



Hidrodinamiskās modelēšanas sistēmas izstrāde un applūšanas scenāriju modelēšana Rīgas pilsētai

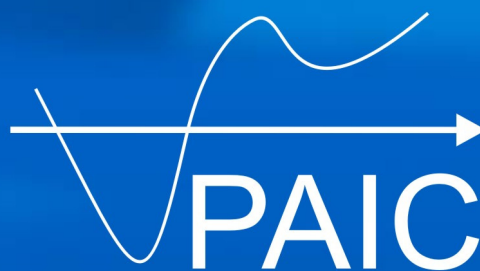
Pasūtītājs: Rīgas Domes Pilsētas attīstības departaments

16-Apr-2008 Līgums Nr. DA-08-99-lī

ID Nr. RD PAD 2008/35

Rīga, Jūlijs – 2008

Procesu analīzes un izpētes centrs



ANOTĀCIJA

Atskaitē aprakstīta hidrometeoroloģisko datu analīze, Rīgas pilsētas hidrodinamiskā modeļa izveide. Modelī iebūvēti pretplūdu aizsardzības pasākumi. Modelēti hidrometeoroloģiskajiem un pretplūdu aizsardzības pasākumiem atbilstoši Rīgas pilsētas applūšanas scenāriji. Noteiktas applūstošo teritoriju ar noteiktu applūšanas varbūtību robežas.

Atskaite uzrakstīta latviešu valodā, tā satur 40 lappuses, 28 attēlus, 9 tabulas un 8 literatūras atsauces.

SATURS

1. IEVADS	4
2. HIDROMETEOROLOGĪSKO DATU ANALĪZE UN PLŪDU SITUĀCIJU IZSTRĀDE	5
2.1 Hidrometeoroloģisko datu analīze	5
2.2 Plūdu situācijas	7
2.3 Rīgas HES caurplūdumi un lejasbjefa ūdenslīmeņi	10
3. HIDRODINAMISKĀ MODEĻA IZVEIDE	15
3.1 Modeļapgabala izvēle	15
3.2 Ģeotelpiskās informācijas apkopošana	15
3.3 Aprēķinu režģis mūsdienu situācijai	19
3.4 Modelējošā programmatūra	21
3.5 Inženiertehniskie pretplūdu scenāriji	22
3.6 Applūstošās teritorijas kartēšanas algoritms	25
4. MODEĻSISTĒMAS KALIBRĀCIJA	27
5. MODEĻAPRĒĶINI	30
5.1 Mūsdienu situācija	30
5.2 Scenārijs S3	34
5.3 Scenārijs S2	35
5.4 Scenārijs S1	36
6. NOSLĒGUMS	38
LITERATŪRA	40

1. IEVADS

Šis darbs ir 2008. gada 16. aprīļa līguma Nr. DA-08-99-lī (identifikācijas Nr. RD PAD 2008/35) starp Rīgas Domes Pilsētas attīstības departamentu (Pasūtītājs) un SIA „Procesu analīzes un izpētes centrs” (Izpildītājs) noslēguma atskaite.

Līguma mērķis bija izveidot hidrodinamiskās modelēšanas sistēmu Rīgas pilsētai un ar tās palīdzību veikt applūstošo teritoriju aprēķinu dažādiem (pēc atkārtojamības, pēc pielietotajiem pretplūdu inženiertehniskajiem risinājumiem) plūdu scenārijiem.

Līguma izpildē tika secīgi realizēti virkne uzdevumu, kuri kopumā veido matemātiskās modelēšanas metodiku atbilstoši 3-Jūn-2008 MK noteikumu Nr. 406 prasībām.

1. Meteoroloģisko datu apkopojums un analīze, kas aprakstīti sadaļā 2.1.
2. Plūdu situāciju – hidrometeoroloģisko scenāriju – ar noteiktu atkārtotānās varbūtību izveide, sk. sadaļu 2.2.
3. Modeļapgabala izvēle (sadaļa 3.1) un tam atbilstošās ģeotelpiskās informācijas apkopošana (sadaļa 3.2).
4. Aprēķinu režģa izgatavošana mūsdienu situācijai modeļapgabalā (sadaļa 3.3), kā arī inženiertehniskajiem risinājumiem (sadaļa 3.5).
5. Hidrodinamiskās modeļprogrammatūras izvēle, adaptācija (sadaļa 3.4), kā arī oriģinālu aprēķinu rezultātu ģeotelpiskās kartēšanas rīku izstrāde (sadaļa 3.6).
6. Modeļsistēmas kalibrācija vēsturiskajām plūdu situācijām (4. nodaļa).
7. Plūdu scenāriju aprēķins mūsdienu un trīs pretplūdu inženiertehniskajiem risinājumiem – kopā 4 scenārijiem. Katram scenārijam aprēķinātas piecas plūdu situācijas – ar atkārtotamību reizi 5, 10, 20, 50 un 100 gados (5. nodaļa).
8. P.7. veikto plūdu scenāriju aprēķinu rezultātu pārveide par plūdu situācijās applūstošā apgabala poligoniem.

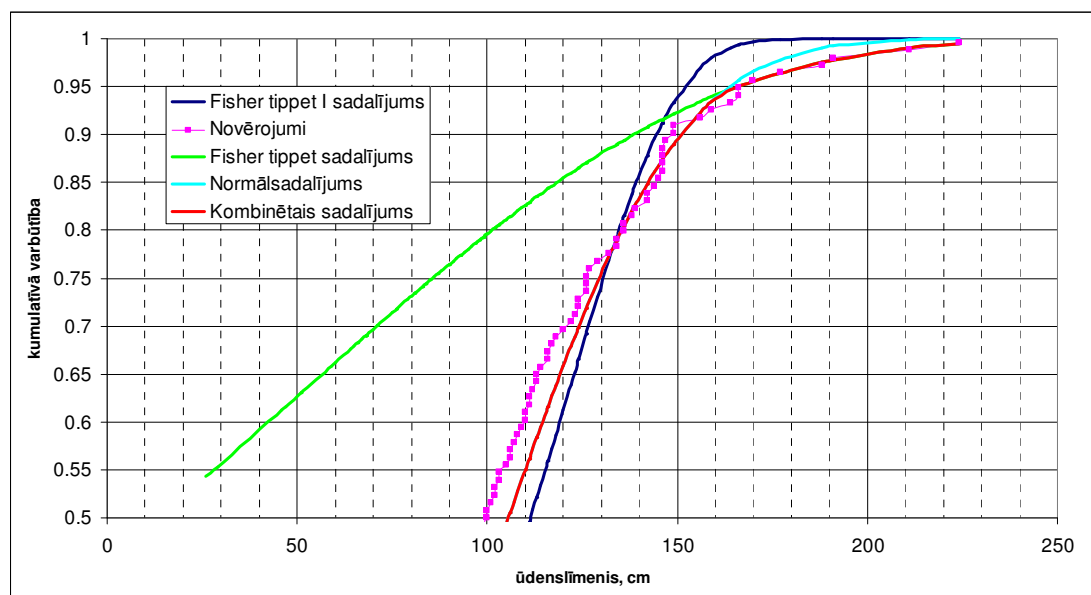
P.8. aprēķini transformēti ArcMap poligonu (SHAPE failu) formātā un tiek iesniegti Pasūtītājam elektroniski. Tāpat, elektroniski šai atskaitei tiek pievienota no 3. pusēm (Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas aģentūra; A/S „Latvenergo”; Latvijas Jūras administrācijas Hidrogrāfijas dienests) iegūtā informācija – neapstrādāti hidrometeoroloģisko novērojumu un dziļumu uzmērījumu dati.

2. HIDROMETEOROLOĢISKO DATU ANALĪZE UN PLŪDU SITUĀCIJU IZSTRĀDE

2.1 Hidrometeoroloģisko datu analīze

Teritoriju applūšanu Rīgas pilsētā nosaka vēja radīti ūdens uzplūdi Rīgas jūras līča dienviddaļā un Daugavas caurplūduma maksimumi. Pēdējais faktors mūsdienās ir nebūtisks, jo Rīgas HES aizsprosta izveide ir pilnībā novērsusi ledus sastrēgumus lejpus aizsprosta un (kopā ar pārējo Daugavas HES kaskādi) nodrošina palu signāla maksimuma izlīdzināšanu laikā, sk. piem. LVĢMA (2007). Tādēļ, maksimālo plūdu atkārtojamības noteikšanai pietiek analizēt ūdenslīmeņa rindas jūrai tuvākajā novērošanas stacijā – Daugavgrīvā.

Plūdu atkārtojamību nosaka nevis visu ūdenslīmeņa laika rindu statistiskais sadalījums, bet gan tā ekstrēmo vērtību analīze USACE (1993). Tādēļ no LVĢMA tika iegādāti dati – ūdenslīmeņa maksimālās vērtības oktobra, novembra, decembra, janvāra un februāra mēnešos (vētru periodā) laika posmam 1875.-2007. gg. Šo datu statistiskā analīze, kas atbilst USACE (1993) rekomendācijām, atspoguļota att. 1. Uz att. 1 horizontālās ass atlikts ūdenslīmenis, bet uz vertikālās – tā atkārtotās kumulatīvā varbūtība, t.i. varbūtība, ka maksimālais ūdenslīmenis nepārsniegs konkrētu vērtību. Ūdenslīmeņa maksimālo vērtību atkārtojamībām $\times 100$, $\times 50$, $\times 20$, $\times 10$, un $\times 5$ gados atbilst kumulatīvās varbūtības vērtības 0.99, 0.98, 0.95, 0.90 un 0.80. Att. 1 parāda, ka novēroto ekstrēmo ūdenslīmeņu atkārtojamību ar kumulatīvo varbūtību virs 0.77 ļoti labi apraksta kombinētais „Fisher tippet” un normālsadalījums, kas arī izmantots šai atskaitē.



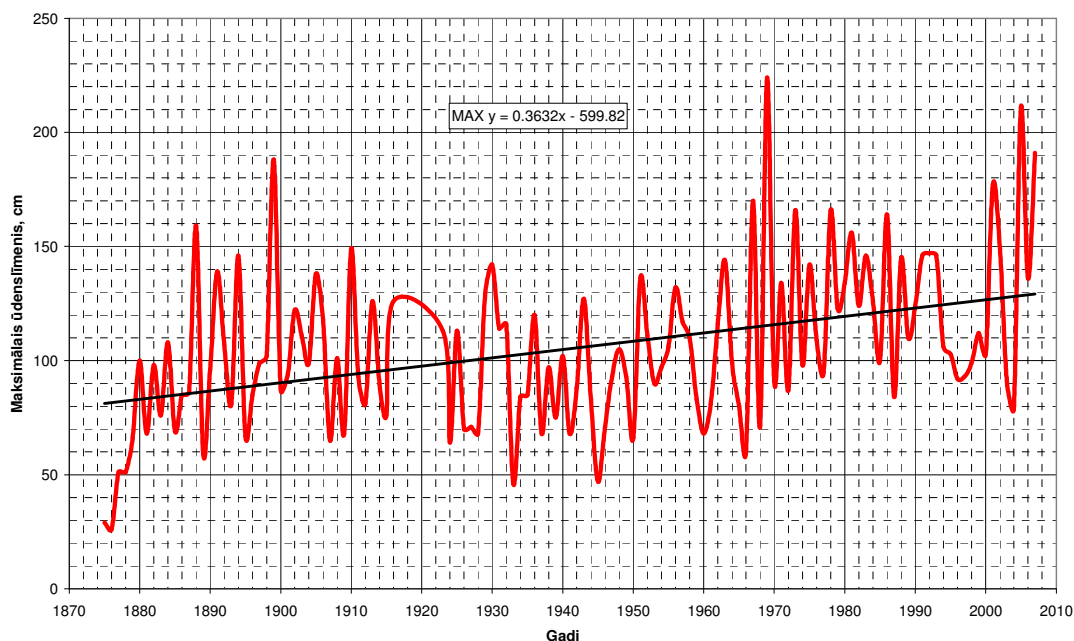
Att. 1. Ekstrēmo ūdenslīmeņu atkārtojamības sadalījumi.

Dažādas atkārtojamības ekstrēmo ūdenslīmeņu vērtības Daugavgrīvai apkopotas tab. 1. Pārsteidzoši, bet pēdējo 7 gadu laikā novēroti maksimālie ūdenslīmeņi, kas aptuveni atbilst atkārtojamībām $\times 5$, $\times 10$, $\times 20$, $\times 50$, un $\times 100$ gados, sk. 1. tabulu. Šis

apstākļi pamudināja izdarīt MK (2008) neparedzēto novērojumu datu trenda analīzi, kas parādīja (att. 2), ka maksimālajiem gada ūdenslīmeņiem Daugavgrīvā ir tendence pieaugt pa 0.36 cm gadā. Veicot tendences statistiskās nozīmības analīzi, t.i. Manna-Kendala testu Kendall (1975) tika noteikts, ka tendence ir nozīmīga un tās pastāvēšanas ticamība ir 99.9995%.

Tabula 1. Ekstremālo ūdenslīmeņu atkārtojamības tabula. Konkrētu vētru maksimālie ūdenslīmeņi.

Atkārtojamība, gadi	Līmenis, cm	Vētra	Līmenis, cm
2	106		
5	135	Okt-2006	136
10	151	Jan-2002	149
20	166	Nov-2001	177
50	194	Jan-2007	191
100	211	Jan-2005	211
200	226		
1000	253		
10000	283		

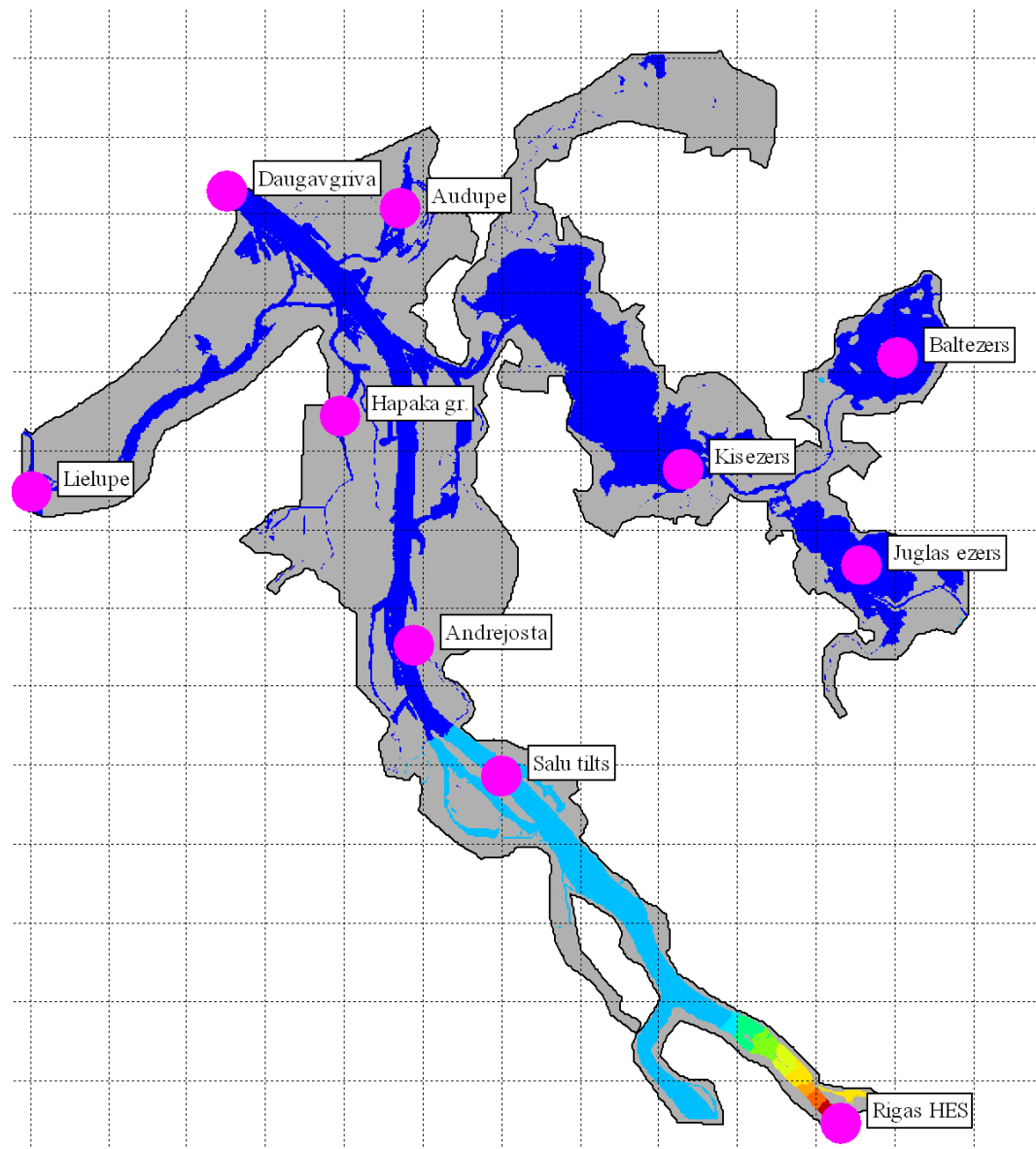


Att. 2. Maksimālo ūdenslīmeņu trends Daugavgrīvā.

