



KESKKONNAAGENTUUR

Rannikualade üleujutuste tõenäosusstsenaariumite koostamine ja kaardistamine

Koostajad: Katriin Kaptein, Bärbel Vandell, Anna Põrh

Lõpparuanne

Sisukord

Sissejuhatus	3
Üleujutustõenäosuste arvutamise meetodika ja kasutatud materjalid	3
Üleujutusosalade kaartide koostamine.....	4
Kaardikihtide loomise meetodika tehniline kirjeldus.....	5
Kokkuvõte	8
Viited.....	8
LISA 1	9

Sissejuhatus

Muutuva kliima oludes on suurenenud risk looduskatastroofidele, sealhulgas üleujutustele. Üleujutustel võib olla oluline negatiivne mõju inimeste elule, tervisel ja varale. Lisaks mõjutavad üleujutused looduskeskkonda ja populatsioone ning võivad endaga kaasa tuua laialdase reostuse leviku.

Rannikualade 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.

Rannikualade üleujutuste tõenäosusstsenaariumite koostamise ja kaardistamise käigus arutati maksimaalse veetaseme tõenäosusstsenaariumid 10, 50, 100 ja 1000 aasta kohta. Arvutused teostati Keskkonnaagentuuri rannikumere jaamade ning mitmete jaamade vaheliste alade kohta, kus senini ei olnud veel ekstreemseid üleujutustõenäosuseid hinnatud. Arvutuste põhjal koostati iga tõenäosusstsenaariumi kohta kaardikiht, mis visualiseerib üleujutatud ala ulatust.

Üleujutustõenäosuste arvutamise meetodika ja kasutatud materjalid

Läänemere rannikul on veetaseme kõikumine seotud peamiselt mere kohal toimuvate sünoptiliste protsessidega. Samadest põhjustest tingitud veetaseme langused ja tõusud on erinevatel rannikujaamadel erinevad. Need erinevused tulenevad rannikute eriilmelisusest – erinev geomorfoloogia, sügavuste jaotus, avatus tuultele jms.

Veetaseme tõenäosusstsenaariumite arvutamiseks kasutati Keskkonnaagentuuri veetaseme vaatlusandmete aegridu. Aegrea valikul eelistati piisava representatiivsusega aegridu. Kui piirkonnas puudus veetaseme aegrida, valiti analoogaegrida. Analooigi valimisel lähtuti piirkondade geomorfoloogilisest sarnasusest. Keerulisem oli teha arvutusi rannaaladel, kus vaatlusandmeid pole ning millel pole tugevat geomorfoloogilist sarnasust mõne rannikujaama alaga. Sellisel juhul tuli arvutuste tegemisel arvestada rohkem meteoroloogiliste (tuul, tuule suund ja tuule kestus) ja geoloogiliste näitajatega selles piirkonnas. Lisainformatsiooni saamiseks piirkondade eripäradest, uuriti ajaloolisi materjale, hüdrograafia kirjeldusi, artikleid

ja publikatsioone huvipakkuvate piirkondade kohta. Tõenäosusstsenaariumite arvutamisel järgiti Maailma Meteoroloogia Organisatsiooni (WMO) juhendmaterjalide soovitusi[1].

Üleujutuse tõenäosuse arvutused on teostatud vastavalt hüdroloogias kasutatavatele analüütilis-matemaatilistele meetoditele.

Tõenäosusarvutused teostati järgmiselt:

- Valiti olemasolevate hüdrometeoroloogiliste vaatluste hulgast piisava representatiivsusega jaama või analoogjaama vaatlusandmerida;
- koostati statsionaarne aegrida;
- koostati vaatlusandmete põhjal empiiriline ületustõenäosuskõver;
- arvutati ekstreemsete veetasemete teoreetilised jaotusfunktsioonid;
- konstrueeriti teoreetiline ületustõenäosuskõver;
- kõveralt loeti vajalikud ületustõenäosusega veetasemed.

Veetaseme tõenäosuste arvutamisel jõe suudmes võeti arvesse selliseid nähtusi nagu võimalik ummistus või lobjakaummistus jõesuudmes. Samuti võeti arvesse jõe üleujutusi suurvee või tulvavee ajal. Kaardistamiseks jõesuudmete piirkonnas võeti maksimaalne võimalik veetase, mis hõlmas nii merevee ajutuult kui ka veetaseme tõusu jõe mõjul.

