



Tartu Ülikool
Maateaduste ja ökoloogia instituut
Geograafia osakond

Tallinna soojussaarte kaardistus 2021. aastal

Töö teostajad: Valentina Sagris

Mait Sepp

Sisukord

Sissejuhatus.....	4
1. Tallinna 2021. aasta soojusaarte kaardistamine	7
Andmed ja meetoodika.....	7
2021. aasta suve kuumalained.....	8
3. juuni	11
19. juuni	13
3. juuli.....	15
2. 2021. aastal kujunenud olukorra võrdlus 2014. ja 2018. aasta soojusaartega	18
Andmed ja meetoodika.....	18
2014., 2018. ja 2021. aasta Tallinna tehispindade võrdlus.....	18
2014, 2018 ja 2021 kuumalaine meteoroloogiline võrdlus	19
Kolme kuumalaine ajal Tallinnas kujunenud soojusaarte võrdlus	21
2014. ja 2018. a. võrdlus	22
2018 ja 2021. a. võrdlus	23
2014 ja 2021. a. võrdlus	25
Kuumasaarte võimsus	26
3. Tallinna elanikkonna haavatavuse analüüs.....	29
Andmed ja meetoodika.....	29
Haavatavus.....	31
Eksponeeritus.....	34
Mõju.....	37
4. MODIS satelliitandmed ja Tallinna öised temperatuurid	41
Andmed ja meetoodika.....	41
MODIS päev	43
MODIS öö	44
Arutelu	47
Kuumadest katustest	47
Uusasumitest	48
„Mäed“	49
Kuumasaarestik.....	50
Uurimisvajadus ja andmeallikad	50
Kokkuvõte	51
Kasutatud allikad.....	53
Lisa 1. Loetelu objektidest ja piirkondadest	56
Lisa 2. Tallinna kuumasaarestik 2014. ja 2018. aasta võrdluses	59

Lisa 3. Tallinna kuumasaarestik 2018. ja 2021. aasta võrdluses	60
Lisa 4. Tallinna kuumasaarestik 2014. ja 2021. aasta võrdluses	61

Sissejuhatus

Nii maailma, Euroopa kui Eesti enda lähiminevikust on võtta mitmeid traagilisi juhtumeid, kus suvel väga kõrgele tõusnud õhutemperatuurid toovad kaasa liigsurmade laine. Õpikunäiteks on 2003. aasta juuli-augusti kuumalaine, mille tõttu suri Euroopa eri riikides hinnanguliselt kokku 70 000 inimest. Neist ligi 15 000 peamiselt vanemat inimest langesid kuuma ohvriks Prantsusmaa linnades (Robine et al. 2008). 2010. aasta kuumalainetega tõusis Eestis suremus 31%, tuues kaasa 191 liigsurma juhtumit. 75 inimest surid vahetult kuumalainete ajal (Rekker 2013, Saava et al. 2015). 2021. aasta juuliku kuumalaine ohvrite hulgaks on ajakirjanduses pakutud 83 inimest (Pärli 2021). Arvestades viidatud artiklis kasutatud metoodikat on esitatud liigsurmade arv suure tõenäosusega alahinnatud. Kui pidada silmas 2021. aasta suve ekstreemseid temperatuuriolusid, siis varasemate uuringute (Näyhä 2007; Ruuhela et al. 2018; Saava et al. 2015) alusel võib oletada, et tegelikult võis suve lõpuks kuumaohvreid olla üle 200 inimese.

Võib arutleda kuumalaine täpse definitsiooni üle, kuid vaieldamatu fakt on see, et nende esinemissagedus ja kaasnevad temperatuurid on viimastel kümnenditel järjest kasvanud. Näiteks Ain Kallis on 2010. aastal rehkendanud, et perioodil 1961-2007 on Eestis kuumalaineid olnud vaid kaks – Edela-Eestis 28. juuli – 01. august 2003 ja Kagu-Eestis 07.-13. juuli 2006. Siin on kuumalaine defineeritud kui vähemalt viiepäevane periood, mil ööpäeva maksimumtemperatuur tõuseb üle 30 °C (Kallis 2010). Sellesse ritta on lisanud 2010. aasta (Saava et al. 2015), kuid tegelikult kuuluvad ka 2014. ja 2018. suve kuumalained samasse klassi. Nagu märkate, on kõik need erakorralised sündmused toimunud 21. sajandil ning nendega on ületatud kõik Eesti 150 aasta pikkuse ilmavaatlemise ajaloos varem fikseeritud temperatuuri, kuumalaine kestvuse, suve pikkuse jms rekordid (Õispuu 2019). 2021. aasta suvi oli mainitute kõrval oma kuumuselt hoopis erakorraline. Ilmateenistuse andmetel registreeriti 2021. aasta juunis 25st jaamas viieteistkümnes absoluutse maksimaalse õhutemperatuuri rekord (Rekordid 2021).