2.2 Plūdu situācijas

Balstoties uz sadaļas 2.1 Daugavgrīvas maksimālo ūdenslīmeņu analīzi, tika izveidotas plūdu situāciju datu kopas – dažādu parametru laika rindas, kas atbilst

- vēsturiskajām X-2006, I-2002, XI-2001, I-2007 un I-2005 vētrām (5 situācijas);
- maksimālajiem vētras ūdensuzplūdiem ar atkārtotamību reizi 5, 10, 20, 50 un 100 gados (5 situācijas).



Att. 3. Robežnosacījumu uzdošanas, novērojumu un indikatīvie punkti.

Katra no hidrometeoroloģiskajām situācijām tiek raksturota ar sekojošām datu rindām

1. Ūdenslīmenis Daugavgrīvā un Lielupes grīvā.

2. Caurplūdums caur Rīgas HES.
3. Lielās un Mazās Juglas caurplūdums.
4. Vēja ātrums un virziens.

Papildus pp. 1-4, modeļu kalibrācijai izmantoti ūdenslīmeņa novērojumi Ķīšezērā un Andrejostā. Atbilstošo novērojumu punktu novietojums parādīts att. 3.

2. Tabula. Vētru situācijām atbilstošie laika periodi, par kuriem apkopoti dati.

Datums	Novērotais līmenis, cm	Laika periods
27.10.2006 22:00	135	25.10.2006-29.10.2006
29.01.2002 21:00	147	27.01.2002-31.01.2002
15.11.2001 19:00	172	12.11.2001-17.11.2001
15.01.2007 05:00	189	12.01.2007-17.01.2007
09.01.2005 10:00	208	07.01.2005-11.01.2005

3. Tabula. Novērojumu datu pieejamība.

Periods	Daugavgrīva	Lielupes grīva	Andrejosta	Ķīšezers	Mazā Jugla	Lielā Jugla	Rīgas HES
25.10.2006-29.10.2006	h	h	h	h	Q	Q	Q h
27.01.2002-31.01.2002	h	N/A	h	h	N/A	Q	Q h
12.11.2001-17.11.2001	h	h	h	N/A	N/A	Q	Q h
12.01.2007-17.01.2007	h	h	h	h	N/A	Q	Q h
07.01.2005-11.01.2005	h	h	h	h	N/A	Q	Q h

Katram no 5 scenārijiem dati tika apkopoti par 5-7 dienu garu laika periodu ap novērotā ūdenslīmeņa maksimuma laika periodu, sk. 2. tabulu. Datu pieejamība apkopota 3. tabulā:

1. Daugavgrīvas un Andrejostas ūdenslīmeņa ikstundas dati ir pieejami visiem vētru periodiem. Lielupes grīvas ūdenslīmeņa ikstundas dati pieejami visiem vētru periodiem, izņemot I-2002; šīs vētras laikā pieņemts, ka Lielupes grīvas ūdenslīmenis sakrīt ar Daugavgrīvas ūdenslīmeni. Ķīšezera novērojumu stacijā ūdenslīmeņa dati nebija pieejami XI-2001 vētrai; šie dati netika izmantoti. Visi ūdenslīmeņa dati tika iegādāti no LVĢMA šī projekta vajadzībām.
2. Lielās Juglas caurplūdumu ikdienas dati pieejami visiem vētru periodiem, bet Mazās Juglas caurplūdumi tikai 2006. gada oktobra vētrai. Lai uzdotu (abu) upju caurplūdumu, Lielās Juglas izmērītais caurplūdums tika reizināts ar abu

upju kopējā baseina laukuma attiecību pret novērošanas posteni m atbilstošo Lielās Juglas baseina daļas laukumu (2.55). Analizējot Lielās Juglas caurplūduma datus Zaķu postenī, konstatēts, ka vētru radīto ūdensplūdu laikā tajos tiek pieļautas sistemātiskās kļūdas, proti, caurplūdums tiek aprēķināts no novērotā ūdenslīmeņa. Šāda pieeja ir nekorekta, jo ūdenslīmeņa paaugstināšanos Zaķos nenosaka L.Juglas caurplūduma palielināšanās, bet gan ūdenslīmeņa pieaugums Juglas ezerā. Situācija atrisināta, pieņemot abu upju summārā caurplūduma vērtības, kas nemainās katrā no vētru periodiem un atbilst to sākuma laika momentiem: X-2006 – 5.1 m³/s; I-2002 – 15.5 m³/s; XI-2001 – 23.5 m³/s; I-2007 – 44.8 m³/s un I-2005 – 36.4 m³/s. Visi darbā izmantotie Juglas caurplūduma dati iegādāti no LVĢMA šī projekta vajadzībām.

3. Vēja ātruma un virziena dati Rīgas meteoroloģiskajā situācijā šī projekta vajadzībām iegādāti no LVĢMA. Analizējot šos datus, konstatēts, ka novērojumu rindās ir sistemātiska vēja ātruma samazināšanas kļūda. Tā, 2005. gada janvāra vētras laikā, atbilstoši LVĢMA datiem vidējais ikstundas vēja ātrums Rīgā nepārsniedza 12 (!) m/s. Savukārt, atbilstoši LU (2007) operacionālās okeanogrāfijas datu sistēmas FIMAR datiem, vidējais ikstundas vēja ātrums sasniedza pat 23.4 m/s. Problēma atrisināta, pieņemot, ka vēja ātrums aplūkojamo vētru situāciju laikā sakrīt ar LVĢMA sniegtajiem datiem par vēja ātrumu brāzmās, bet vēja virziens ir novērots korekti.
4. Rīgas HES caurplūduma un ūdenslīmeņa datu aprēķinam tika izmantoti A/S „Latvenergo” iesniegtie dati un metodika, kuri aprakstīti sadaļā 2.3.

Pp. 1-4 (atbilstoši 3. tabulai un sadaļai 2.3) apkopotie dati ar laika soli 1h veido 5 aplūkotus pagātnes vētru situāciju scenārijus. Lai iegūtu vētru situācijām ar atkārtojamību reizi 5, 10, 20, 50 un 100 gados atbilstošos vētru situāciju scenārijus, tika pielietota sekojošā metodika:

1. Tabulā 1 apkopotajiem dažādas atkārtojamības maksimālajiem ūdenslīmeņiem Daugavgrīvā tika pieskaitīts att. 2 noteiktais ūdenslīmeņa trends, kas tika attiecināts uz 20 gadiem (+7.2 cm).
2. Katras atkārtojamības vētru situācija tikai veidota no tai līdzīga ūdenslīmeņa reālas vēsturiskas vētras datu rindām, atbilstību sk. tab. 1.
3. Daugavas un Juglas caurplūdumi, kā arī vēja ātrumi un virzieni noteiktas atkārtojamības vētras laikā tika pieņemti sakrītoši ar caurplūdumiem un vēja ātrumiem atbilstošās vēsturiskas vētras laikā.
4. Daugavgrīvas un Lielupes ūdenslīmeņi $h(t)$ noteiktas atkārtojamības vētru laikā tika mērogoti no atbilstošās vēsturiskās vētras ūdenslīmeņu datu rindām $h_0(t)$ kā

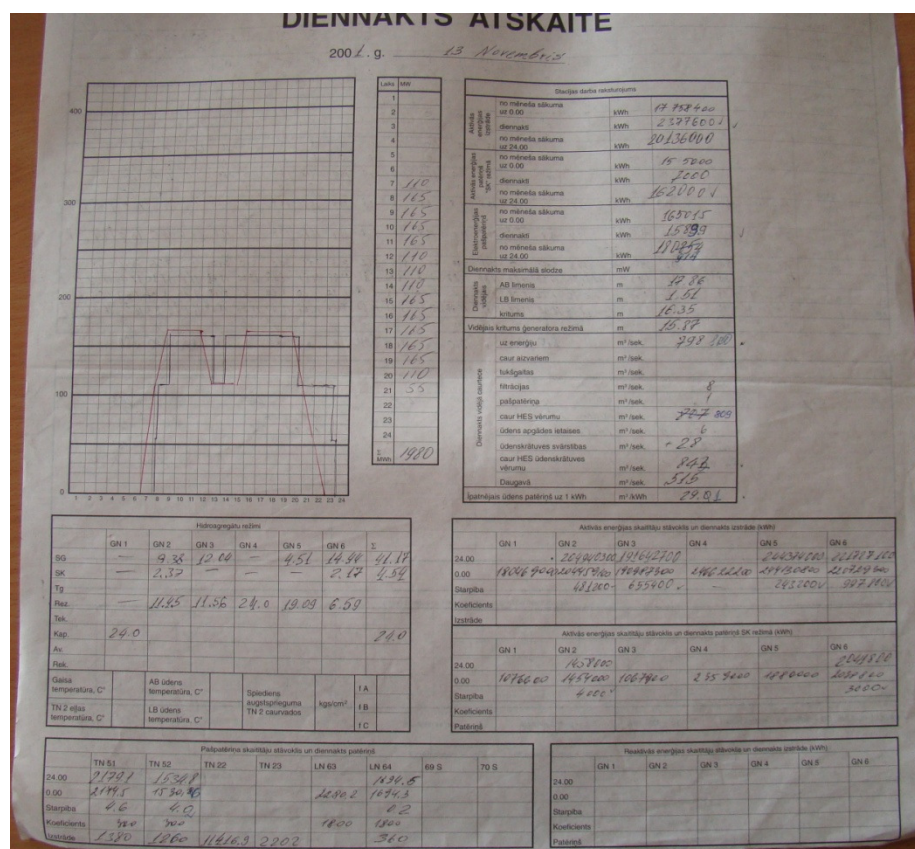
$$h(t) = h_0(t_0) + (h_0(t) - h_0(t_0)) \frac{h_{\max} - h_0(t_0)}{h_{\max 0} - h_0(t_0)}$$

šeit t_0 ir vētras sākuma laika moments, bet h_{\max} un $h_{\max 0}$, attiecīgi noteiktas atkārtojamības un tai atbilstošās vēsturiskās vētras maksimālie ūdenslīmeņi.

2.3. Rīgas HES caurplūdumi un lejasbjefa ūdenslīmeņi

Izvēlētajiem kalibrācijas scenārijiem (vēsturiskajām vētrām) no Rīgas HES arhīva tika izrakstīti ūdenslīmeņu mērījumi reizi stundā un izmantojot citus pierakstus un adaptētu HES metodiku, izrēķināti ikstundas vidējie caurplūdumi. Tā kā metodika un dati nav pieejami ārpus A/S „Latvenergo”, šajā atskaitē sniegsim tās izklāstu.

Diennakts vidējie ūdenslīmeņi un caurplūdumi pieejami elektroniski, bet novērotie ūdenslīmeņi u.c. ikstundas dati pierakstīti uz lapām, sk. att. 4-5. Viena lapa satur pierakstus par vienu diennakti. Modeļa kalibrēšanai nepieciešamie ūdens līmeņi lejas bjefā (LL) ir tieši nolasāmi no tabulas, taču robežnosacījumiem nepieciešamie ikstundas vidējie caurplūdumi jāaprēķina, izmantojot līmeņa starpību starp augšas bjefu un lejas bjefu, kā arī turbīnu darbības laikiem un sakarību starp līmeņiem, saražoto jaudu un caurplūdumu.



Att. 4. Tipiska dienas atskaites 1 lapa ar saražotās elektroenerģijas u.c. vidējiem un integrāliem lielumiem.

Caurplūduma aprēķinam tika pieņemts, ka vienas turbīnas jauda ir 50 MW vai 67 MW, ko nosaka slūžu atvēruma stāvoklis. Nelielas iespējamās novirzes (daži MW) no šīs jaudas netika ņemtas vērā, jo tās caurplūdumu ietekmē nebūtiski, vismaz raugoties no konkrētā modelēšanas uzstādījuma viedokļa. Rīgas HES caurplūduma aprēķina tabulā jaudai 50 MW dotās vērtības tika aproksimētas ar formulu

$$Q = 734.23 - 23.566 * (P - 0.3),$$

kur Q ir caurplūdums caur vienu turbīnu m³/s, P ir līmeņu starpība metros starp augšas un lejas bjefu, bet 0.3 m ir korekcijas augstums, ko jāņem vērā dēļ spiediena krituma uz aizsargrestēm. Jaudai 67 MW (ar šādu palielinātu jaudu dažas turbīnas izvēlēto scenāriju laikā strādāja 10.01.2005) tika izmantota formula

$$Q = 1099.1 - 39.107 * (P - 0.3).$$

Datā par hidroelektriskā stāvvienību izstrādāšanu

GN	1	2	3	4	5	6
0.00	-0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	2.62	2.62	2.62	2.62	2.62	2.62
	5.10 - 2.62	5.10 - 2.62	5.10 - 2.62	5.10 - 2.62	5.10 - 2.62	5.10 - 2.62
	5.57 - 10.2	5.57 - 10.2	5.57 - 10.2	5.57 - 10.2	5.57 - 10.2	5.57 - 10.2
	13.02 - 18.6	13.02 - 18.6	13.02 - 18.6	13.02 - 18.6	13.02 - 18.6	13.02 - 18.6
	22.40 - 27.8	22.40 - 27.8	22.40 - 27.8	22.40 - 27.8	22.40 - 27.8	22.40 - 27.8

Samērīgais pārtēriņš atbilstoši stāvoklim un pārtēriņam (MW)

GN	1	2	3	4	5	6
0.00	-0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	2.62	2.62	2.62	2.62	2.62	2.62
0.00	5.10 - 2.62	5.10 - 2.62	5.10 - 2.62	5.10 - 2.62	5.10 - 2.62	5.10 - 2.62
0.00	5.57 - 10.2	5.57 - 10.2	5.57 - 10.2	5.57 - 10.2	5.57 - 10.2	5.57 - 10.2
0.00	13.02 - 18.6	13.02 - 18.6	13.02 - 18.6	13.02 - 18.6	13.02 - 18.6	13.02 - 18.6
0.00	22.40 - 27.8	22.40 - 27.8	22.40 - 27.8	22.40 - 27.8	22.40 - 27.8	22.40 - 27.8

PASKAIDROJUMI: GG - tehniskā remonta režīms, Tg - tukšgaitā, Tsk - tehniskā remonta, Av - avārijas stāvoklis, SK - sistēmas kompensatoru režīms, Rez - rezerves, Kap - kapitālā remonta, Rea - rekonstrukcijā

Att. 5. Tipiska diennakts lapas otra puse ar ikstundas mērījumu un turbīnu darbības datiem.

Dati 5 vēsturiskajām vētrām doti tabulās 4 – 8 kā ūdens līmeņi lejas bjefā LL un caurplūdums Q katrā stundā.

Analizējot iegūtos datus, redzams, ka Rīgas HES caurplūdes maksimums ir dienas laikā, bet naktī parasti nedarbojas neviena turbīna (caurplūdums ir 0 m³/s). 13-16.01.2007 HES ar mazāku jaudu strādāja arī naktī. Ūdens līmenis galvenokārt ir atkarīgs no darbojošos turbīnu skaita, taču vērojama arī jūras līmeņa ietekme. Zemākais ūdens līmenis (aplūkoto vētru laikā!) ir -0.08 m, 27.10.2006 naktī, kad nedarbojās neviena turbīna, bet augstākais ūdens līmenis ir 3.18 m, kas sasniegts 29.01.2002, darbojoties 5 turbīnām.

Jāatzīmē, ka Rīgas HES arhīvā nav saglabātas minētās Dienas lapas par laika periodu pirms 2000. gada – tādēļ ikstundas caurplūdumi par senākiem laika periodiem šobrīd vairs principā nevar tikt korekti aprēķināti.

