

# Aiviekstes baseina hidroloģijas matemātiskā modelēšana

*Juris Senņikovs*

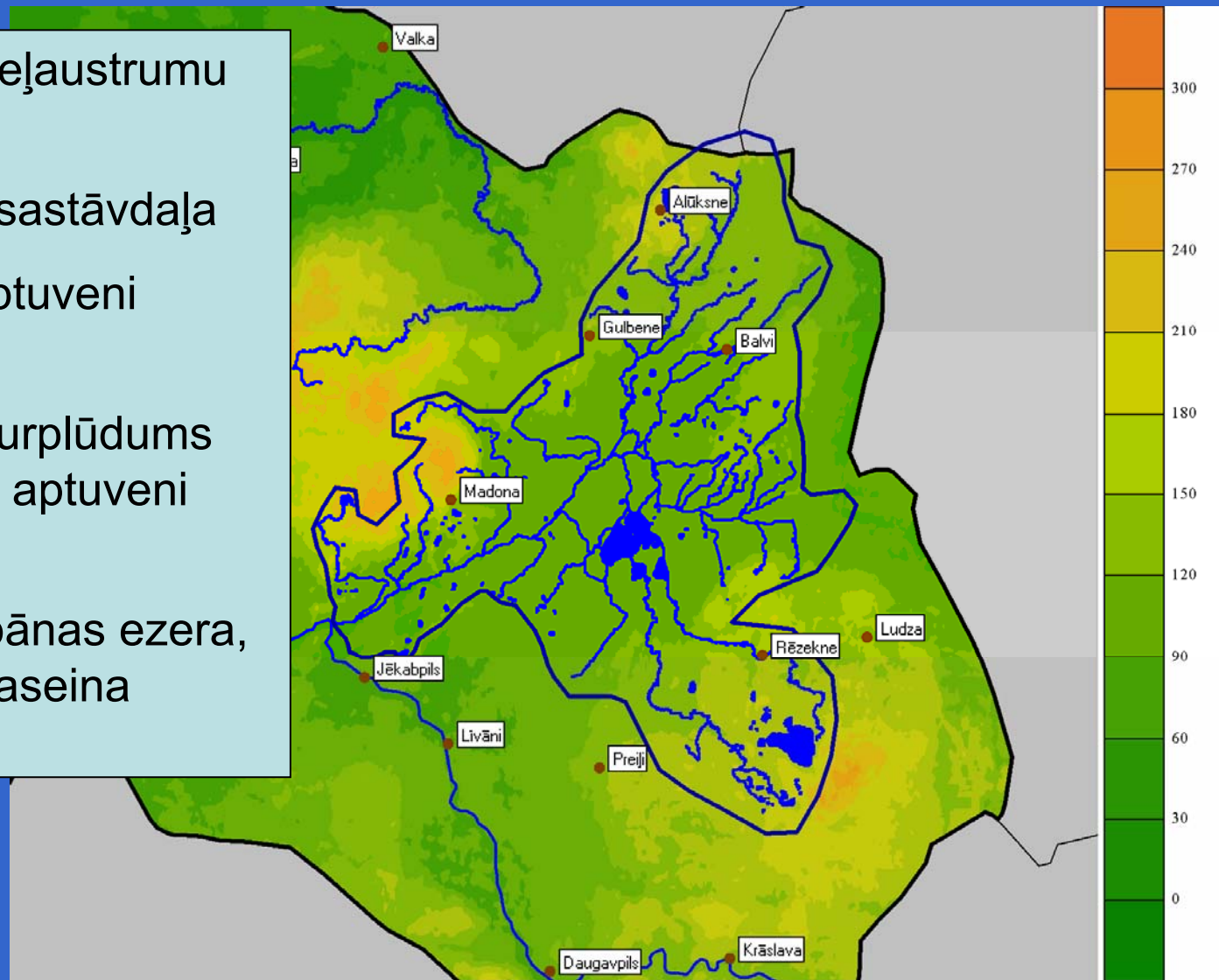
Vides un tehnoloģisko procesu matemātiskās modelēšanas laboratorija,  
Fizikas un matemātikas fakultāte,  
Latvijas Universitāte

*Laikā un telpā sadalīts Aiviekstes ūdensbaseina hidroloģijas un hidraulikas modelis ir izveidots un kalibrēts tipiskam, sausam un slapjam hidroloģiskajiem režīmiem*

*Vairāku klimata izmaiņu scenāriju ietekme uz baseina hidroloģisko režīmu aprēķināta ar izveidoto modeli.*

# Īsumā par Aiviekstes noteces baseinu

- Atrodas Latvijas ziemeļaustrumu daļā
- Ir Daugavas baseina sastāvdaļa
- Baseina laukums ir aptuveni 9000 km<sup>2</sup>
- Aiviekstes vidējais caurplūdums pie ietekas Daugavā ir aptuveni 60 m<sup>3</sup>/s
- Aiviekste iztek no Lubānas ezera, kas atrodas noteces baseina vidusdaļā



## **Mūsu pieeja hidroloģiskajai modelēšanai**

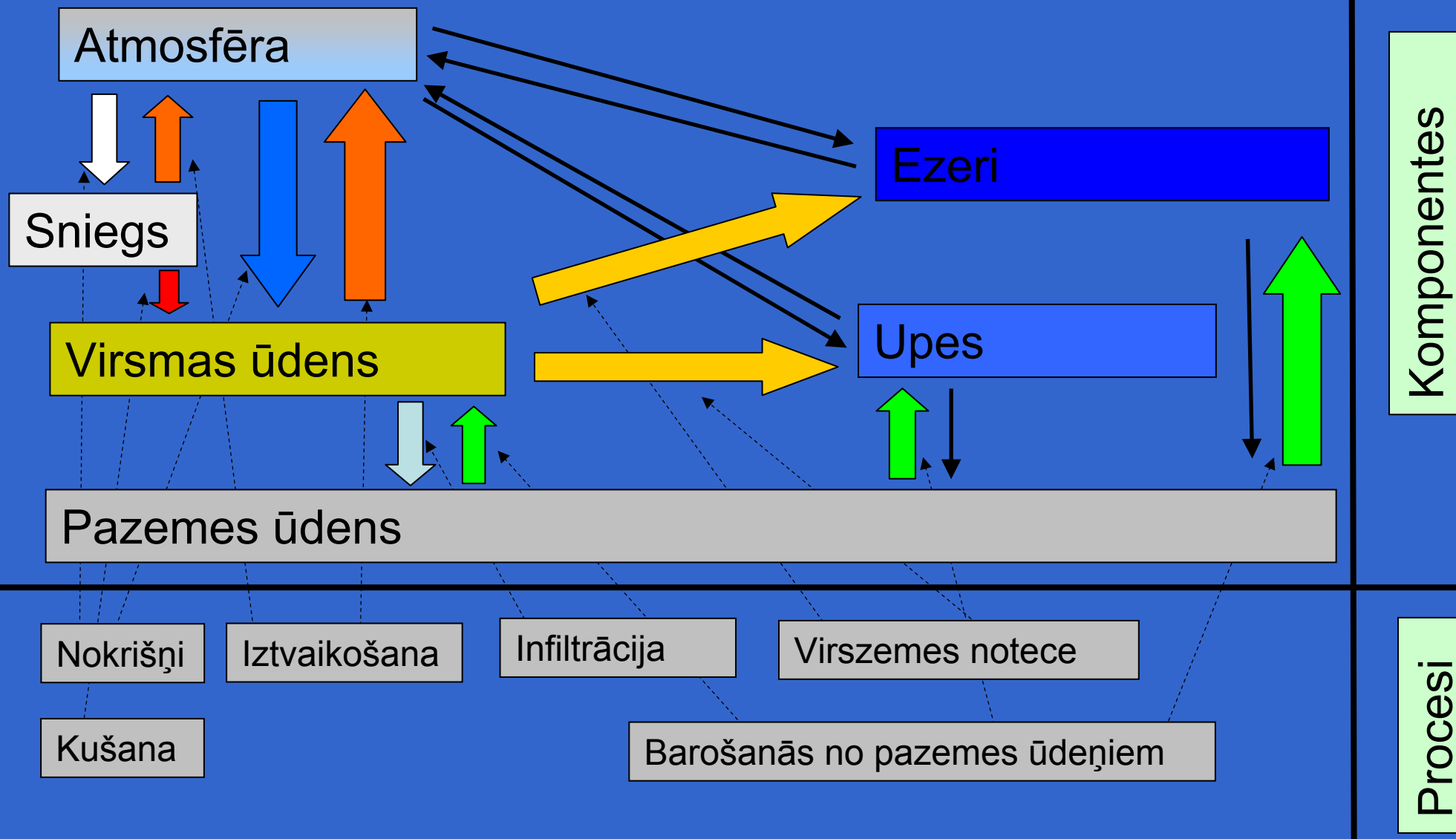
*Laikā un telpā sadalīts uz fizikāliem apsvērumiem balstīts modelis*

*Iepriekšminētais nozīmē, ka viss baseins ir sadalīts [trijstūra] galīgajos elementos, katrā elementā tiek rēķināta hidroloģiskā ūdens bilance. Upju tīkls ir sadalīts galīgajos elementos – nogriežņos, upēm piegulošie virsmas ūdens elementi veido upju noteci, kuras transformācija [sadalījums pa] upju tīklā tiek aprēķināta ar hidraulikas modeli.*

## **Modeļa galvenās sastāvdaļas ir**

- Virsmas ūdens modelis – būtiskākais aprēķināmais mainīgais tajā ir ūdenssaturš.
- Grunts un pazemes ūdens modelis, aprēķināmais mainīgais – gruntsūdens līmenis.
- Upju hidraulikas modelis – aprēķina upju ūdenslīmeni un caurplūdumu
- Ezeru modelis, kas aprēķina ezera ūdenslīmeni

