

Pärnu jõe vesikonna üleujutuste tõenäosusstsenaariumite arvutamine ja kaardistamine

Koostajad: Anna Põrh, Joonatan Kama, Jana Põldnurk

Lõpparuanne

Sisukord

Sissejuhatus	3
Ülejutustõenäosuste arvutamise meetodika ja kasutatud materjalid	4
Ülejutusalade kaartide koostamine	5
Kaardikihtide loomise meetodika tehniline kirjeldus	6
Kokkuvõte	7
Viited	8
LISA 1	9

Sissejuhatus

Üleujutus – see on märkimisväärne maastiku üleujutus, mis on põhjustatud veetaseme tõusust jõgedes, järvedes või veehoidlates erinevatel põhjustel ning mis tekitab suuri materiaalseid kahjusid ja viib inimohvriteni. Peamised üleujutuste põhjused on: kevadine lume sulamine (suurvesi); vihmasadude või hoovihmade põhjustatud üleujutused (tulvavesi); tuulest tingitud vee kuhjumine; jääsulud ja lobjakaummistused jõgedes.

Kevadise jõetulva ajal kujutavad erilist ohtu jääsulud ja -lobjakaummistused. Lobjakaummistused – need on lumest ja peenest jääst tekkinud kogumid, mis moodustuvad talvisel ajal, st jääkatte tekkimise perioodil. Jääsulud – jääpangad, mis kuhjuvad jõgede sāngi kevadise jääkatte lagunemise ajal, st kevadise jäämineku perioodil.

Üleujutuste kahjustav mõju ja nendest tingitud materiaalsed kahjud seisnevad alade üleujutamises, mis kahjustab elamu- ja tootmishooneid, autoteid, raudteid, elektriliine (koos võimalike tulekahjudega), hävitab ja kahjustab muid kommunaal- ja energiavarustuse võrke, purustab hüdrotehnilisi rajatisi jne. Üleujutuste ulatus sõltub ohtlike veetasemete kõrgusest ja kestusest, üleujutatud ala suurusest ning üleujutuse ajast (kevad, suvi, talv).

Pärnu jõe üleujutuste tõenäosusstsenaariumite arvutamise ja kaardistamise eesmärk on aidata kaasa üleujutustest tulenevate riskide maandamisele. Antud töö võimaldab teha paremaid planeeringuid ja otsuseid üleujutusohuga piirkondades, vähendades seeläbi negatiivset mõju inimeste tervisele ja varale ning looduskeskkonnale.

Pärnu jõe üleujutuste tõenäosusstsenaariumite koostamise ja kaardistamise käigus arutati maksimaalse veetaseme tõenäosusstsenaariumid 10, 50, 100 ja 1000 aasta kohta.

Pärnu jõe vesikonna üleujutusosalade määramiseks kasutati statistilist-kartograafilist meetodit.

Tõenäosusstsenaariumite arvutamisel järgiti Maailma Meteoroloogia Organisatsiooni (WMO) juhendmaterjalide soovitusi[1].