Kui vaadelda kuumalaineid ja nende mõjusid Tallinna seisukohast, siis tuleb arvestada erinevaid aspekte. Esiteks: praeguste tendentside jätkudes muutuvad kuumalained üha sagedamateks, pikemateks ja maksimumtemperatuurid kõrgemateks. Senised tulevikukliima modelleerimise tulemuste põhjal võib väita, et pessimistlikuma kliimastenaariumi (RCP8.5) realiseerumisel esineb juba käesoleva sajandi keskel igal suvel u 6 päeva, mil maksimumtemperatuur tõuseb üle 30 °C (Sepp 2015). Teiseks: kuumalainete ja suremuse vahel on väga selge seos. RCP8.5 stsenaariumi järgi ja arvestades praeguse Eesti rahvastiku ning suremuse määra võib 21. sajandi lõpuks lisanduda enam kui 1000 varajast surma aastas (Orru et al. 2015). Kolmandaks: Eesti rahvastik vananeb ja kolib linnadesse, eriti Tallinnasse. Seega võib tegelik liigsurmade arv olla prognoositavast suurem ja valdav osa neist juhtumitest tuleb Tallinna arvele. Neljandaks: senised tulevikukliima prognoosid ja ka liigsuremuse arvestused on tehtud Riigi Ilmateenistuse meteoroloogiajaamade andmete põhjal. Need aga asuvad linnadest eemal ja ei arvesta linna soojussaare efekti. Kuna intensiivse päikesekiirguse mõjul kuumenevad linnades tehispinnad kiiresti väga kõrgete temperatuurideni, siis esineb tiheasustusalades kuumalaineid palju sagedamini ja kõrgemate temperatuuridega kui mudelarvutused näitavad. Viiendaks: arvestades praeguseid autostumise temposid Eestis, lisandub kuumalaine mõjudele ka õhusaaste probleemid. Tavaliselt kujunevad kuumalained suvel kõrgrõhkonna tingimustes, kus pilvkate on hõre või puudub üldse, päikesekiirgus on intensiivne ning tuult pole. Sellised olud soodustavad fotokeemiliste reaktsioonide tekkele, mille käigus tekivad inimtervisele eriti ohtlikud keemilised ühendid (Kaasik et al. 2015).

Lisaks on linnas hulga tehispindasid, mis salvestavad päeval päikesesoojust, kuid ei jahtu öhtul piisavalt kiiresti ja hoiavad öösel ka õhutemperatuuri kõrgel. Kõrgeid öiseid õhutemperatuure peetakse aga inimtervisele eriti kahjulikuks. Kuumade ööde probleem seisneb selles, et organism ei suuda päevasest kuumastressist korralikult välja puhata, mistõttu erinevad terviseprobleemid süvenevad ja võimenduvad (Murage et al. 2017).

See, et linna sees mõõdetavad õhutemperatuurid on mõnevõrra kõrgemad, kui linnast väljas asuvatel aladel, on teada juba 19. sajandi esimestest aastatest. Esimest korda kirjeldas sellist linnade kliima eripära ehk linna soojussaare efekti Luke Howard (1772–1864) aastal 1818, kui ta võrdles Londonis ja selle lähikonna õhusooja (Howard, 1833). Tallinnas on sarnaseid klassikalisi soojussaare efekti mõõtmisi teinud 1930ndail Kaarel Kirde ja 1970ndail Andres Tarand. Kirde (1939) leidis, et toona Tallinna sadama hoonete varjus asunud meteojaama keskmised temperatuurid olid umbes 0,5 kraadi kõrgemad kui Lasnamäe lagedal väljal paiknenud jaamas. Andres Tarandi eestvõtmisel tehtud mõõtmiste alusel leiti, et Tallinna soojassaare efekt on suvel 0,5–0,7 °C. Talvel olid aga linna ja seda ümbritsevate alade temperatuurierinevused väga suured: arvestades mere ja tuule mõjusid, hindas Andres Tarand soojussaare efekti väärtuseks $7,2 \pm 0,9$ °C (Tarand 1976, 1986). Viimasel kümnendil on huvi linna soojussaare efekti uurimise osas mõnevõrra tõusnud (nt Käär, 2015; Tomingas, Käär, 2016; Tammel, 2019), kuid traditsioonilisel meetodil, mida kasutavad ka eelpool viidatud tööd, on üks põhimõtteline puudus. Nimelt analüüsivad need linnas üksikuid punkte. Kui punktide võrgustik on piisavalt tihe, siis, nagu seda on tehtud Andres Tarandi töödes, saab välja tuua soojussaare efekti erinevusi erinevates linnaosades. Ent tänapäeval kasutatakse linna soojussaare efekti uurimiseks valdavalt ikkagi satelliitandmeid. Kosmosest soojuskanalis tehtud fotod näitavad väga täpselt, kus on linnas kuumemad või jahedamad alad. Selliseid piirkondi, mille pinnatemperatuur tõuseb kuumade ilmadega märgatavalt kõrgemale, kui väljaspool linna asuvas ilmajaamas samal ajal mõõdetud õhutemperatuur, nimetatakse käesolevas töös soojussaarteks (või ka soojassaarteks). Kuumassaarteks nimetatakse järgnevalt selliseid alasid, mille pinnatemperatuur on erakordselt kõrge – alad, mille eristamiseks on kasutatud temperatuurijaotuse kõrgeimaid väärtusi. Tallinna puhul moodustavad need saarte süsteemi, mida siin nimetatakse piltlikustamiseks kuumasaarestikuks ehk –arhipelaagiks.