# Hidroloģiskā modeļa vienkāršota diagramma



Virsmas ūdens  
plūsmas virziens

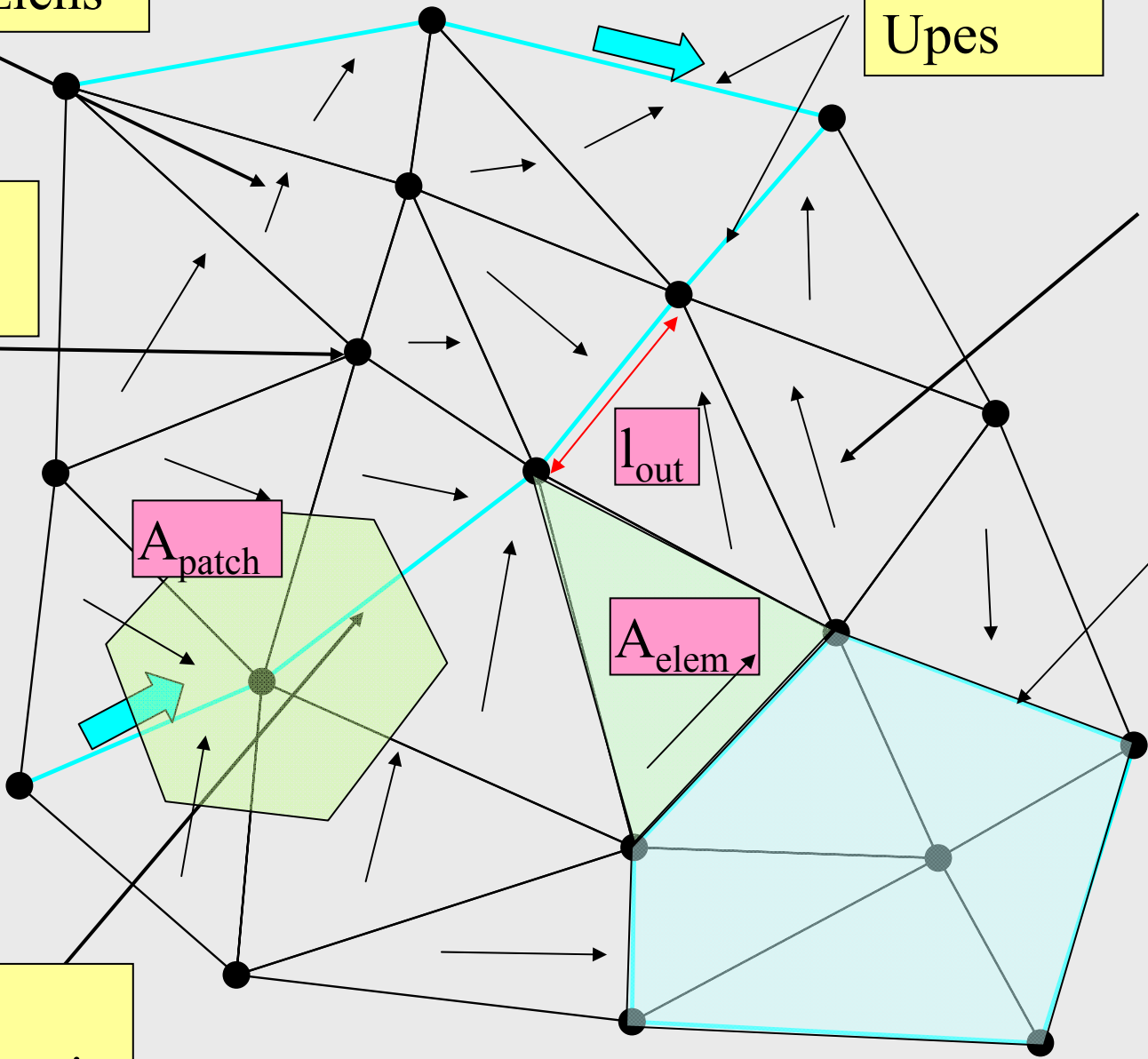
Režģa  
punkts

Upes

Režģa  
elements

Ezers

Upes  
nogrieznis



## Virsmas ūdens modelis

Galvenās sastāvdaļas:

- Nokrišņi (lietus)
- Sniega kušana
- Iztvaikošana un transpirācija
- Infiltrācija
- Barošanās no pazemes ūdeņiem
- Virsūdens plūsma

Galīgo tilpumu modelis trijstūra elementos (aprēķināmie mainīgie uzdoti trijstūros)

Virsūdens plūsma notiek virsmas līmeņa negatīvā gradienta virzienā (“pa visstāvāko nogāzi”)

$$\frac{dw}{dt} = P - E - V_{infiltr} + V_{surface} - \sum_i V_{runoff}^{-(i)} + \sum_i V_{runoff}^{+(i)} + V_{snow}$$

P – nokrišņi (lietus)

w – ūdenssaturš (= $w_{intercepted} + w_{ponded}$ )

E – iztvaikošana

$V_{surface}$  – barošanaš no pazemes ūdeņiem

$V_{runoff}^-$ ,  $V_{runoff}^+$  - virsūdens plūsmas

$V_{snow}$  – sniega kušana

$$V_{runoff} = \frac{1}{n} (w - w_{intercepted})^{2/3} S_0^{1/2} \cdot \frac{l_{out}}{A_{elem}}$$

Ja  $w > w_{intercepted}$

n – berzes koeficients virsūdens plūsmas (atkarīgs no zemes lietojuma veida)

$S_0$  – virsmas slīpums

## Iztvaikošanas uzdošanas veids

$$E = K_e(w)(e_{sat}(T) - e)$$

## Sniega kušanas modelis

Aprēķināmais mainīgais – ūdenssaturš sniega formā

$$\frac{dS}{dt} = P_s - V_{snow}$$

$S$  – ūdenssaturš sniega formā

$P_s$  – nokrišņi (sniegs)

$V_{snow} = C_{MELT} (T - T_2)$  – sniega kušanas ātrums

$T_2$  – bāzes temperatūra ( $>0^\circ\text{C}$ )



## Pazemes ūdens modelis

Aprēķina pazemes ūdens līmeni

Sastāvdaļas:

- Darsī filtrācijas plūsma
- Infiltrācija
- Virsmas ūdens un upju barošanās no pazemes ūdens
- Plūsma uz/no ezeriem

Galīgo elementu modelis, mainīgie trijstūra režģa punktos

$$(h - z_g) S_s \frac{\partial h}{\partial t} = \nabla \cdot (K(h - z_g) \nabla h) + V_{infiltr} - V_{river} - V_{surface}$$

$h$  – ūdenslīmenis

$z_g$  – efektīvā sprostsļāņa līmenis

$K$  – filtrācijas koeficients

Ezerā  $h = h_{lake}$

Upju barošanās

$$V_{river} = \frac{K(h - h_{river})}{\Delta l_{river}}$$

Ja  $h > h_{river}$

$\Delta l_{river}$  – empīrisks

Virsmas ūdens barošanās

$$V_{surface} = \frac{K(h - (h_{surface} - \Delta h_{surface}))}{\Delta l_{surface}}$$

Ja  $h > (h_{surface} - \Delta h_{surface})$

$\Delta l_{surface}$  – empīrisks

$\Delta h_{surface}$  – virsmas līmeņa korekcija

## **Upju hidraulikas modelis**

Aprēķināmie mainīgie – ūdenslīmenis un caurplūdums

Sen-Venāna vienādojumi

Nobīdīto galīgo diferenču metode (līmenis punktos, caurplūdums nogriežņos)

Ieejas dati – upes grunts slīpums un šķērsgriezumi

Ūdens avoti – virsūdens plūsma, barošanās no pazemes ūdens

## Ezeru modelis

Aprēķina ezera ūdenslīmeni un no ezera izplūstošo upju caurplūdumu

Ūdens avoti – virsmas ūdens, upes, pazemes ūdens

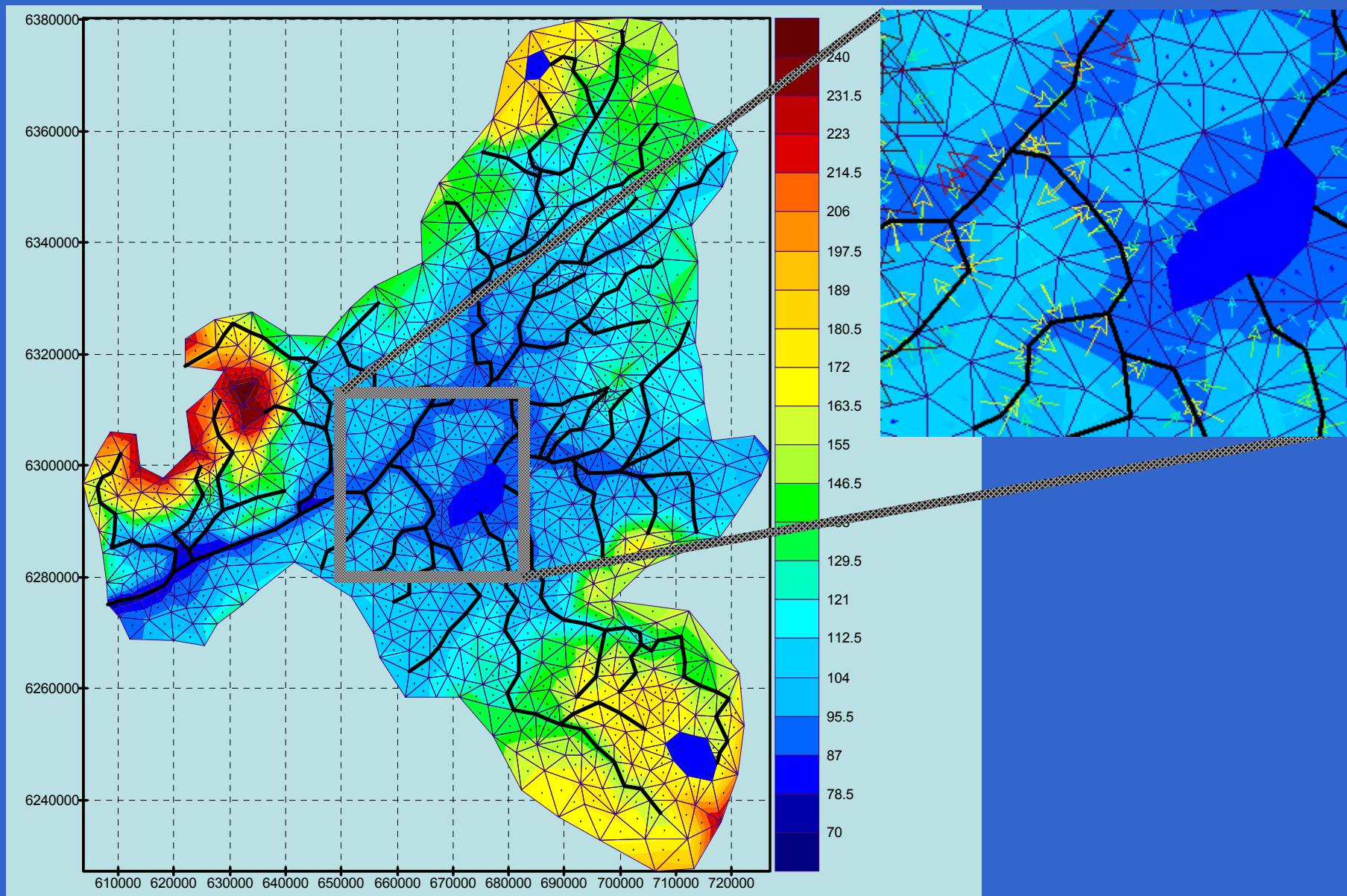
Ūdens noteces – upes, pazemes ūdens

$$A_{lake} \frac{dh_{lake}}{dt} = \sum_i Q_{riverin}^{(i)} - \sum_i Q_{riverout}^{(i)} + \sum_i V_{runoff}^{(i)} l_{out}^{(i)} (w - w_{intercept})^{(i)}$$
$$+ \oint_{\Gamma} K \frac{\partial h}{\partial n} (h - z_g) d\Gamma \quad \{+P - E\}$$