Üleujutustõenäosuste arvutamise metoodika ja kasutatud materjalid

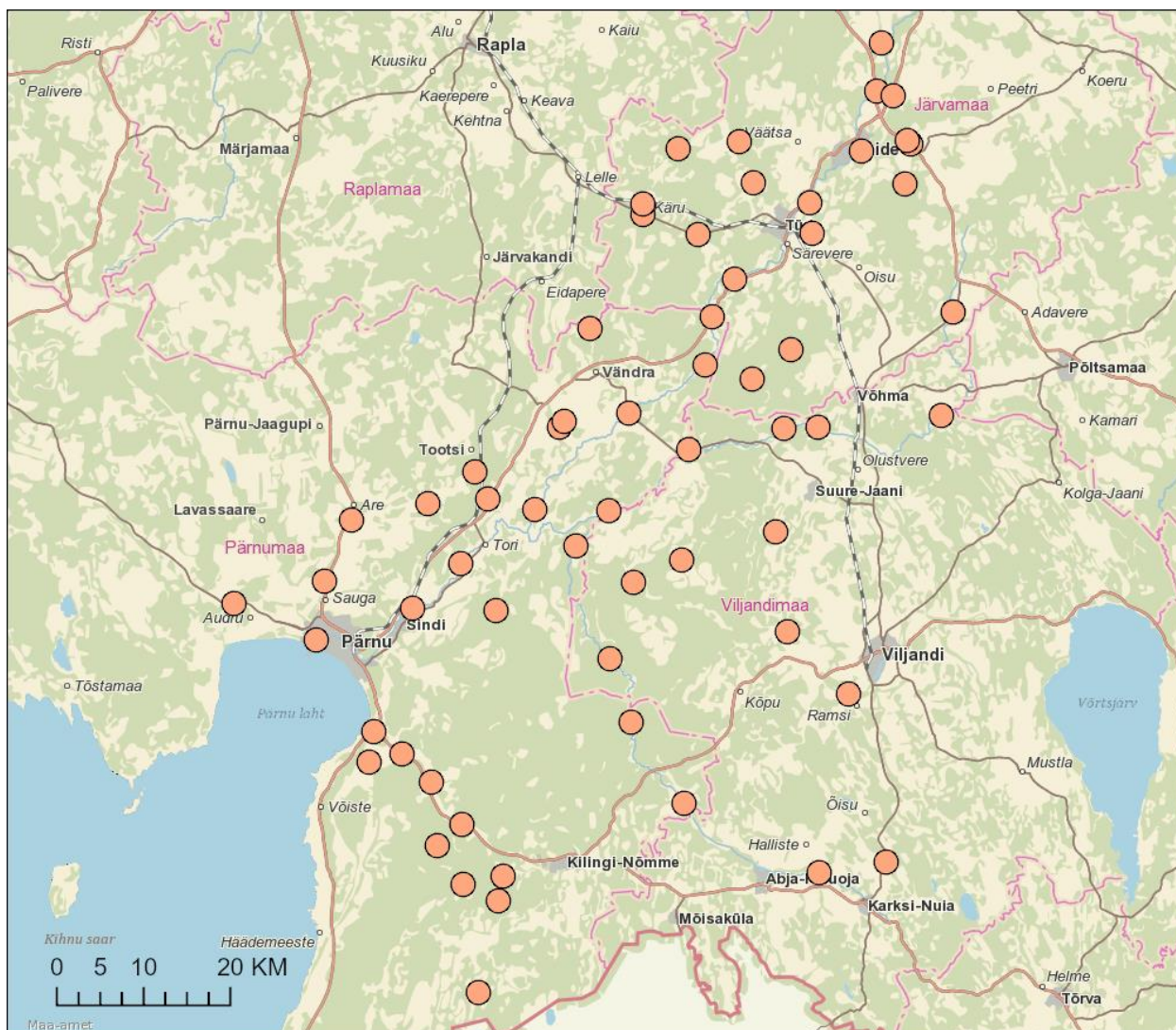
Pärnu jõe valgala erineva tõenäosusega veetasemete arvutamiseks kasutati ajaloolisi andmeridu riikliku hüdro meteoroloogilise seirevõrgu 19st jõe seirejaamast ja ühest jõesuudmes asuvas rannikumerejaamast.

Hüdromeetria jaamade tõenäosuste arvutamine viidi läbi maksimaalsete pikaajaliste veetasemete alusel, kasutades kogu homogeense vaatluste perioodi andmeid.

Lühikese vaatlusreaga jaamade veetasemed, mis ei vastanud statistilistele kriteeriumidele, pikendati vastavalt hüdroloogilistele meetoditele, kasutades analoogjõgede andmeid.

Iga jaama jaoks koostati empiiriline tõenäosuskõver, millele valiti kõige täpsemalt sobiv teoreetiline tõenäosuskõver. Sellelt kõveralt määrati vajaliku tõenäosusega veetasemed.

Kuna andmed maksimaalsete veetasemete kohta on olemas ainult 20 hüdromeetria jaamas ning ülejäänud jõelõikudel pole veetasemete kohta teavet 29. märts 2023 kevadise suurvee perioodil, korraldati välitööd maksimaalsete veetasemete määramiseks jaamade vahelistes asukohtades jõgedel. Selle eesmärk oli veepinna languse määramine ühel päeval kindlal ajal korraga. See meetod seisneb selles, et jaamade vahelisel lõigul viiakse lühikese aja jooksul läbi veetaseme nivelleerimine ning seejärel määratakse selle kõrgus absoluutkõrgusena. Kokku määrati jaamade vahel 42 vahepunkti (joonis 1).



Joonis 1. Punktid, kus teostati 29. märtsil 2023 kohtmõõtmisi.

20 hüdromeetrilise jaama ja 42 vahepunkti andmete põhjal koostati veepinna pikiprofiil, võttes arvesse selle langust kõrge veetaseme korral.