Tõenäosusarvutuste tulemused on toodud tabelis LISA 1. Tabelis on piirkonna, jaama või analoogjaama nimi ning vaatlusandmerea periood, mida arvutuste tegemiseks kasutati. Samuti on märgitud kasutatud jaotusfunktsioon vastavalt WMO juhendile [1]. Kõik arvutatud väärtused on EH2000 kõrgussüsteemis.

Üleujutusala kaartide koostamine

Üleujutusala kaartidest kujutavad Eesti rannikualade ulatusi, mis jäävad maksimaalse mereveetaseme 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 arvutatud 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 vektor kujul.

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. Kõrgusmudel saadi Maa-ametilt 2020 jaanuaris ning kujutab selle ajahetke kõige uusimat avaldatud andmestikku.

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

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

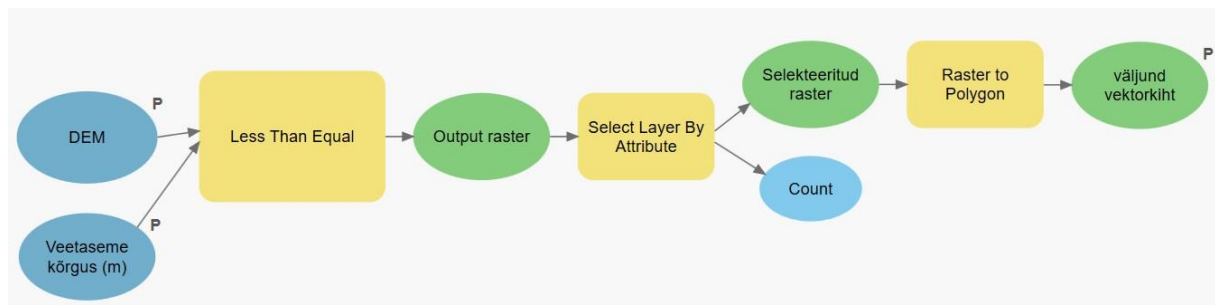
Kaardikihtide loomise meetodika tehniline kirjeldus

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

Üleujutusosalade kaardikihtide koostamiseks kasutati järgnevaid ArcGIS Pro geotöötlustööriistu:

- *Less Than Equal* – sisendiks on maapinna kõrgusmudel ning veetaseme kõrgus huvipakkavas piirkonnas. Tööriist otsib välja kogu kõrgusmudeli kaardilt kõik piirkonnad, mille kõrgus väiksem kui veetaseme kõrguseks määratud väärtus. Väljundiks on uus rasterkiht, mille iga piksel kannab kas väärtust 1 (ala jääb allapoole määratud vee piiri) või 0 (ala jääb ülespoole määratud veepiiri);
- *Select Layer By Attribute* – Selekteerib ära need piirkonnad, mille väärtuseks on 1, ehk mis jäävad allapoole veepiiri;
- *Raster to Polygon* – sisendiks on eelnevalt rasterilt selekteeritud alad, millest tööriist koostab vektorkihi. Vektorkiht kujutab polügoonidena alasid, mis on määratud veetaseme korral üleujutatud.

Ülal kirjeldatud geotöötuse protsessi kujutab joonis 1.



Joonis 1. ArcGIS töövoog kõrgusmudelist üleujutatud alade vektorikihini. Sinisega on tähistatud sisendandmed, kollasega ArcGISi tööriistad ning rohelisega väljundfailid (mis mõnel juhul on järgmise töötusprotsessi sisendfailideks).

Eelpool kirjeldatud geotöötusprotsessi rakendati igale huvipakkuvale piirkonnale (48) iga tõeüksuse (4) kohta, mis tekitas kokku 192 kaardikihti. Kaardikihtidel olevad üleujutusala polügoonid lõigati koordinaatidega määratud kohast kasutades ArcGIS funktsiooni *Split*. Kõikidest sama tõeüksusstsenaariumit 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% üleujutus tõeüksust.