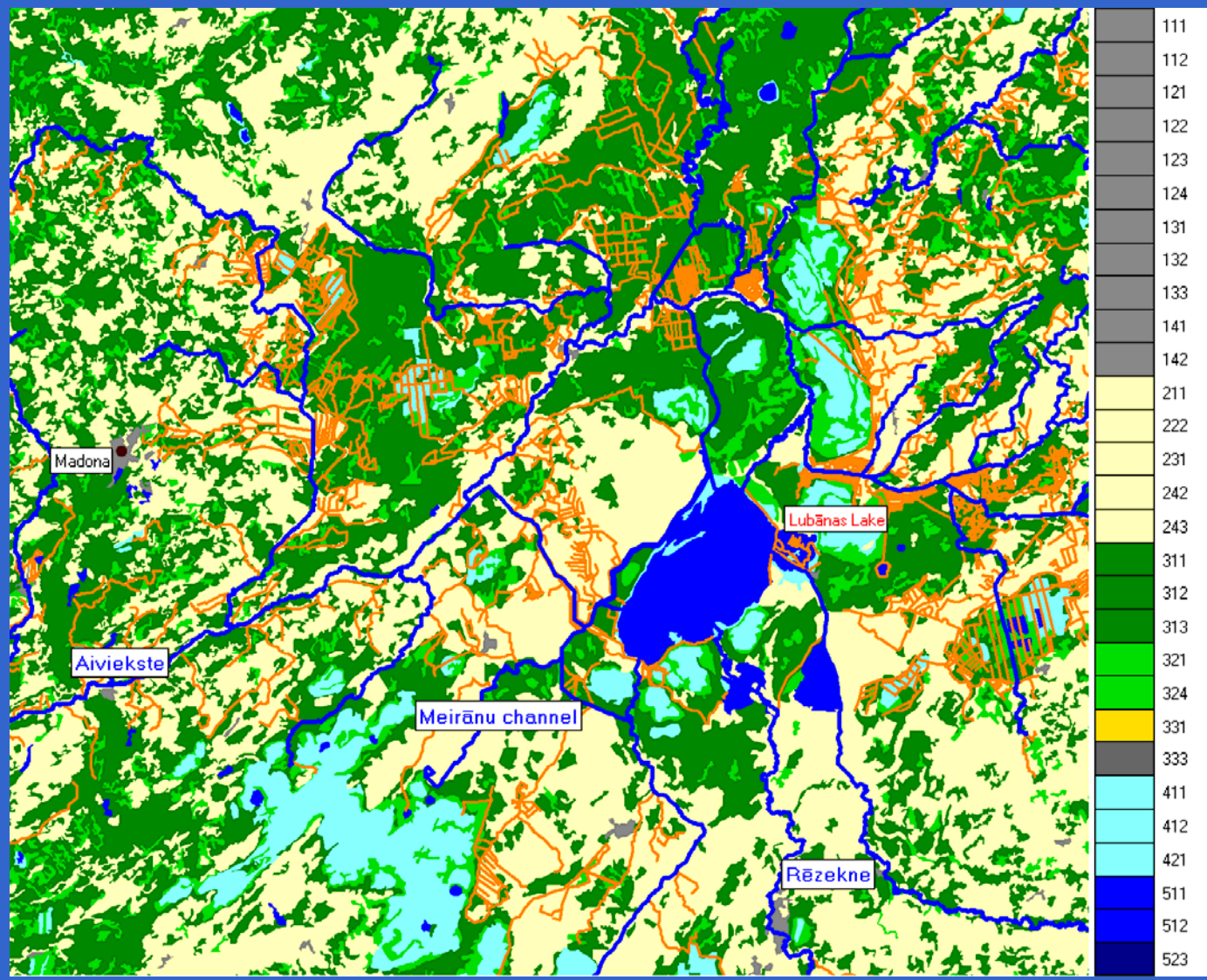
## Modeļa ieejas dati

- **Zemes virsmas topogrāfija [augstumi] + upju tīkls** => modeļa režģis, modeļa upju tīkls, modeļa ezeru robežas
- **Zemes lietojuma dati** [*National CORINE Land Cover 2000 in Latvia* ] => sagrupēti 6 galvenajos tipos (no hidroloģijas modeļa viedokļa) (lauksaimniecības zeme, meži, pļavas/krūmi (dabiskie), purvi, ūdenstilpnes), modelis ņem vērā katra zemes lietojuma proporcijas katra no virsmas ūdens aprēķina elementiem
- **Upju caurplūduma novērojumi** 7 stacijās [*A.Zīverts*]
- **Ikdienas meteoroloģiskie dati (nokrišņi un gaisa temperatūra)** Rēzeknē, Zīlānos un Gulbenē [LVGMA]

