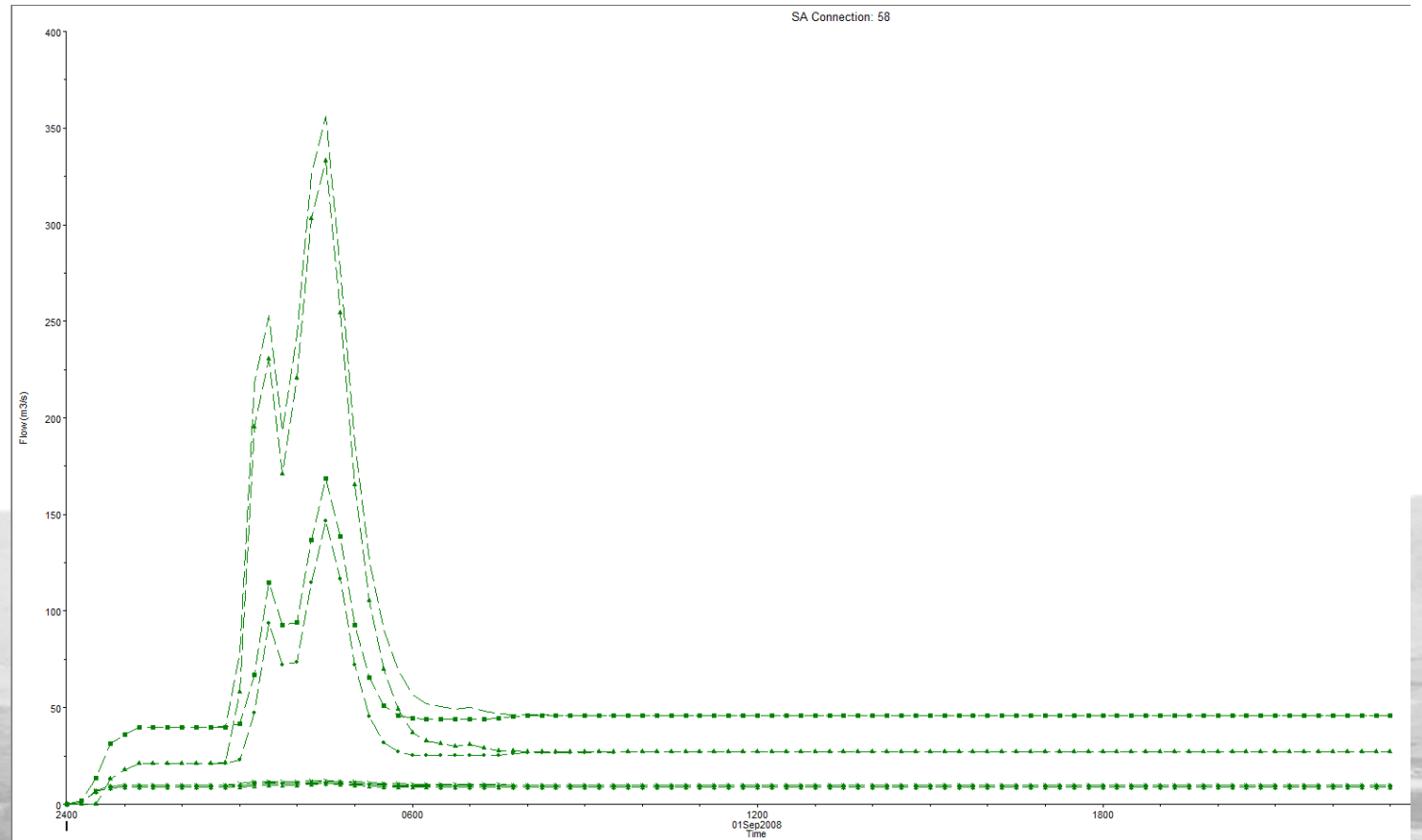
- კიდევ ერთი მნიშვნელოვანი სტრუქტურაა ბოტანიკურ ბაღში არსებული გაბიონი
- ეს სტრუქტურა დატვირთილი იქნა 100 და 5 წლიანი განმეორებადობის პერიოდისთვის



# 3. სტრუქტურების ანალიზი - 2



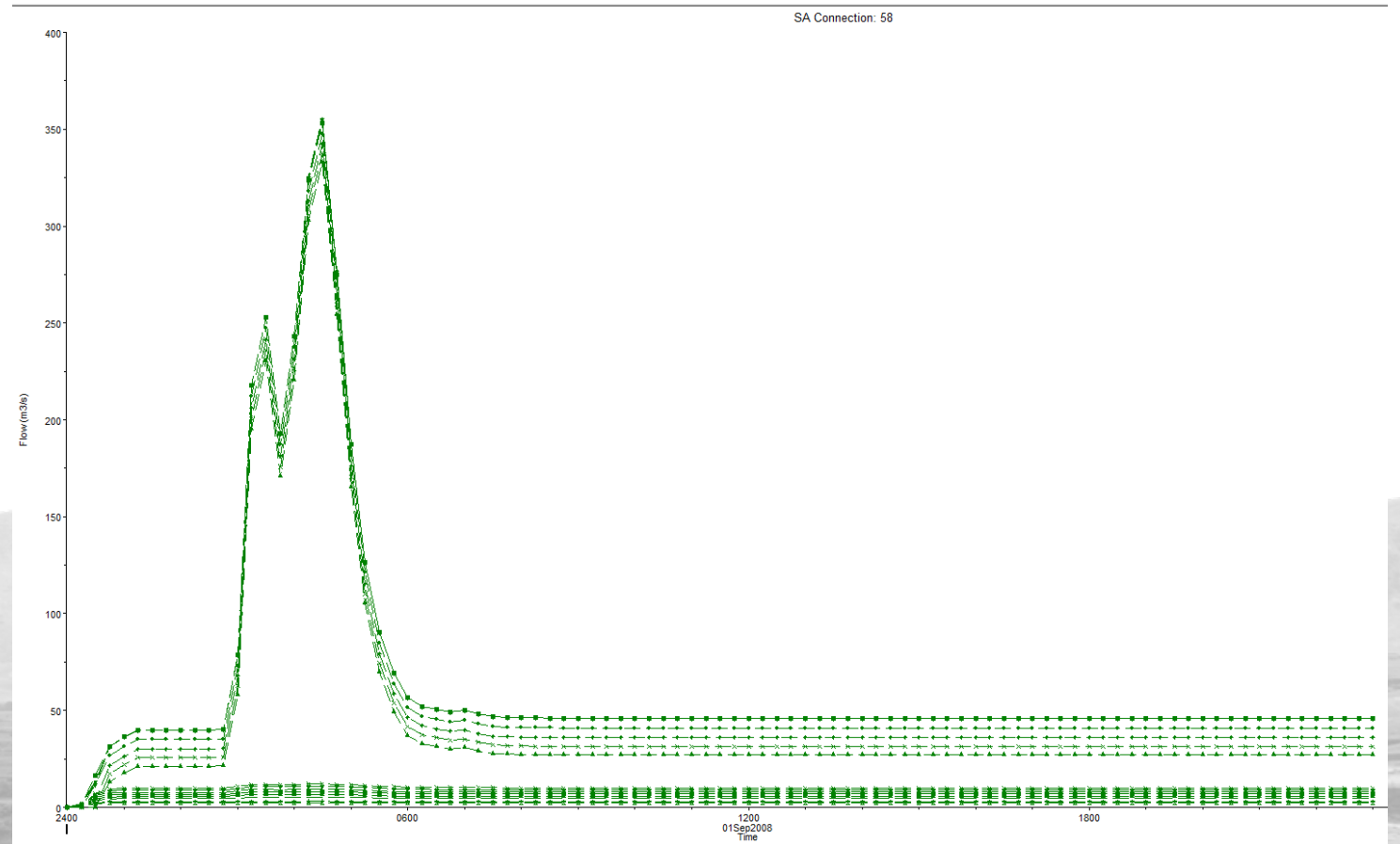
- ამ მოვლენებისთვის საგუბარიდან გადმოედინება და მიედინება კოლექტორში



# 3. სტრუქტურების ანალიზი 2



- 25%, 50% და 75% ბლოკირებისთვის

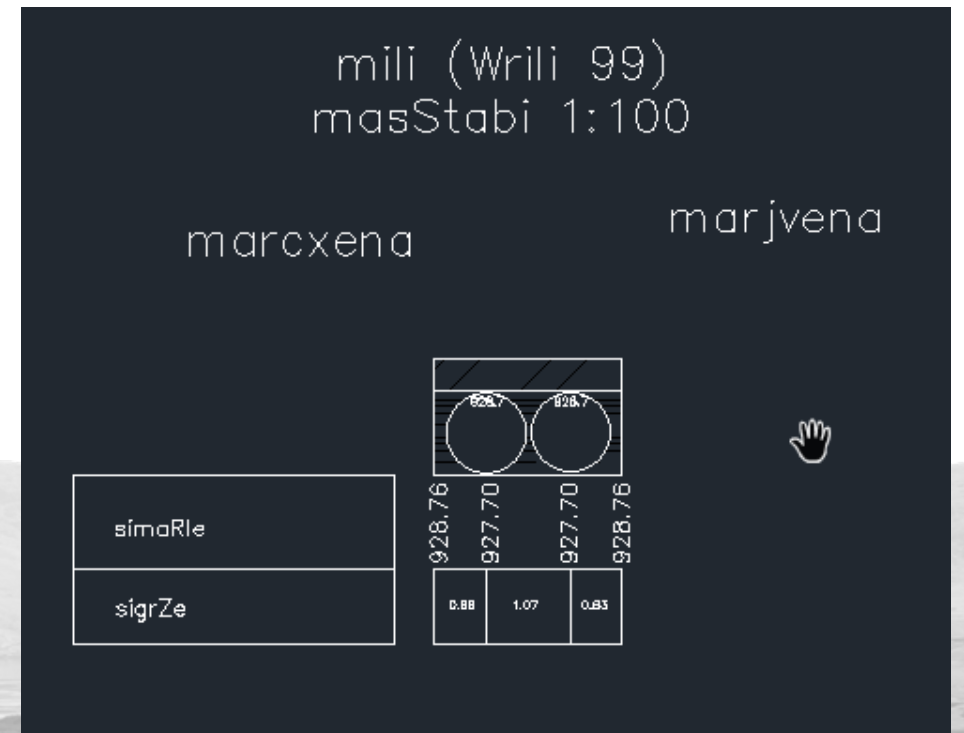






### 3. სტრუქტურების ანალიზი - 4

- ეს სტრუქტურა ასევე განალიზებულ იქნა ერთ-ერთ მენაკადში
- ამ სტრუქტურის ბლოკირება ზრდის წყალდიდობის გავლენას