Tabula 4. Ūdens līmeņi un caurplūdumi Rīgas HES 13.-16.11.2001

Laiks	13.11.2001		14.11.2001		15.11.2001		16.11.2001	
	LL, m	Q, m ³ /s	LL, m	Q, m ³ /s	LL, m	Q, m ³ /s	LL, m	Q, m ³ /s
0:00	0.64	0	0.70	0	0.54	0	1.70	0
1:00	0.78	0	0.62	0	0.72	0	1.94	0
2:00	0.74	0	0.72	0	0.62	0	1.92	0
3:00	0.62	0	0.70	0	0.60	0	1.86	0
4:00	0.56	0	0.69	0	0.60	0	1.44	0
5:00	0.60	0	0.67	0	0.62	0	1.48	0
6:00	0.66	0	0.60	0	0.62	0	1.86	0
7:00	0.70	0	0.66	0	0.98	416	1.70	0
8:00	1.52	860	1.88	1321	1.78	1312	1.45	0
9:00	2.08	1338	2.46	1814	2.12	1341	1.78	872
10:00	2.18	1347	2.54	1830	2.12	1343	2.16	1341
11:00	2.20	1350	2.12	1341	2.12	1347	2.22	1349
12:00	2.20	1350	1.84	877	2.15	1344	2.21	1347
13:00	1.68	863	1.68	864	2.62	1856	2.19	1346
14:00	2.18	1350	1.64	868	3.00	2389	1.90	881
15:00	2.20	1350	1.68	1733	2.88	1910	1.82	881
16:00	2.20	1350	2.22	1347	2.28	1385	1.80	881
17:00	2.20	1354	2.20	1362	2.24	1378	1.74	879
18:00	2.22	1358	2.56	1845	2.28	1378	2.20	1356
19:00	2.18	1356	2.64	1860	2.44	1386	2.30	1365
20:00	1.73	877	2.70	1859	2.46	1385	2.04	894
21:00	1.67	868	1.80	882	1.88	0	1.42	430
22:00	1.62	863	0.60	0	1.90	0	0.68	0
23:00	1.00	0	0.46	0	1.70	0	0.70	0
0:00	0.70	0	0.54	0	1.70	0	0.78	0

Tabula 5. Ūdens līmeņi un caurplūdumi Rīgas HES 27.-30.01.2002

Laiks	27.01.2002		28.01.2002		29.01.2002		30.01.2002	
	LL, m	Q, m ³ /s	LL, m	Q, m ³ /s	LL, m	Q, m ³ /s	LL, m	Q, m ³ /s
0:00	0.24	0	0.46	0	0.56	0	1.78	0
1:00	0.52	0	0.52	0	0.68	0	0.90	0
2:00	0.70	0	0.64	0	0.72	0	0.74	0
3:00	0.64	0	0.64	0	0.74	0	0.72	0
4:00	0.46	0	0.62	0	0.76	0	0.76	0
5:00	0.42	0	0.62	0	0.75	0	0.60	0
6:00	0.50	0	0.62	0	0.79	0	0.80	0
7:00	0.44	0	1.24	847	0.86	0	1.06	423
8:00	0.34	0	1.76	1310	1.48	868	1.90	1342
9:00	0.93	417	2.44	1829	1.94	1331	2.30	1843
10:00	0.93	418	2.74	2333	1.92	1327	2.30	1835
11:00	0.89	416	2.60	1850	1.96	1329	1.86	1333
12:00	0.88	416	2.10	1352	1.96	1328	1.94	1338
13:00	0.88	416	1.06	419	2.10	1347	1.90	1332
14:00	0.91	417	0.82	413	2.05	1338	1.98	1344
15:00	0.93	418	1.22	850	1.60	865	1.50	867

16:00	0.95	418	1.34	858	1.98	1336	1.48	866
17:00	1.19	851	1.90	1334	2.82	1882	2.12	1810
18:00	1.84	1331	2.60	2331	3.14	2408	2.30	1835
19:00	1.90	1335	2.68	2349	3.18	2428	2.34	1846
20:00	1.46	866	2.51	928	2.92	1917	2.08	1362
21:00	1.40	860	2.05	1355	1.78	895	1.64	881
22:00	1.14	420	0.58	0	1.50	0	1.12	426
23:00	0.50	0	0.51	0	1.80	0	0.54	0
0:00	0.46	0	0.56	0	1.78	0	0.56	0

Tabula 6. Ūdens līmeņi un caurplūdumi Rīgas HES 7.-10.01.2005

Laiks	07.01.2005		08.01.2005		09.01.2005		10.01.2005	
	LL, m	Q, m3/s	LL, m	Q, m3/s	LL, m	Q, m3/s	LL, m	Q, m3/s
0:00	1.34	776	1.55	785	1.35	775	2.51	1685
1:00	1.37	777	1.56	791	1.14	383	1.60	798
2:00	1.20	769	1.44	391	1.15	383	1.61	794
3:00	0.80	0	1.10	383	1.41	390	1.59	797
4:00	0.75	0	1.08	384	1.42	0	0.99	0
5:00	0.70	0	1.09	384	1.55	0	0.84	0
6:00	0.67	0	1.04	383	1.61	0	0.82	0
7:00	0.90	375	1.03	383	1.76	0	0.84	375
8:00	1.40	777	1.00	382	1.98	403	2.33	1651
9:00	1.41	774	0.97	381	2.19	817	2.37	1660
10:00	1.84	1197	1.37	777	2.28	822	2.36	1663
11:00	1.85	1199	1.42	779	2.35	827	2.34	1655
12:00	1.87	1198	1.72	1191	2.52	1250	2.38	1658
13:00	1.88	1201	1.72	1193	2.45	1245	2.35	1652
14:00	1.87	1200	1.69	1190	2.43	1243	2.40	1659
15:00	1.89	1203	1.71	1192	2.40	1239	2.90	2920
16:00	1.92	1205	1.70	1191	2.38	1239	3.03	2961
17:00	1.92	1237	1.70	1191	2.33	1234	3.06	2993
18:00	1.92	1198	1.73	1189	2.72	2108	2.62	1712
19:00	2.33	1640	2.18	1631	2.72	2108	2.41	1685
20:00	2.22	1637	2.17	1630	2.71	2111	2.02	1225
21:00	2.22	1640	2.19	1634	2.70	2112	2.00	1215
22:00	2.24	1646	1.83	1199	2.65	2110	2.00	1207
23:00	2.01	1218	1.82	1197	2.66	2115	2.01	1211
0:00	1.55	785	1.35	775	2.57	1692	2.03	1212

Tabula 7. Ūdens līmeņi un caurplūdumi Rīgas HES 25.-28.10.2006

Laiks	25.10.2006		26.10.2006		27.10.2006		28.10.2006	
	LL, m	Q, m3/s	LL, m	Q, m3/s	LL, m	Q, m3/s	LL, m	Q, m3/s
0:00	1.15	767	0.75	371	0.96	378	1.30	0
1:00	0.00	0	0.11	0	0.00	0	1.28	0
2:00	0.00	0	0.20	0	-0.04	0	0.82	0
3:00	0.10	0	0.24	0	-0.08	0	0.82	0
4:00	0.25	0	0.22	0	-0.06	0	0.85	0
5:00	0.20	0	0.15	0	-0.06	0	0.95	0
6:00	0.21	0	0.11	0	-0.06	0	1.03	0
7:00	0.78	753	0.07	0	0.15	358	0.73	0

8:00	1.31	776	0.92	748	1.50	1184	0.54	0
9:00	1.30	776	1.90	1597	1.54	1186	0.48	0
10:00	1.56	1182	1.99	1608	1.58	1194	0.66	0
11:00	1.58	1179	2.06	1625	1.54	1188	0.64	0
12:00	1.27	770	1.80	1196	1.55	1186	1.10	421
13:00	1.07	756	1.55	1180	1.62	1190	1.09	422
14:00	1.54	1173	1.55	1177	1.58	1190	1.02	421
15:00	1.56	1176	1.53	1178	1.60	1194	1.00	420
16:00	1.58	1178	1.54	1179	1.10	766	0.92	418
17:00	1.57	1178	1.12	1528	0.76	374	0.95	420
18:00	1.57	1181	1.11	1148	0.80	374	0.91	416
19:00	1.59	1185	1.57	1182	1.75	1196	1.31	854
20:00	1.56	1176	1.58	1186	1.88	1206	0.91	415
21:00	1.54	1173	1.40	782	1.89	1209	0.79	409
22:00	1.55	1172	1.27	779	2.01	1619	0.77	408
23:00	1.52	1172	1.31	775	1.74	1200	0.76	409
0:00	0.75	371	0.96	378	1.30	0	0.33	0

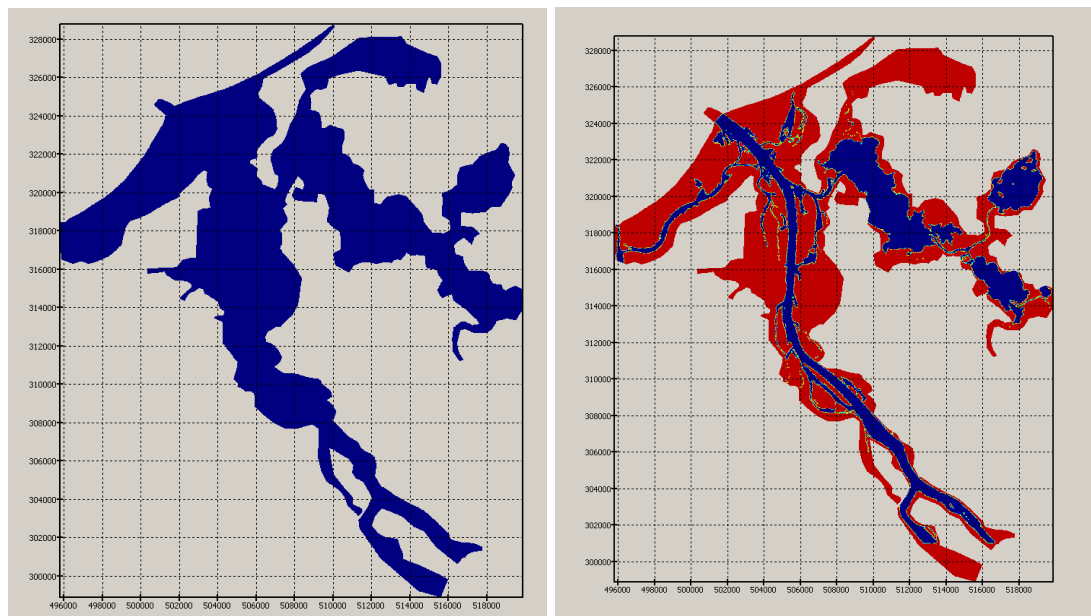
Tabula 8. Ūdens līmeņi un caurplūdumi Rīgas HES 13.-16.01.2007

Laiks	13.01.2007		14.01.2007		15.01.2007		16.01.2007	
	LL, m	Q, m3/s	LL, m	Q, m3/s	LL, m	Q, m3/s	LL, m	Q, m3/s
0:00	1.42	777	2.36	1680	1.42	789	1.89	1220
1:00	1.89	1204	1.50	789	1.48	791	1.52	791
2:00	1.86	1203	1.48	789	1.68	800	1.48	791
3:00	1.87	1206	1.40	786	1.89	812	1.13	385
4:00	1.85	1214	1.40	787	2.12	827	1.50	816
5:00	1.85	1210	1.31	783	2.10	829	1.54	793
6:00	1.86	1209	1.32	783	2.20	836	1.87	1210
7:00	1.85	1210	1.30	783	2.11	829	2.25	1655
8:00	2.25	1661	1.30	783	1.81	814	2.62	2129
9:00	2.30	1671	1.27	776	1.82	1220	2.71	2151
10:00	2.34	1677	1.27	775	2.22	1661	2.68	2145
11:00	2.70	2154	2.02	1631	2.50	2116	2.70	2152
12:00	2.35	1688	2.05	1637	2.80	2158	2.72	2159
13:00	2.34	1684	2.04	1642	2.75	2151	2.71	2159
14:00	2.35	1686	2.04	1638	2.33	1674	2.73	2165
15:00	2.40	1691	2.06	1637	2.32	1671	2.19	1671
16:00	2.43	1698	2.06	1636	2.29	1665	2.21	1673
17:00	2.40	1701	2.05	1638	2.67	2133	2.27	1665
18:00	2.42	1703	2.10	1649	2.70	2137	2.69	2136
19:00	2.46	1704	2.10	1653	2.71	2146	2.70	2136
20:00	2.49	1703	2.13	1656	2.30	1671	2.73	2143
21:00	2.49	1701	2.20	1661	2.27	1667	2.74	2151
22:00	2.41	1692	2.29	1665	2.30	1668	2.37	1687
23:00	2.40	1688	1.82	1217	2.01	1229	1.58	800
0:00	2.36	1680	1.42	789	1.89	1220	1.41	791

3. HIDRODINAMISKĀ MODEĻA IZVEIDE

3.1 Modeļapgabala izvēle

Rīgas pilsētas applūšanas scenāriju hidrodinamiskā modeļa izveidei izvēlēts att. 3 (ar pelēku krāsu) un att. 6 (pa kreisi, ar tumši zilu krāsu) parādītais modeļapgabals.



Att. 6. Modeļapgabals (pa kreisi) un tā nosacītais dalījums ūdenī/sauszemē (pa labi).

Modeļapgabals norobežots ar Rīgas HES (Daugavas augštecē), Rīgas ostas moliem (Daugavas lejtecē), Lielupes šķērsgriezumu augšpus Buļļupes, Lielupes kreiso krastu. Modeļapgabala ārējās robežas sasniedz reljefa atzīmes >3m, kuru applūšana nav iespējama. Modeļapgabals ietver Daugavas pamatgultni un attekas lejpus Rīgas HES, Buļļupi, Lielupes grīvu, Audupi un Vecdaugavu, Ķīšezeru, Juglas ezeru, Baltezeru un tos savienojošo kanālu sistēmu, Hapaka grāvi līdz Spilvas polderim, Piķurgas, Langas un Mārupītes posmus.

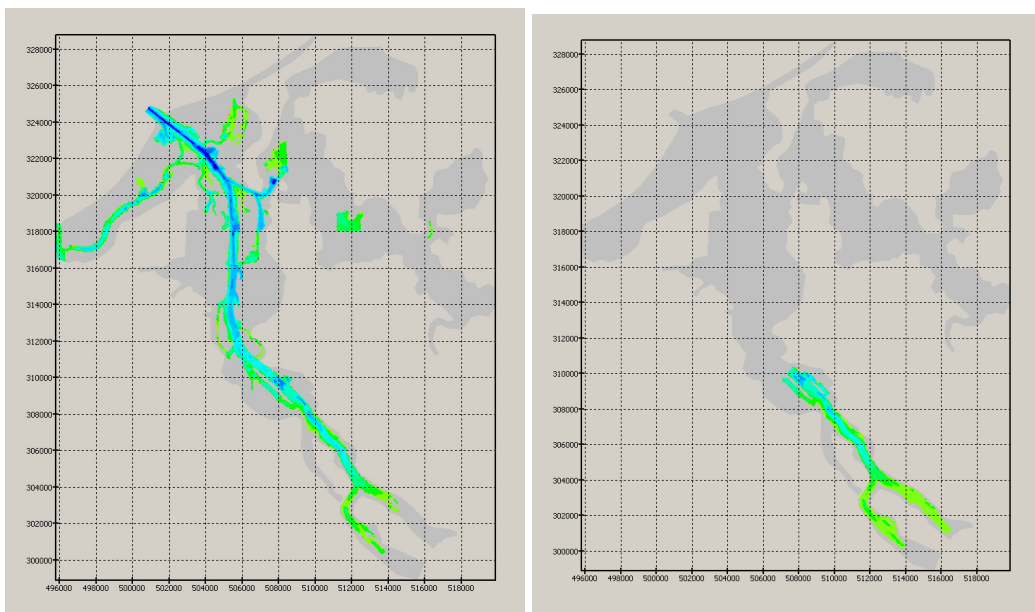
3.2 Ģeotelpiskās informācijas apkopošana

Ģeotelpiskās informācijas apkopošana ietver digitālā reljefa izveidi sadaļas 3.1 modeļapgabalā. Reljefa izveidei modeļapgabals nosacīti tika sadalīts virs- un zemūdens daļās (att. 6, pa labi).