Ülekanne viidi läbi punktist punkti, võttes arvesse kalde sõltuvust veetasemest järgmise valemi järgi:

$$H_2 = H_1 \pm \Delta H = H_1 + I * \Delta L, \text{ kus}$$

H_1 – jaama veetase, m. abs

H_2 – veetase vahepunktis, m. abs

ΔH – veetaseme erinevus jaamade vahel, m

I – jõe keskmine langus jaamade vahelisel lõigul, ‰

ΔL – kaugus arvutuspunktide vahel, km

Nendel jõe lõikudel, kus oli teavet jääsulgude ja lobjakaummistuste olemasolust, lisati veetasemele parand. Erinevate veetaseme tõenäosuste parandus määrati (cm) kui erinevus teoreetilise vaba sängi kõvera ja veetaseme paisutuskõvera vahel

Tõenäosusarvutuste tulemused on toodud tabelis LISA 1.

Üleujutusosalade kaartide koostamine

Üleujutusosalade kaardikihid kujutavad Pärnu jõe vesikonna alasid, mis jäävad maksimaalse veetaseme tõenäosusstsenaariumite järgi vee alla kord 10, 50, 100 ja 1000 aasta jooksul (vastavad tõenäosused 10%, 2%, 1%, 0,1%).

Iga piirkonna kohta moodustati üleujutusala kaardikiht vastavalt eelnevalt arvatud veetaseme kõrgusele iga tõenäosusstsenaariumi kohta. Iga piirkonna kohta arvutati 1000-aasta, 100-aasta, 50-aasta ja 10-aasta ületustõenäosuse veetasemed ning koostati igale piirkonnale vastavalt neli kaardikihti, mis esitati vektorkujul.

Üleujutusosalade modelleerimisel kasutati kõrguse väärtuseid EH2000 süsteemis. Modelleerimise aluseks võeti Maa-ameti poolt töödeldud aerolaserskaneerimise (ALS) andmestikust moodustatud maapinna kõrgusmudel (DEM), mille piksli suuruseks on 1 meeter.

Kaardikihtide arvutamiseks kasutati meetodit, kus DEM lõigati pinnaga, mis kujutab tõenäosusstsenaariumi veetaseme kõrgust.

Maapinna kõrgusmudeli lõikamisel kindla kõrguskihiga jäi alles kiht, mis kujutas, kui kaugele teoreetiliselt veepiir ulatuks, kui veetase tõuseks etteantud kõrguseni.

Kaardikihtide loomise meetodika tehniline kirjeldus

Modelleerimise aluseks võeti Maa-ameti poolt töödeldud aerolaserskaneerimise (ALS) andmestikust moodustatud maapinna kõrgusmudel (DEM), piksli suurusega 1 meeter. Kaardikihtide koostamiseks kasutati ArcGIS Pro tarkvara.

Üleujutusosalade tõenäosusstsenaariumite kaardistamiseks jõgedel kasutati järgnevalt kirjeldatud Windowsi ja ArcGIS Pro geotöötamise tööriistu:

1. Andmete ettevalmistus

- Punktandmete korrastamine Exceli andmetabelis.
- Andmete importimine ArcGIS Pro tarkvarasse.
 - Kasutati *XY to Point* tööriista, et punktid kaardile kanda .
- Kaardistatava piirkonna kõrgusmudeli importimine Maa-Ameti Geoportaalist ArcGISi.
 - Kasutati *Mosaic* tööriista, et kõrgusmudelid üheks kihiks liita.

2. Veetasemete interpoleerimine jõel

- Veetaseme pinna loomine
 - Kasutati *IDW (Inverse Distance Weighted)* tööriista, et interpoleerida veetaseme väärtused arvutuspunktide vahelisel alal.

3. Vee ulatuse arvutamine

- Kõrgusmudeli lahutamine veetaseme rastrist
 - Kasutati *Raster Calculator* tööriista, et luua uus raster, mis esindab veetaseme rasteri ja DEM-i vahet.
- Üleujutatud alade tuvastamine
 - Kasutati *Raster Calculator* tööriista, et luua binaarne raster, kus väärtused > 0 on määratud 1 (üleujutatud) ja väärtused ≤ 0 eemaldatakse (mitte üleujutatud).

4. Üleujutatud alade vektorkihiks teisendamine

- Kasutati *Raster to Polygon* tööriista.