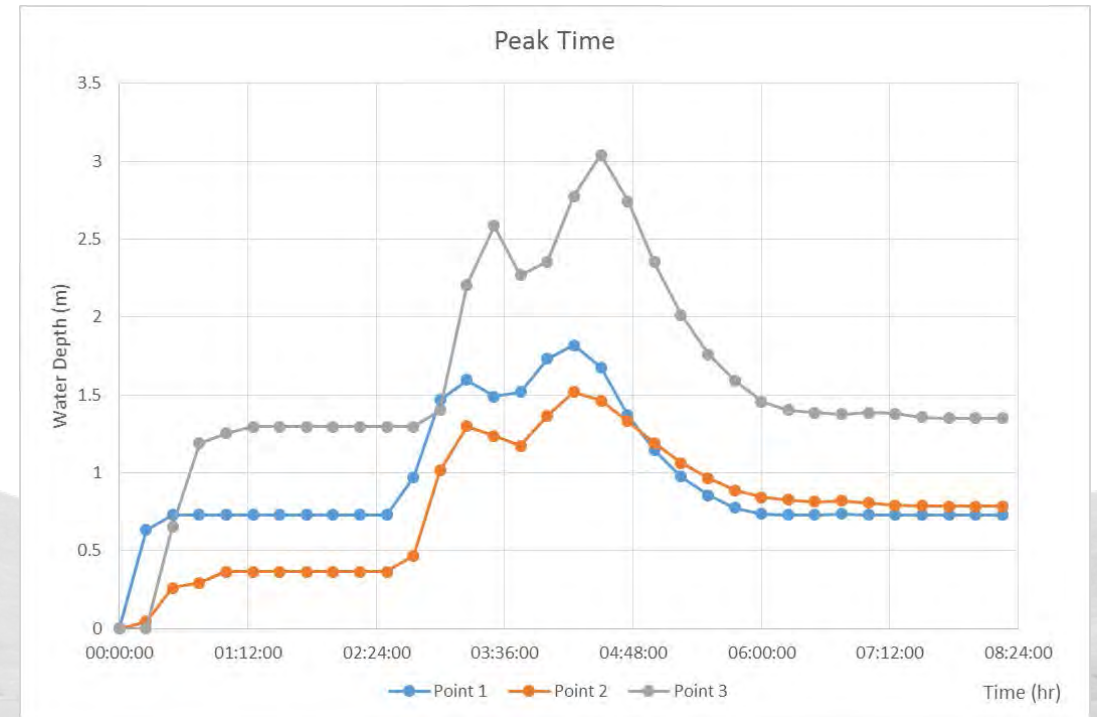
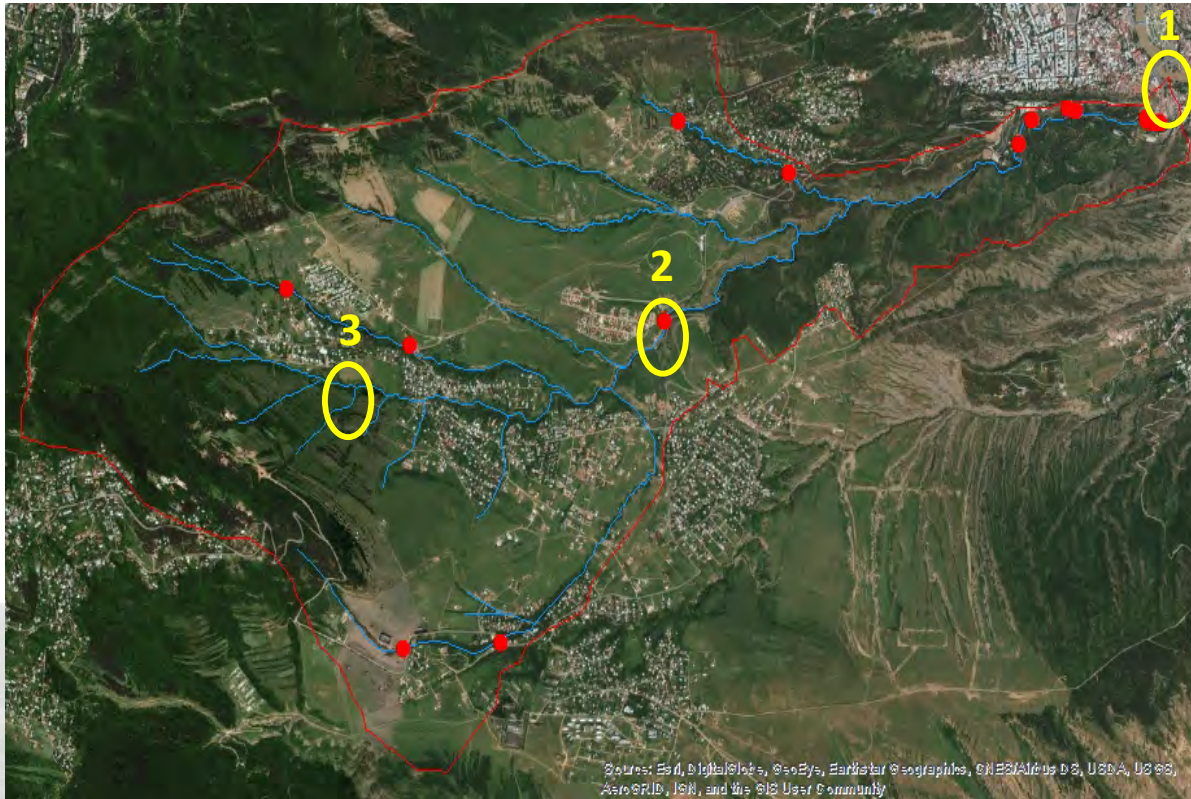
## 4. „Lead Time“ ანალიზი – პიკის დრო



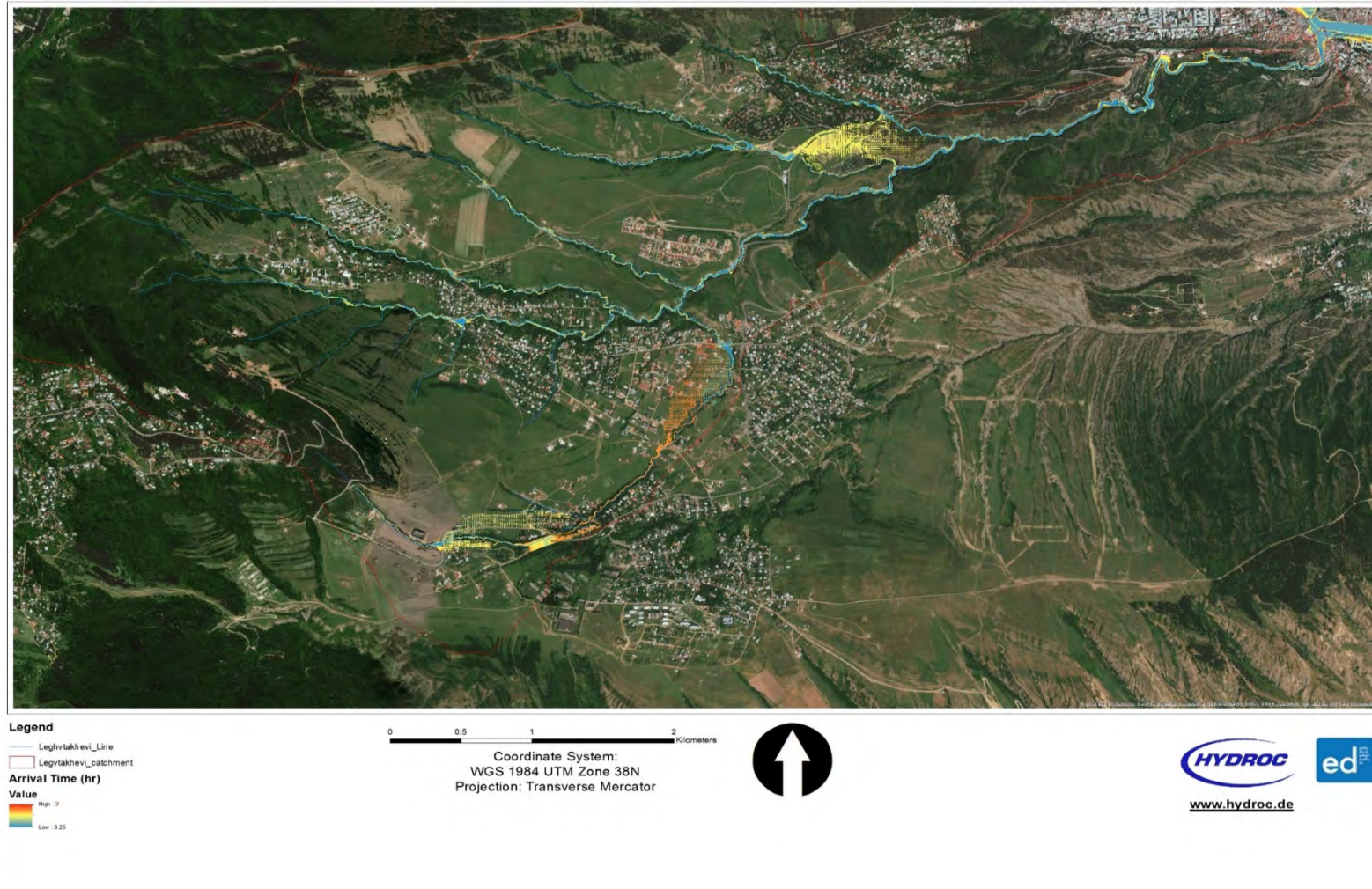
- გამოიკვლიეს წყალდიდობის ტალღის მოღწევის დრო
- პიკის მიღწევის დროის განსხვავება ძირითად ადგილებში არის ხანმოკლე
- ასევე შეფასდა წყალდიდობის ხანგრძლივობა



# 4. „Lead Time“ ანგარიში



# 4. „Lead Time“ ანგარიში



# 5. წყალდიდობის მიტიგაციის მეთოდოლოგია



- სტრუქტურული ღონისძიებები
- არა-სტრუქტურული ღონისძიებები
- ვარიანტების მოკლე ჩამონათვალის გაკეთება
- ვარიანტების შეფასება