Zemūdens daļas digitālais reljefs tika izveidots sekojošos soļos

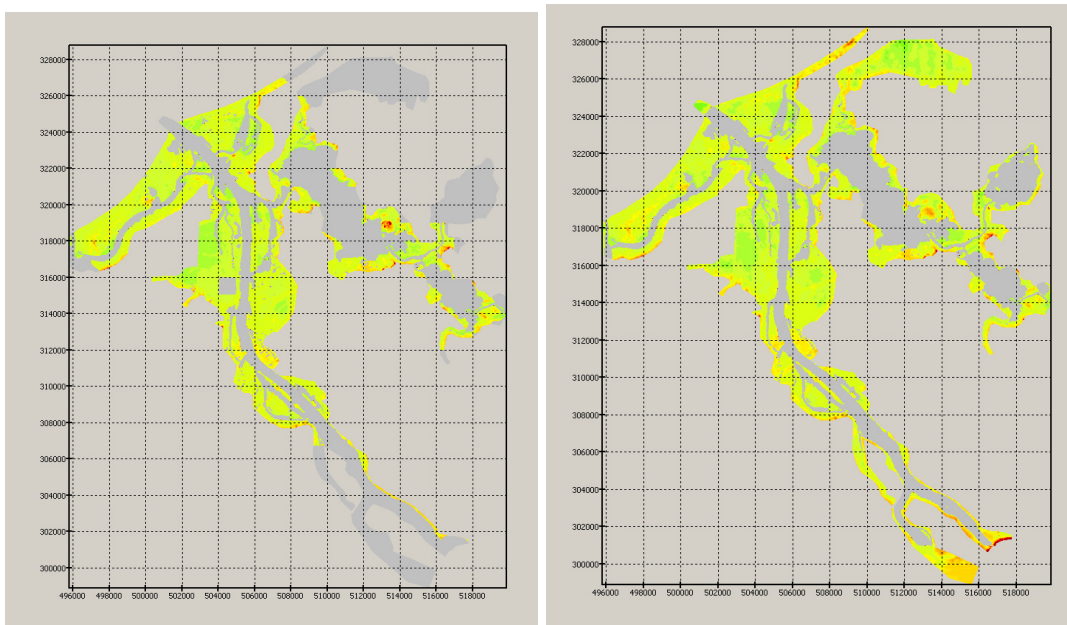
1. Latvijas Jūras administrācijas Hidrogrāfijas dienesta dziļuma uzmērījumi, to pārklāto apgabalu sk. att. 7, pa kreisi. LJA LHD uzmērījumi (ieejas dati) tiek iesniegti Pasūtītājam elektroniskā formā kopā ar šo atskaiti.

2. AS „Latvenergo” iesniegtie dziļumu uzmērījumi, sk. att. 7, pa labi. AS „Latvenergo” dziļumu uzmērījumi tiek iesniegti Pasūtītājam elektroniskā formā kopā ar šo atskaiti.



Att. 7. LJA LHD (pa kreisi) un „Latvenergo” (pa labi) dziļuma uzmērījumi.

3. Ciparojot PSRS Armijas Ģenerālštāba 1:10000 mēroga topogrāfiskās kartes Ķīšezerā.
4. Pp. 1-3 nepārklātajos apgabalos tika pieņemts ūdenstilpņu dziļums 2 m.

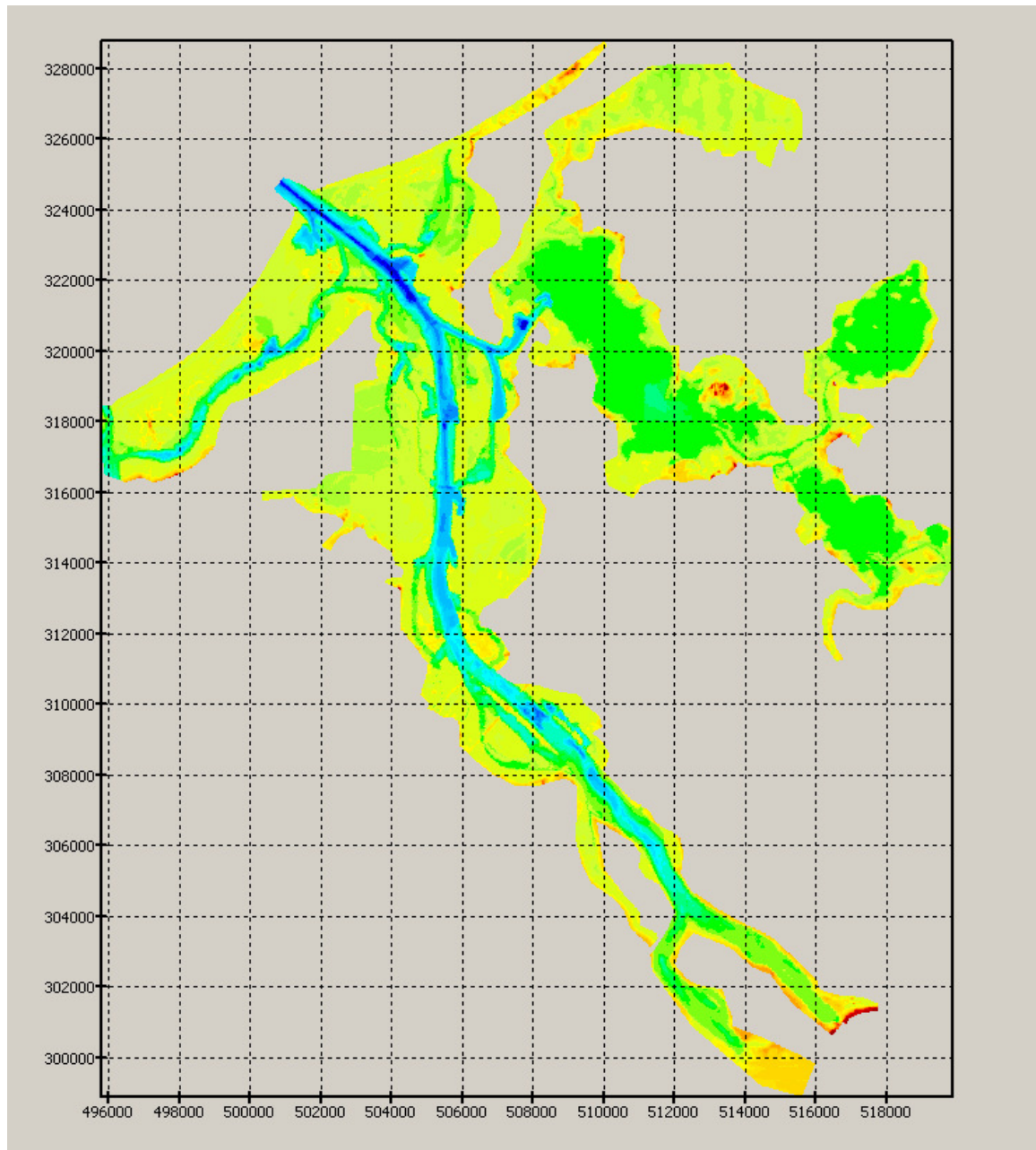


Att. 8. 10x10 m digitālās reljefa kartes pārklājums (pa kreisi) un augstuma sadalījums no Pasūtītāja iesniegtajām augstuma horizontālēm.

Ģeotelpiskās informācijas apkopošanas soļi „sauszemes” daļai bija sekojoši:

1. Pasūtītāja iesniegtā 10×10 m izšķirtspējas digitālā reljefa matrica (att. 8 pa kreisi).
2. P. 1 nepārklātajā modeļapgabalā augstuma sadalījums tika iegūts, interpolējot Pasūtītāja iesniegtās augstuma horizontāles (att. 8 pa labi).

Kopējais reljefa sadalījums modeļapgabalā pēc visas augstumu un dziļumu sadalījuma informācijas apkopošanas parādīts att. 9.



Att. 9. Modeļapgabala reljefs.

Modeļapgabalā tika ieviesti līnijveida objekti, kuru raksturīgais platums ir mazāks par sagaidāmo hidrodinamiskā modeļa telpisko izšķirtspēju (ap 50 m) vai pat 10×10 m

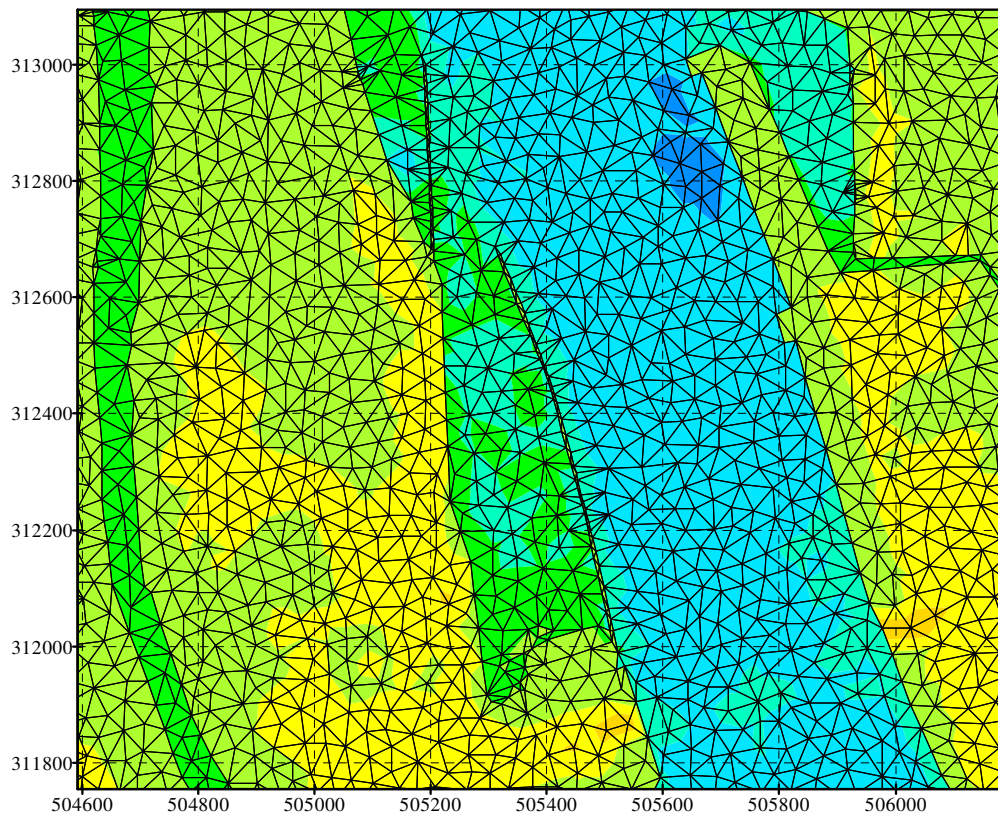
reljefa matricas izšķirtspēju. Šādi objekti pamatā ir dambji, uzbērumi, caurtekas tajos, grāvji, piestātņu un krasta līnijas u.c. reljefa elementi, kuri ir nozīmīgi teritoriju applūšanas modelēšanai. Ilustrāciju līnijveida objektu izvietojumam modeļapgabalā sk. att. 10. Atzīmēsim, ka Pasūtītāja un Izpildītāja rīcībā nav līnijveida objektu datubāzes un/vai ģeotelpiskās informācijas apkopojuma elektroniskā formā. Tādēļ līnijveida objekti tika ciparoti pēc reljefa iezīmēs, Pasūtītāja iesniegtās Rīgas topogrāfiskās kartes ceļu un grāvju tīkla, kā arī apbūves izvērtējuma, un, izmantojot ELLE (2007) pielikumu grafisko materiālu. Tomēr, pastāv risks, ka modelī ietvertu līnijveida objektu apjoms nav pilnīgs, jo norādes un tiem bieži vien bija netiešas.



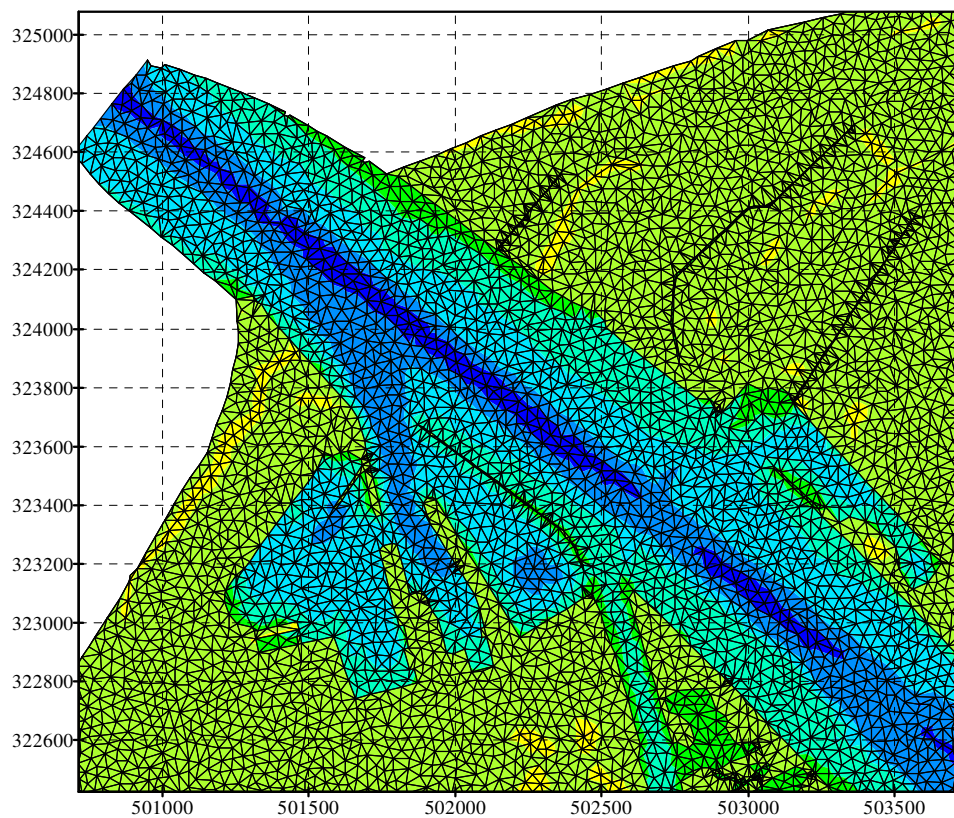
Att. 10. Ilustrācija līnijveida objektu izvietojumam modeļapgabalā.

3.3 Aprēķinu režģis mūsdienu situācijai

Sadaļas 3.2 reljefa sadalījums tika diskretizēts – sadalīts trijstūra galīgo elementu aprēķinu režģī ar programmatūru MeshEditor, PAIC (2000). Raksturīgais starppunktu attālums aprēķinu režģī 20-50 m. Režģa līnijas apraksta nosacīto virsūdens / zemūdens daļas robežu, kā arī visus modeļapgabalā izvietotos līnijveida objektus (uzbērumus, grāvjus utjpr.); šādu objektu tuvumā režģis papildus sasmalcināts. Aprēķinu režģa ilustrācijas sniegtas att. 11-12. Kopējais aprēķinu režģa punktu skaits pārsniedz 250000.



Att. 11. Aprēķinu režģa fragments – Daugava pie Andrejostas.



Att. 12. Aprēķinu režģa fragments – Daugavas grīva.

3.4 Modelējošā programmatūra

Visi Rīgas pilsētas teritorijas applūšanas scenāriji šajā atskaitē modelēti ar programmatūru SwEvolver, PAIC (2003). Programmatūra modelē ar ūdeni pārklātās teritorijas, ūdenslīmeņa un straumes ātruma sadalījumu attīstību laikā sekla ūdens tuvinājumā. Modelim nepieciešamie robežnosacījumi ir laikā mainīgie caurplūdumi uz tā augšteces „valējās” robežas un ūdenslīmeņi uz lejteces „valējas” robežas, kā arī vēja ātruma un virziena maiņa laikā.