Eelpool kirjeldatud geotöötlusprotsessi rakendati iga tõenäosuse (4) kohta. Kaardikihtidel olevad üleujutusala polügoonid lõigati koordinaatidega määratud kohast kasutades ArcGIS funktsiooni *Split* ning neile määrati atribuudid: piirkonna nimi, tõenäosusstsenaarium ja veetaseme väärtuste vahemik. Kõikidest sama tõenäosusstsenaariumit kujutavatest kihtidest moodustati üks terviklik kaardikiht, milleks kasutati ArcGISi geotööriista *Data Management Tools – Merge*. Tulemuseks oli neli kaardikihti, mis kujutavad vastavalt 10%, 2%, 1% ja 0,1% üleujutustõenäosust.

Üleujutusalasid kujutavad polügoonid puhastati väiksematest aukudest, kasutades selleks ArcGIS Pro töövahendit *Eliminate Polygon Part*. Võimalike üleliigsete osade kustutamiseks kasutati *Reshape*, *Edit Vertices* ja *Pairwise Integrate* tööriistu. Alles jäeti ainult omavahel seotud polügoonid. Juhul kui üleujutusala jätkus näiteks teisel pool teetammi, jäeti see ala alles vaid juhul, kui oldi veendunud, et veel on teetammi alt läbipääs teisele poole (näiteks truup) (joonis 2). Vastasel juhul ei loetud ala sidusaks ning teetammi taga olev polügoon eemaldati.



Joonis 2. Näide Meriküla piirkonnast, kus on andmetötluse käigus alles jäetud mittesidus ala, mis on ühendatud üleujutatud alaga teetammi all oleva truubiga.

Üleujutusalasid kujutavatele polügoonide piirjoonte sujuvamaks muutmiseks kasutati ArcGISi kartograafia tööriista *Smooth Polygon*. Vastavat tööriista rakendati algoritmiga *Polynomial Approximation with Exponential Kernel* (PEAK) ning tolerantsuseks määrati 5 meetrit.

Kokkuvõte

Veetasemete tõenäosusarvutuste tegemisel kasutati Keskkonnaagentuuri Pärnu vesikonna veetasemete aegridasid. Arvutati maksimaalne tõenäoline veetase 10; 50; 100 ja 1000 aasta lõikes (vastavad tõenäosusprotsendid 10%; 2%; 1% ja 0,1%).

Üleujutusalade kaardikihtide koostamisel kasutati arvutatud tõenäosusi ning Maa- ja Ruumiameti kõige ajakohasemat kõrgusmudelit (juuli 2024 seisuga). Geotöötuseks kasutati ArcGIS Pro tarkvara. Tulemuseks saadi neli kaardikihti, mis kujutavad üleujutatud rannikualasid tõenäosusstsenaariumite 0,1%, 1%, 2% ja 10% korral. Iga kihi igale piirkonnale lisati infoväljad: piirkonna nimi, tõenäosusstsenaarium ja veetaseme väärtuste vahemik.

Tehtud töö aitab kaasa Pärnu jõe paremale planeerimisele, läbi mille saab ennetada või vähendada võimalikest üleujutustest tingitud ohtu keskkonnale ning inimeste tervisele ja varale.

Viited

[1] World Meteorological Organization (WMO) (2008) *The Guide to Hydrological Practices*. WMO No.168). Geneva: World Meteorological Organization