# 6. ცხელი წერტილების გამოვლენა

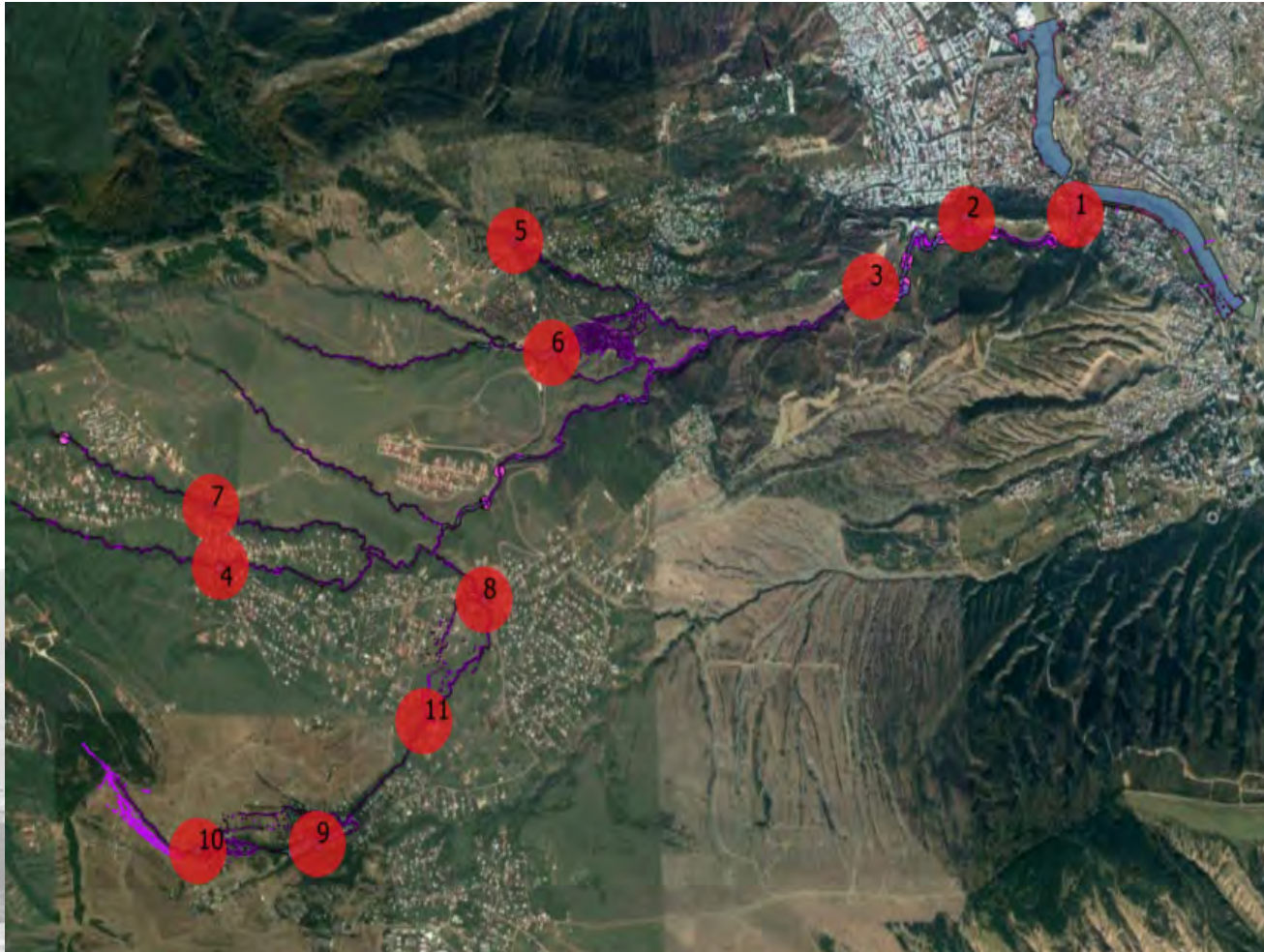


ცხელი წერტილები გამოვლინდა იმ ადგილებში, რომელიც დააზარალა წყალდიდობამ:

- ურბანული მიდამოები
- უძრავი ქონება და ბაღები
- გზები
- კრიტიკული ინფრასტრუქტურა

5 და 100 წლიანი მოვლენები აღებულ იქნა როგორც შეფასების ბაზისი

# 6. ცხელი წერტილების გამოვლენა



# 6. ცხელი წერტილების გამოვლენა

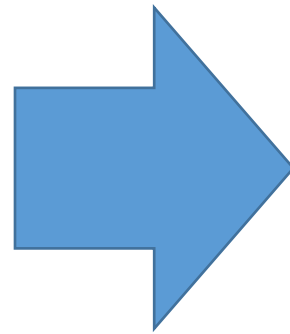


წყალდიდობისკენ მიდრეკილი ადგილების #	მონაკვეთი	პრობლემა
1	მთავარი მდინარე	წყალდიდობა ქვემო დინების ურბანულ მიდამოებში
2	მთავარი მდინარე	წყალდიდობა გზაზე და დატბორილი სახლები ბოტანიკური ბაღის მიმართულებით ზემო დინებაში
3	მთავარი მდინარე	ახალი დიდი შენობების დატბორვა
4	მთავარი მდინარე	გზების დატბორვა - არასაკმარისი გამტარი მილების/კოლექტორების რაოდენობა
5	პირველი მარცხენა ნაპირის შენაკადი	გზების დატბორვა - არასაკმარისი გამტარი მილების რაოდენობა
6	მეორე მარცხენა ნაპირის შენაკადი	გზების დატბორვა - არასაკმარისი გამტარი მილების რაოდენობა - რაც იწვევს განრღვეულ დინებას ჩრდილოეთის მიმართულებით
7	მეოთხე მარცხენა ნაპირის შენაკადი	გზების დატბორვა - არასაკმარისი გამტარი მილების რაოდენობა
8	პირველი მარჯვენა ნაპირის შენაკადი	გზების დატბორვა - არასაკმარისი გამტარი მილების რაოდენობა
9	პირველი მარჯვენა ნაპირის შენაკადი	გზების დატბორვა - არასაკმარისი გამტარი მილების რაოდენობა და წყილს გადინება წყალშემკრებიდან მიმდებარე მდინარისკენ
10	პირველი მარჯვენა ნაპირის შენაკადი	გზების დატბორვა - არასაკმარისი გამტარი მილების რაოდენობა - რაც იწვევს განრღვეულ დინებას ჩრდილოეთის მიმართულებით
11	პირველი მარჯვენა ნაპირის შენაკადი	მცირე წყლის განრღვევა 100 წელიწადში შეიძლება მოწესრიგდეს ჯებირით

# 7. შეთავაზებული წყალდიდობის ინტერვენციები



- პრევენცია
- დაცვა
- მზადყოფნა



სტრუქტურული და  
არა-სტრუქტურული  
ღონისძიებები



# 7. შეთავაზებული წყალდიდობის ინტერვენციები. პიკური ნაკადების შემცირება



სტრუქტურული ღონისძიებები:

- წყალდიდობის კონტროლის ჯებირი (შემაკავებელი აუზები - შეიძლება იყოს სველი ან მშრალი)

არა-სტრუქტურული ღონისძიებები :

- ტყის აღდგენა
- შემცირებული სასოფლო-სამეურნეო საქმიანობები
- კონტურული მეურნეობა/ ტერასები
- წყალშემკრების მართვა
- ეროზიის კონტროლი (თხრილები, ნაპრალები)
  - სედიმენტების კონტროლი

# 7. შეთავაზებული წყალდიდობის ინტერვენციები. წყალდიდობის დინების მოწყვლადობის შემცირება



სტრუქტურული ღონისძიებები:

- დამბები
- არხებისა და გამტარი მილების გადიდება
- არხების გამაგრება (არ არის რეკომენდებული)
- დერივაციული (შემოვლითი) არხები

არა-სტრუქტურული ღონისძიებები:

- მიწის გამოყენების დაგეგმვა / კონტროლის განვითარება
  - არ ფიქსირდება ჩამონადენის ზრდა განვითარებისას
  - წყალდიდობის დონის კონტროლი
- სახლის შენება
- წყალდიდობისგან თავდაცვა/გამძლე მასალები
- შენობების დანგრევა საშიშ ადგილებში

# 7. შეთავაზებული წყალდიდობის ინტერვენციები. წყალდიდობის გავლენის შემცირება



სტრუქტურული ღონისძიებები:

არა-სტრუქტურული ღონისძიებები:

- წყალდიდობის რუკაზე ასახვა
- მოსახლეობის ცნობიერების ამაღლება
  - განათლება/ ცნობიერების ამაღლების კამპანიები
  - როგორ გავიგოთ და გამოვიყენოთ წყალდიდობის შესახებ გაფრთხილების ინფორმაცია
- წყალდიდობის შესახებ გაფრთხილება და მისი პროგნოზირება
- სირთულეები წყალმოვარდნის სიტუაციაში ხანმოკლე დროის გამო – ძირითადად ნალექზე დამოკიდებული
  - მნიშვნელოვანია ინფორმაციის გავრცელება დროულად
  - კატასტროფების მართვის დაგეგმვა
- გადაუდებელ დახმარებაზე რეაგირება

## 7. შეთავაზებული წყალდიდობის ინტერვენციები. ვარიანტების ნუსხა



- შვიდი სხვადასხვა სტრუქტურული ვარიანტი
- შესაძლებლობის შემთხვევაში მოსახლეობაში წყალდიდობის მიტიგაცია, ძირითადი ინფრასტრუქტურა
- გამტარი მილების და საცავის მზარდი ზომების კომბინაცია



# 7. შეთავაზებული წყალდიდობის ვარიანტების ნუსხა – მხოლოდ სტრუქტურული ღონისძიებები

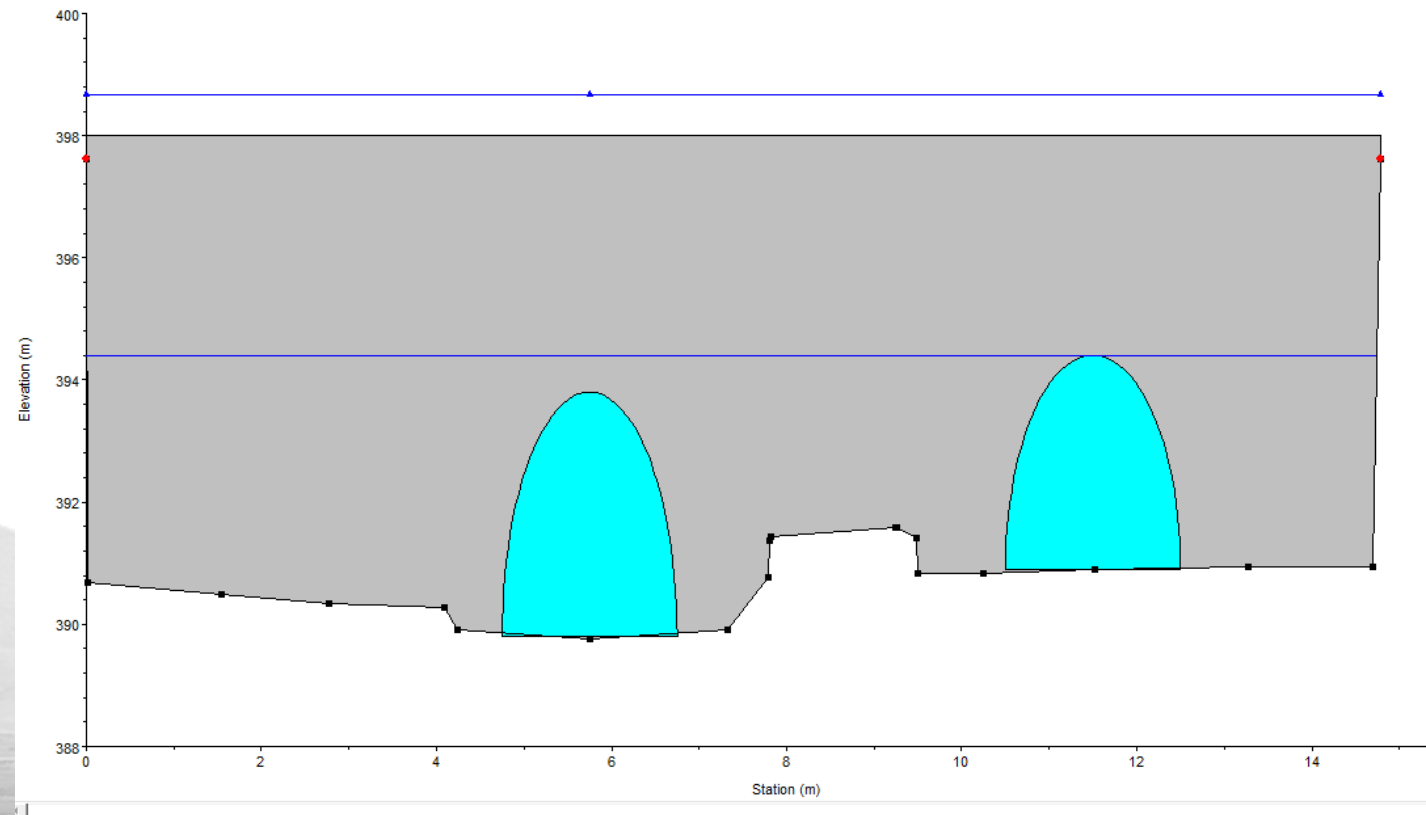


ვარიანტი	წყალდიდობისკენ მიდრეკილი ადგილების #	შესაძლო მიტიგაცია	ძველი გამტარი მილების ზომა	ახალი გამტარი მილების ზომა	პიკური ნაკადი კოლექტორში	პიკური ნაკადი კაშხალში
0	1	მეორე გარატი მილის გახსნა	ერთი გამტარი მილი	Using the Second Culvert		
1	2	ზედადინების საცავი				
1	3					
2	5	გამტარი მილების მოცულობის გაზრდა	ყუთი 1.68x1.26	4 ყუთი 2x1	2	20
3	4	გამტარი მილების მოცულობის გაზრდა	მრგვალი 1.2m	3 ყუთი 3x3m	0.5	23.63
4	6	გამტარი მილების მოცულობის გაზრდა და ასევე ჯებირი რათა მოხდეს განრღვევის პრევენცია	მრგვალი 2.4m	4 ყუთი 3x3m	1.1	0
5	7	გამტარი მილების მოცულობის გაზრდა	2 მრგვალი 1.0m culverts	3 ყუთი 2.1x0.9m	3.3	0
6	8	გამტარი მილების მოცულობის გაზრდა	მრგვალი 1.2m	3 ყუთი 3x3m	2	11.3
6	9	გამტარი მილების მოცულობის გაზრდა	მრგვალი 1.0m	3 ყუთი 3x3m	0.95	18.5
6	10	გამტარი მილების მოცულობის გაზრდა	მრგვალი 1.0m	3 ყუთი 3x3m	4.5	0