Üleujutusalasid kujutavad polügoonid puhastati käsitsi väiksematest aukudest, kasutades selleks ArcGIS Pro töövahendit *Delete Vertex*. 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. Näidis Peraküla piirkonnast, kus on andmetötluse käigus alles jätud mittesidus ala, mis on ühendatud üleujutatud alaga teetammi all oleva truubiga.

Kui ühte piirkonda jäi iseloomustama rohkem kui üks polügoon (näiteks rannikuala ja selle läheduses asuvad saarekesed), liideti parema visualiseerimise eesmärgil polügoonid üheks polügoonigrupiks kasutades tööriista *Edit - Merge*.

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 rannikujaamade veetasemete aegridasid. Samuti arvestati arvutuste tegemisel rannikupiirkonna geomorfoloogia ning meteoroloogiliste parameetritega. Arvutati maksimaalne tõenäoline veetase 10; 50; 100 ja 1000 aasta lõikes (vastavad tõenäosusprotsendid 10%; 2%; 1% ja 0,1%)

Üleujutusosalade kaardikihtide koostamisel kasutati arvutatud tõenäosusi ning Maa-ameti kõige ajakohasemat kõrgusmudelit (jaanuar 2020 seisuga). Geotöötluks 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 veetase.

Tehtud töö aitab kaasa rannikualade 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

	Piirkonnad	Koordinaadid		Aasta kõrgeim veetase, tõeäosusprotsent, m AS				Vaatlusandmerida, periood	Analoogrida, periood	Kasutatud tõeäosusjaotus
		X	Y	0,1%	1%	2%	10%			
		6599534,45	729036,42							
1	Narva-Jõesuu			2,56	2,14	2,01	1,71	Narva-Jõesuu RMJ (1899-2008)		Gumbel (EV2)
		6591610	722277,5							
2	Udria		↓	2,49	2,09	1,94	1,67			
		6591324,8	719221,4							
3	Sillamäe		↓	2,40	1,98	1,88	1,63			
		6592606	712077,1							
4	Päite		↓	2,28	1,93	1,81	1,61			
		6592925,2	699385,2							
5	Ontika		↓	2,22	1,93	1,80	1,60			
		6594758,8	663445,4							
6	Aseri		↓	2,20	1,93	1,79	1,59			
		6603911,5	649866,6							
7	Letipea		↓	2,17	1,90	1,78	1,58			
		6603641,73	646459,97							
8	Kunda		↓	2,14	1,88	1,79	1,57	Kunda RMJ (1947-2007)		Gumbel (EV2)
		6603095,80	637827,43							
9	Karepa		↓	2,12	1,86	1,78	1,54			
		6607601,9	627899,3							
10	Lahemaa		↓	2,10	1,85	1,78	1,51			
		6611910,6	615890,8							
11	Natturi		↓	2,13	1,86	1,77	1,48			
		6611711,1	610784,2							

12	Võsu		↓	2,14	1,84	1,75	1,45			
		6608479,6	608350,6							
13	Käsmu		↓	2,16	1,81	1,71	1,42			
		6609157,8	605398,3							
14	Kasispea		↓	2,18	1,79	1,69	1,41			
		6606883,8	600491,2							
15	Viinistu		↓	2,17	1,78	1,66	1,38			
		6615810,1	595548,4							
16	Pärispea		↓	2,16	1,77	1,66	1,38			
		6609962,60	595150,92							
17	Loksa		↓	2,18	1,79	1,67	1,39	Loksa RMJ (1924-2008)		Gumbel (EV2)
		6605799,87	591875,33							
		6579842,52	502346,79							
18	Paldiski		↓	1,95	1,61	1,49	1,24	Paldiski RMJ (1943-2008)		Gumbel (EV2)
		6571227,03	494827,43							
19	Pedase		↓	1,92	1,57	1,46	1,23			
		6571225,6	494675							
20	Vihterpalu		↓	1,97	1,65	1,51	1,26			
		6572479,1	489789,2							
21	Alliklepa		↓	2,02	1,69	1,53	1,27			
		6570325,6	485835,6							
22	Keibu-Ristna		↓	2,06	1,70	1,55	1,28			
		6569007,7	484678,5							
23	Keibu		↓	2,12	1,71	1,57	1,30			
		6567818,4	480435,6							
24	Peraküla		↓	2,17	1,75	1,62	1,32			
		6565115,1	473035							