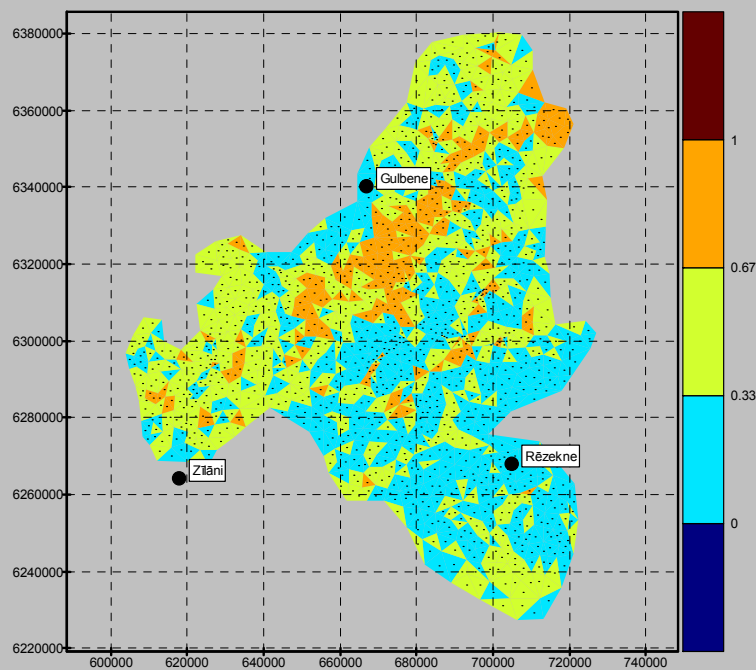
# Modeļrežģis un modeļa upju tīkls



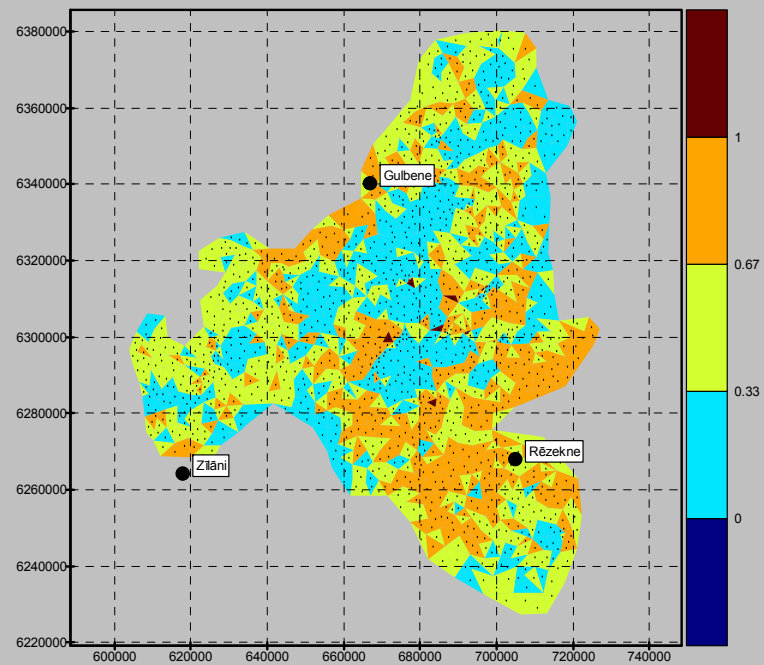
# Zemes lietojums no *CORINE*



# Zemes lietojuma procentuālais dalījums pa modeļa elementiem



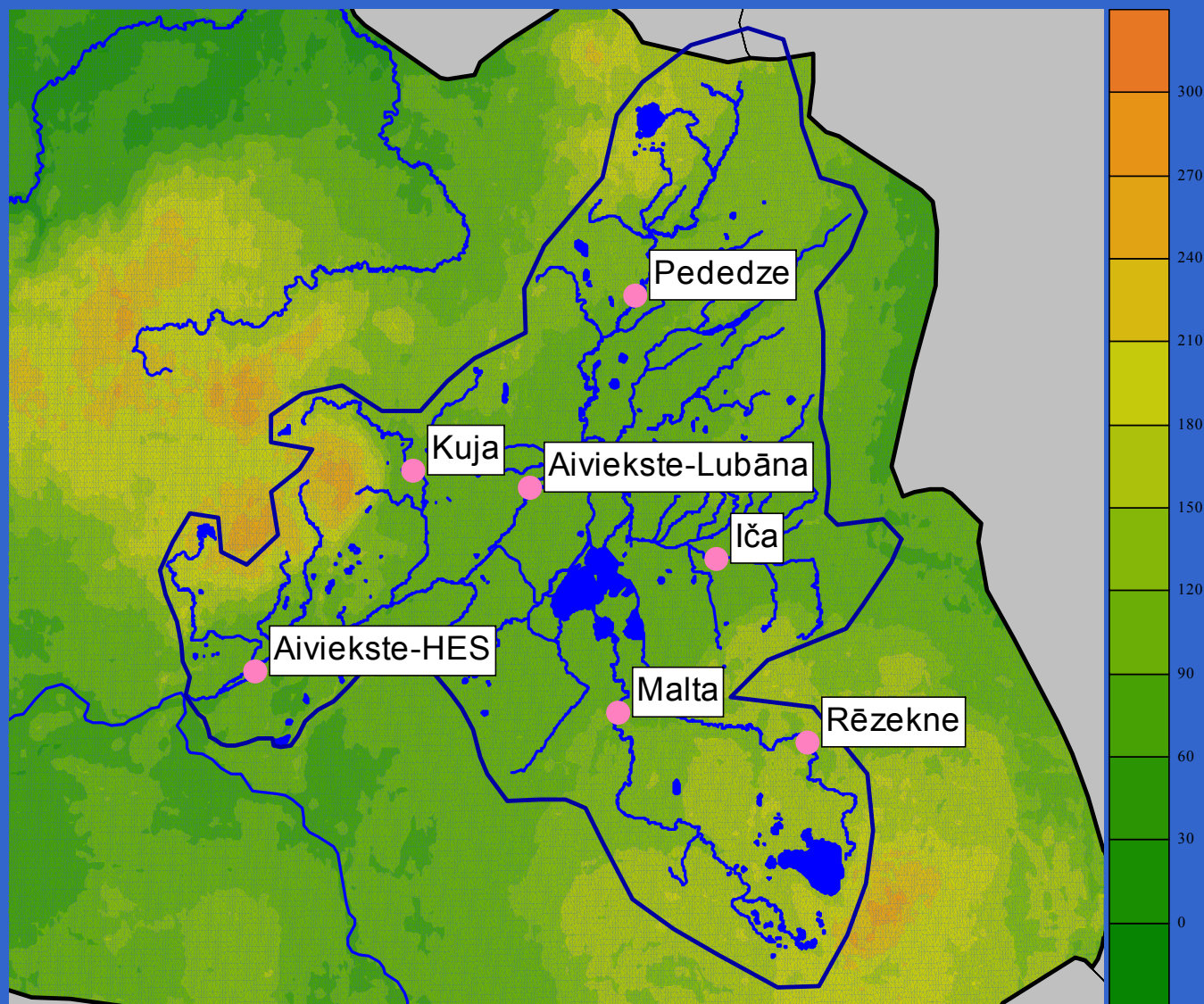
Meži



Lauksaimniecība



# Caurplūduma novērojumu stacijas



## Kalibrācijas scenāriju izvēle

Tika aplūkoti trīs dažādi gadi

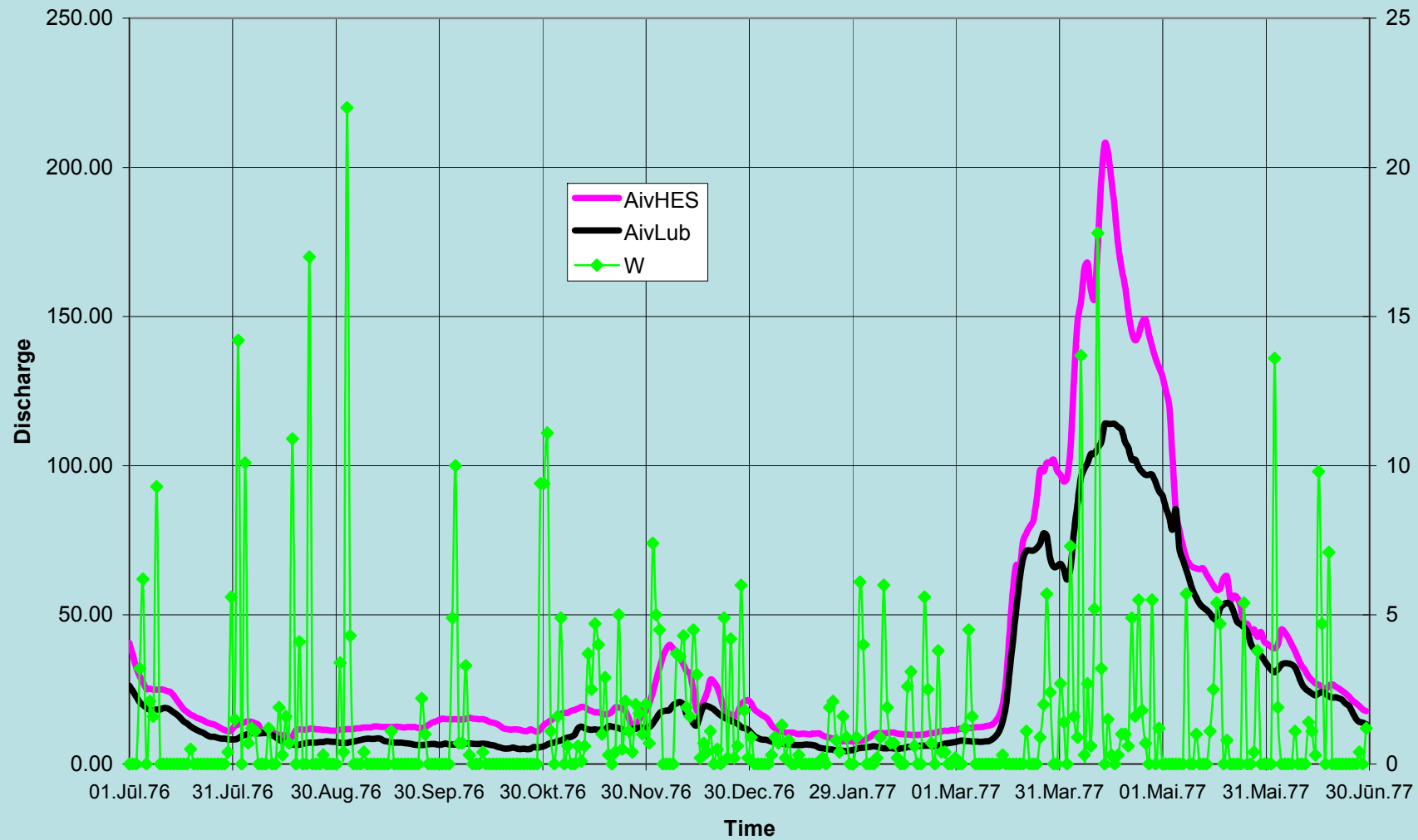
- Laika periods no Jūl/76 līdz Jūn/77 tika pieņemts kā “sauso” gadu reprezentējošs, gada nokrišņu summa 518 mm, gada vidējais caurplūdums 35 m<sup>3</sup>/s
- Laika periods no Jūl/77 līdz Jūn/78 tika pieņemts kā “vidējo” gadu reprezentējošs, gada nokrišņu summa 660 mm, gada vidējais caurplūdums 57 m<sup>3</sup>/s
- Laika periods no Jūl/79 līdz Jūn/80 tika pieņemts kā “slapjo”, gadu reprezentējošs, gada nokrišņu summa 762 mm , gada vidējais caurplūdums 92 m<sup>3</sup>/s



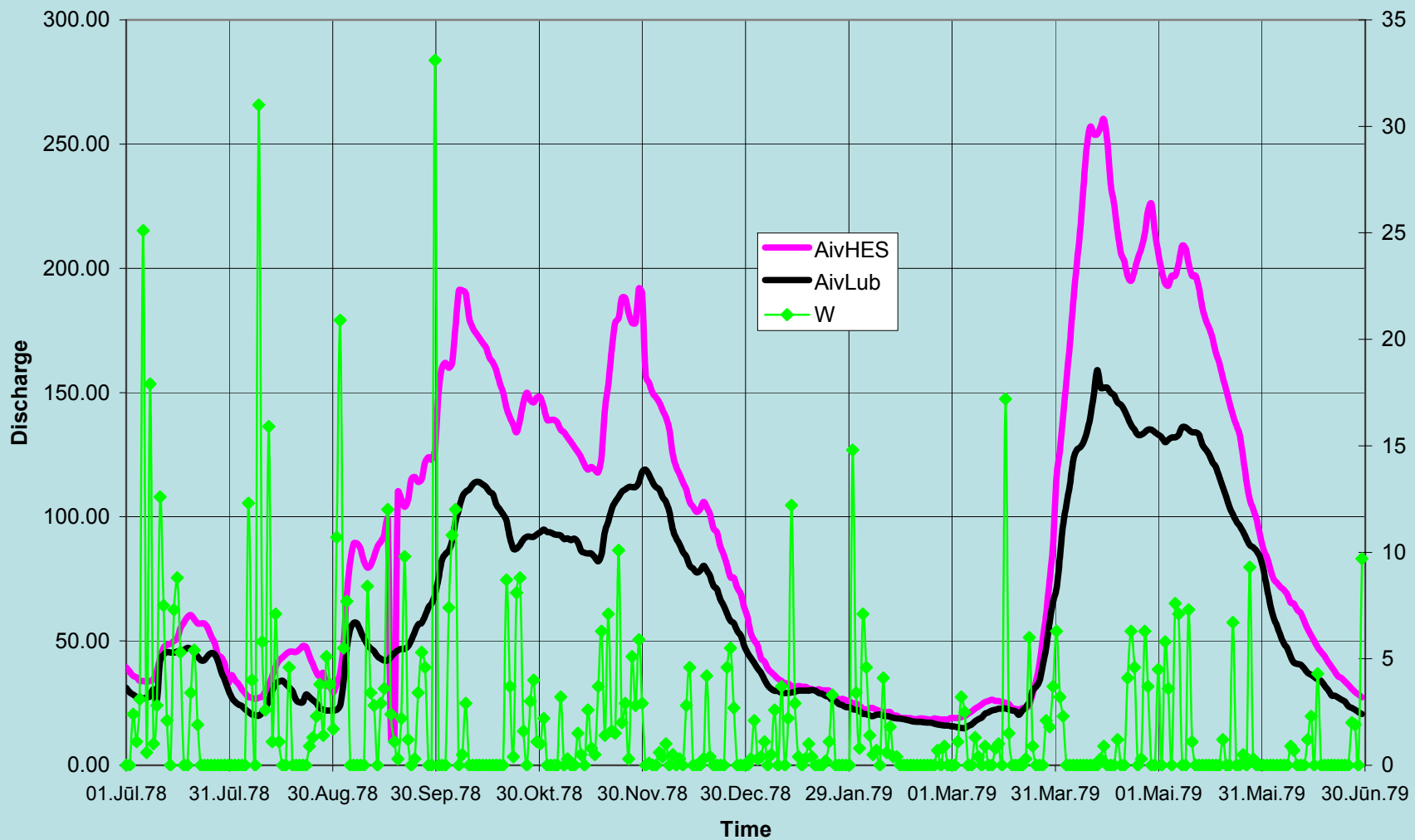
## Kalibrācijas scenāriju izvēle, caurplūdumu novērojumi

Stacija	Noteces baseina laukums, km <sup>2</sup>	“Sausais” 1976/77 Q, m <sup>3</sup> /s	“Vidējais” 1977/78 Q, m <sup>3</sup> /s	“Slapjais” 1978/79 Q, m <sup>3</sup> /s
Aiviekste HES	8660	34.85	58.60	91.75
Aiviekste Lubāna	7200	24.18	42.57	62.81
Kuja, Aizkuja	268	1.47	2.82	3.65
Pededze, Litene	978	4.67	7.24	12.95
Iča, Kuderī	674	2.37	5.76	
Rēzekne, Griškāni	505	1.49	3.37	5.06
Malta, Viļāni	782	2.71	6.14	8.29