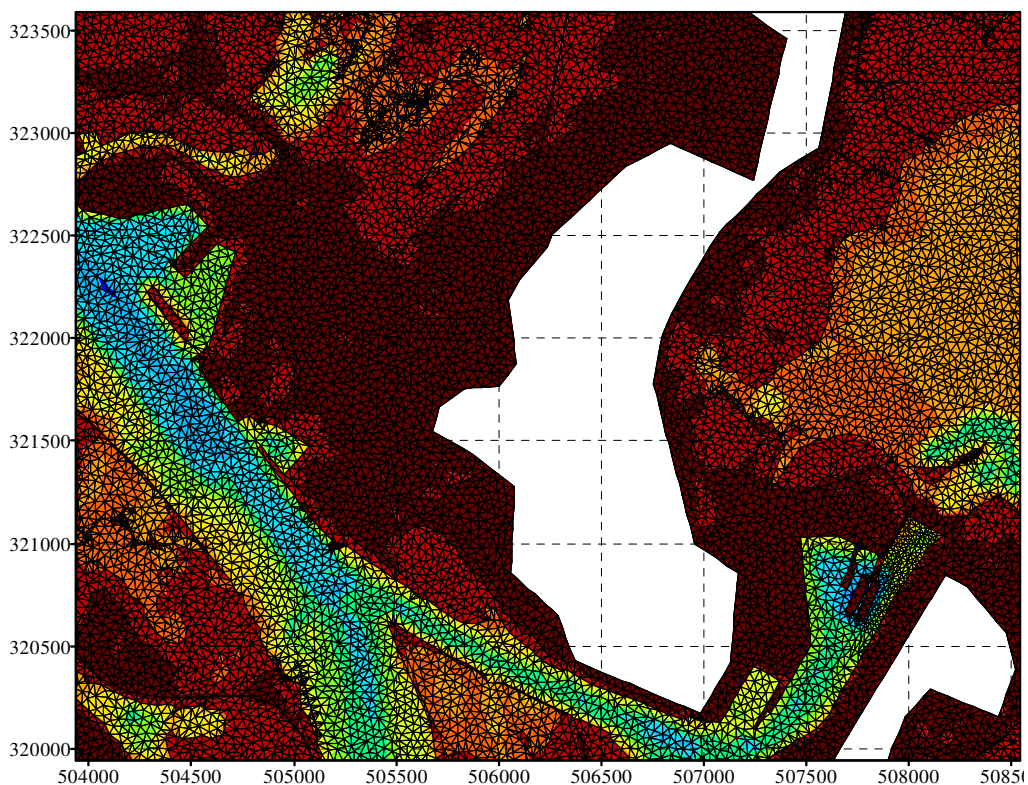
Šī projekta ietvaros tika veiktas sekojošas izmaiņas SwEvolver

- pilnveidots teritorijas applūšanas algoritms;
- iebūvēts hidrodinamikas aprēķina algoritms gar līnijveida objektiem;
- rezultātu pēcapstrādes funkcija papildināta ar iespēju noteikt katra punkta maksimālo ūdenslīmeni visā aprēķinu periodā un noteikt maksimāli applūstošo teritoriju visā laika periodā (t.i. modeļapgabala daļu, kuru kaut vienā laika momentā pārklāj ūdens).

3.5 Inženiertehniskie pretplūdu scenāriji

Papildus sadaļas 3.3 mūsdienu situācijas aprēķinu režģim tika izgatavoti vēl 3 aprēķinu režģi, kas atbilst Pasūtītāja sagatavotajiem pretplūdu inženiertehniskajiem pasākumiem:

1. **Scenārijs S3.** Scenārijs paredz aizvaru ierīkošanu Audupē un Mīlgrāvja caurtekā, novēršot ūdens pieplūdumu no Daugavas Vecdaugavā un Ķīšezerā. Scenārijs realizēts aprēķinu režģī izveidojot reljefā Audupes un Mīlgrāvja caurtekas nosprostojumus (att. 13).



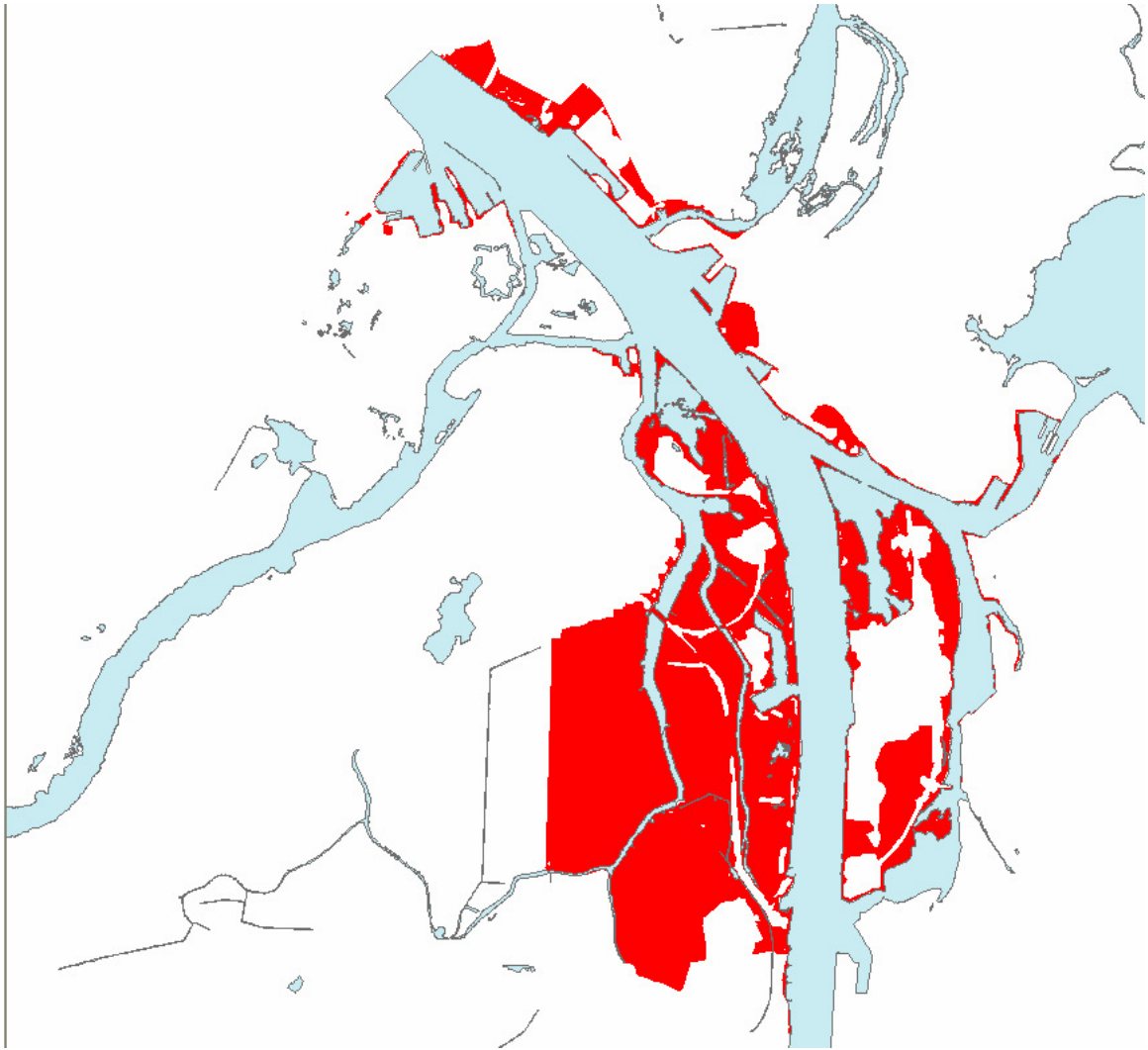
Att. 13. Aprēķinu režģa pārveide scenārijam S3. Aizvari Mīlgrāvja caurtekā un Audupē.

2. **Scenārijs S2** paredz Rīgas Brīvdabas teritorijas izslēgšanu no applūstošā apgabala. Rīgas Brīvdabas teritorija parādīta att. 14. Scenārijs realizēts, paaugstinot att. 14 parādītajos poligonos zemes virsmas atzīmes līdz 3 m. Tai pat laikā saglabāti visi kanāli, grāvji un līnijveida objekti, kas atrodas (un/vai šķērso) Rīgas Brīvdabas teritoriju.
3. **Scenārijs S1** paredz izveidot vairākus polderus, kā arī pasargāt no applūšanas noteiktas saudzējamās esošās apbūves teritorijas. No aprēķinu apgabala izslēdzamās teritorijas iesniedza Pasūtītājs (att. 15). Scenārijs S1 realizēts aprēķinu režģī kopā ar scenāriju S2. Scenārija realizācija atšķiras polderiem un aizsargājamas apbūves teritorijām:

- 3.1. Polderu teritorijas jau šobrīd norobežo dambji, vai arī to izveide paredzēta ELLE (2007). Lai izslēgtu polderus no applūstošās teritorijas (a) to

norobežozošo dambju – līnijveida objektu – augstums palielināts līdz 3 m atzīmei un (b) aizvērtas caurtekas / grāvji, kas nodrošina noteci no polderu teritorijas.

3.2. Aizsargājamās apbūves poligonu teritoriju reljefa atzīme paaugstināta līdz 3 m, saglabājot šīs teritorijas šķērsojošos līnijveida objektus (kanālus, grāvjus, caurteces).



Att. 14. Rīgas Brīvostas teritorija (izslēgta no applūstošā apgabala scenārijā S2).



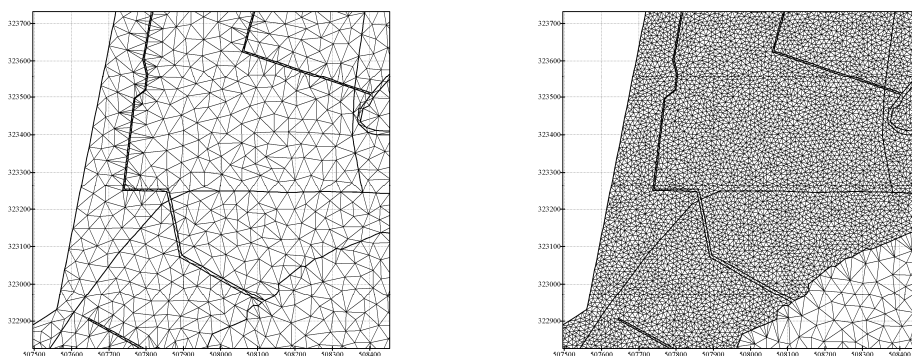
Att. 15. Polderu un aizsargājamās apbūves teritorija (izslēgta no applūstošā apgabala scenārijā S1).

3.6 Applūstošās teritorijas kartēšanas algoritms

Plūdu situācijā applūstošā teritorija tiek noteikta kā aprēķinu režģu elementu kopums, kuru kaut vienā hidrometeoroloģiskā scenārija laika momentā pārklāj ūdens. Papildus tam, katram no aprēķinu punktiem tiek piekārtots maksimālais ūdenslīmenis, kāds plūdu situācijas laikā bijis šai punktā.

Tipiskā aprēķinu režģa telpiskā precizitāte (30-50 m) ir vairāk nekā pietiekama hidrodinamisko procesu aprakstam, bet tai pat laikā esošā reljefa informācija ir ar augstāku izšķirtspēju (10 m), kas ļauj būtiski precizēt applūstošās teritorijas robežu, izmantojot sekojošus soļus:

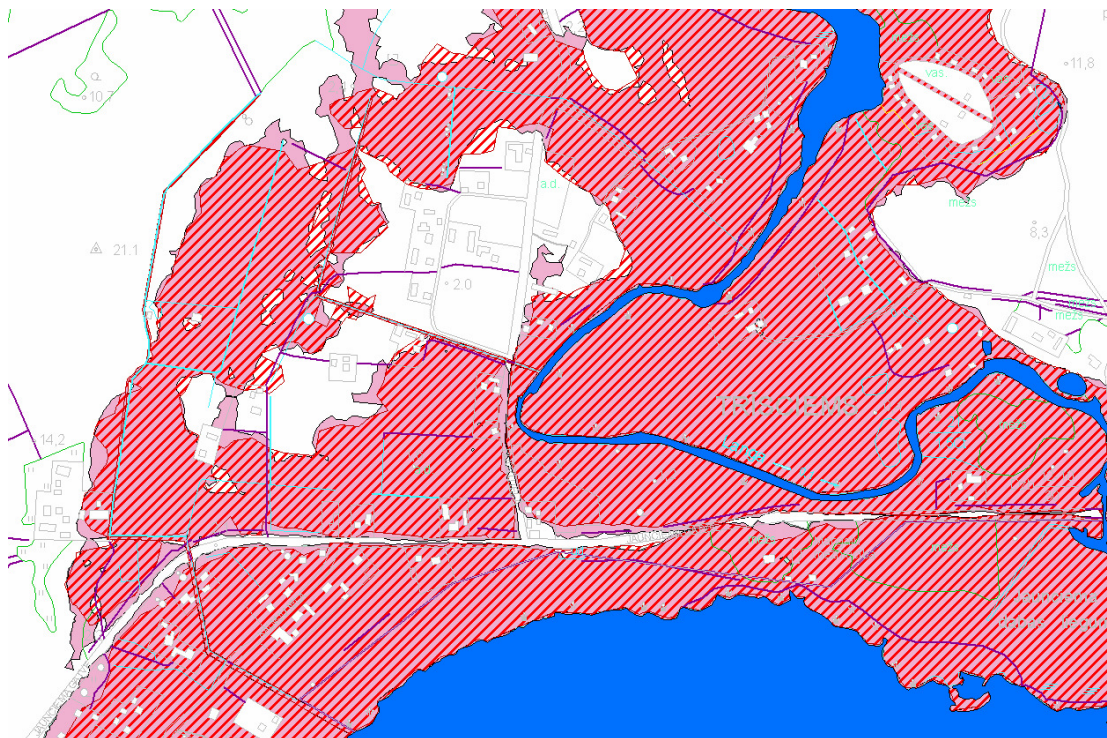
1. Papildus aprēķinu režģim (piemēru sk. att. 16 pa kreisi) modeļapgabala „sauszemes” daļā tika izveidots režģis, kura detalizācija (10 m) atbilst digitālā reljefa matricai (sk. att. 16 pa labi).



Att. 16. Aprēķinu (pa kreisi) un augstas izšķirtspējas (pa labi) režģa fragments Ķīšezera ZR krastā.

2. Augstas izšķirtspējas režģim tika piekārtots augstuma sadalījums (reljefs).
3. No aprēķinu režģa applūstošā apgabala tika izslēgta tā augstas izšķirtspējas režģa daļa, kuras reljefs pārsniedz maksimālo ūdenslīmeni konkrētā aprēķinu režģa elementā.
4. Applūstošā apgabala robeža tika pārnesta no aprēķinu režģa uz augstas izšķirtspējas režģi.
5. Applūstošajam apgabalam tika pievienota tā augstas izšķirtspējas režģa daļa, kura (a) robežojas ar p. 4 applūstošo apgabalu un (b) ir zemāka par maksimālo ūdenslīmeni aprēķinu režģa elementā.
6. Ja p. 5 pārrēķinu rezultātā applūstošās teritorijas robeža sasniedza „neapplūstoša” aprēķinu režģa elementa robežu, tad p. 5 robežas pārbīde tika turpināta arī šajā elementā.

Applūstošās teritorijas korekcijas algoritma darbības rezultāts ilustrēts att. 17.