# 7. შეთავაზებული წყალდიდობის ინტერვენციები. ვარიანტი 0.



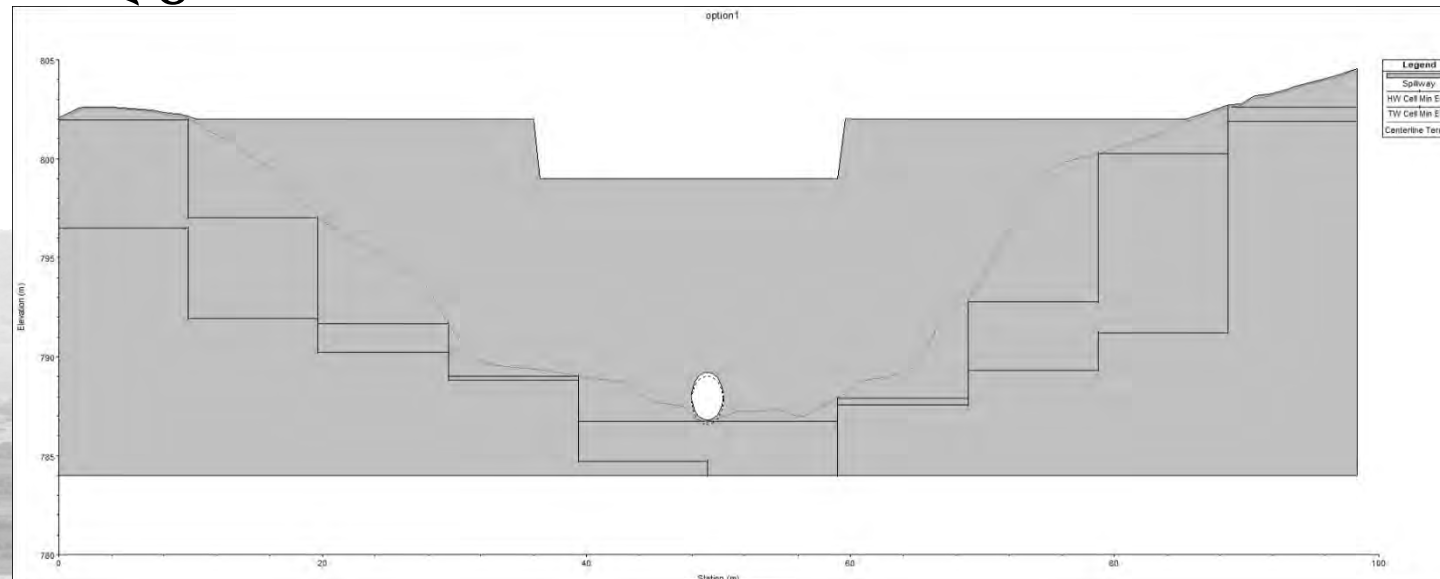
- მეორე გამტარი მილის გახსნა ქვემო დინების ადგილას.
- არსებული გამტარი მილს არ აქვს საკმარისი მოცულობა
- მიღებული გავლენა საგროძობლად ამცირებს ზემო დინების გამტარი მილების წყლის დონეს 100 წლიანი მოვლენისთვის (არ აღინიშნება დატბორვა)



# 7. შეთავაზებული წყალდიდობის ინტერვენციები. ვარიანტი 1.



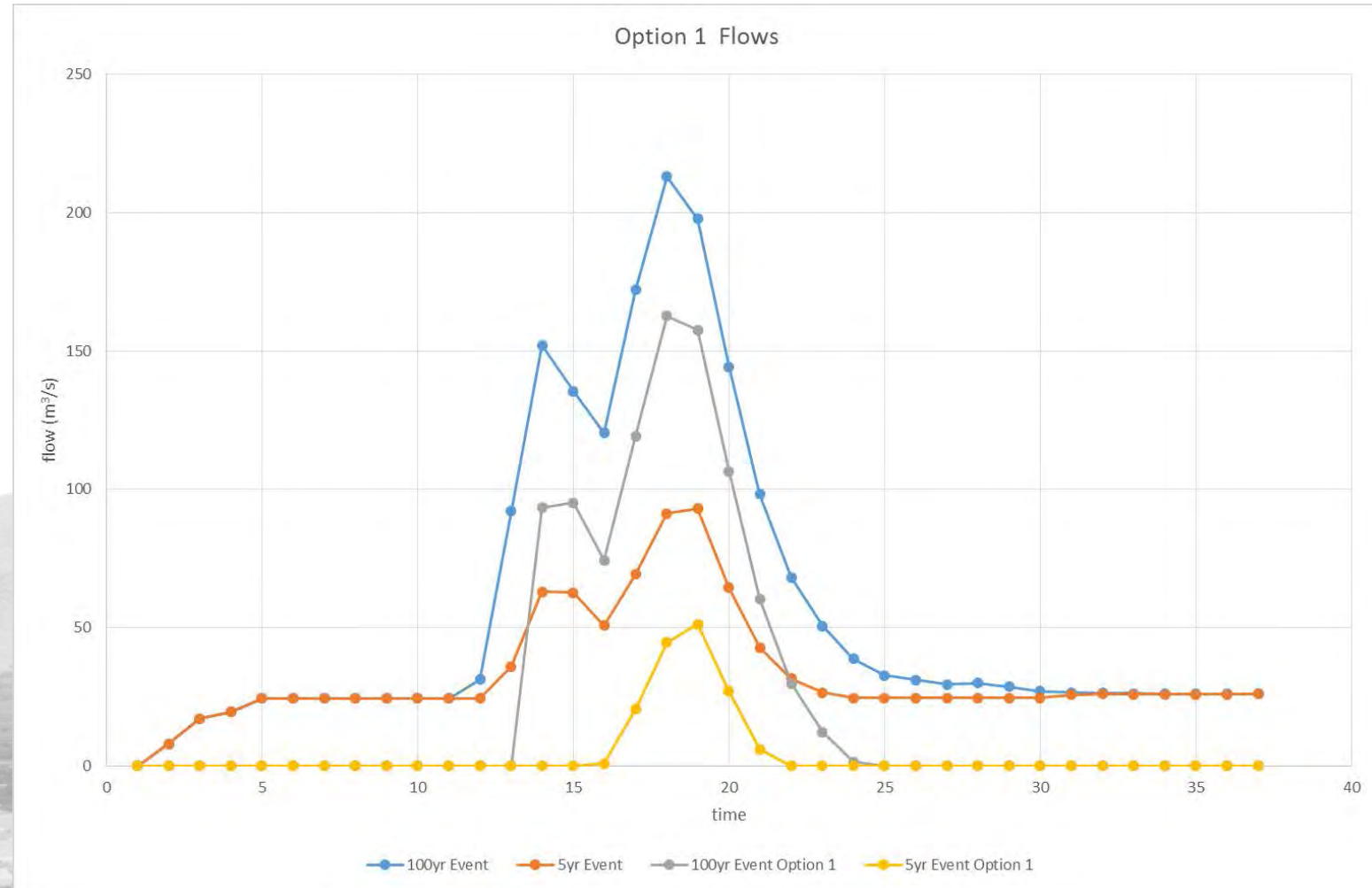
- საცავი მოცემულია არსებული ჰიდროლოგიური სადგურის ზემო დინებაში
- 10მ სიმაღლის დამბა, 20მ დამცავი სანიაღვრით და 2.4მ გამტარი მილებით



# 7. შეთავაზებული წყალდიდობის ინტერვენციები. ვარიანტი 1.



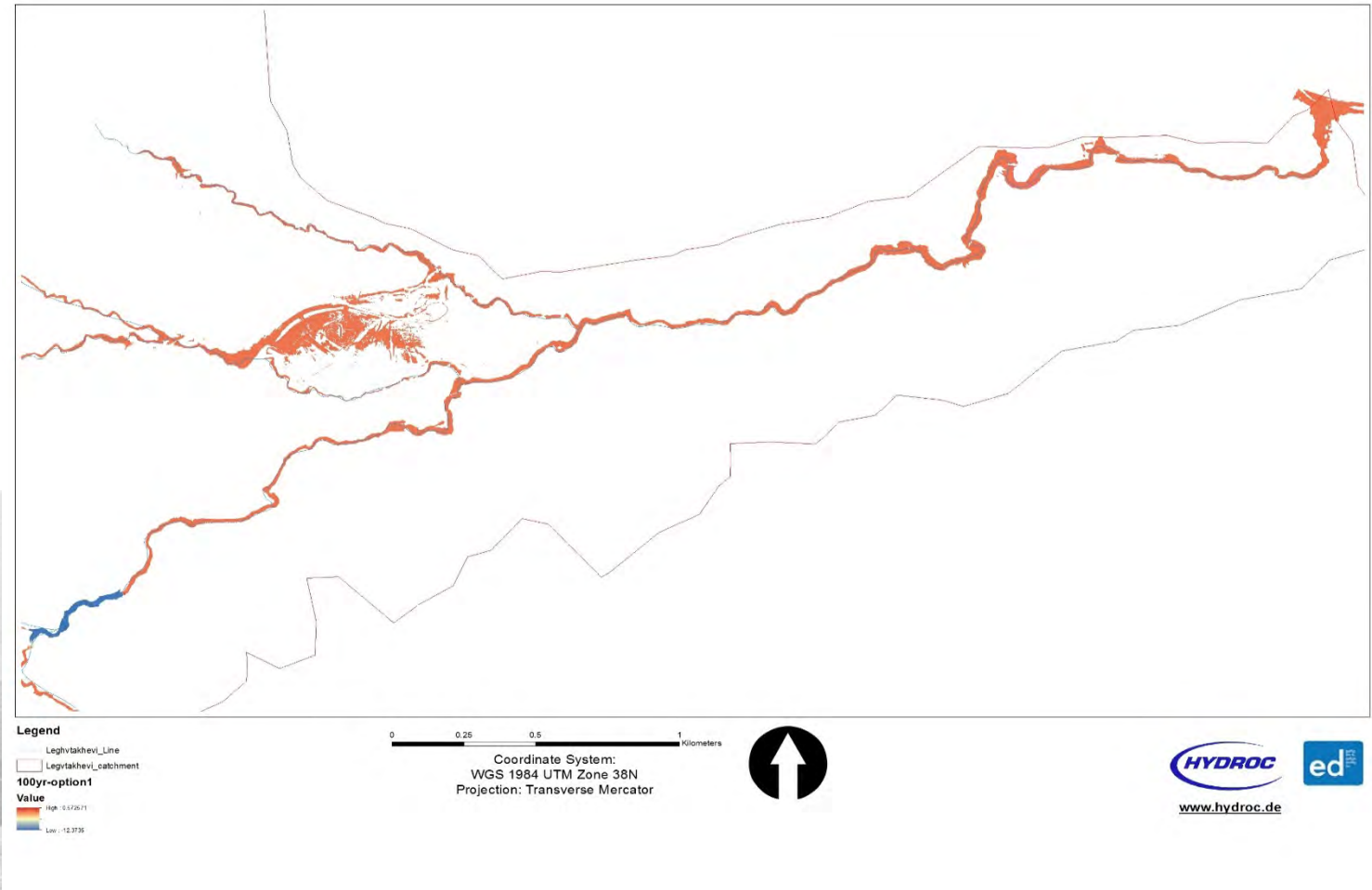
- კაშხლის ჰიდროგრაფები საბაზისო და ვარიანტი 1 სცენარისთვის (5 და 100 წლიანი)