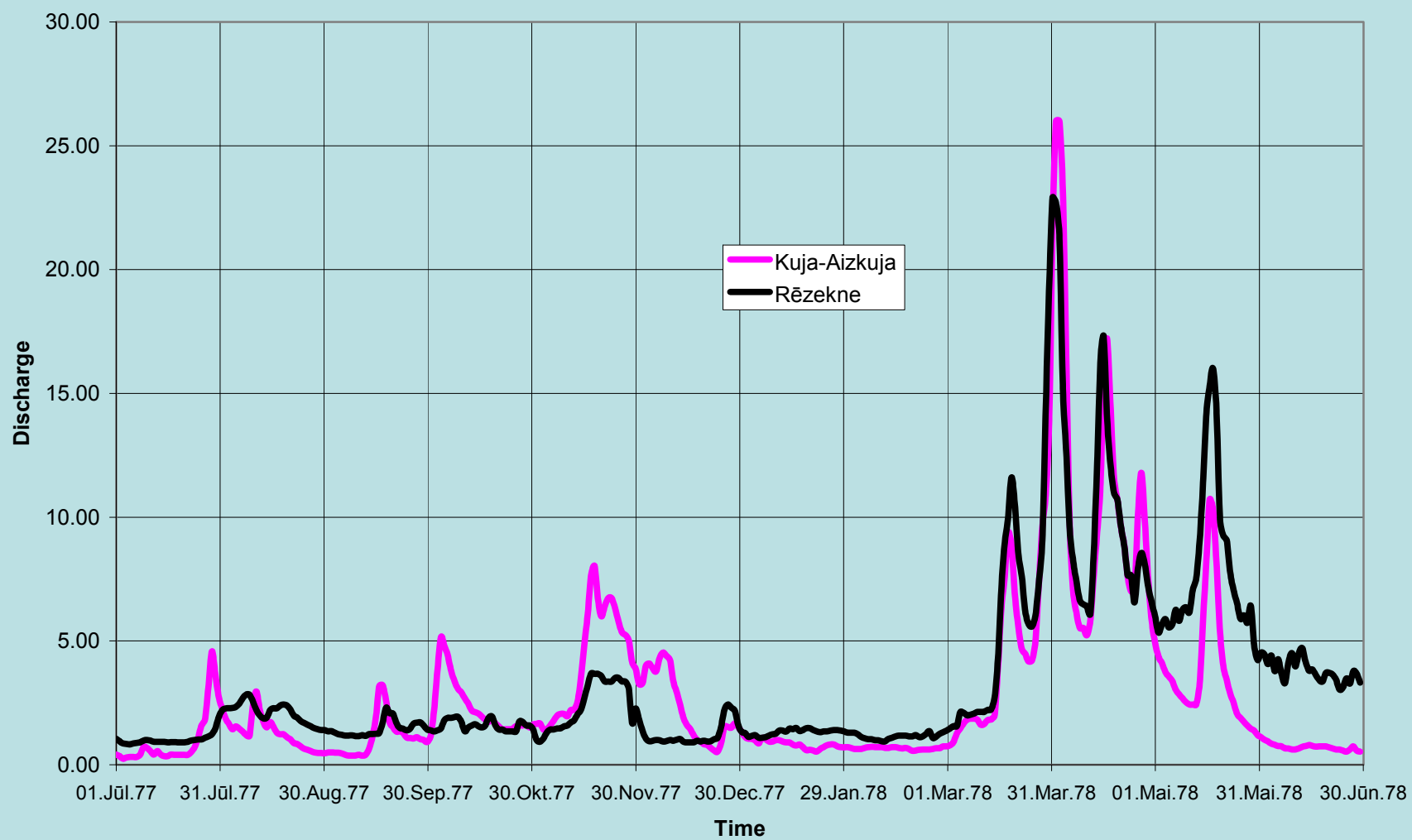
# Izmērītā Aiviekstes caurplūduma laika grafiks "sausā" gadā



# Izmērītā Aiviekstes caurplūduma laika grafiks "slapjā" gadā



# Izmērītā Kujas un Rēzeknes caurplūduma laika grafiks "tipiskā" gadā

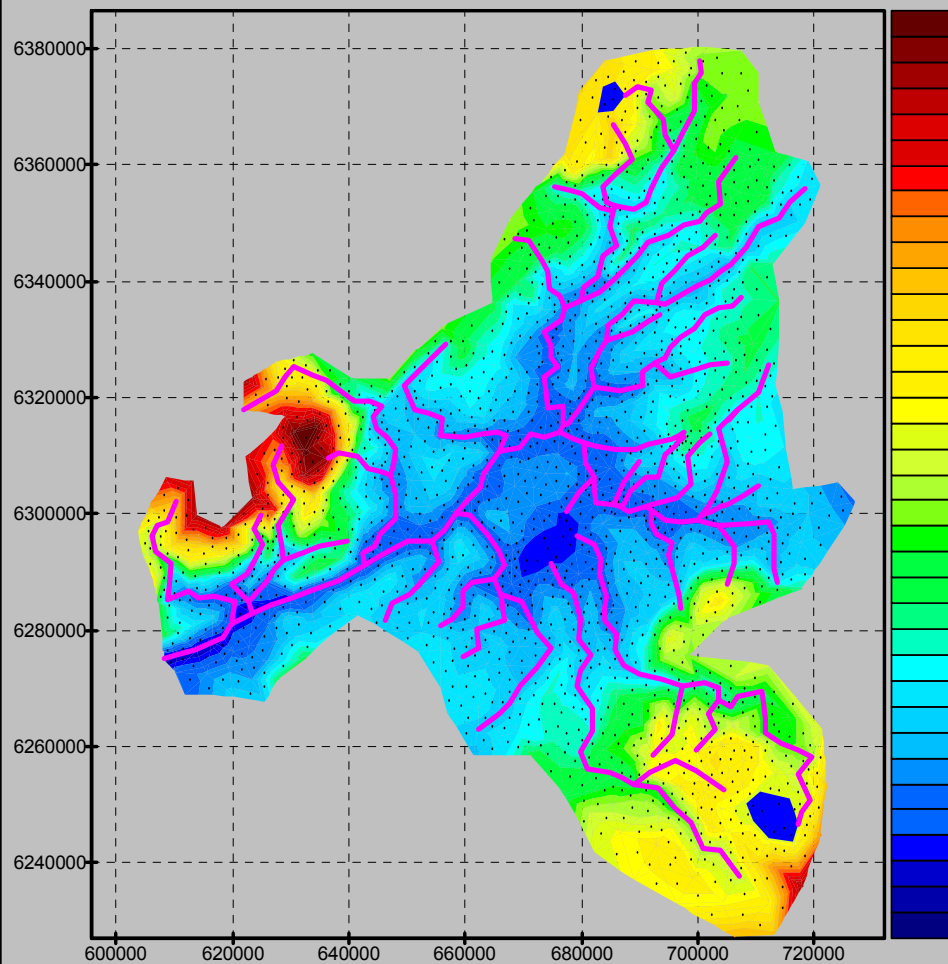


## Kalibrācijas stratēģija

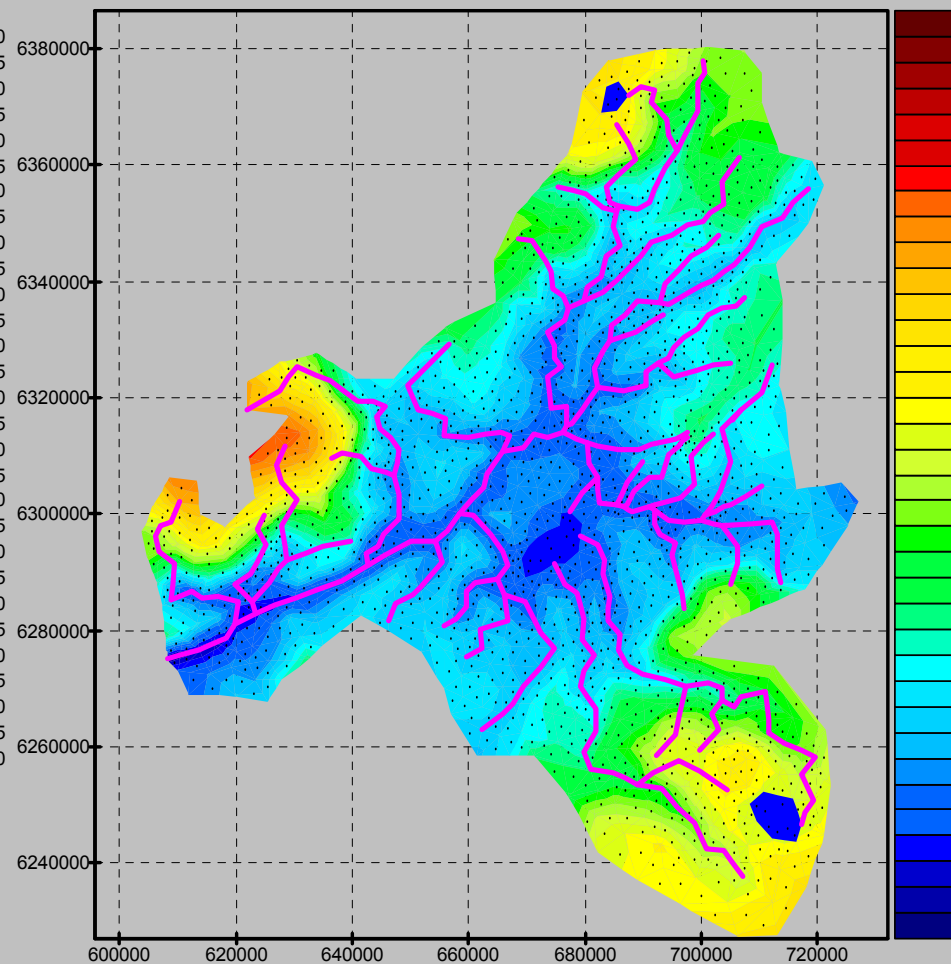
- Kalibrācijas mērķis – novērojumu un modeļa caurplūdumu kvadrātiskās standartnovirzes minimizēšana. To panāk mainot empīriskos modeļa parametrus – (1) pazemes ūdens modeļa parametrus, (2) no zemes lietojuma atkarīgos virsmas ūdens berzes, iztvaikošanas, kušanas un infiltrācijas parametrus
- Pirms katra no trīs gadu garajiem kalibrācijas aprēķiniem modelis “ieskriešanās” režīmā darbināts 90 gadu ilgā laika periodam, nostabilizējot pazemes ūdens līmeni kvazi-periodiskā režīmā