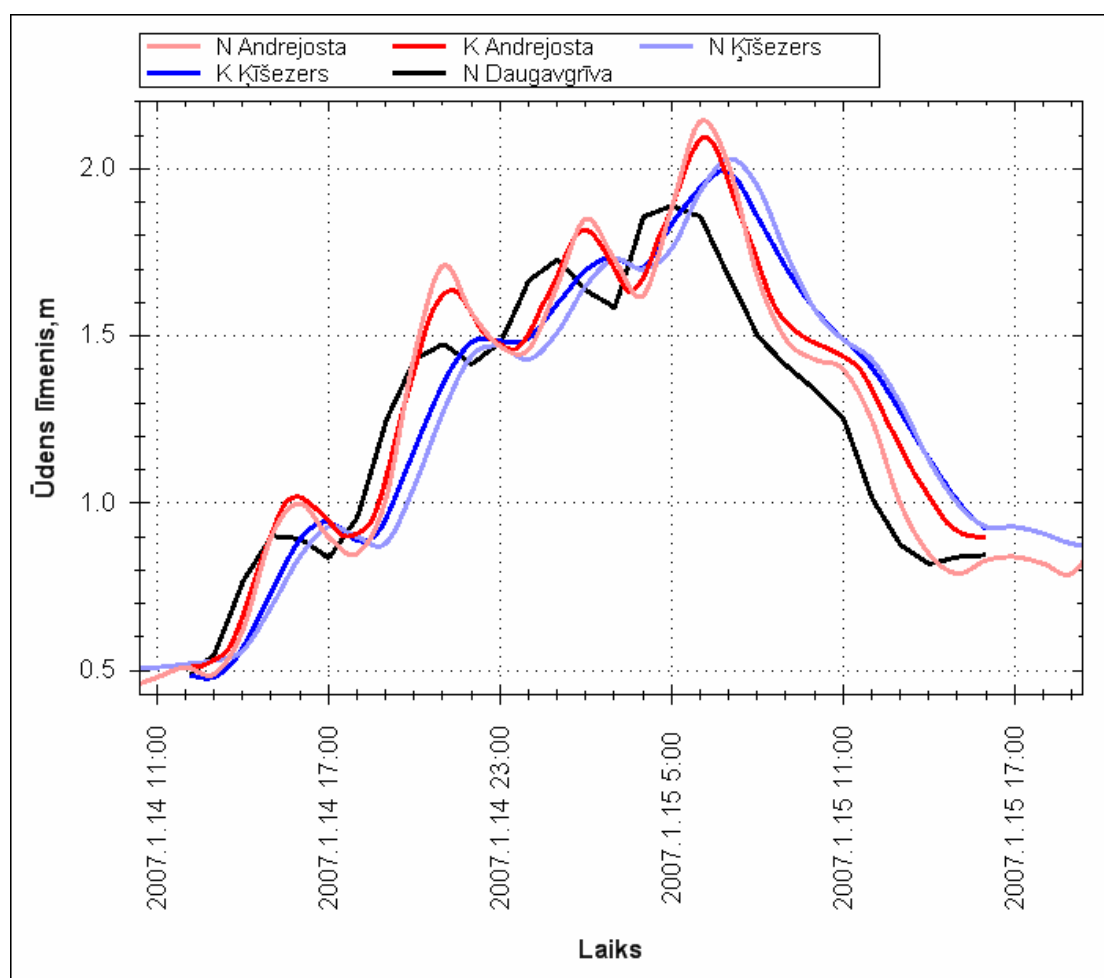
Att. 17. Applūstošās teritorijas robeža (mūsdienu situācija, applūduma varbūtība reizi 100 gados), kas noteikta no aprēķinu režģa (iesvītrots poligons) un augstas izšķirtspējas režģa (aizkrāsots poligons).

4. MODEĻSISTĒMAS KALIBRĀCIJA

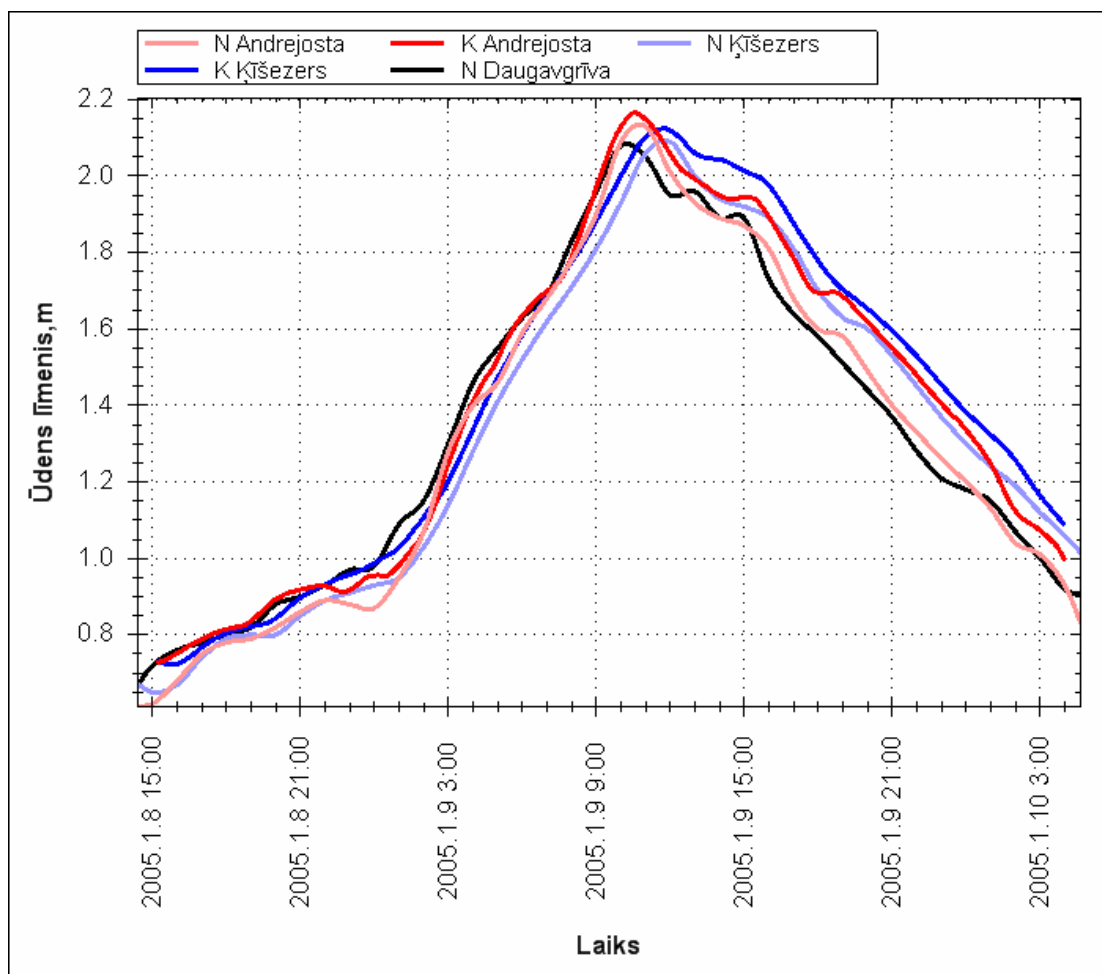
Modeļsistēmas kalibrācija nozīmē atrast tādus modeļa parametrus (pamatā – grunts berzi raksturojošus koeficientus), pie kuriem panākta vislabākā aprēķināto un novēroto parametru sakritība.

Mūsu gadījumā tika salīdzināti aprēķinātie un novērotie ūdenslīmeņi Andrejostā un Ķīšezērā.

Kalibrācijas aprēķini tika veikti piecām sadaļā 2.1-2.2 izvēlētajām vēsturiskajām vētru situācijām. No kopējā vētru perioda aprēķini tika veikti 24-37 h ilgiem laika periodiem (sk. 9. tabulu), kas (1) sākas reizē ar ūdenslīmeņa kāpuma sākšanos Daugavgrīvā un (2) beidzas, kad ūdenslīmenis sasniedzis maksimālo vērtību modeļapgabala teritorijā.



Att. 18. Ūdenslīmeņa laika grafiks Daugavgrīvā, Ķīšezērā un Andrejostā 2007. gada janvāra vētras laikā. K – kalibrācijas aprēķini, N – novērojumi.



Att. 19. Ūdenslīmeņa laika grafiks Daugavgrīvā, Ķīšezerā un Andrejostā 2005. gada janvāra vētras laikā. K – kalibrācijas aprēķini, N – novērojumi.

9. Tabula. Kalibrācijā izmantoto vēsturisko vētru aprēķina periodi.

Vētras periods	Aprēķinu sākums	Aprēķinu beigas	Aprēķinu ilgums, h
25.10.2006-29.10.2006	27.10.2006 08:00	28.10.2006 12:00	28
27.01.2002-31.01.2002	29.01.2002 02:00	30.01.2002 07:00	29
12.11.2001-17.11.2001	15.11.2001 09:00	16.11.2001 09:00	24
12.01.2007-17.01.2007	14.01.2007 12:00	15.01.2007 16:00	28
07.01.2005-11.01.2005	08.01.2005 15:00	10.01.2005 04:00	37

Kalibrācijas rezultāti ilustrēti kā laika grafiki novērotajam (Daugavgrīvā, Ķīšezerā un Andrejostā) un aprēķinātajam (Ķīšezerā un Andrejostā) ūdenslīmenim divās spēcīgākajās – 2007. un 2005. gada janvāra vētrās, att. 18-19.

Kalibrācijā panākta laba novērojumu un aprēķinu sakritība gan pēc ūdenslīmeņa ekstremālajām vērtībām, gan to sasniegšanas laika momentiem. Apstākļi, ka 2005. gada vētras laikā aprēķinātais ūdenslīmenis ir nedaudz lielāks par novēroto, bet 2007. gada vētras laikā – otrādi, liecina par to, ka būtiski labākus kalibrācijas rezultātus nevar sasniegt – tos limitē vēja un upju noteces datu precizitāte.

Att. 18-19 parāda, ka ūdenslīmeņa maksimums Andrejostā tiek sasniegts aptuveni vienu stundu, bet Ķīšezerā – divas stundas pēc maksimālā ūdenslīmeņa laika momenta Daugavgrīvā. Andrejostas maksimālais ūdenslīmenis vienmēr ir augstāks par Daugavgrīvas maksimālo ūdenslīmeni (starpība atkarīga no Rīgas HES caurplūduma), bet Ķīšezerā ūdenslīmeņa maksimums ir starp Andrejostas un Daugavgrīvas līmeņu maksimuma vērtībām.

5. MODELAPRĒĶINI

Modeļaprēķini ir ūdenslīmeņa, straumju sadalījuma un applūstošas teritorijas laika attīstības aprēķini, kam papildus noteikti maksimāli applūstošā teritorija un maksimālā ūdenslīmeņa sadalījums.

Modeļaprēķini veikti 4 dažādām modeļapgabala reljefa konfigurācijām (mūsdienu situācija M, scenāriji S3, S2 un S1) un 5 dažādam vētru situācijām ar atkārtojamību reizi 5, 10, 20, 50 un 100 gados – pavisam divdesmit aprēķinu varianti.

Modeļaprēķinu rezultāti tiek iesniegti Pasūtītājam ESRI shape failu formā kā maksimālās applūstošas teritorijas poligoni un maksimālā ūdenslīmeņa sadalījums applūdušajā zonā. Turpmākajās sadaļā 5.1-5.4 tiks ilustratīvi aplūkoti scenāriji M, S3, S2 un S1.

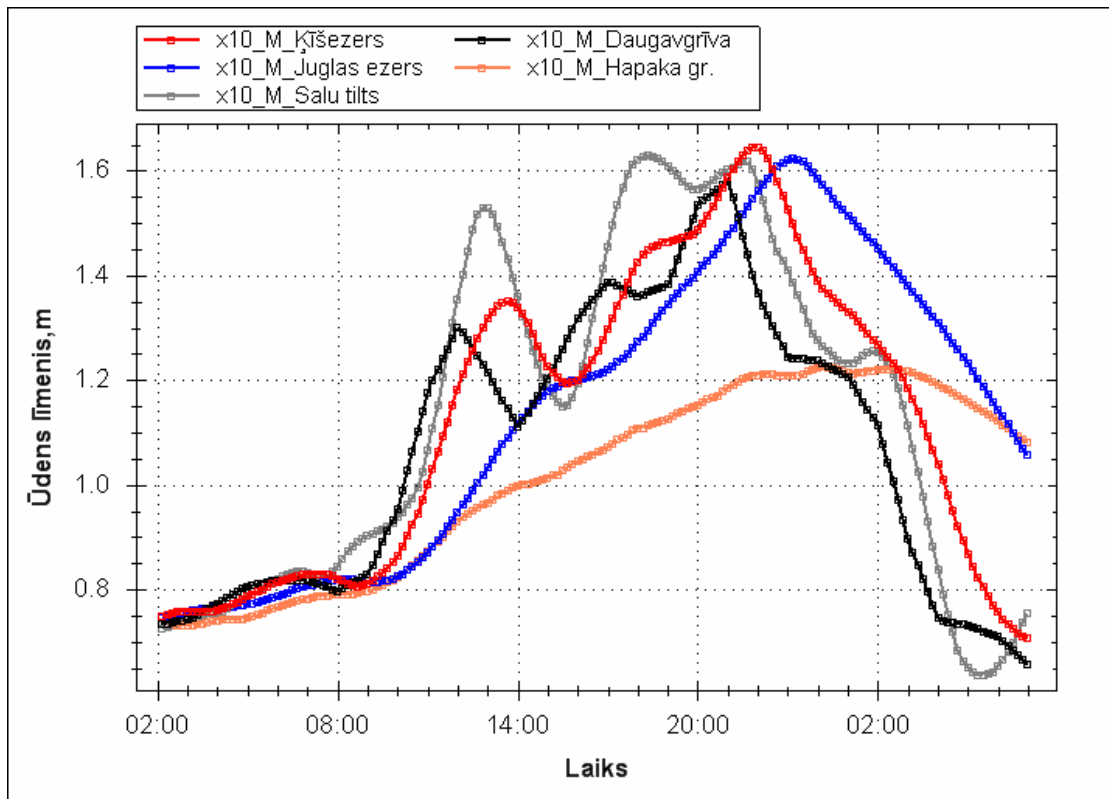
5.1 Mūsdienu situācija

Ūdenslīmeņa laika grafiki dažādos (sk. att. 3) modeļapgabala punktos uzplūdu situācijai ar atkārtojamību reizi 10 gados parādīti att. 20. Attēlā uzskatāmi parādīta Daugavgrīvas ūdenslīmeņa signāla aizkavēšanas laikā, ūdenim vispirms pieplūdot Ķīšezeru un vēlāk – Juglas ezeru. Aplūkotajā vētras situācijā ezeru ūdenslīmeņa maksimums pārsniedz Daugavgrīvas maksimālo ūdenslīmeni vēja izraisīto uzplūdu dēļ ezeru austrumu krastos. Hapakā grāvja ūdenslīmeņa maiņas signāls ir būtiski nogludināts, pazemināts un aizkavēts laikā, jo ūdens pieplūdumu limitē caurteka zem Bolderājas šosejas. Att. 20 arī parāda, ka ūdenslīmeņa maksimumu augstāk pa Daugavu – piemēram, Salu tilta rajonā, ietekmē arī Rīgas HES darbības uzsākšana laikā, kad Daugavā no Rīgas jūras līča ieplūst vēja uzplūdu dzītās ūdens masas.

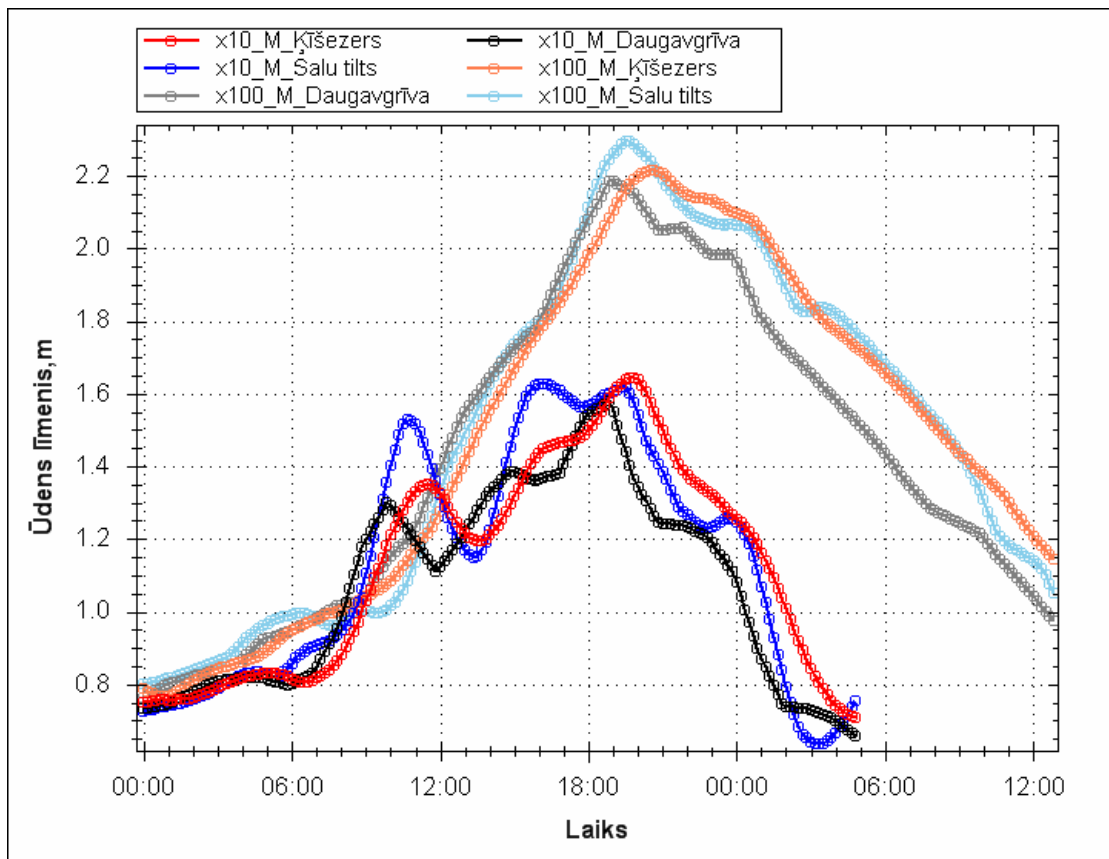
Att. 21 parādīts samērs starp vētru situācijām reizi 10 un reizi 100 gados.