Tallinna soojussaarte varasemad analüüside (KATI 2015; Märtnens et al. 2020; Sagris et al. 2015; 2020) põhjal võib väita, et soojussaared on dünaamiline nähtus. Tõsi küll, nii 2014., 2018. kui ka 2021. aasta satelliidifotodelt on näha ühed ja samad „helendavad täpid“ – peamiselt kaubanduskeskuste ja laokomplekside katused ning suured asfaltplatsid. Tegelikult on iga kuumalaine väga omanäoline sündmus, individuaalse iseloomu ja kujunemislooga. Vastavalt sellele on ka soojussaartel omad eripärad. Näiteks olenevalt sellele, kuidas on pargis põetud muru ja millised on mulla niiskusolud, võib park olla kas koht, kust kuuma ilma eest varju leida või vastupidi – soojussaar. Lisaks on linn ise dünaamiline süsteem. Tallinn areneb pidevalt. Paraku toob see areng kaasa ka maakasutuse muutuse ehk suurte liiklussõlmede, parkimisplatside, hoonete ja uusasumite ehitamise. Neist aga võivad kuumal suvepäeval kujuneda uued soojussaared.

Ka soojussaarte sotsiaalsed mõjud on dünaamilised. Nagu eelpool mainitud, tolmu Tallinnas rahvaarvu suurenemine ning Eestis üldiselt rahvastiku vananemine. Lisaks on märgatav jõukuse kasv ja keskkonnateadlikkuse arenemine. Kuid samas toimub ka rahvastiku varalise ebavõrdsuse kasv, mis on Tallinnas jälgitav teatud sotsiaalmajandusliku segregerumisena: jõukamad ja haritumad inimesed kolivad eramajade piirkondadesse kuna aga vaesemad koonduvad linnaosadesse, kus on valdavad suhteliselt odavat eluaset pakkuvad korterelamud (Marcíńczak et al. 2015). Need tendentsid suurendavad Tallinna haavatavust. Haavatavust võib võtta kui kliima mõju ja kohanemisvõime omavahelist suhet. Kui mingis Tallinna asumis kujuneb võimas kuumasaar ning seal elavad inimesed,

kelle kohanemisvõime on vaesuse, vanuse, tervise või näiteks vähese hariduse tõttu madal, siis on ka selle piirkonna haavatavus suur (Sagris et al 2015).

Kokkuvõtvalt võib öelda, et kui kavandada soojusaarte mõju vähendamise meetmeid, siis esimeseks etapiks peab olema saarte geograafia ja dünaamika tundmaõppimine. Kuumalaine ajal tehtud satelliidifotode omavahelisel võrdlemisel saab kindlaks teha need linnapiirkonnad, kus soojusaar on akuutseks probleemiks ning need alad, kuhu on tekkinud uued kuumasaared. Selline analüüs võimaldab teha esmaseid linnaplaneerimise alaseid järeldusi, alustada laiemat diskussiooni soojusaarte leevendamise meetmete üle ja annab aluse soojusaarte detailsemaks uurimiseks. Järgmiseks etapiks on soojusaarte sotsiaalsete mõjude ehk haavatavuse hindamine. Ehk siis eristatakse need soojusaared, mille mõjualas elab suhteliselt palju riskirühmadesse (vanurid, väikelapsed, krooniliselt haiged) kuuluvaid inimesi.

Käesolev töö on autorite eelnevatele teadus- ja rakendusprojektide (Sagris et al. 2015, 2020) loogiliseks jätkuks. Järgnevalt analüüsitakse nelja Tallinna soojusaartega seotud aspekti, mis on käesolevas töös esitatud eraldi peatükkidena:

- 1) Kaardistatakse 2021. aasta kuumalainetest tekkinud soojusaari Tallinnas.
- 2) Võrreldakse 2021. aastal kujunenud olukorda 2014. ja 2018. aasta soojusaartega ning analüüsitakse muutuste põhjusi.
- 3) Tehakse elanikkonna haavatavuse analüüs ja võrreldakse 2021. aastaks välja kujunenud olukorda 2014. aasta vastava uuringu (Sagris et al. 2015) tulemustega.
- 4) Analüüsitakse öiste soojusaarte kujunemist ja omadusi.

1. Tallinna 2021. aasta soojusaarte kaardistamine

Nagu sissejuhatuses mainitud, on soojusaarte probleemi lahendamise esimeseks etapiks olemasoleva olukorra kaardistamine. Varasemad Eesti kuumalainete uuringud on näidanud, et satelliitidelt soojuskanalis tehtud fotod annavad suhteliselt hea ülevaate termilisest olukorrast linnas ja soojusaarte paiknemisest (Märtens et al. 2020; Sagris et al. 2015; 2020). Siiski ei tohi nende piltide puhul unustada, et tegemist on pinnatemperatuuriga – soojuskiirgusega nendelt pindadelt, mida satelliit oma orbiidil „näeb“. Seda ei saa otseselt samastada õhutemperatuuriga, mida mõõdetakse maapealsetes ilmajaamades maapinnast standardselt 2m kõrgusel ja mis tegelikult inimese igapäevast elu ja tegevust mõjutab. Linnas tähistab pinnatemperatuur sageli katuste, asfaldi ja pargis puukroonide temperatuuri. Kui kõrge on aga näiteks õhutemperatuur pargis või puiesteel puude all või kuidas mõjutab tornelamu musta lamekatuse ülikõrge temperatuur kõnniteel jalutava inimese heaolu, vajab eraldi analüüsi, välimõõtmisi ja modelleerimist.