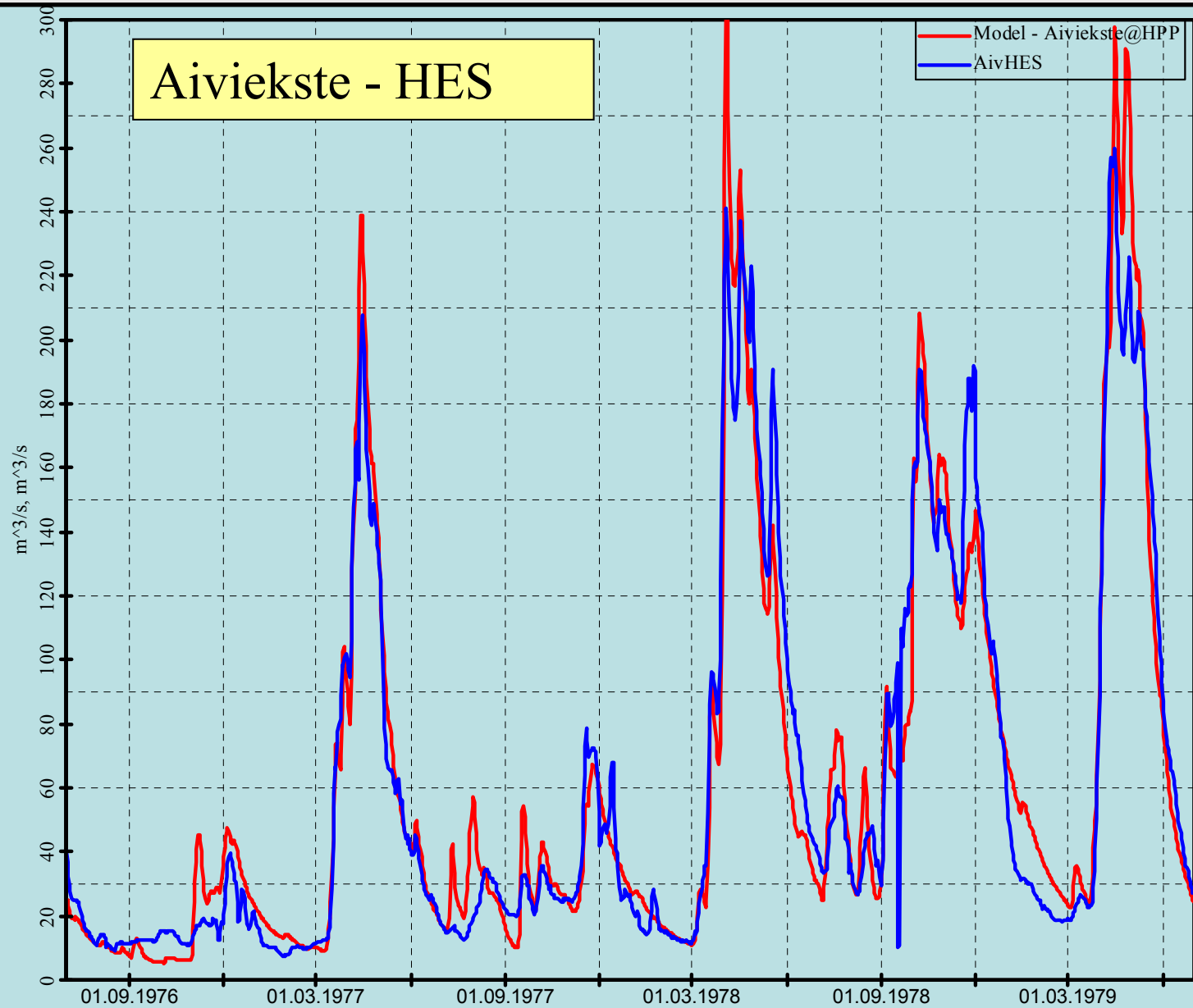
# Virsmas līmenis



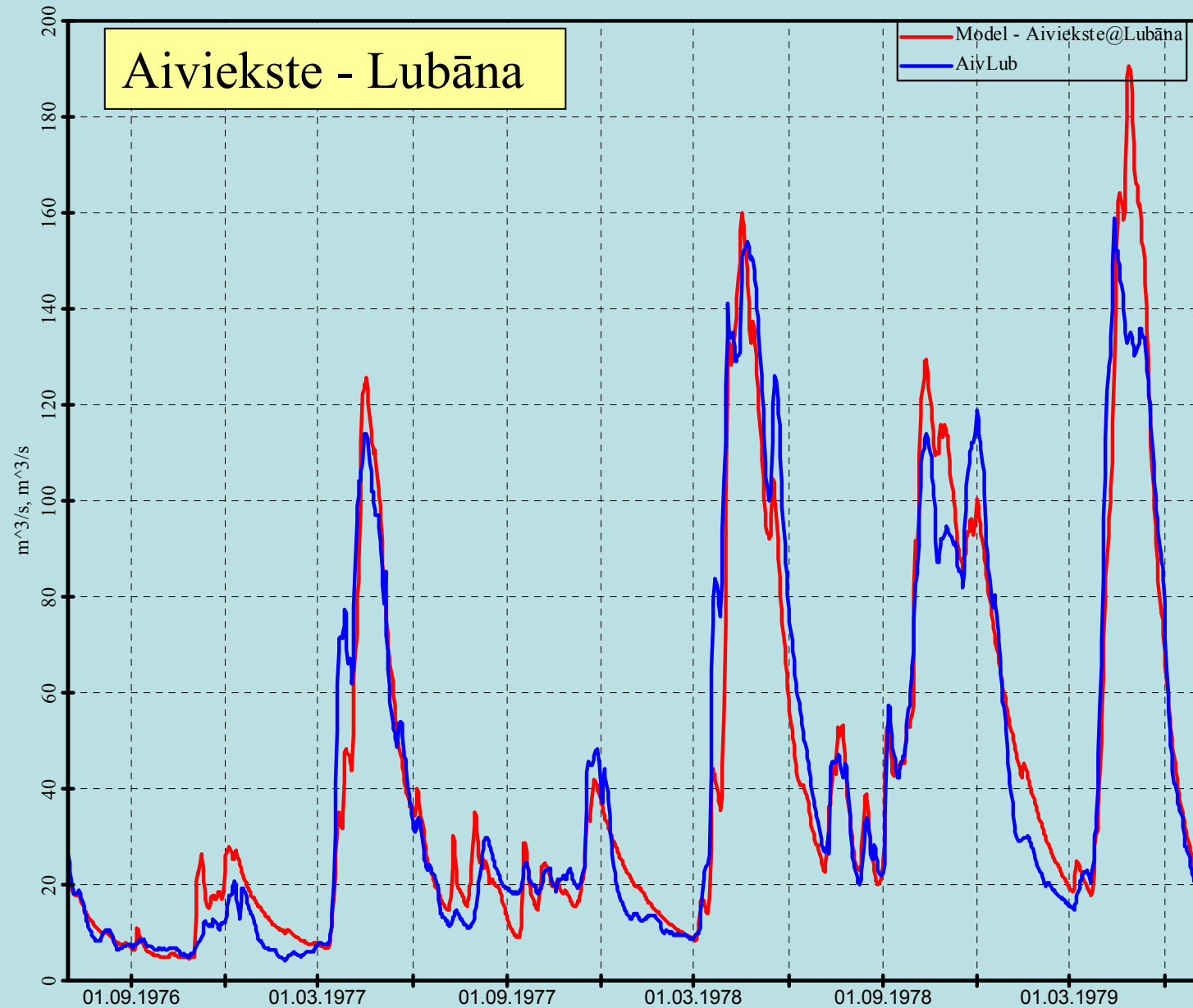
# Tipisks pazemes ūdens līmenis



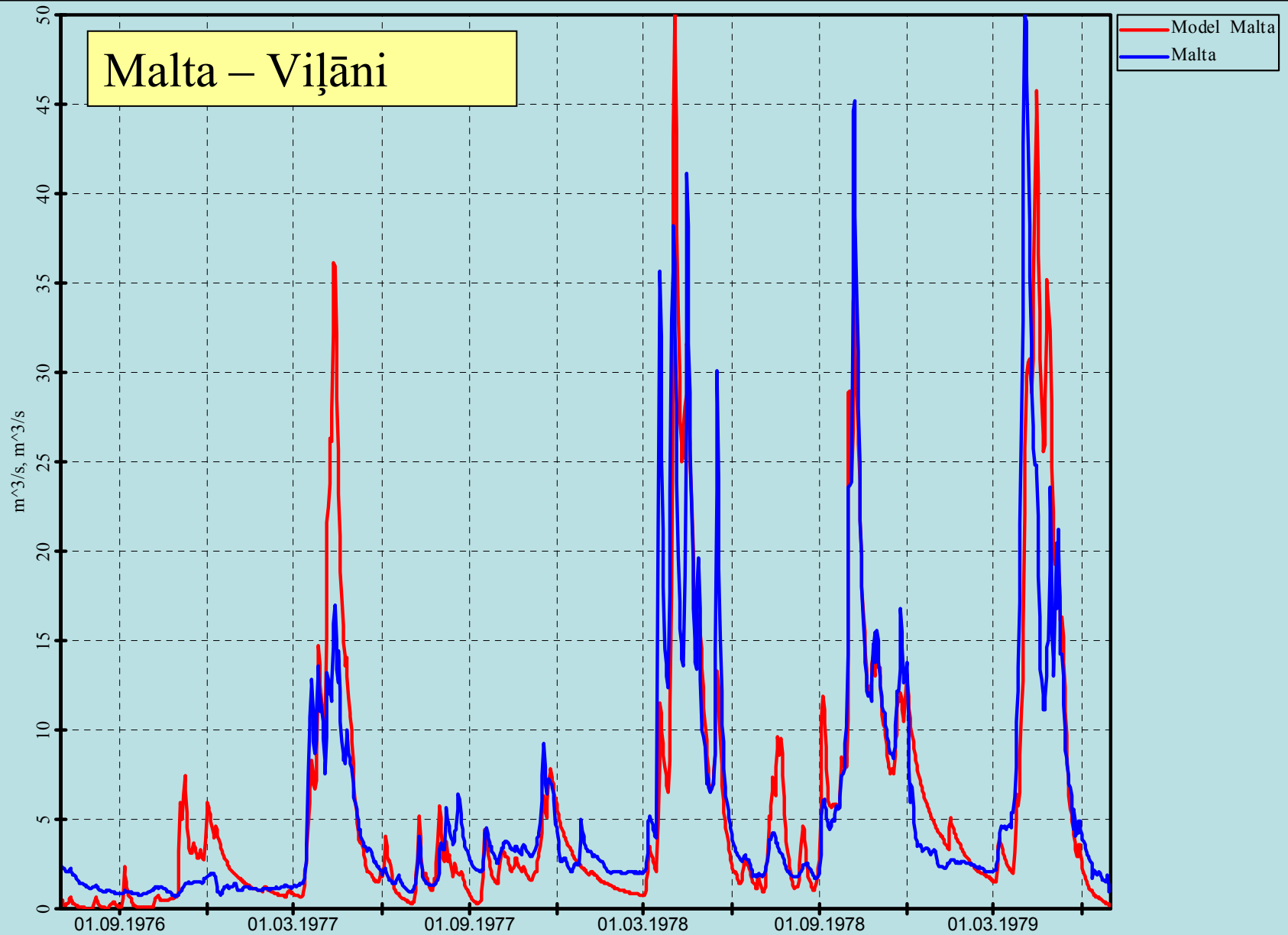
# Kalibrācijas rezultāts, izmērītie un aprēķinātie caurplūdumi kalibrācijas periodā