Att. 22-24 parādītas aprēķinātās applūstošās teritorijas izvēlētās modeļapgabala zonās (Langas ieteka Ķīšezerā, Daugavas grīva ar Vecdaugavu, Krasta ielas rajons augšpus Salu tilta). Šajos attēlos var uzskatāmi salīdzināt applūstošo teritoriju samērus situācijas reizi 10 gados un reizi 100 gados. Tāpat, šajos attēlos salīdzināti šīs atskaites aprēķini ar LVĢMA (2007) sniegto reizi 10 gados applūstošo teritoriju. Atšķirības no LVĢMA (2007) ir sistemātiskas un šai atskaitē aprēķinātās applūstošās teritorijas praktiski visur ir mazākas. Galvenie atšķirību iemesli ir sekojoši:

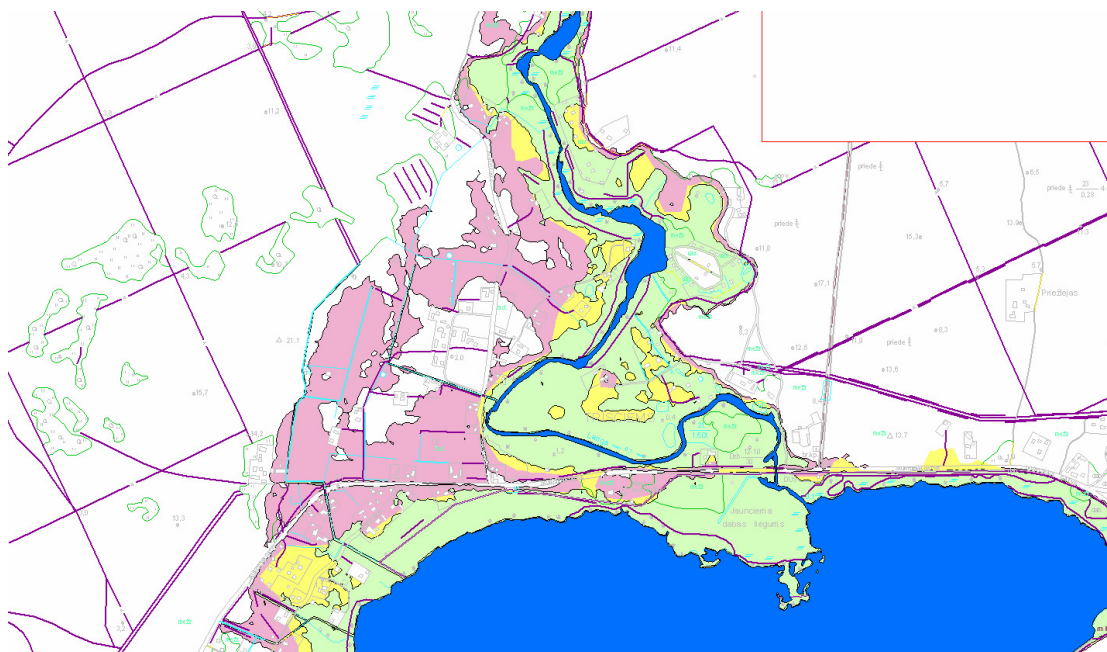
- LVĢMA (2007) neņem vērā ūdenslīmeņa dinamiku ezeru sistēmā;
- šajā atskaitē lietots dinamisks applūšanas modelis (t.i. ūdenim ir jāpaspēj aizplūst līdz applūdināmajai vietai);
- LVĢMA (2007) kā applūstošas uzrādītas virkne pazeminātu teritoriju, kas ir pasargātas no applūšanas ar reljefa īpatnībām vai aizsargbūvēm.



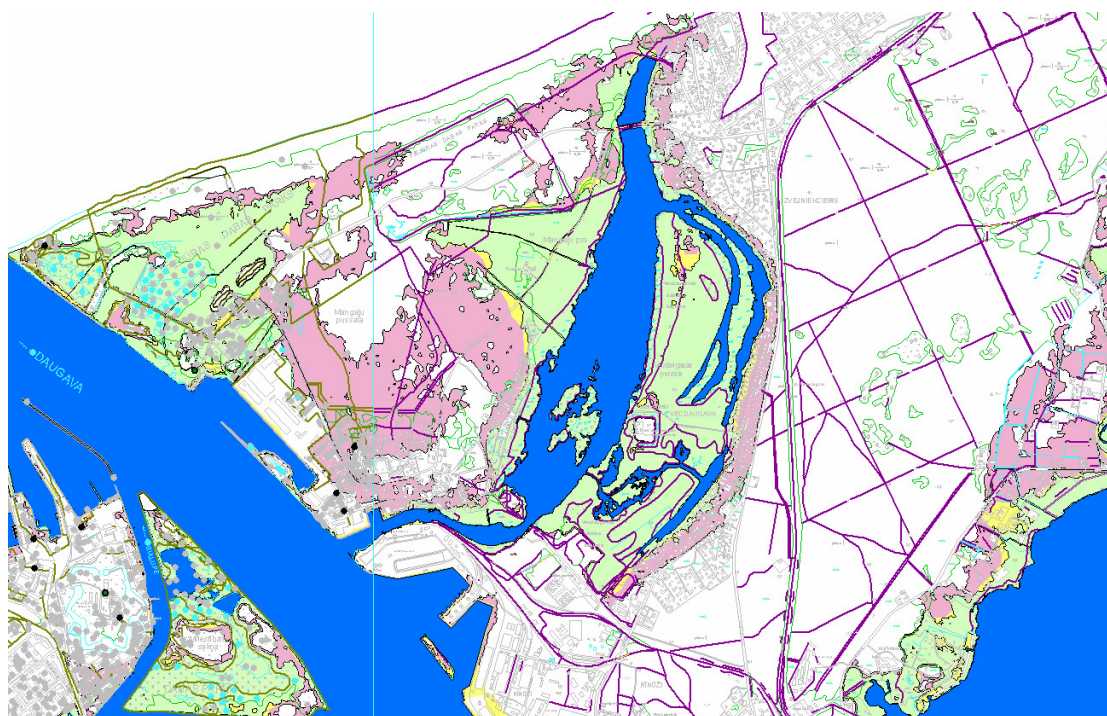
Att. 20. Ādenslīmeņa laika grafiks dažādos modeļapgabala punktos. Mūsdienu situācija. Uzplūdu atkārtotamība reizi 10 gados.



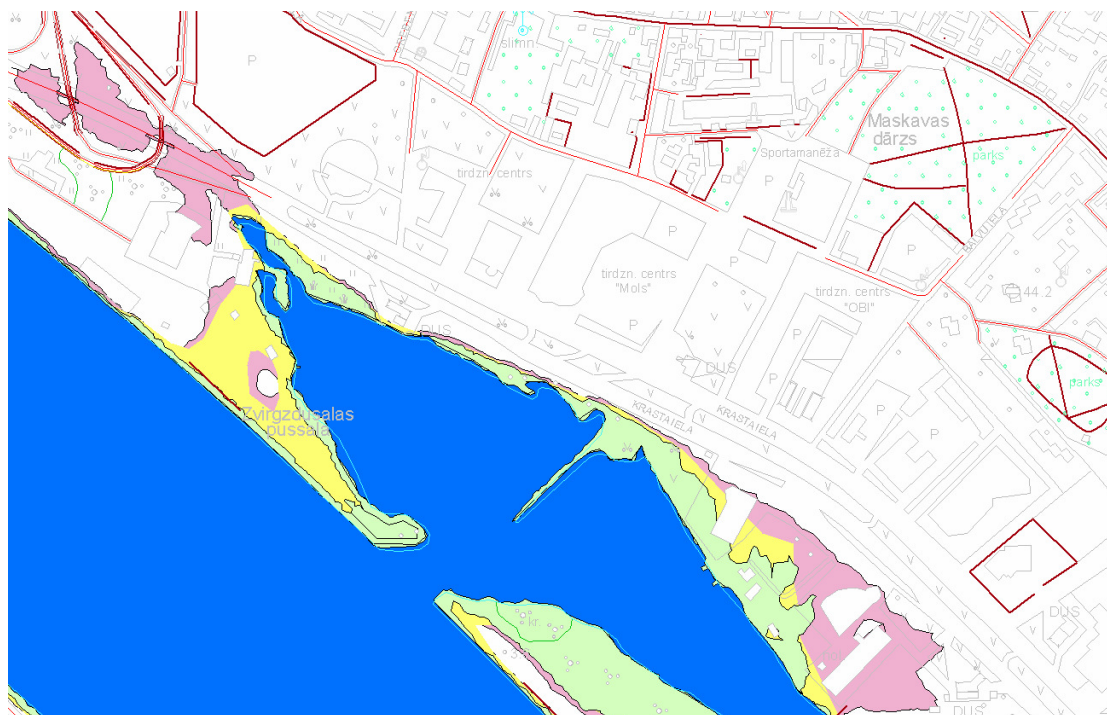
Att. 21. Ādenslīmeņa laika grafiki Daugavgrīvā, Ķīsezērā un pie Salu tilta. Mūsdienu situācija. Uzplūdu atkārtotamība reizi 10 gados un reizi 100 gados.



Att. 22. Applūstošās teritorijas Langas ietekas rajonā. Mūsdienu scenārijs. Uzplūdu atkārtojamība reizi 10 gados (zaļā krāsā atbilstoši šīs atskaites aprēķiniem, dzeltenā pēc LVĢMA(2007)) un reizi 100 gados (sarkanā krāsā).



Att. 23. Applūstošās teritorijas Vecdaugavas rajonā. Mūsdienu scenārijs. Uzplūdu atkārtojamība reizi 10 gados (zaļā krāsā atbilstoši šīs atskaites aprēķiniem, dzeltenā pēc LVĢMA(2007)) un reizi 100 gados (sarkanā krāsā).



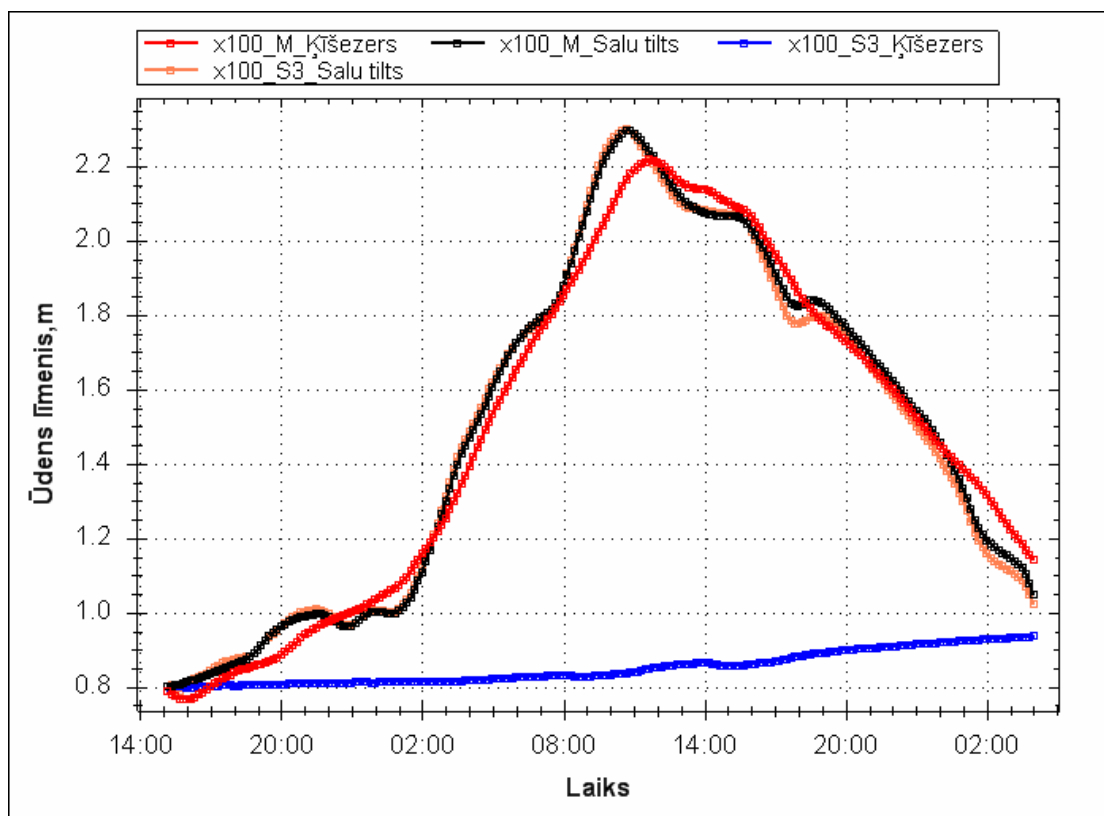
Att. 24. Applūstošās teritorijas Krasta ielas rajonā. Mūdienu scenārijs. Uzplūdu atkārtotamība reizi 10 gados (zaļā krāsā atbilstoši šīs atskaites aprēķiniem, dzeltenā pēc LVĢMA(2007)) un reizi 100 gados (sarkanā krāsā).

5.2 Scenārijs S3

Scenārijs S3 paredz aizvaru izbūvi Mīlgrāvja caurtekā un Audupē. Modeļsituācijā par aizvaru aizvēršanas brīdi var uzskatīt aprēķinu sākuma laika momentu.

Aizvaru izbūve efektīvi pasargā no applūšanas Vecdaugavas un ezeru (Ķīšezera, Baltezera, Juglas ezera) krastus. Ūdenslīmeņa laika grafiki Daugavgrīvā, Ķīšezērā un pie Salu tilta scenārija S3 gadījumā parādīti att. 25 vētras situācijai ar atkārtojamību reizi 100 gados. Redzams, ka

- Pusotras diennakts laikā pietece no L. Juglas un M. Juglas upēm nespēj būtiski paaugstināt Ķīšezera līmeni.
- Aizvaru ietekme uz ūdenslīmeņa laika grafiku pie Salu tilta ir nebūtiska – gan ūdenslīmeņa kāpums gan kritums Daugavas pamatgultnē ir nedaudz straujāks.



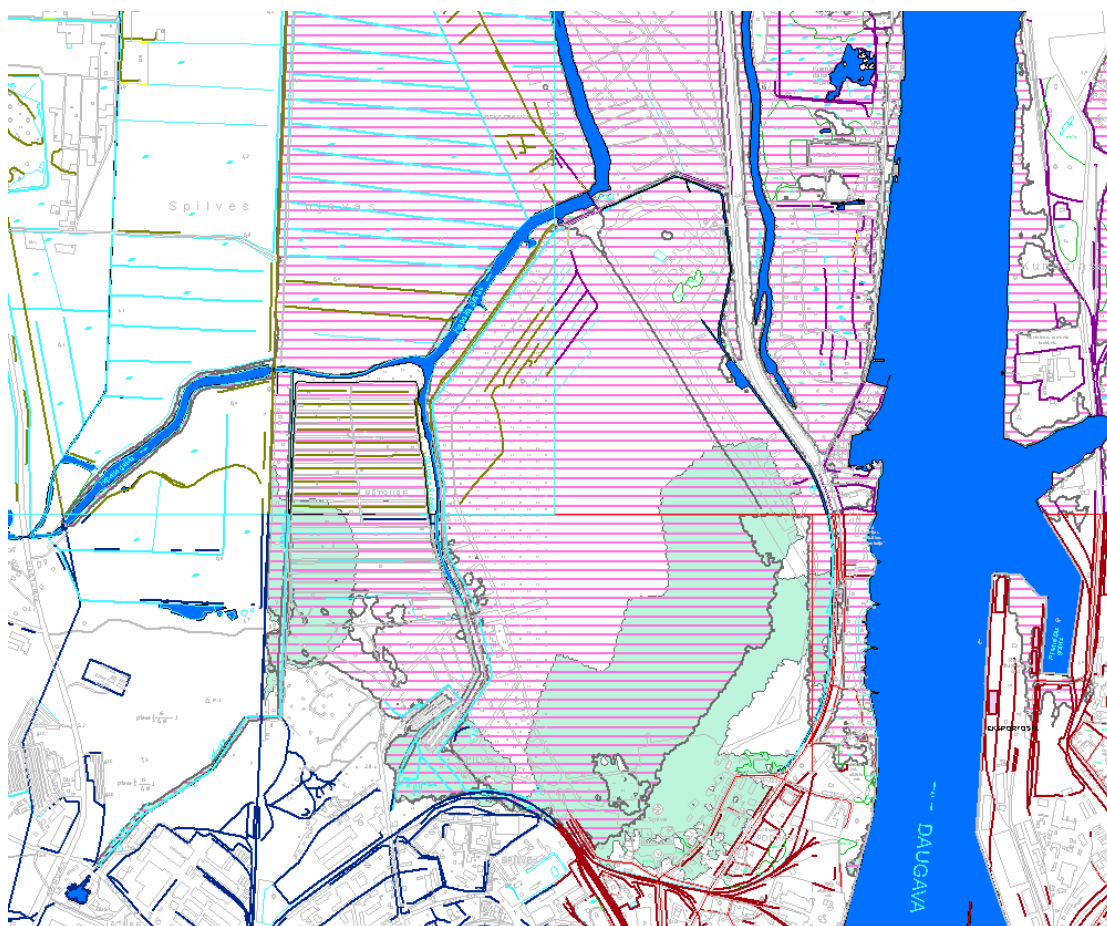
Att. 25. Ūdenslīmeņa laika grafiki Daugavgrīvā, Ķīšezērā un pie Salu tilta. Scenārijs S3. Uzplūdu atkārtojamība reizi 100 gados.