Järgnevalt on analüüsitud 2021. aasta erakordset suve, kuumalaineid ja Tallinna soojusaari kolme Landsat 8 ülelennu (3. juuni, 19. juuni ja 3. juuli) ajal tehtud satelliidifotosid.

Andmed ja meetodika

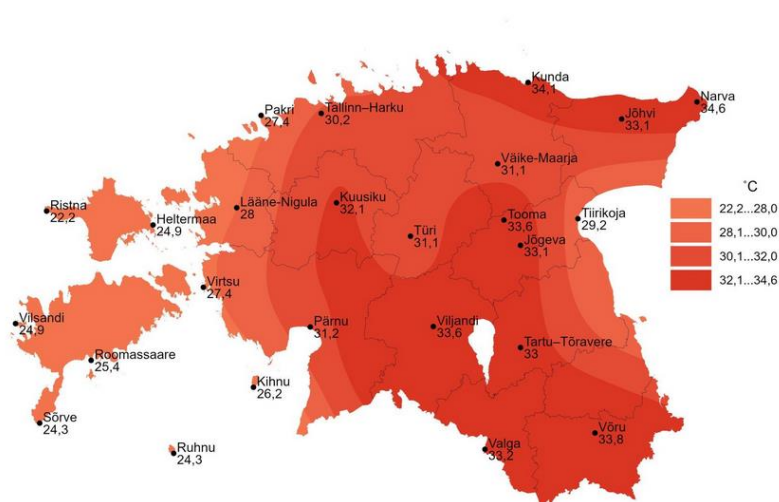
2021. aasta suvel Tallinnas kujunenud soojusaarte kaardistamise alusmaterjaliks on USA Riikliku Aeronautika- ja Kosmosevalitsuse (NASA) satelliidi Landsat 8 soojuskanalis (spektrivahemik 10,30–12,50 μm) tehtud pildid. Need on saadud NASA avalikust arhiivist (NASA 2021). Soojusfotode piksli suuruseks on 30 \times 30 m. Töös kasutatud fotode valik sõltub Landsat 8 ülelennu sagedusest, kuna täpselt sama kohta pildistatakse iga 16 päeva tagant. Ülelendude kellaaeg on suhteliselt konstantne, u kl 12:30 \pm 15 min. Eesti suveaja järgi (9:30 GMT aeg). Satelliitpiltide kasutamise peamiseks piiranguks on meie piirkonnas sagedasti esinev pilvkate, mis varjab aluspinda. Seda muuhulgas ka kuumalaine päevadel, mil pilvi ei tundu olevat. Tulenevalt Landsati ülelennu graafikust on analüüsiks välja valitud sellised soojusfotod, mis paiknevad ajaliselt meteoroloogilistes andmete põhjal määratud kuumalaine maksimumile kõige lähemal ja millel on võimalikult vähem pilvi.

Maapealsete temperatuuride osas on kasutatud Riigi Ilmateenistuse Tallinn-Harku ilmajaama meteoroloogilisi andmeid (Vaatlus 2021). Lisaks on töös võrdluseks kasutatud teisi avalikult läbi Interneti kätte saadavaid temperatuurandmeid. Eesti Keskkonnauurimise Keskuse välisõhu kvaliteedi kaardirakendusest (Eesti välisõhu kvaliteet 2021) sai alla laetud seirejaamades Muuga 1 ja Maardu 2 mõõdetavad temperatuurid. Samuti on kasutatud Tallinna Tehnikaülikooli Füüsikainstituudi ilmajaama (Füüsikainstituut 2021) andmeid. Praegu on füüsikainstituut ühendatud küberneetikainstituudiga, kuid kuna töö koostamise ajal pole ilmajaama kodulehel vastavaid muudatusi tehtud, siis kasutame siin vana nime. Ükski neist viimati mainitud kolmest andmeallikast pole Tallinna ilmastiku iseloomustamiseks ideaalsed. Muuga ja Maardu jaamad asuvad Tallinnast küllaltki kaugel. Muuga 1 asub mere ääres, Muuga sadama kail ja on seega ilmastiku mõttes otseselt mere mõju all. Maardu 2 on kemikaalide lao külje all ja iseloomustab industriaalse maastiku mikrokliimat. TTÜ ilmajaam asub Tallinnas Ehitajate 5 ühe õppekorpuse katusel ja iseloomustab õhutemperatuuri tüüpilise musta värvi materjaliga kaetud lamekatuse kohal. Ilmajaama kodulehel on hoiatus, et ilmajaam on arendamisjärgus ja andmed ei pruugi olla korrektsed. Siiski võib öelda, et taustainfoks on mõõtmised piisavalt usaldusväärsed.