# 7. შეთავაზებული წყალდიდობის ინტერვენციები. ვარიანტი 1.



- ქვემო დინების წყლის დონის 0.6 მ შემცირების მაქსიმალური გავლენა



# 7. შეთავაზებული წყალდიდობის ინტერვენციები. ვარიანტი 2.



წყალდიდობა გზების გადაკვეთაზე  
ცხელ წერტილში N 5

არსებული გამტარი მილები: 1.68მ x 1.2მ მართკუთხა  
(ყუთი) გამტარი მილები

სრული დინება (100 წ) 22მ<sup>3</sup>/წ

გამტარი მილები დინება: 2მ<sup>3</sup>/წ

დინება გზების დატბორვისას 20მ<sup>3</sup>/წ

სიღრმე გზების დატბორვისას 0.8მ

გზა არ იტვირთება 6 საათის განმავლობაში



# 7. შეთავაზებული წყალდიდობის ინტერვენციები. ვარიანტი 3.



წყალდიდობა გზების გადაკვეთაზე ცხელ წერტილებში 4

არსებული გამტარი მილები: 1.2მ დიამეტრის მილი

სრული დინება (100წ) 24მ<sup>3</sup>/წ

გამტარი მილები დინება: 0.5მ<sup>3</sup>/წ

დინება გზების დატბორვისას 23.5მ<sup>3</sup>/წ

სიღრმე გზების დატბორვისას 1.5მ

გზა არ იტვირთება 3 საათის განმავლობაში



# 7. შეთავაზებული წყალდიდობის ინტერვენციები. ვარიანტი 4.



წყალდიდობა გზების გადაკვეთაზე ცხელ წერტილებში 6

არსებული გამტარი მილები: 2.4მ დიამეტრის მილი

სრული დინება (100წ)  $??\text{მ}^3/\text{წ}$   
გამტარი მილები დინება:  $??\text{მ}^3/\text{წ}$   
დინება გზების დატბორვისას  $15\text{მ}^3/\text{წ}$   
სიღრმე გზების დატბორვისას 0.2მ  
გზა არ იტვირთება 1.5 საათის განმავლობაში



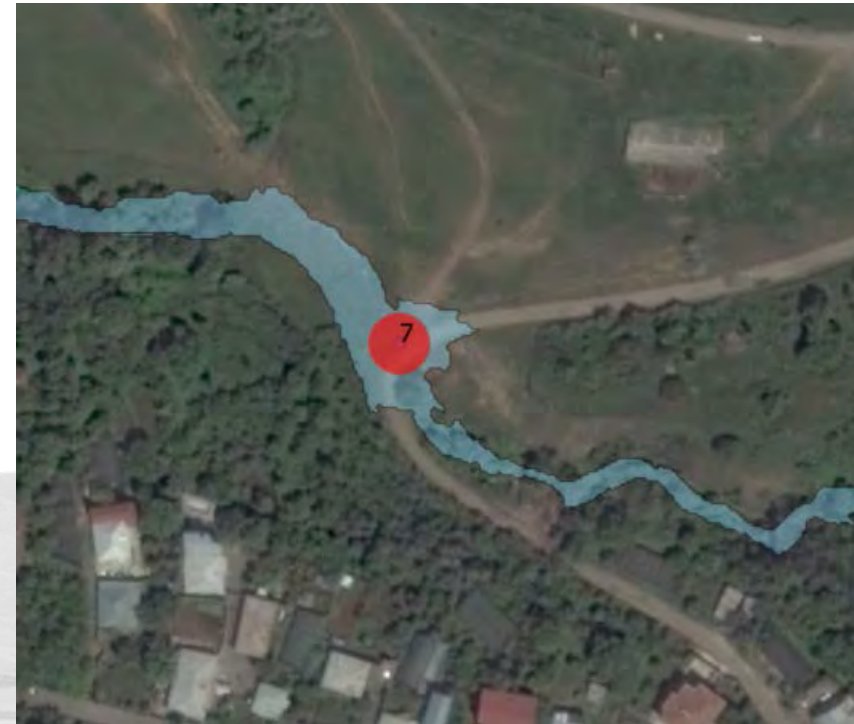
შესაძლებლობების ნაკლებობა გზასთან რომელიც იწვევს დატბორვას და ფართოდ გავრცელებად წყალდიდობას

# 7. შეთავაზებული წყალდიდობის ინტერვენციები. ვარიანტი 5.



წყალდიდობა გზების გადაკვეთაზე  
ცხელ წერტილებში 7

დიამეტრის მილი: 2 1.0მ დიამეტრის მილი  
სრული დინება (100წ)  $??\text{მ}^3/\text{წ}$   
გამტარი მილები დინება:  $2.4\text{მ}^3/\text{წ}$   
დინება გზების დატბორვისას  $10\text{მ}^3/\text{წ}$   
სიღრმე გზების დატბორვისას 0.9მ  
გზა არ იტვირთება 1.1 საათის განმავლობაში



# 7. შეთავაზებული წყალდიდობის ინტერვენციები. ვარიანტი 6.



წყალდიდობა გზების გადაკვეთაზე  
ცხელ წერტილებში 8

არსებული გამტარი მილები: 1.2მ დიამეტრის  
მილები

სრული დინება (100წ) 38მ<sup>3</sup>/წ

გამტარი მილები დინება: 3მ<sup>3</sup>/წ

დინება გზების დატბორვისას 35მ<sup>3</sup>/წ

სიღრმე გზების დატბორვისას 1მ

გზა არ იტვირთება 2 საათის განმავლობაში



# გზის გადაკვეთის შედეგები



- მოდელირებული ახალი გამტარი მილების ზომები აღმოფხვრავს გზების ნაპირების დატბორვას და შემცირდება საგუბარისზემოქმედება.
- გზებზე აღარ ვარაუდობენ დატბორვებს



# 7. შეთავაზებული წყალდიდობის ინტერვენციები. არა-სტრუქტურული წყალდიდობის მიტიგაციის ღონისძიებები



ქვემოთ მოყვანილია პრაქტიკული ღონისძიებები, რომელიც შეიძლება რეალიზდეს ამ ეტაპზე ახალ შენობებთან მიმართებაში - ეს ღონისძიებები დიდი ხნით შეამცირებს წყალდიდობის პრობლემებს

- მიწის გამოყენების დაგეგმვის/განვითარების კონტროლის წარმოდგენა
  - წყალდიდობის დონის კონტროლი – მოითხოვს ყველა ახალ შენობას ჰქონდეს იატაკის დონე 100 წლიანი იატაკის დონის მაღლა და (მაგ. 500მმ)
  - მოითხოვს ყველა ქვე-დანაყოფს რომ არ მოხდეს პიკური ჩამონადების გაზრდა

# 7. შეთავაზებული წყალდიდობის ინტერვენციები.



## არა-სტრუქტურული წყალდიდობის მიტიგაციის ღონისძიებები

ქვემოთ მოყვანილია პრაქტიკული ღონისძიებები, რომელიც შეიძლება განხორციელდეს ახლა - იმ არსებული შენობების მიმართებაში, რომლებიც იტბორება

- მსუბუქი კონსტრუქციისთვის, მაგალითად ხის სახლები – ივალისწინებს ასცდეს წყალდიდობის დონეს
- სადაც მოხდა წყალდიდობა – ითვალისწინებს შენობების აშენებას მდგრადი მასალით და წყალდიდობისადმი ექსტერიერით
- ითვალისწინებს შენობების დანგრევას ყველაზე დაზარალებული ადგილებიდან

# 7. შეთავაზებული წყალდიდობის ინტერვენციები. წყალდიდობის პროგნოზირების ადრეული გაფრთხილების სისტემა



- რეკომენდებულია FFEWS-ის განხორციელება
- ხელმისაწვდომი მოკლე დროის გამო, რეკომენდებულია მეტეოროლოგიური პროგნოზირების ჩართვა გაზრდილი რეზოლუციით
- ასევე რეკომენდირებულია ამინდის რადარის წყაროების გამოყენება
- რეკომენდებულია მეტეოროლოგიური სადგურების განთავსება წყალშემკრებში, რათა გაიზარდოს მოდელების სიზუსტე და ასევე პროგნოზირების მიზნებისთვის



# ეკოლოგიური სტატუსი



# წყლის ჩარჩო დირექტივა



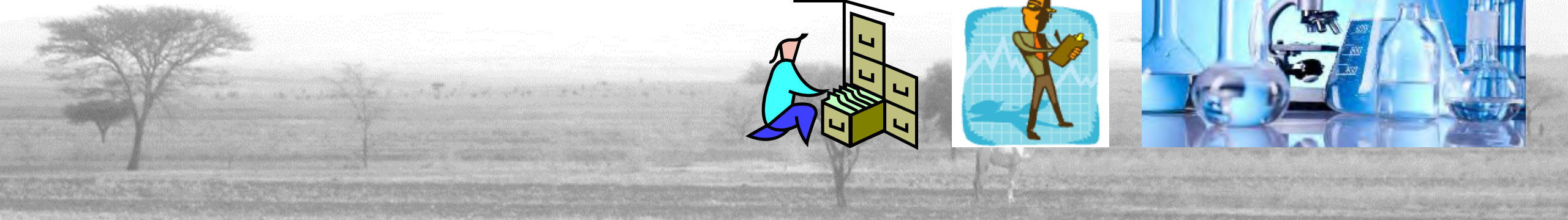
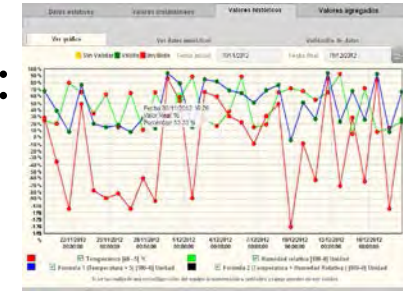
WFD-ის მიხედვით, მთავარი გარემოსდაცვითი მიზნებია:

- არ გაუარესდეს ზედაპირული და მიწისქვეშა წყლების სტატუსი და ყველა წყლის ობიექტის დაცვა, გაფართოება და აღდგენა;
- კარგი სტატუსის მიღწევა 2015 და მომდევნო წლებისთვის;
- პრიორიტეტული ნივთიერებები დაბინძურების პროგრესულილ შემცირება და ზედაპირული წყლების პრიორიტეტული სახიფათო ნივთიერებების შეწყვეტა და მიწისქვეშა წყლებში მავნე ნივთიერებების შეტანის პრევენცია და შეზღუდვა
- მიწისქვეშა წყლების ნებისმიერი მნიშვნელოვანი დამაბინძურებლების მზარდი ტენდენციის შეცვლა;
- სტანდარტებისა და მიზნების მიღწევა, რომლებიც მოსახლეობის კანონმდებლობაშია დადგენილი დაცული ტერიტორიებისთვის.