5.3 Scenārijs S2

Scenārijs S2 paredz Rīgas Brīvdostas teritorijas izslēgšanu no applūstošās teritorijas (uzbēršanu).

Scenārijā S2, salīdzinājumā ar mūsdienu situāciju praktiski nemainās applūšanas risks teritorijās, kas tieši nepieguļ Brīvdostai.

Tomēr virkne teritoriju, kas netiek applūdinātas mūsdienās, var tikt pakļautas applūšanai scenārija S2 realizācijas gadījumā. Šāda situācija uzplūdiem ar atkārtotām reizi 100 gados ilustrēta att. 26 (Spilvas lidostas apkārtnē). Ūdens, kas mūsdienu situācijā applūdinātu Brīvdostas teritoriju, scenārijā S2 pa grāvjiem tiek izvadīts tai cauri, un applūcina teritoriju (pamatā lidostu un tai pieguļošo apbūvi), kas mūsdienās nevar applūst.



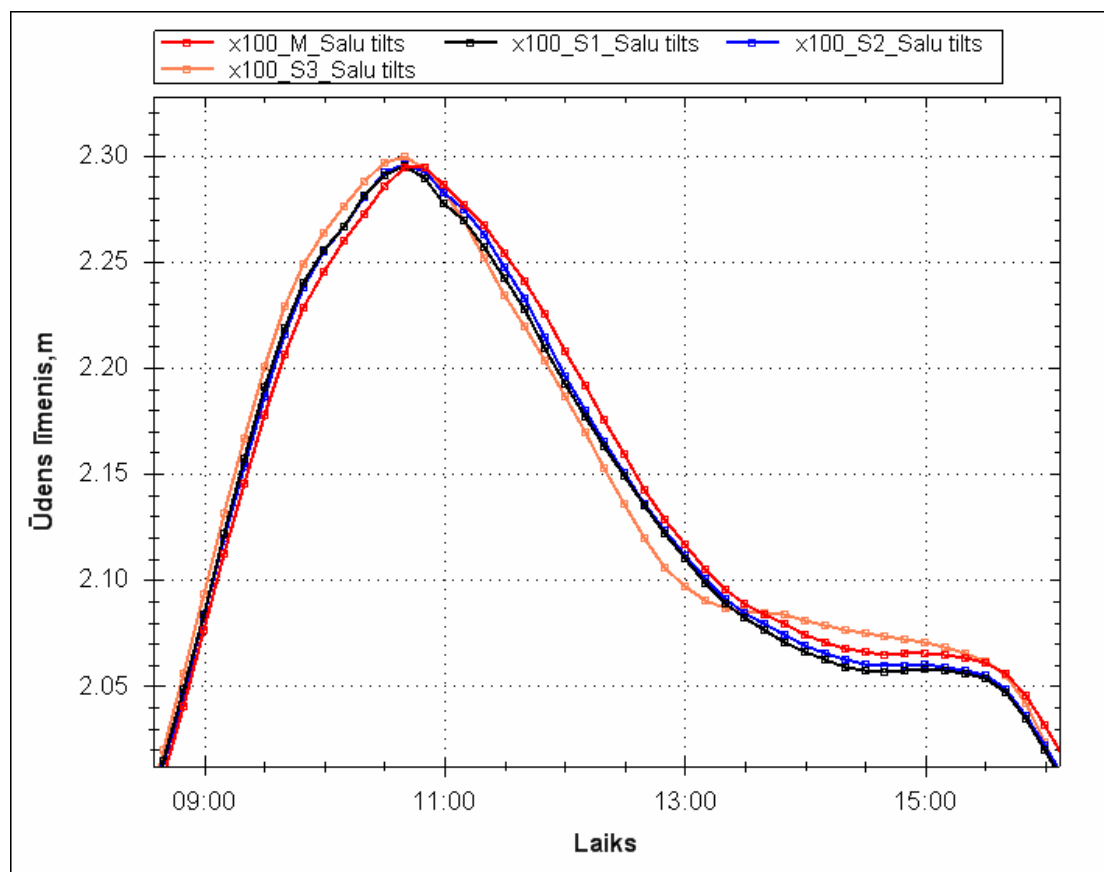
Att. 26. Applūstošās teritorijas Spilvas plavu rajonā. Mūsdienu situācija (iesvītota) un scenārijs S2 (zaļā krāsā). Uzplūdu atkārtotām reizi 100 gados.

5.4 Scenārijs S1

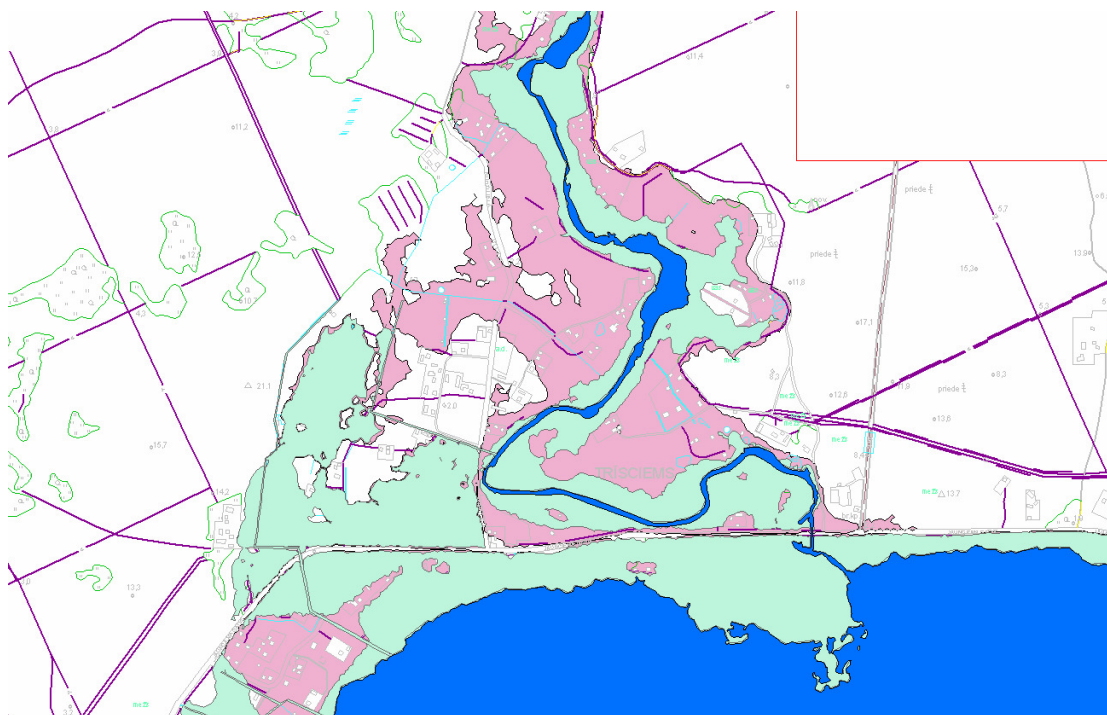
Scenārijs S1, papildus scenārijā S2 paredzētajai Rīgas Brīvdabas teritorijas izslēgšanai no applūstošas teritorijas, paredz (a) izveidot virkni polderu un (b) izslēgt no applūstošas teritorijas virkni aizsargājamās apbūves.

Līdzīgi kā scenārijs S2, arī scenārijs S1 neatstāj praktiski nekādu iespaidu uz applūstošo teritoriju konfigurāciju apgabalos, kas tieši nerobežojas ar aizsargājamajām zonām, sk. att. 27.

Interesants efekts ilustrēts att. 28; šajā attēlā parādīts, ka arī ierīkojot polderi Langas grīvā, tās krasti var nebūt pasargāti no applūšanas ļoti spēcīgu (reizi 100 gados) uzplūdu gadījumā, jo ūdens teorētiski var ieplūst Langas gultnē pa grāvju sistēmu austrumos no upes.



Att. 27. Ūdenslīmeņa laika grafiki pie Salu tilta. Mūsdienu situācija un scenāriji S3, S2, S1. Uzplūdu atkārtotamība reizi 100 gados.



Att. 28. Applūstošās teritorijas Langas upes grīvas rajonā. Mūsdienu situācija (sarkanā krāsā) un scenārijs S1 (zaļā krāsā). Uzplūdu atkārtojamība reizi 100 gados.

6. NOSLĒGUMS

Līguma izpildes gaitā sasniegts tā mērķis – izveidots hidrodinamiskais modelis, izstrādāti plūdu situāciju hidrometeoroloģiskie un inženiertehniskie scenāriji, un veikta applūstošo teritoriju modelēšana Rīgas pilsētai.

Līguma izpildes gaitā izgatavoto elektronisko materiālu var tālāk izmantot atbilstoši MK (2008) applūstošo teritoriju kartēšanai.

Līguma izpildes gaitā izveidoto Rīgas pilsētas hidrodinamisko modeli var izmantot jebkādiem turpmākiem ar virszemes ūdens plūsmām saistītiem pielietojumiem.

Vispārīgie secinājumi par plūdu risku Rīgas pilsētai ir sekojoši:

- Plūdu situācijas Rīgas pilsētā nosaka vēja uzplūdi Rīgas jūras līča dienviddaļā. Ūdenslīmenis ar atkārtotām reizi 10 gados Daugavas grīvā ir 151 cm, ar atkārtotām reizi 100 gados – 211 cm.
- Vēja uzplūdu ikgadējām maksimālajām vērtībām Daugavgrīvā ir tendence pieaugt ar ātrumu 3,6 mm gadā.
- Rīgas HES darbības režīms nevar izraisīt plūdu situācijas Rīgas teritorijā, bet var būtiski ietekmēt plūdu norisi un to laikā sasniedzamos ūdenslīmeņus. Iespējams, ka applūstošās teritorijas var samazināt, apzināti mainot Rīgas HES darbības režīmu ūdenslīmeņa celšanās laikā Daugavas lejtecē.
- Maksimālās ūdenslīmeņa vērtības Rīgas teritorijā var būtiski nesakrist ar ūdenslīmeņa maksimuma laika momentu Daugavgrīvā. Ūdenslīmeņa maksimumi Ķīšezerā sagaidāmi orientējoši 2 stundas, bet Juglas un Baltezerā – vēl vēlāk pēc maksimālā ūdenslīmeņa Daugavgrīvā.
- Applūstošā teritorija ir būtiski atkarīga no dinamiskiem faktoriem, jo ūdenslīmeņa celšanās fāze ekstrēmo uzplūdu situācijās nepārsniedz 12 stundas un visas potenciāli applūstošās teritorijas nepaspēj applūst.

Šajā darbā veiktā applūstošās teritorijas kartēšana būtiski precīzē LVĢMA (2007) sniegto orientējošo reizi 10 gados applūstošās teritorijas novērtējumu. Pie tam šī precizēšana nozīmīgi samazina plūdu riskam pakļauto teritoriju.

Vairākus secinājumus var izdarīt par Pasūtītāja ierosināto inženiertehnisko pretplūdu pasākumu ietekmi uz plūdu gaitu Rīgas pilsētā.

- Neviens no pasākumiem (scenāriji S1-S3) būtiski neietekmē plūdu gaitu un applūstošās teritorijas platību zonās, kas tieši nepieguļ tā realizācijas teritorijai.
- Aizvaru ierīkošana Mīlgrāvja caurtekā un Audupē efektīvi pasargā no applūšanas ezeru (Ķīšezers, Juglas ezers, Baltezers) un Vecdaugavas krastus.

- Atsevišķu teritoriju uzbēršana vai iedambēšana var novest pie tai piegulošo teritoriju pastiprinātas applūšanas.

Darba gaita parādīja arī vairākas nenoteiktības, kas objektīvi nosaka ierobežojumus darba rezultātu precizitātei.

- Hidrometeoroloģiskās informācijas neprecizitāte – iespējams, ka var pārskatīt vētru situāciju scenārijus attiecībā uz vēja ātruma un virziena laika rindām.
- Rīgas HES darbības scenāriji. Darbā lietota „raksturīgā” Rīgas HES darba gaita, nesaistot to ar plūdu attīstības fāzi Daugavas grīvā.
- Pastiprinātas virszemes noteces applūšanas scenāriji (pavasara pali, lietusgāzes) šai darbā nav aplūkoti. Šādi scenārijiem gan arī sagaidāma saistība ar nefunkcionējošām meliorācijas sistēmām, un tiem būtu tikai lokāla ietekme.
- Dziļumu uzmērījumu trūkums Ķīšezērā, Juglas ezerā un Baltezerā. Iespējamā ūdenslīmeņa kļūda šo datu neesamības dēļ vērtējama zem 5 cm.
- Digitālās reljefa matricas datu iztrūkumi (zem apbūves, daudzlīmeņu pārvadiem, Spilvas lidostā un citur) var nozīmīgi ietekmēt aprēķinu rezultātus teritorijās, kur nav reljefa datu, vai kurām ūdens pieplūst caur teritorijām, kurām nav reljefa datu.
- Līnijveida objektu (grāvji, uzbērumi, dambji) „reģistra” neesamība. Šie hidrauliskās sistēmas būtiskie elementi modeļsistēmā bieži tika identificēti un ieviesti pēc netiešām pazīmēm un Izpildītājs nevar garantēt, ka apzinājis visus (tai skaita nozīmīgus) līnijveida objektus modeļapgabalā.
- Komplicētos apbūves vai komunikāciju mezglos (Sarkandaugava, Salu tilta satiksmes pārvads Daugavas labajā krastā, Lucavsala) kā arī strīdīgās teritorijās applūstošā apgabala noteikšanu varētu uzlabot ar lokālu hidrodinamisko modelēšanu, ietverot modelī detalizētu šo zonu reljefu un objektu robežas.

LITERATŪRA

MK (2008). LR Ministru kabineta noteikumi Nr. 406 „Aprēķina metodes ūdensobjekta applūstošās teritorijas noteikšanai”, 3-Jūn-2008.

ELLE (2007). Rīgas pilsētas meliorācijas sistēmu attīstības koncepcija. SIA „Estonian, Latvian & Lithuanian Environment”, Rīga.

Kendall, M.G. (1975). Rank correlation methods. Charles Griffin, London.

LU (2007). Operacionālās okeanogrāfijas un meteoroloģijas informācijas sistēma FiMar. Latvijas Universitāte, Rīga.

LVGMA (2007). Daugavas upes applūšanas riska karte Rīgas pilsētas teritorijai. Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas aģentūra, Rīga, 2007.

PAIC (2000). MeshEditor v.2.0. Lietotāja rokasgrāmata. SIA „Procesu analīzes un izpētes centrs”, Rīga.

PAIC (2003). SwEvolver v.3.2 for Windows. Lietotāja rokasgrāmata. SIA „Procesu analīzes un izpētes centrs”, Rīga.

USACE (1993). Hydrological frequency analysis. Engineer Manual 1110-2-1415. US Army Corps of Engineers. Washington DC, 5-Mar-1993.