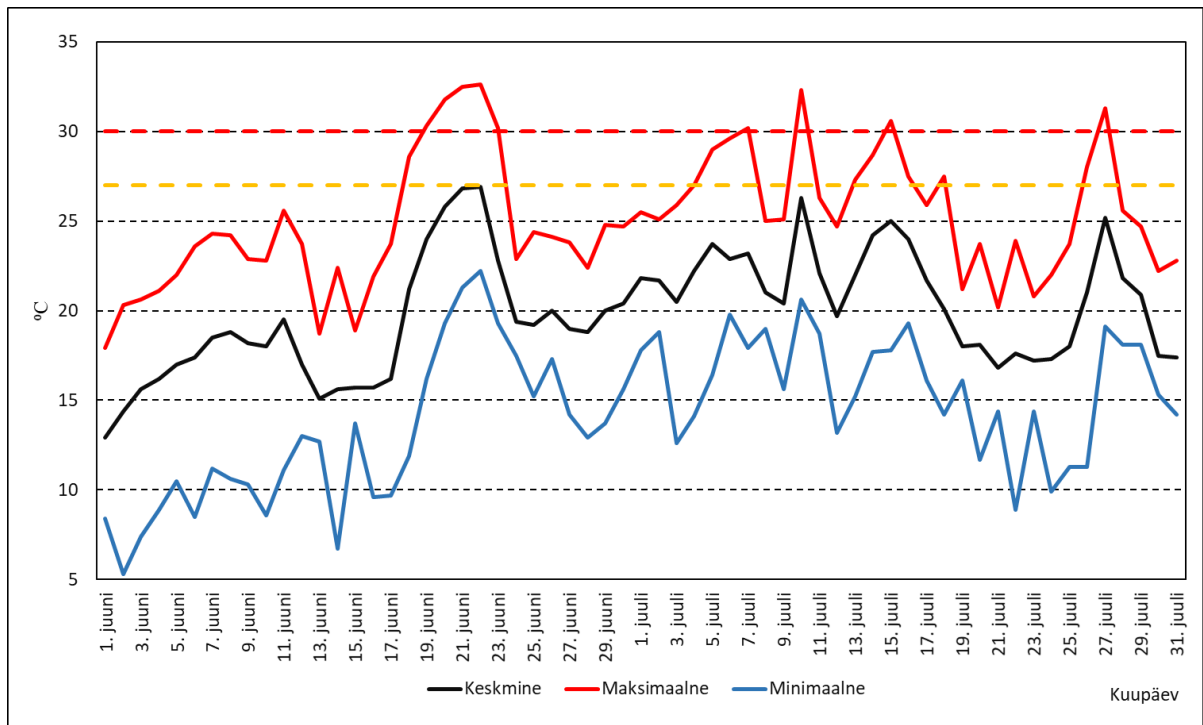
Landsati piltide töötlemise metodoloogiat on põhjalikult kirjeldatud artiklis Sagris, Sepp (2017) ning on edukalt rakendatud projektis „Soojusaarte ulatuse levik ja trend Tallinnas aastatel 2014 – 2018“ (Sagris et al. 2020). Soojusfotode töötlemise väljundiks on Tallinna skeem, millel on igal pikslil oma konkreetne temperatuuriväärtus. Analüüsi ja visualiseerimise eesmärgil klassifitseeritakse need väärtused väikeseks arvuks temperatuurivahemikeks. Klassifitseerimise aluseks võeti kriitiliste lävendite meetod. Näiteks on üheks kriitiliseks piirväärtuseks Tallinn-Harku ilmajaama suviste ööpäeva maksimumide 95. protsentil (pikaajalise keskmisena 27 °C). Teiseks piirväärtuseks on ööpäeva maksimumtemperatuuri tõus üle 30 °C vähemalt kahel järjestikusel päeval. See on Eestis hädaolukorra väljakuulutamise kriteeriumiks. Neid alasid, mille pinnatemperatuur on kõrgem kui ilmajaamas mõõdetud õhutemperatuur, võib nimetada soojusaarteks. Siin on aga võetud eri intensiivsusega temperatuuriklasside eristamiseks järgmised pinnatemperatuuri vahemikud: 27-30; 30-35; 35-40; 40-45 ja pinnad, mille temperatuur on üle 45 kraadi. Viimaseid nimetatakse piltlikustamiseks „kuumadeks täppideks“.