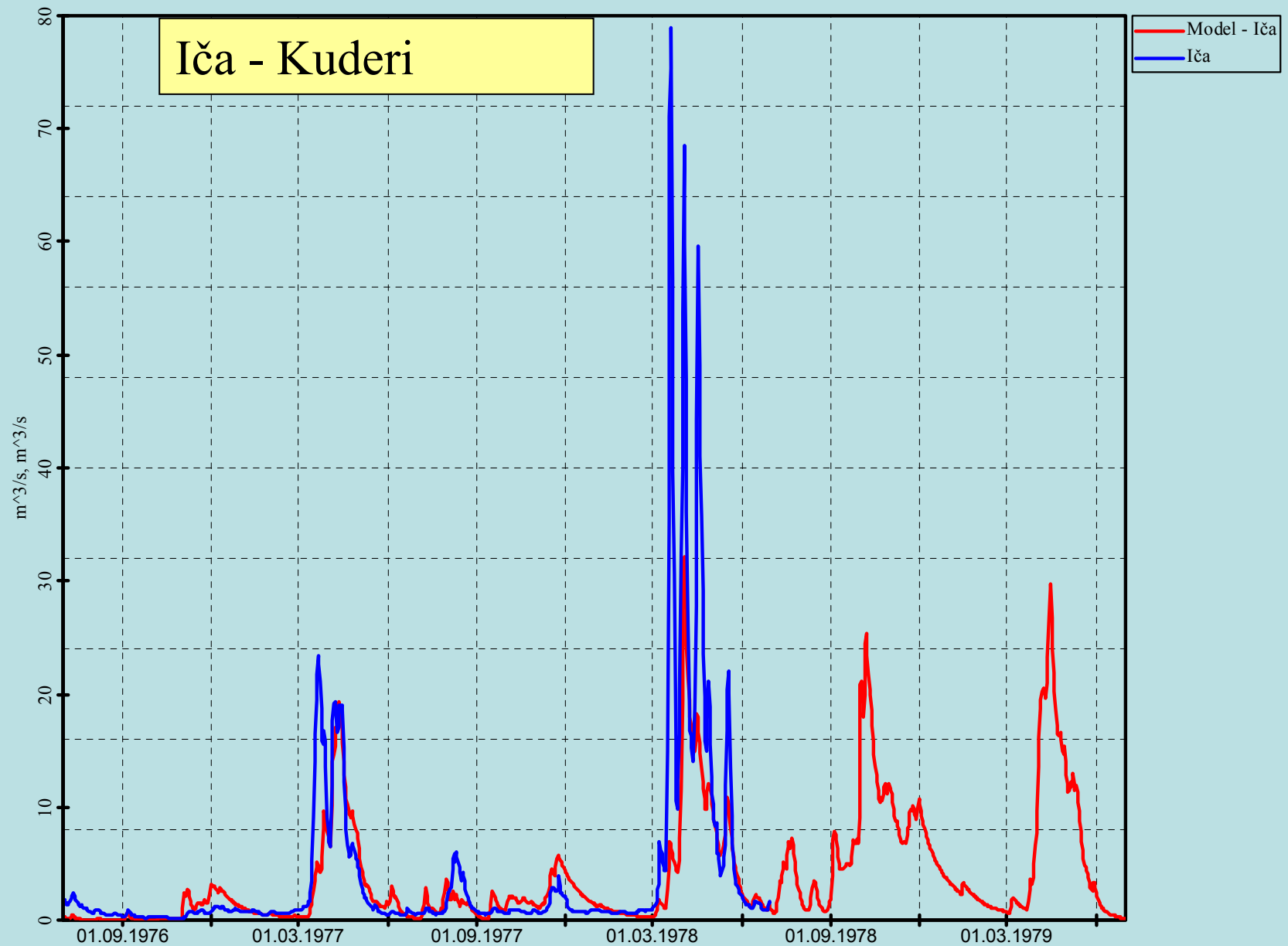
# Kalibrācijas rezultāts, izmērītie un aprēķinātie caurplūdumi kalibrācijas periodā



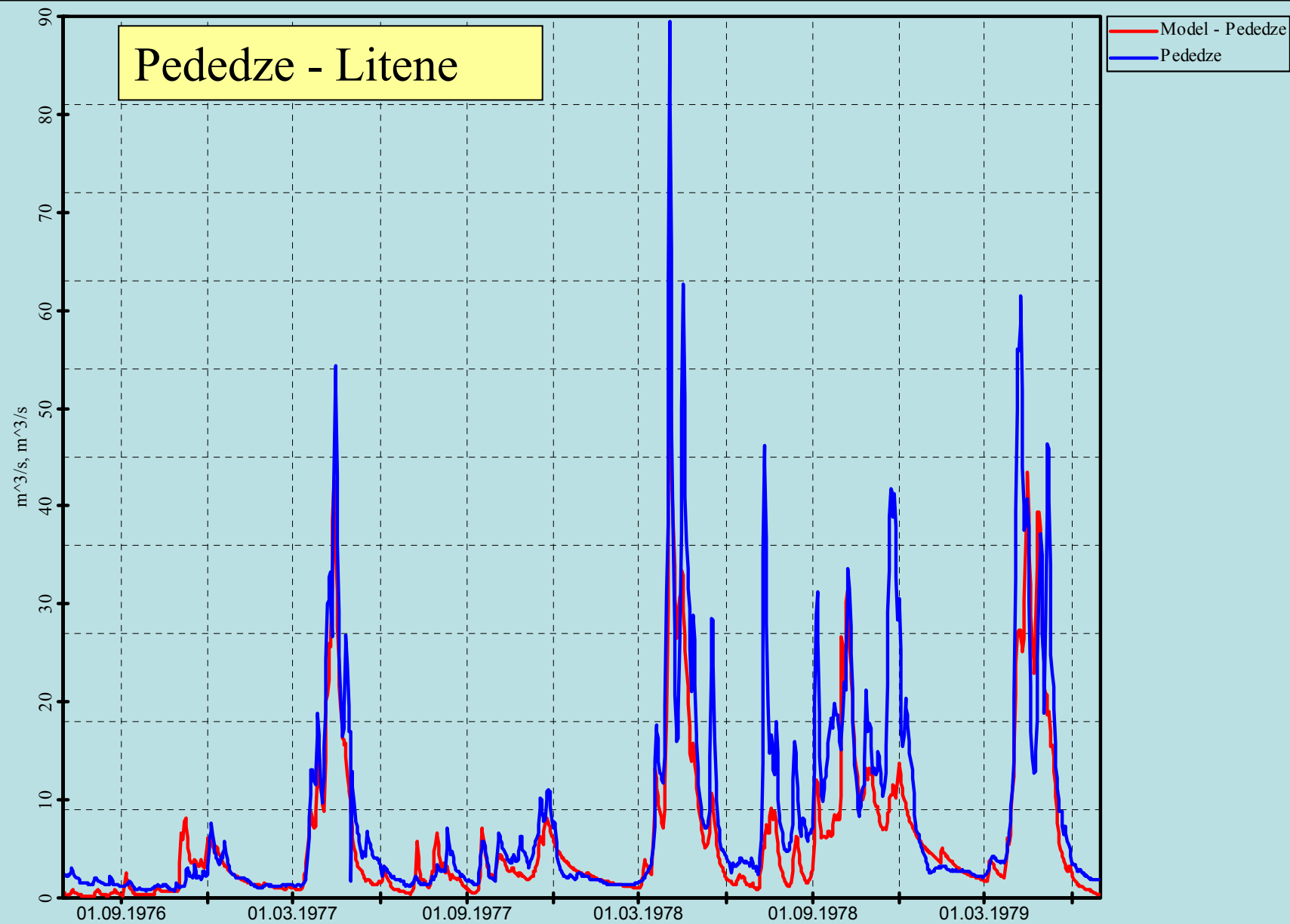
# Kalibrācijas rezultāts, izmērītie un aprēķinātie caurplūdumi kalibrācijas periodā



# Kalibrācijas rezultāts, izmērītie un aprēķinātie caurplūdumi kalibrācijas periodā



# Kalibrācijas rezultāts, izmērītie un aprēķinātie caurplūdumi kalibrācijas periodā



## Kalibrācijas rezultāts,

izmērītie un aprēķinātie kalibrācijas perioda vidējie caurplūdumi

	Stacija	Novērots m <sup>3</sup> /s	Aprēķināts m <sup>3</sup> /s
1	Kuja, Aizkuja	2.64	1.82
2	Pededze, Litene	8.29	5.86
3	Iča, Kuderī	4.07	2.76
4	Malta, Viļāni	5.71	5.77
5	Rēzekne, Griškāni	3.30	2.48
6	Aiviekste, Lubāna	43.19	43.25
7	Aiviekste, HES	61.73	62.60

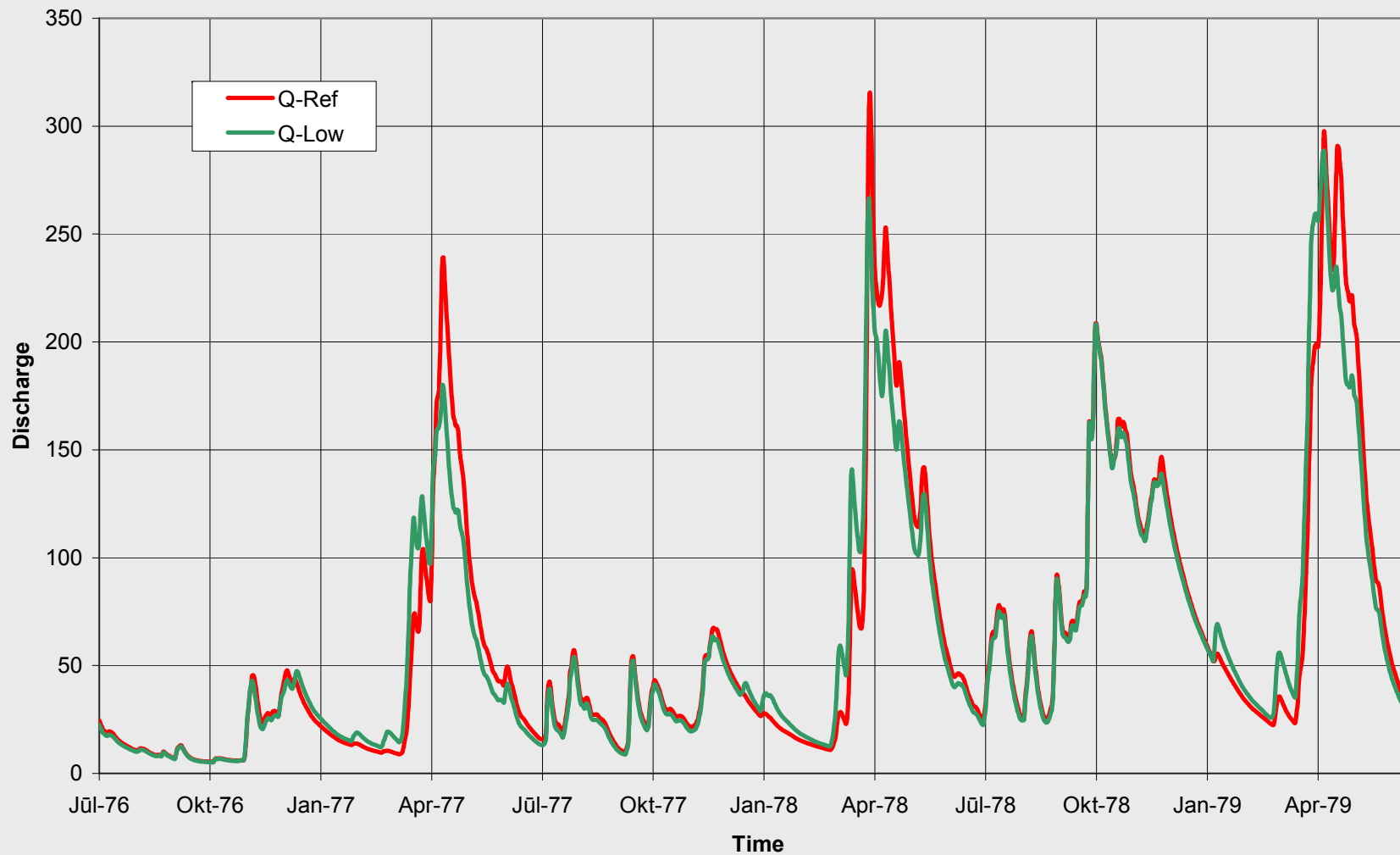
## Klimata izmaiņu ietekme uz Aiviekstes caurplūdumu