Lisa 1

Koht	Koordinaadid		Aasta kõrgeim veetase, tõenäosusprotsent, m AS			
	X	Y	0,1%	1%	2%	10%
Pärnu j.						
Sindi sild	6475423,80	539205,10	10,39	8,74	8,25	7,10
Oore HJ	6480587,29	544802,98	12,31	11,16	10,80	9,90
Tahkuse HJ	6486847,56	553361,99	21,77	21,10	20,87	20,29
Suurejõe sild	6497971,70	564101,60	29,40	28,95	28,75	28,16
Kurgja sild	6503425,80	573013,70	35,40	35,15	34,95	34,56
Rae sild	6509079,10	573717,80	42,20	42,05	41,89	41,64
Jändja sild	6513384,80	576372,10	47,00	46,85	46,74	46,51
Türi-Alliku HJ	6522134,00	585072,00	58,06	57,86	57,79	57,61
Paemurru tee	6528151,90	591031,70	60,96	60,76	60,69	60,51
Kükita HJ	6535088,86	592745,45	69,47	69,29	69,23	69,09
Purdi mõis	6540547,60	593297,40	74,69	74,51	74,45	74,31
Vodja j.						
Vodja HJ	6534482,00	594664,00	67,46	67,41	67,39	67,29
Reiu j.						
Laadi HJ	6458705,31	537957,44	7,47	7,18	7,08	6,79
Surju HJ	6455336,24	541357,41	9,69	9,55	9,50	9,34
Peedi sild	6450535,40	544922,90	15,38	15,11	15,00	14,70
Puujala	6444560,30	549627,90	31,02	30,87	30,73	30,51
Reju sild	6441774,40	549064,00	33,47	33,36	33,30	33,08
Laukasaare	6431159,20	546796,10	46,30	46,16	46,08	45,89
Ura j.						
Orava tee	6461214,10	534720,20	Mere üleujutuse mõju			
Lepaküla	6457719,50	534206,10	Mere üleujutuse mõju			
Sild n/ta	6448122,20	542030,90	16,56	16,31	16,26	16,05
Vangotalu	6443555,80	545057,70	30,6	30,22	30,1	29,91
Lahkma j.						
Hundimõisa	6488088,00	547858,00	21,00	20,76	20,62	20,47
Kurina j.						
Pajuste	6475119,50	548902,50	17,37	17,12	17,05	16,89
Halliste j.						
Riisa HJ	6482595,78	558009,50	22,88	22,03	21,75	21,00
Läti k.	6469582,50	562007,80	24,97	24,59	24,5	24,41
Kirikumägi	6462261,20	564395,30	28,2	27,86	27,78	27,36
Sosi sild	6452997,30	570565,90	36,31	36,00	35,93	35,70
Piirisilla (Luba sild)	6444902,80	586068,80	43,19	42,97	42,89	42,71
Navesti j						
Aesoo HJ	6486617,49	561877,61	22,48	21,60	21,31	20,54
Jälevere sild	6496166,30	582020,50	39,5	38,9	38,72	38,16
Julga HJ	6496245,06	585984,03	40,67	40,10	39,96	39,12
Venevere sild	6497619,40	600228,50	42,37	41,95	41,8	41,66

Ojakalda k.	6509560,50	601548,10	60,88	60,50	60,41	60,23
Prandi j.						
Tori HJ	6518711,10	585345,10	54,08	53,92	53,86	53,7
Veskjaru k	6524301,80	595950,90	62,87	62,72	62,68	62,52
Lintsi j.						
Kolu sild	6518458,70	572145,00	51,58	51,25	51,16	50,9
Änari-Sepa sild	6524523,40	578545,70	56,92	56,7	56,63	56,46
Piiumetsa sild	6529250,20	576857,40	61,59	61,4	61,35	61,2
Käru j						
Käru sild	6520875,00	565775,10	53,05	52,92	52,85	52,71
Käru HJ	6521996,39	565718,74	54,81	54,72	54,69	54,60
Rumbi k.	6528432,60	569869,90	62,54	62,42	62,37	62,25
Vändra j.						
Kiisa HJ	6496248,71	556182,72	28,08	27,24	26,98	26,34
Roja k.	6496983,40	556740,50	28,62	28,00	27,81	27,25
Pulga sild	6507666,70	559740,50	42,97	42,60	42,47	42,19
Sauga j.						
Nurme HJ	6478552,67	529062,10	5,14	4,91	4,82	4,54
Ritsika koht	6485567,10	532176,00	11,77	11,4	11,26	10,92
Suigu sild	6487549,60	541017,30	20,82	20,48	20,35	20,10
Elbi HJ	6491211,04	546456,49	31,26	30,91	30,79	30,50
Lemmjõgi						
Oksa sild	6480985,60	570222,70	22,6	22,48	22,40	22,28
Kulli k.	6484178,60	581050,40	49,99	49,71	49,62	49,50
Raudna j.						
Tobra sild	6465572,60	589470,20	40,91	40,5	40,4	40,25
Luha sild	6472732,30	582462,20	32,2	32,96	32,88	32,69
Kuusekäära k.	6478362,70	564719,00	21,63	21,41	21,36	21,22
Kõpu j.						
Saviaru sild	6446238,20	593788,10	57,9	57,3	57,06	56,76
Saarjõgi						
Kaansoo HJ	6493669,81	571067,72	22,48	21,60	21,31	20,54
Rassi k.	6501893,40	578442,40	38,74	38,2	37,96	37,59
sild n/ta	6505189,50	582830,00	49,36	48,97	48,74	48,18
Audru j.						
Audru HJ	6475942,62	518630,93	5,39	4,99	4,85	4,44
Särgvere pkr.						
Põhjaka II HJ	6528975,10	596662,30	64,93	64,7	64,61	64,40
Esna j.						
Põhjaka I HJ	6529308,4	596241,8	65,08	64,94	64,89	64,75
Pärnu RMJ	6471780,78	528162	3,90	3,07	2,81	2,28