# წყლის ხარისხი

- წყლის ხარისხი შეიძლება განისაზღვროს ბიოლოგიური, ჰიდრომორფოლოგიური და ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლებით
- ხელოვნური (და ზოგჯერ ბუნებრივი) ცვლილებები მტკნარი წყლის ფიზიკურ და ქიმიურ ბუნებაში, წარმოქმნიან მრავალფეროვან ბიოლოგიურ ეფექტებს.
- არსებობს წყლის ხარისხის შემოწმების სხვადასხვა პროცედურები:
  1. ისტორიული მონაცემების ახალ მონაცემებთან შედარება
  2. საველე სამუშაო
  3. ლაბორატორიული შედეგები
  4. ბიბლიოგრაფია და ექსპერტთა ცონდა



# რა უნდა გავაკეთოთ?



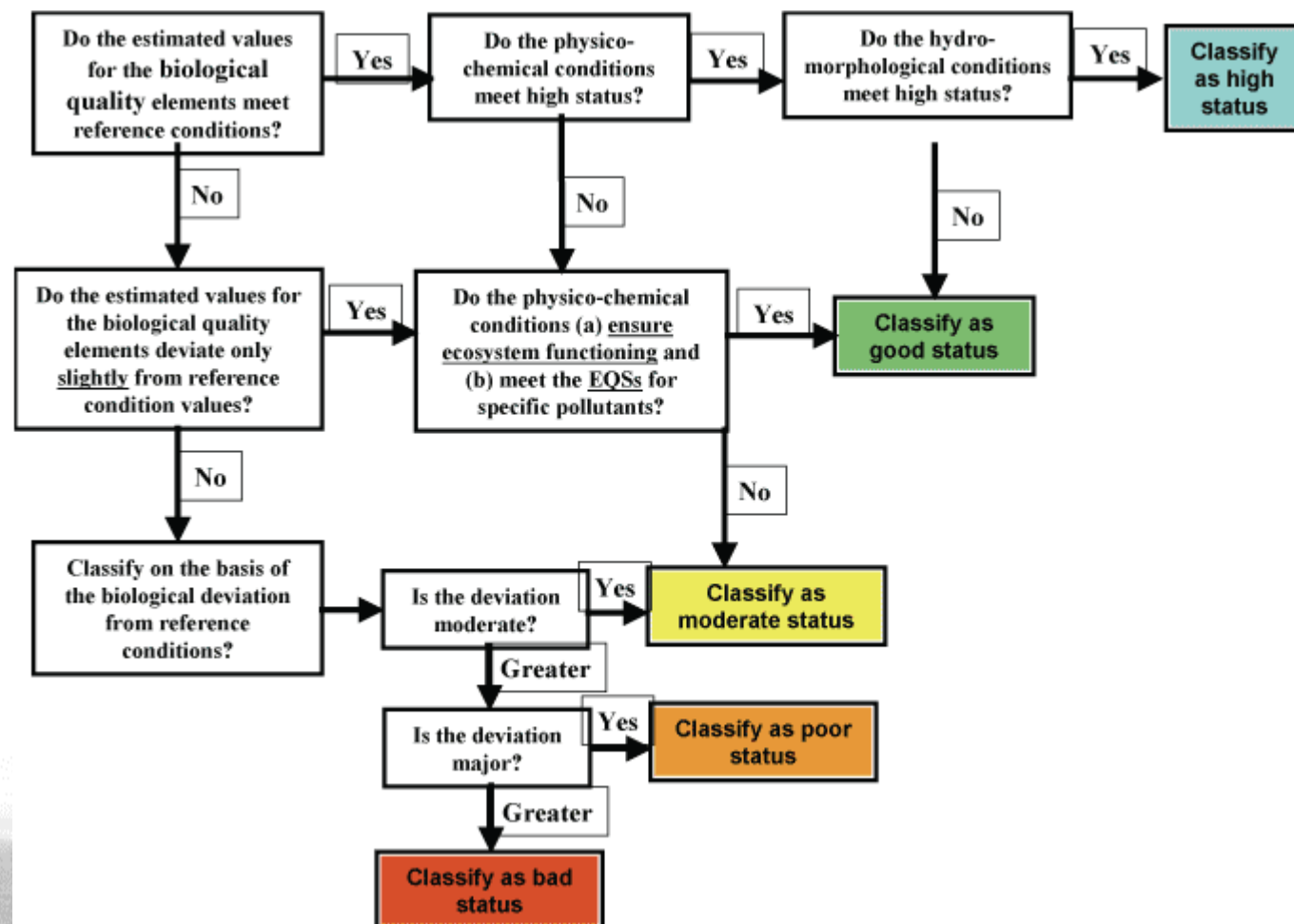
მთავარი ნაბიჯების განსაზღვრა:

1. ინტერვიუები სხვადასხვა დაინტერესებულ მხარეებთან და ინსტიტუციებთან მეტი ინფორმაციის შეგროვების მიზნით
2. ბიბლიოგრაფიის მიმოხილვა
3. საველე ვიზიტები შესაძლებელი მდინარის გავლენის, ზეწოლისა და სტატუსის შესამოწმებლად
4. მომავალი საჭიროებების დაგეგმვა მონიტორინგისთვის (სიხშირე, ადგილმდებარეობები, პარამეტრები) წყლის ხარისხის ევოლუციის ცოდნის გაზრდის მიზნით
5. გარემოსდაცვითი მიზნების მისაღწევად წარმოდგენილი ღონისძიებები

# ეკოლოგიური სტატუსი... როგორ შევაფასოთ მდინარეები?



- ჰიდრომორფოლოგიური პროცესები მდინარის ეკოლოგიის მთავარი კომპონენტია, რადგან ისინი ქმნიან ჰიდროდინამიკურ და ჰაბიტატურ პირობებს და ხელს უწყობს ბიოტას
- ჰიდრომორფოლოგიაზე ზეწოლა ერთერთი ყველაზე გავრცელებული მიზეზია წყლის ობიექტებისთვის WFD-ის გარემოსდაცვითი მიზანის შეუსრულებლობისთვის



# ელემენტები WFD-ის მიხედვით



- **სინჯების მეთოდები** და მოწყობილობები გამოყენებული იქნება მონიტორინგის პროგრამებში ევროპულ სტანდარტებზე დაყრდნობით.
- **ბიოლოგიური ხარისხის ელემენტები** აერთიანებს ამ მდინარეს: მაკრო უხერხემლოები (სიუხვე და შემადგენლობა)
- **ფიზიკურ-ქიმიური ხარისხის ელემენტები** ამ მდინარისთვის მოიცავს:
  - ზოგადი პირობებს
  - სპეციფიკურ სინთეზურ და არა სინთეზურ დამაბინძურებლებს
- წყლის სინჯების ანალიზი მოხდება EN, ISO და სხვა საერთაშორისო სტანდარტების მიხედვით
- **ჰიდრომორფოლოგიური ხარისხის ელემენტები** აერთიანებს შემდეგ ელემენტებს:
  - ჰიდროლოგიური რეჟიმი
  - მდინარის განგრძობადობა ან უწყვეტობა
  - მორფოლოგიური პირობები



# ხარისხის ელემენტები, როგორც წყლის ობიექტის მაჩვენებლები

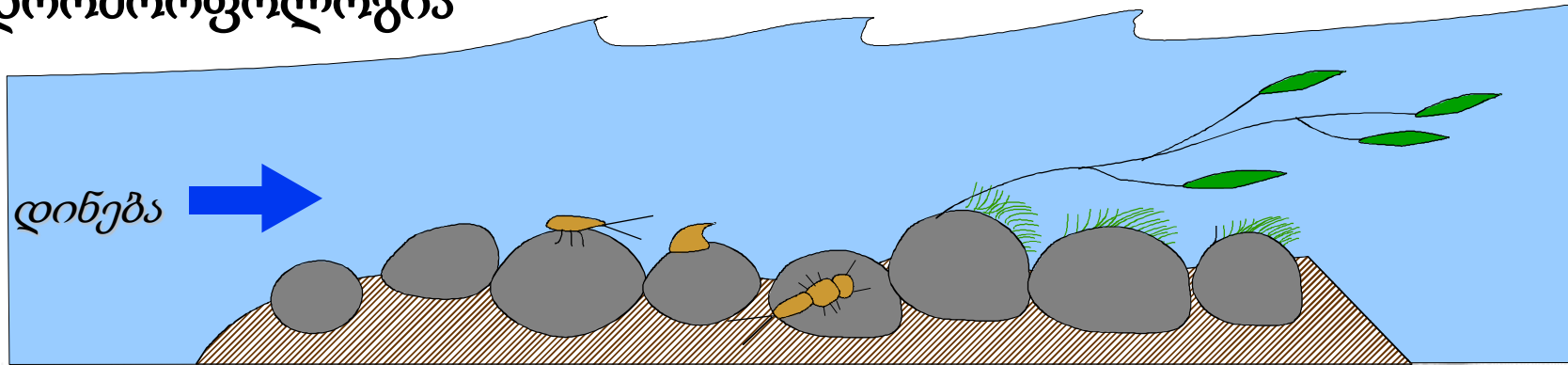


## ხარისხის ელემენტები

ფიზიკურ-ქიმიური

გამჭვირვალობა,  
ტემპერატურა,  
გამტარობა, ჟანგმადი,  
საკვები ნივთიერებები

ჰიდრომორფოლოგია



მდინარის ჰაბიტატი  
სანაპირო სახეობები

ბიოლოგიური ელემენტები

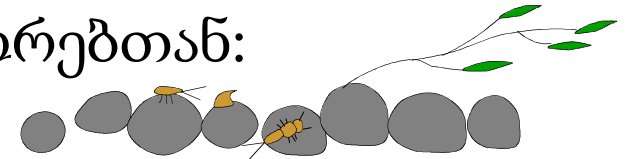
# ხარისხის ელემენტების მნიშვნელობა



WFD- ის განხორციელების სფეროში ფსკერზე მცხოვრები უხერხემლოები სასარგებლოა შემდეგი ტიპის ზეწოლის გამოვლენისა და მონიტორინგისათვის:

• ფიზ-ქიმიური ზეწოლა დაკავშირებულია შემდეგ ფაქტორებთან:

- თერმული დაბინძურება
- ცვლილებები წყლის მინერალიზაციაში
- ორგანული დაბინძურება
- ევტროფიკაცია
- ლითონების ან სხვა დამაბინძურებლებით დაბინძურება