2021. aasta suve kuumalained

2021. aasta suvi, eriti juunikuu, oli Eesti ilmavaatluste 155 aastases ajaloos kõige soojem. Näiteks oli Tartus suve keskmine õhutemperatuur 18,9 °C (norm 16,7 °C). See on alates 1866. aastast, mil siin mõõtmisi alustati, kõige soojem suvi (Suvi 2021). Nagu sissejuhatuses mainitud, registreeriti 2021. aasta juunis Ilmateenistuse 25st jaamas viieteistkümnes absoluutse maksimaalse õhutemperatuuri rekord. Keskmiselt ületasid need 2-3 kraadi võrra absoluutse maksimaalse õhutemperatuuri norme, mis on arvatud perioodi 1991-2020 kohta (Rekordid 2021). 23. juunil Narva meteoroloogiajaamas mõõdetud 34,6 °C on nüüd uus Eesti juunikuu soojarekord. Olenevalt jaamast püsis maksimaalne õhutemperatuur 27 °C või kõrgemal 3-5 järjestikusel päeval. Eriti ohtliku kuumalaine (30 °C kolme või enama päeva jooksul) pikkuseks kujunes 3-5 päeva (Suvi 2021). Kõige kriitilisemaks kujuneski 23. juuni, mil enamuse Eesti mandriala ilmajaamades mõõdeti ööpäeva maksimumiks üle 30 °C (Joonis 1.1) Tallinn-Harku aeroloogiajaamas kestis periood, kus maksimumtemperatuurid ületasid järjepidevalt 30 °C viis päeva (19. - 23. juuni; joonis 1.2). Lisaks oli ka 18. juunil ööpäeva maksimumtemperatuur kõrgem kui 27 °C.



Joonis 1.1. Õhutemperatuuri absoluutne maksimum 23. juunil 2021. a. (Suvi 2021)



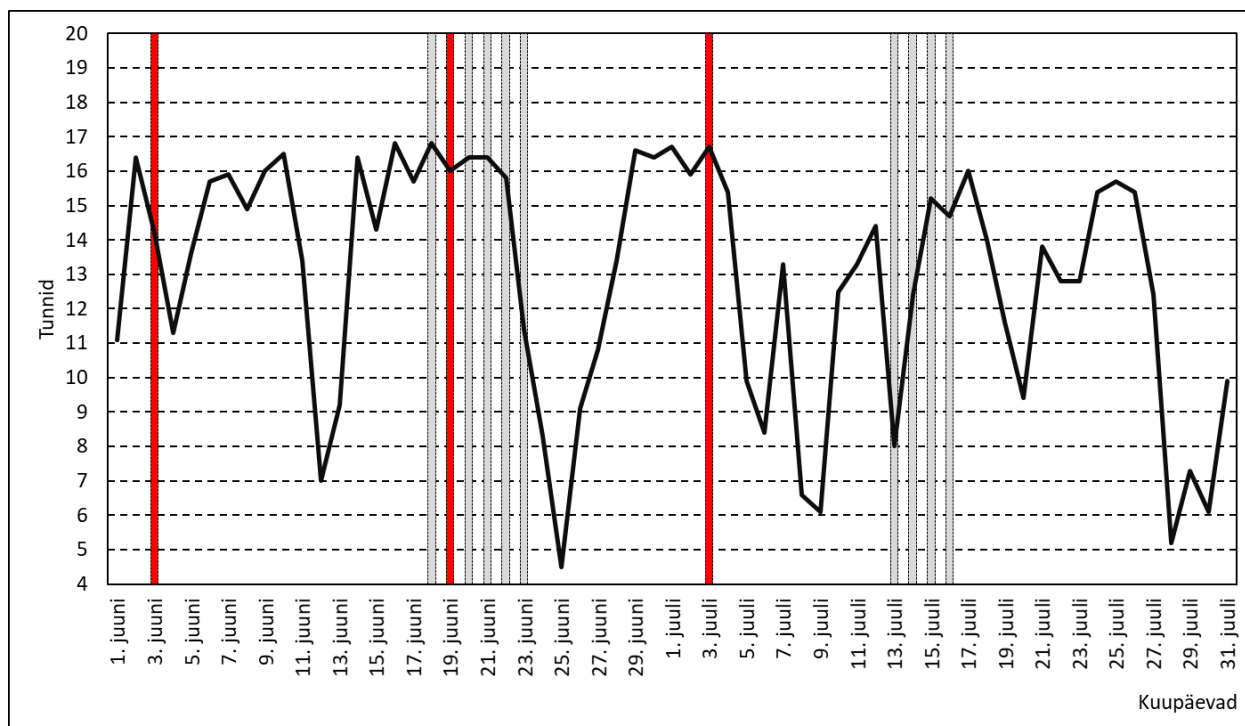
Joonis 1.2. Tallinn-Harku aeroloogiajaamas 1. juunist-31. juulini 2021 mõõdetud õhutemperatuuri ööpäeva keskmine, miinimum ja maksimum. Kollase ja punase punktiirjoonega on tähistatud vastavalt 27 °C ja 30 °C tase. Andmed Riigi Ilmateenistusest (Ööpäevaandmed 2021).

Juuni lõpus-juuli alguses võib rääkida järgmisest kuumalainest, mil maksimaalne õhutemperatuur ületas paljudes jaamades taas 27 °C kolmel ja enamal järjestikusel päeval. Mõnedes sisemaa jaamades kestis kuumalaine enam kui kaks nädalat järjest. Eriti ohtliku kuumalaine (30 °C kolme või enama päeva jooksul) pikkuseks kujunes sõltuvalt asukohast kolm kuni viis päeva. Otsustades Tallinn-Harku jaama andmete põhjal ei moodustanud see kuumalaine Tallinna ümbruses ühtset katkematut perioodi. Siiski, 13.-16. juulil olid maksimumtemperatuurid kõrgemad kui 27 °C (joonis 1.2). Eesti keskmiseks õhutemperatuuriks oli juulis 21,2 °C (norm 17,8 °C) ja seda peetakse 2010. ja 1922. aasta järel kuumuselt kolmandal kohal olevaks. August oli suhteliselt jahedam, seda võrreldes nii juuni ja juuliga kui ka pikaajalise keskmise ehk normiga (Suvi 2021).