25	Põõsaspea		↓	2,22	1,79	1,66	1,35			
		6565187,66	472124,34							
26	Dirhami			2,19	1,77	1,64	1,33	Dirhami RMJ (1955-2008)		Gumbel (EV2)
		6563601,05	470947,18							
		6535451,6	439702,0							
27	Heltermaa		↓	2,00	1,63	1,52	1,25	Heltermaa RMJ (1951-2007)	Rohuküla RMJ (1938-1940, 1950-2007)	Gumbel (EV2)
		6522420,9	446209,3							
		6532914,3	387770,6							
28	Ristna		↓	2,84	2,26	2,09	1,70	Ristna RMJ (1950- 2008)	Sõru RMJ (1948-1964)	Gumbel (EV2)
		6528382,7	394747,9							
		6504025,5	470875,3							
29	Virtsu		↓	2,28	1,85	1,73	1,43	Virtsu RMJ (1889- 1893, 1899-1912, 1948-2008)		Gumbel (EV2)
		6491995,3	470943,4							
		6409486,3	454412,1							
30	Ida-Ruhnu		↓	2,53	1,84	1,66	1,28	Ruhnu RMJ (1901- 1915, 1947-1988)	Kihnu RMJ (1947-1989)	Gumbel (EV2)
		6404560,7	456534,3							
31	Lääne-Ruhnu		↓	2,58	1,87	1,68	1,30			

		6409486,3	454412,1							
		6473786,3	371808							
32	Vilsandi		↓	2,54	1,68	1,49	1,13	Vilsandi RMJ (1892-1913, 1924-1944, 1948-1980)		Gumbel (EV2)
		6471649,3	373040,6							
		6633763,7	632439,4							
33	Ida-Vaindloo 1		↓	2,74	2,19	1,98	1,53	Vaindlo RMJ (1889-1917, 1925-1940)	Loksa RMJ (1924-2008)	Gumbel (EV2)
		6633472,1	632632,9							
34	Ida-Vaindloo 2		↓	2,76	2,21	2,00	1,55			
		6633290,3	632537,9							
		6633264,2	632539,5							
35	Lääne-Vaindloo		↓	2,78	2,23	2,02	1,57			
		6634016,8	632311,2							
36	Põhja -Vaindloo		↓	2,76	2,21	2,00	1,55			
		6633763,7	632439,4							
		6607750,9	528823,0							
37	Ida-Naissaar		↓	2,41	1,87	1,73	1,42	Naissaar RMJ (1963-1974)	Tallinn RMJ (1899-1917, 1923-1940, 1948-1995, 2011, 2005)	Gumbel (EV2)

		6420372	384692,5							
42	Sõrve		↓	2,77	1,93	1,72	1,35	Sõrve RMJ (1895-1914, 1924-1938, 1950-1992, 2005)		Gumbel (EV2)
		6428247,6	393534,2							
		6551286,3	418849,5							
43	Tahkuna		↓	2,03	1,51	1,39	1,19	Tahkuna RMJ (1884-1916, 1925-1944, 1951-1959)		Gumbel (EV2)
		6548978,6	425220,6							
		6609234,9	411397,3							
44	Sõru		↓	1,82	1,52	1,42	1,20	Sõru RMJ (1948-1964)	Heltermaa RMJ (1951-2007) Ristna RMJ (1950-2008)	Gumbel (EV2)
		6507186,6	422557,9							
		6514092,7	467921,2							
45	Kiideva		↓	2,48	2,05	1,92	1,61	Keemu RMJ (1929-1940)	Heltermaa RMJ (1951-2007) Virtsu RMJ (1889-1893,	Gumbel (EV2)

									1899-1912, 1948-2008) Raugi RMJ (1954-1964)	
		6514741,5	485500,1							
46	Matsalu		↓	2,58	2,15	2,02	1,81			
		6512160,3	483349,8							
47	Keemu		↓	2,48	2,05	1,92	1,61			
		6511138,2	472458,7							
		6504401,8	454850							
48	Raugi		↓	2,32	1,79	1,66	1,40	Raugi RMJ (1954-1964)	Sõru RMJ (1948-1964) Keemu RMJ (1929-1940) Virtsu RMJ (1889-1893, 1899-1912, 1948-2008)	Gumbel (EV2)
		6501094,1	462043							