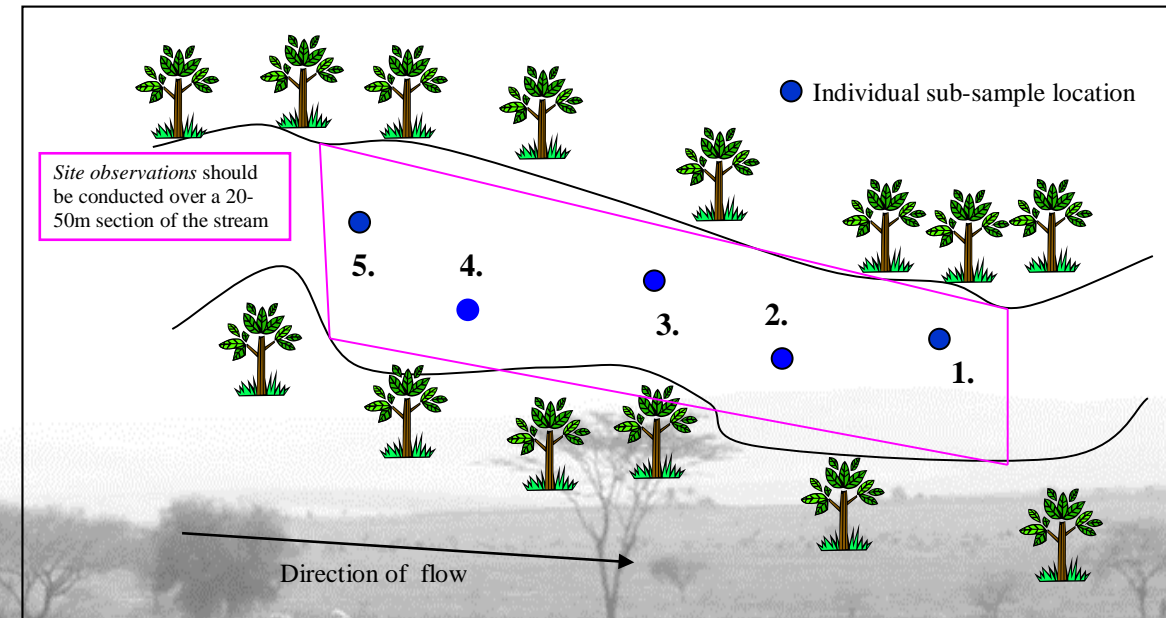
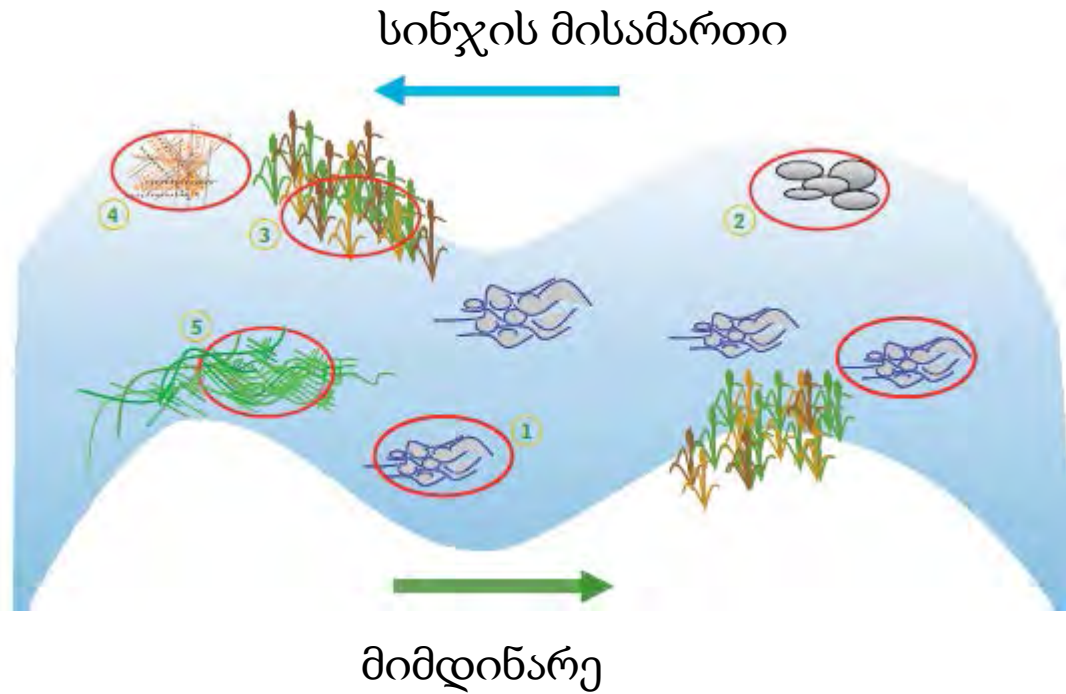


• ჰიდრომორფოლოგიური ზეწოლა დაკავშირებულია:

- შეცვლილ დინების რეჟიმთან
  - შეცვლილ მდინარის მორფოლოგიასთან



# წყლის ობიექტების მარვენებლები: ჰაბიტატი



# ჰაბიტატების მნიშვნელობა



- მტკნარი წყლის ეკოსისტემების დინამიკასთან დაკავშირებული ყველა თეორიული და ემპირიული კონსტრუქცია განსაზღვრავს ჰიდროლოგიას და ნალექის მოძრაობას, როგორც ფუნდამენტური ფიზიკური ჰაბიტატების შექმნას და შენარჩუნებას (Ritcher et al., 2006).
- ფიზიკური ჰაბიტატების მახასიათებლები წარმოადგენს მნიშვნელოვან ფაქტორს, რომელიც აკონტროლებს ფლუვიული ბიოლოგიური თემების სტრუქტურასა და შემადგენლობას და მათ ასევე შეუძლიათ მნიშვნელოვანი როლი ითამაშონ ფლუვიური ეკოსისტემის ფუნქციონირების განსაზღვრაში (Dent et al., 2002; Murray et al., 2008).
- ფიზიკური ჰაბიტატების მახასიათებლები მრავალი რესტავრაციის პროგრამის ყველაზე გავრცელებული მიზნებია (Palmer et al., 2010).

# (მიკრო-)ჰაბიტატის ტიპები



- მაღალი მიმდინარე სიჩქარით და მყარი სუბსტრატით
- ლატენტური მყარი სუბსტრატებით.
- ხის ნამსხვრევები.
- წყალქვეშა მაკროფიტებში ან მაკრო წყალმცენარეებში
- ქვიშით, ხრეშით ან ტალახით.



# (მიკრო-) კარგი ხარისხისთვის სასურველი ჰაბიტატების ტიპები



# შეთავაზებული პარამეტრების ნუსხა და სიხშირე



	Parameter	Unit
<b>Physico-chemical Quality Elements</b>		
<b>General conditions</b>		
	Temperature – in situ	°C
	Dissolved Oxygen – in situ	mgO <sub>2</sub> /l
	pH – in situ	pH units
	Conductivity – in situ	µS/cm
	Hardness	mg/l CaCO <sub>3</sub>
	Colour – in situ	visual
	o-Phosphate	mg P/l
	Nitrate	mg N/l
	Ammonium	mg N/l
	Chloride	mg/l
	Sulphate	mg/l
	Total suspended solids	mg/l
	Biochemical oxygen demand (BOD <sub>5</sub> )	mg O <sub>2</sub> /l
	Chemical oxygen demand (COD - dichromide)	mg O <sub>2</sub> /l
	Oil substances – in situ	visual
<b>Priority Substances and Certain Other Pollutants</b>		
All 'Priority substances and certain other pollutants' that can be analysed with the existing laboratory capacity		
<b>Biological Quality Elements</b>		
	Macroinvertebrates	Metrics
<b>Hydromorphological Quality Elements</b>		
	River flow	Daily Mean Flow (m <sup>3</sup> /s)

ფიზიკურ-ქიმიური  
ყოველ 3 თვეში

პარამეტრები:

მაკროუხერხემლოები: თითო ნიმუში  
წელიწადში, გაზაფხულზე იმავე  
დროს, როგორც ფიზიკურ-ქიმიური  
მაკროუხერხემლოების შერჩევას

ჰიდრომორფოლოგიური ელემენტები:  
1 შეფასება გაზაფხულზე  
მაკროუხერხემლოებთან და  
ფიზიკურ-ქიმიური



# საველე ვიზიტი მდინარე ლეღვთახევის აუზში



- 31 იანვარს შედგა საველე ვიზიტი გუნდის წევრებს შორის, რათა მიმოეხილათ:
  1. მდინარის ლოკაცია
  2. წყლის ხარისხი და ყველა აუზის სანაპირო მცენარეულობა
  3. შესაძლო ადგილები განისაზღვრა, სამონიტორინგო ადგილებად სამომავლო სინჯების აღებისთვის
  4. აუზის მთავარი ზეწოლა და გავლენები



# ადგილი 1 ზემო დინება წავკისი



დინება ძალიან ვიწროა ამ მიდამოში, მდინარის მონაკვეთს კვეთს ძველი მილსადენები. ამ ადგილას ცოტა სახლია. მცენარეულობა კარგად დაცულია და წარმოადგენს ტიპიურ მდინარის ხეებს.

# ადგილი 2 წავკისი (დინების შუა ნაწილი)



ნაგავი აუზში, მდინარის წყალშემკრები სხვადასხვა ხეებით, მაგრამ შეზღუდული მცენარეებით, ერთი მილსადენი მდინარის აუზში

# ადგილი 3 წავკისი (მდინარის შუა ნაწილი)



აუზში არის ნაგავი, რამოდენიმე მილსადენი კვეთს მდინარეს, მდინარის წყალგამყოფი შეზღუდული მცენარეებით

# ადგილი 4 შინდისი (დასახლების ქვემოთ)



ნაგავი აუზში და მდინარეში; ჰიდრომორფოლოგიური ცვლილებები ნაპირებზე, წყალი ბეტონის მილებში, პირუტყვის არსებობა მდინარეში, არ არის სანაპირო მცენარეულობა წყალგამყოფში

# ადგილი 5 შინდისი (ხიდის ქვემო დინებასთან)



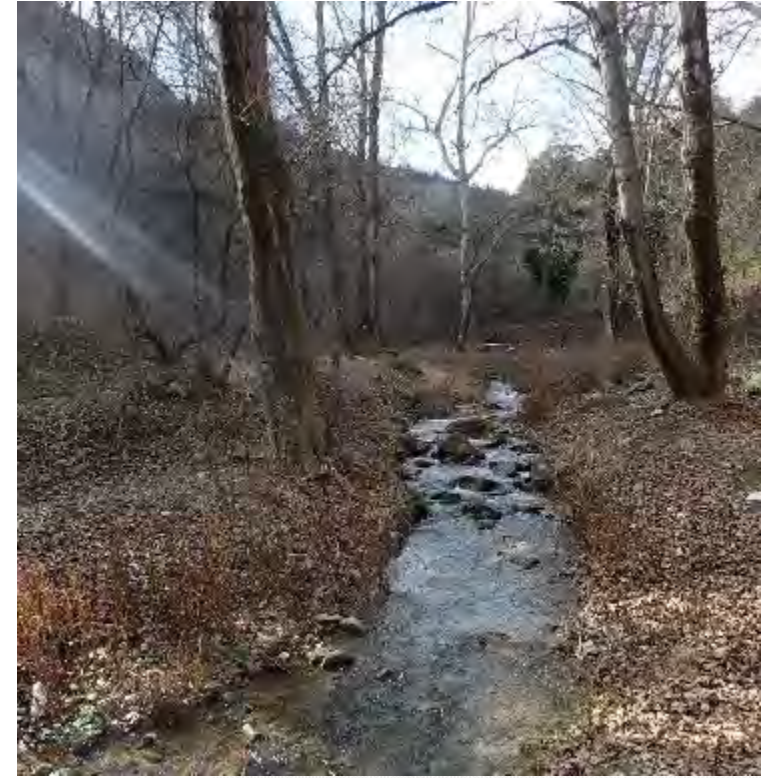
მდინარე კლდოვან აუზში მიედინება, წყალშემკრებში რამოდენიმე სანაპირო მცენარეულობაა, აუზში შეიმჩნევა მწვანე წყალმცენარეები და მაკრო წყალმცენარეები (მიდამოში ორგანული დაბინძურებაა)