Lähtudes eelkõige kättesaadavate satelliitpiltide kvaliteedist keskendume järgnevalt esimese ehk juunikuse kuumalaine analüüsile.

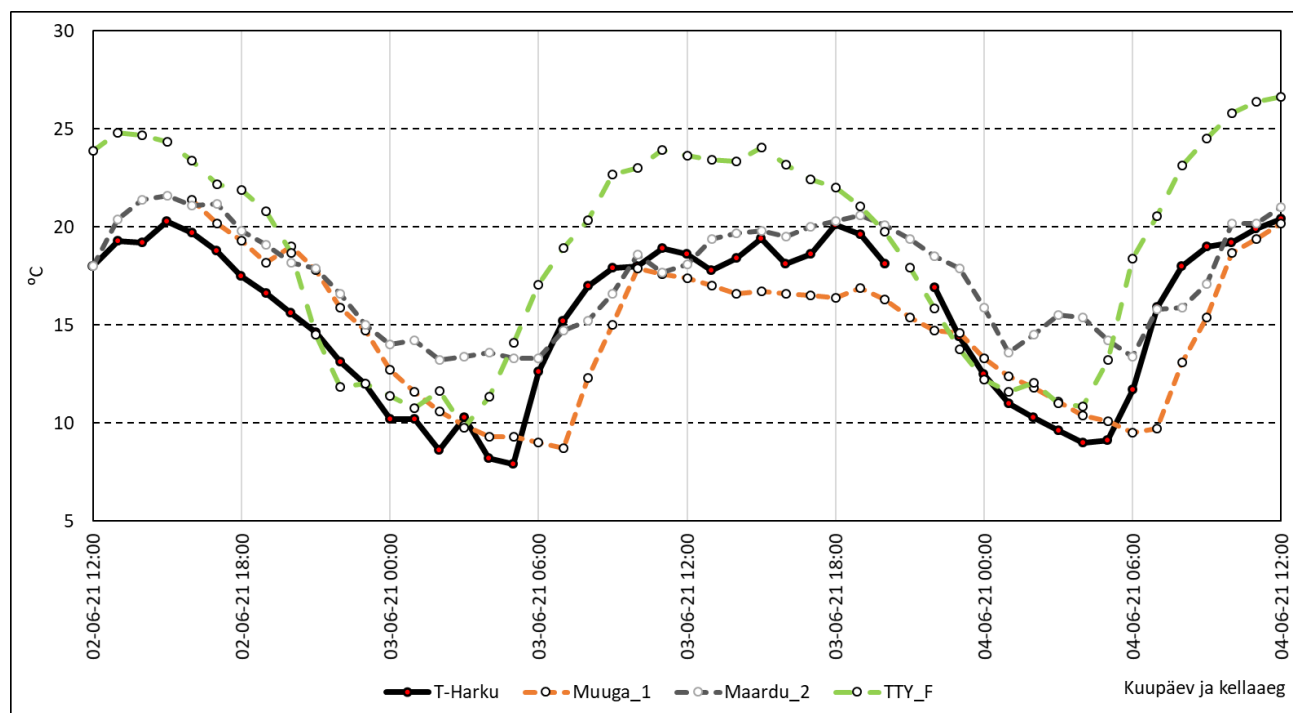
Nagu mainitud, on satelliitfotode kasutamise peamiseks takistuseks pilvkate. Üks näitaja, mis kaudselt iseloomustab olukorda pilvkattega, on päikesepaiste kestus. Mida suurem on antud päeval päikesepaiste kestus, seda vähem on olnud pilvi, seda suurem on tõenäosus, et satelliit „näeb“ maapinda. Paraku jääb alles juhuslikkuse moment, et just tehiskaaslase ülennu hetkel katab mõnd linnaosa pilv. Üldiselt, nagu on näha jooniselt 1.3, oli Tallinn Harku vaatluste järgi juunikuse kuumalaine ajal pilvisuse osas olukord palju parem (päikesepaiste kestus oli suurem ja sellest järeldatavalt pilvi vähem) kui juulikuus. Ent nagu just mainitud, satelliitfotode juures on suur roll juhusel – meie õnneks puudusid Tallinna kohal pilved nii esimesele kuumalainele eelneval (3. juunil), kuumalaine ajal toimunud (19. juunil) kui ka järgnenud (3. juulil) toimunud Landsat 8 ülennul.

Järgnevalt kirjeldame nende ülelennupäevade ilmaolusid ja satelliidifotosid ükshaaval põhjalikumalt, kuna iga neist kolmest esindab teistest oluliselt erinevat situatsiooni ning seeläbi lisab meile teavet Tallinna soojusaarte dünaamika kohta.