- Aplūkoti trīs klimata izmaiņu scenāriji: “maigs”, “vidējs” un “kritisks”
- Katru klimata izmaiņu scenāriju raksturo sezonālās vidējās temperatūras un nokrišņu daudzuma izmaiņas apskatāmajā apgabalā
- Izmaiņu novērtējumam ar modificētajiem meteoroloģiskajiem ieejas datiem aprēķināti “modificētie” caurplūdumi kalibrācijas periodam (trīs raksturīgie gadi)

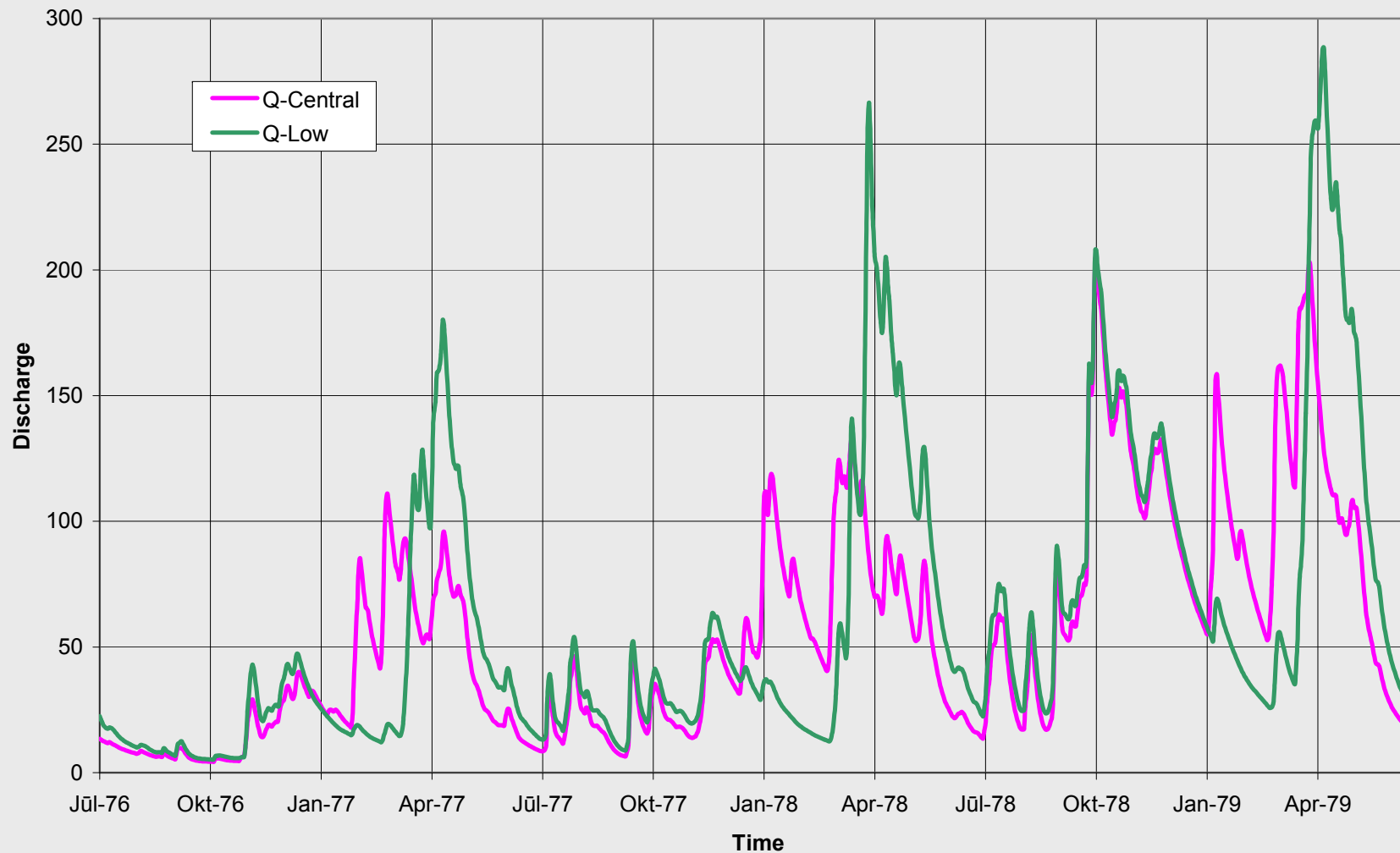
Parametrs/scenārijs	Pavasaris (III-V)	Vasara (VI-IX)	Rudens (X-XII)	Ziema (I-II)	Kopā
P / “maigs”, %	+0.625	+1.25	+1.25	+2.1	+1.25
T / “maigs”, °C	+0.5	+0.4	+0.5	+0.65	+0.5
P / “vidējs”, %	+2.5	+5.0	+5.0	+10.0	+5
T / “vidējs”, °C	+2.0	+1.5	+2.0	+3.0	+2.0
P / “kritisks”, %	+3.75	+7.5	+7.5	+12.5	+7.5
T / “kritisks”, °C	+3.0	+2.25	+3.0	+3.75	+3.0



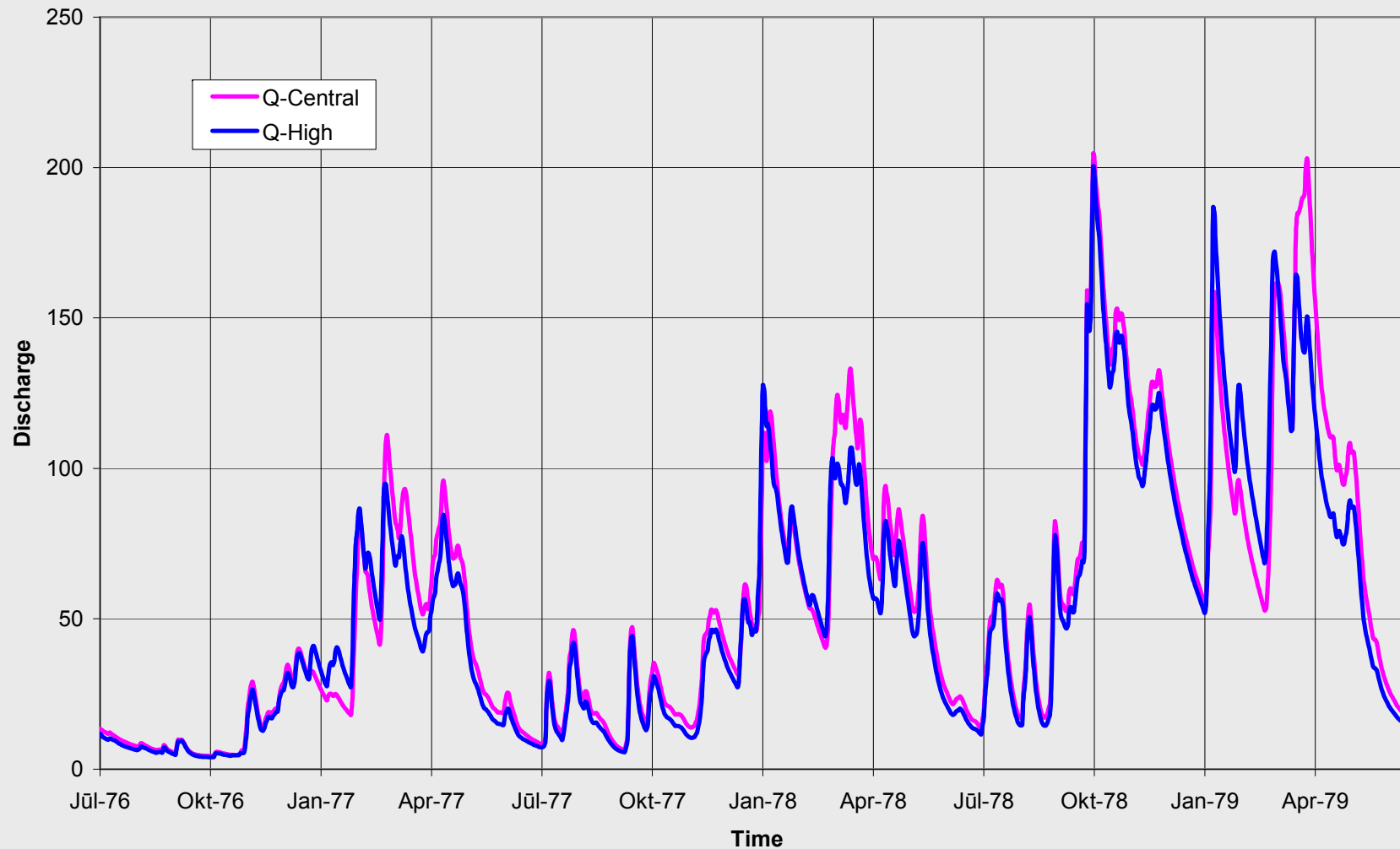
# Klimata izmaiņu ietekme uz Aiviekstes caurplūdumu salīdzinājums – references situācija/ “maigs” scenārijs



# Klimata izmaiņu ietekme uz Aiviekstes caurplūdumu salīdzinājums – references situācija/ “vidējs” scenārijs



# Klimata izmaiņu ietekme uz Aiviekstes caurplūdumu salīdzinājums – “vidējs” scenārijs/ “kritisks” scenārijs



# Klimata izmaiņu ietekme uz Aiviekstes caurplūdumu

Aiviekstes vidējais caurplūdums (m<sup>3</sup>/s) dažādiem scenārijiem

Scenārijs	Ziema I-II	Pavasaris III-V	Vasara VI-IX	Rudens X-XII	Gada vidējais
References	24.5	123.3	33.4	65.1	62.6
Izmērīts	17.9	120.5	35.7	65.5	61.7
Maigs	28.8	119.0	30.8	63.7	61.0
Vidējs	69.0	87.5	23.1	59.2	55.8
Kritisks	77.9	74.1	20.3	55.5	52.0

## Secinājumi

- Laikā un telpā sadalīts upes baseina hidroloģijas/hidraulikas modelis kalibrēts Aiviekstes baseinam. Modelis aprēķina upju noteci atkarībā no meteoroloģiskajiem ieejas parametriem (gaisa temperatūra un nokrišņi).
- Klimata izmaiņu izraisītā caurplūduma izmaiņu aprēķins norāda, ka pat vienkāršiem ieejas datu izmaiņas scenārijiem, caurplūduma maiņa ir nelineāra attiecībā pret ieejas parametru maiņu. Piemēram, arī palielinoties nokrišņu daudzumam un palielinoties temperatūrai, var būt novērojama caurplūduma samazināšanās.