# SITE 6 ბოტანიკური ბაღი (ზედა დინება)



მდინარის კონკრეტული ადგილიდან წყალაღება, სახეზეა ხის ნარჩენები/ნაფოტები რომელიც შეიძლება იყოს თავშესაფარი მაკროინვერტებისთვის და ზრდის ბიომრავალფეროვნებას და სამომავლო სინჯების აღების კარგი ინდიკატორების შესაძლებლობას , აქვე წარმოდგენილია სხვადასხვა გაბიონები

# Site 6 ბოტანიკური ბაღი (ზედა დინება)



მდინარე კლდოვან აუზში მიედინება როგორც წია სექციებში, ბუნებრივი ჭალის მცენარეულობა წყალშემკრებში, აუზში ადგილი აქვს მწვანე წყალმცენარეებს (ორგანული დაბუნძურება), ადგილი აქვს თეთრ ქაფს ახალი შენობების ქვედა დინებაში

# SITE 6 ბოტანიკური ბაღი (ქვედა დინება)



მდინარე კლდოვან აუზში მიედინება როგორც წია სექციებში, ბუნებრივი ჭალის მცენარეულობა წყალშემკრებში, აუზში ადგილი აქვს მწვანე წყალმცენარეებს (ორგანული დაბუნძურება), მაგრამ საბოლოო ჯამში მდინარის გამჭირვალობა მაღალია და არ შეიმჩნება ნარჩენები

# მტკვარადგილი 7 ქვემო დინება- შენაკადი ი



მდინარე კლდოვან აუზში მიედინება ძველი თბილისის დაბალ, ტურისტული ადგილების აზლოს სადაც მდებარეობს აბანოები, 50 მ, მტკვარის ზემო დინება. სუფთაა და მდინარე განჭირვალე, მაგრამ არის დიდ რაოდენობით მწვანე წყალმცენარეები (მაკროფიტები) რომელიც გამოწვეულია ოგრანული დაბინძურების შედეგად

# დასკვნები მდინარის სტატუსის შესახებ



1. საველე გავლის დროს მონიტორინგისთვის რამოდენიმე საინტერესო ადგილის ონახულება მოხდა და რეკომენდირებულია როგორც ოფიციალური საიტი : SITES 1-7
2. ზოგადად მდინარის აუზში არსებობს სხვადასხვა ზეგავლენა, რომელიც ძირითადად გამოწვეულია მიმდებარე დასახლებებში ადამიანის საქმიანობების შედეგად (მიწები, ნარჩენები მდინარეში, ორგანული დაბინძურება მოუწესრიგებელი კანალიზაციიდან, რომელიც მოდის ძველი და ახალი დასახლებებიდან)
3. საჭიროა სამუშაოები ნარჩენების და ძველი ინფრასტრუქტურის გატანისთვის
4. განხორციელდა შესაძლო პარამეტრების სიის და სამომავლო მონიტორინგის სიხშირის პრეზენტაცია მოხდა იმისთვის რომ მომხდარიყო ეკოლოგიური სტატუსის შეფასება



# შემდეგი ნაბიჯები



- ❑ დაადასტურეთ ადგილების მონიტორინგი, სიხშირე და პარამეტრების ჩამონათვალი ეკოლოგიური შეფასებისთვის: შეთავაზებული ადგილები 1-7 მდინარეში
- ❑ განსაზღვრეთ ვინ ხელმძღვანელობს მონიტორინგს რისკის შეფასების დადგენისა და დამტკიცების შესახებ
- ❑ შეაგროვეთ საველე და ლაბორატორიული შედეგები და მოამზადეთ ეკოლოგიური სტატუსის შეფასება
- ❑ მოაწყვეთ საველე სამუშაოები, რათა მოახდინოთ დიფუზური დაბინძურების წყაროსა (მდინარის ნაპირის ნაგავი) და იქ ძველი ინფრასტრუქტურის მოსპობა, რომელიც უზრუნველყოფს მდინარის კავშირს და ადგილის უკეთეს ვიზუალურ ასპექტს
- ❑ შეიყვანეთ მდინარე მდინარის აუზის გეგმის მართვაში ადგილზე სხვა აქტივობების კოორდინაციისთვის (სამუშაოები აუზში, საზოგადო გამოყენება, დასახლების განვითარება...) აუზისთვის განსაზღვრული გარემოსდაცვითი მიზნების მიხედვით

# შეთავაზებული მიტიგაციის ლონისძიებები: სედიმენტების მართვა



- სედიმენტების ეფექტური მართვის: სადიმენტი აყალიბებს სხვადასხვა სახის ჰაბიტატს, რომელიც პირდაპირ და არაპირდაპ უზრუნველყოფს ფლორისა და ფაუნის ფართო სპექტრს. ეს გადაწყვეტილება შეთავაზებულია მდინარის შუა ნაწილებისთვის (ადგილი 4, 5 და 6)



✘ Poor practice. Lack of vegetation and poaching of the ground by livestock has led to increased bank erosion and input of fine sediment to the watercourse.



✔ Good practice. Creation of a butter strip by fencing off the river bank from livestock and allowing bank side vegetation to establish has strengthened the bank, reduced erosion and reduced input of fine sediments.

# შეთავაზებული მიტიგაციის ღონისძიებები: მცენარეების ეფექტური მართვა



- მცენარეების ეფექტური მართვა: მცენარეულობა მდინარის ეკოსისტემების ბუნებრივი ნაწილია, რომელიც უზრუნველყოფს ჩრდილს და საფარს; ხელს უწყობს ნაპირის სტაბილურობას; აუმჯობესებს არხის ფიზიკურ თვისებებს; უზრუნველყოფს ხის ნარჩენების შეყვანას; ფილტრავს ნალექს და მოქმედებს როგორც საკვები ნივთიერებების წყარო ფაუნისა და ფლორის მხარდასაჭერად.

Strategy

## Watercourse Improvements

- Improved channel hydraulics, water quality, aquatic and riparian habitat.
- Improved Protection of Infrastructure Crossings
- Better protection of private property.
- Amenity to local community



# შეთავაზებული მიტიგაციის ღონისძიებები: თევზის გასასვლელის გაუმჯობესება



- **თევზის გასასვლელის გაუმჯობესება:** უნდა აღინიშნოს, სტრუქტურების ამოღების შემთხვევაში, უნდა გატარდეს სხვა ღონისძიებები, ჰაბიტატის ზემო და ქვემო დინების გასაუმჯობესებლად მას შემდეგ, რაც დინების და ნალექის რეჟიმი მოასწრებს შეგუებას.
- თევზი გაივლის მდინარის სისტემას
- სატუმბი სადგურიდან ამოღების მიტიგაცია  
ეს გადაწყვეტილება შეთავაზებულია მდინარის შუა ნაწილებისთვის (ადგილი 4, 5, 6, და 7)



# შეთავაზებული მიტიგაციის ღონისძიებები: გამტარი მილების მოდიფიკაცია



- გამტარი მილების გაუმჯობესება მდინარეში: ღონისძიებების განხორციელება ხელს შეუწყობს წყლის ჩარჩო დირექტივების მოთხოვნების გატარებას, შემდეგი ქმედებებით:
- უფრო ბუნებრივი, გამძლე მდინარის სისტემის რეკრეაცია, რომლის ფარგლებშიც შესაძლებელია ჰიდრომორფოლოგიური და ეკოლოგიური პროცესების აღდგენა.
- თევზის გასასვლელის გაუმჯობესება ან აღდგენა; სხვა მობილური ჯიშებისთვის უპირატესობის შეთავაზებით (მაგალითად უხერხემლოები).
- ღირებული ჰაბიტატის ხელმისაწვდომობის უზრუნველყოფა, რომელიც სხვაგვარად შეიძლება იყოს იზოლირებული მიგრირებადი სახეობიდან.
- გამტარი მილებმა შეიძლება ხელი შეუშალოს სხვა სახეობების გრძივ გადაადგილებას, როგორცაა ძუძუმწოვრები
- ეს გადაწყვეტილება შეთავაზებულია მდინარის შუა ნაწილებისთვის (ადგილი 3 და 4)





# განზოგადება და შემდგომი აპლიკაცია

წყალდიდობის შემარბილებელი ღონისძიებების შეფასება  
თბილისში, საქართველო



# შინაარსი



1. განზოგადება და შემდგომი აპლიკაცია
2. რეკომენდაციები



# განზოგადება და შემდგომი აპლიკაცია



- მიდგომის გამოყენება/მეთოდოლოგია მსგავს წყალშემკრებებში
- განხორციელება დიდ წყალშემკრებებში



# განზოგადება და შემდგომი აპლიკაცია



- მიდგომის გამოყენება/მეთოდოლოგია მსგავს წყალშემკრებებში
  - პირობების ინდივიდუალური გათვალისწინება
    - არსებული მონაცემები
    - ტოპოგრაფიული პირობები
    - დაზიანების პოტენციალი და საჭირო სიზუსტე
- მიდგომის შერჩევა
  - 1D/2D/გაერთიანებული
  - მონაცემთა შეგროვება

პრიორიტიზება



# განზოგადება და შემდგომი აპლიკაცია



- განხორციელება დიდ წყალშემკრებებში
  - წყალშემკრების ზომა მნიშვნელოვანია
  - ხელმისაწვდომი მონაცემები
  - საჭირო სიზუსტე
  - გამოთვლის ძალა/შესაძლებლობა
  - მიდგომის შერჩევა
- შესაძლოა გაერთიანებული მიდგომა „ცხელ წერტილებზე“ ხაზგასმით (წყალშემკრების ზომის ჰიდროლოგიური მოდელი „ცხელ წერტილებში“ შევსებული მოდელებით)



# რეკომენდაციები

- წყალშემკრების მართვა
- წყალშემკრების მოვლა-პატრონობა
- წყალდიდობის ადრეული შეტყობინების სისტემა (დინამიური)
- წყალდიდობის ზონირება და დაგეგმვა (სტატიკური)



# რეკომენდაციები



- წყალშემკრების მართვა
  - წყალშემკრების გამოყენების რეგულაცია
  - წყალშემკრების მდგომარეობის გაუარესების თავიდან აცილება
  - სოფლის მეურნეობა **ვინ და როგორ**
  - კერძო კონსტრუქციები **რეგულაციები ჩამონადენის შემცირებისთვის**
    - დრენაჟი
  - საზოგადო ინფრასტრუქტურის კონსტრუქციები
  - მოვლა-პატრონობა

# რეკომენდაციები



- წყალშემკრების მოვლა-პატრონობა
  - კოლექტორები და ნაკადები
    - თავისუფალი დრენაჟის უზრინველყოფა
  - წყალსაცავები და ჭალები
    - შეკავების შესაძლებლობების შენარჩუნება
- ორივე, კერძო და საზოგადო
- გასათვალისწინებელია რეგულაციებში – აუცილებელია მიდევნება

# რეკომენდაციები



- წყალდიდობის ადრეული შეტყობინების სისტემა
  - რეაგირების პოტენციალის გათვალისწინება
    - რა შეიძლება შენარჩუნდეს განგაშის დროს (ადამიანთა სიცოცხლე/ მობილური აქტივები)
  - მონიტორინგის საჭიროებების გათვალისწინება
  - რეალური დროის ანალიზის საჭიროება
    - წინასწარ განსაზღვრული გამომწვევი სცენარები
    - მოდელირება რეალურ დროში
    - გაფრთხილების მექანიზმები
  - ტრენინგი

# რეკომენდაციები



- წყალდიდობის ზონირება და დაგეგმვა
  - საფრთხეების ზონების განსაზღვრა სხვადასხვა მოვლენებისთვის, მიმდინარე და სამომავლო
  - რეგულაციების გამოყენება
  - სამშენებლო კოდექსი