Joonis 1.3. Päikesepaiste kestus (tundides) mõõdetuna Tallinn-Harku jaamas 1. juunist 31. juulini 2021. Hallide tulpadega on ära märgitud kuumalaine perioodid, mil ööpäeva maksimaalne temperatuur tõusis mitmel päeval järjest üle 27 °C. Punaste tulpadega on tähistatud need päevad, mille Landsat 8 satelliitfotosid kasutatakse käesolevas töös.

3. juuni



Joonis 1.4. Õhutemperatuuri tunniandmed 2. - 4. juunil 2021 mõõdetuna Tallinn-Harku aeroloogiajaamas (T-Harku), EKUKi õhuseirejaamades Muuga 1 ja Maardu 2 ning Tallinna Tehnikaülikooli Füüsikainstituudi (TTY_F) ilmajaamas. Joonise keskel, 03-06-21 12:00, on ligikaudu see aeg, mil toimus Landsat 8 ülelend.

3. juuni keskpäev, mil toimus Landsat 8 järjekordne ülelend, oli üsna tüüpilise suvehaku ilmaga päev. Riigi Ilmateenistus edastas oma Facebooki blogis 2. juunil järgmise kokkuvõtte: „Ilusat päikesepaistelist päeva! Ilma kujundab Skandinaavia ja Soome kohal tugevnev kõrgrõhuala, mille lõunaserv laieneb üha enam Eesti kohale. Puhub valdavalt põhjakaare tuul 2-8 m/s. Sooja on täna (2.06) maksimaalselt 17..22°C, meretuulega rannikul jahedam 14..16°C“ (Ilmateenistus FB 2021). Sama prognoos kehtis sisuliselt ka 3. ja 4. juuni kohta, edasi õhutemperatuur pisut tõusis. Satelliidi ülelennu ajal oli Tallinn-Harku jaama andmetel õhutemperatuur 18 °C (joonis 1.4), idakaarte tuul puhus 3-5 m/s, puhangutena kuni 8 m/s, pilvi oli taevas suhteliselt vähe (kl 12:00 4 palli 10st, enamasti aga 0).

Enne, kui minna 3. juuni soojusaarte juurde, tasub tähele panna joonisel 1.4 ilmnevaid temperatuurierinevusi. Kui Harku meteojaamas mõõdeti keskpäevaseks õhutemperatuuriks 17-19 kraadi, siis TTÜ õppehoone tumedal katusel oli 22-24 kraadi. Üldiselt jäi enamus Tallinna linna katvate satelliidipildi pikslite temperatuuriväärtused vahemikku 22 – 30 °C. Samas on tabelis 1.1 ära toodud mõned kriitilisemad punktid, mis torkavad satelliidifotodelt „helendavate täppidena“ teravalt silma. Need on kohad, mis on eriti kuumad isegi täiesti tavalisel suvepäeval.

Tabel 1.1 Loetelu objektidest, mille pinnatemperatuur oli 3. juuni keskpäeval kõrgem kui 40 °C. Lahtris „Tegelik temperatuur“ on antud objekti kõrgeim temperatuuripiksliväärtus.

Linnaosa	Aadress	Objekt	Tegelik temperatuur (°C)
Mustamäe	Laki põik 6 ja Laki põik 4 vahel	Parkimisplats kahe äri- ja kaubandushoone vahel	40,1
Mustamäe	Karjavälja 4	Mustika ostukeskuse katus	40,7
Kristiine	Pärnu mnt 232	Info-Auto Järve keskuse katus	40,2
Nõmme	Pärnu mnt 238	Järve ostukeskuse katus	41
Nõmme	Liivalao tn 11	Liiva Keskus, laohoone katus	45,3

Sama lihtsalt saaks satelliidi andmete põhjal moodustada nimekirja objektidest, mille pinnatemperatuur jääb klassi 35-40 kraadi. Enamuses on need kaubanduskeskuste, laohoonete ja spordisaalide lamedad katused. Silmatorkavad on ka tehaste ja ärikeskuste territooriumid, kus tumedate katustega hooned on tihedalt koos ning nende vaheline ala kaetud lausaliselt kas asfalt- või betoonkattega. Selliseks lausaliselt kuumaks alaks on näiteks Mustamäe tee ääres laiuvad ärimaad Mustamäe ja Kristiine linnaosas. Kuumade katuste probleemi on arutelu peatükis eraldi käsitletud, kuid nagu 19. juunil, s.o. kuumalaine ajal tehtud satelliitpildilt võib kergesti märgata, muutuvad need katused kuumasaarte keskmeks ning annavad oma negatiivse panuse linna soojusaare efekti.



Joonis 1.5. 3. juunil 2021 kl 12:30 Landsat 8 poolt pildistatud pinnatemperatuuride klassid asetatuna Maa-ameti aerofoto kohale. Joonise keskel on Kalamaja asum. Toonimata alade pinnatemperatuur on vähem kui 27 °C. Roheka tooniga on temperatuuriklass 27-30 kraadi; kollane: 30-35 kraadi. Tallinn-Harku ilmajaamas oli õhutemperatuur sel hetkel 18 °C.

Kuumadest lamekatustest kriitilisem on 3. juuni piltidelt paistev fakt, et ka paljudes korruselamute ja eramute piirkondades on nii-öelda tavalisel suvepäeval pinnatemperatuur märgatavalt kõrgem kui

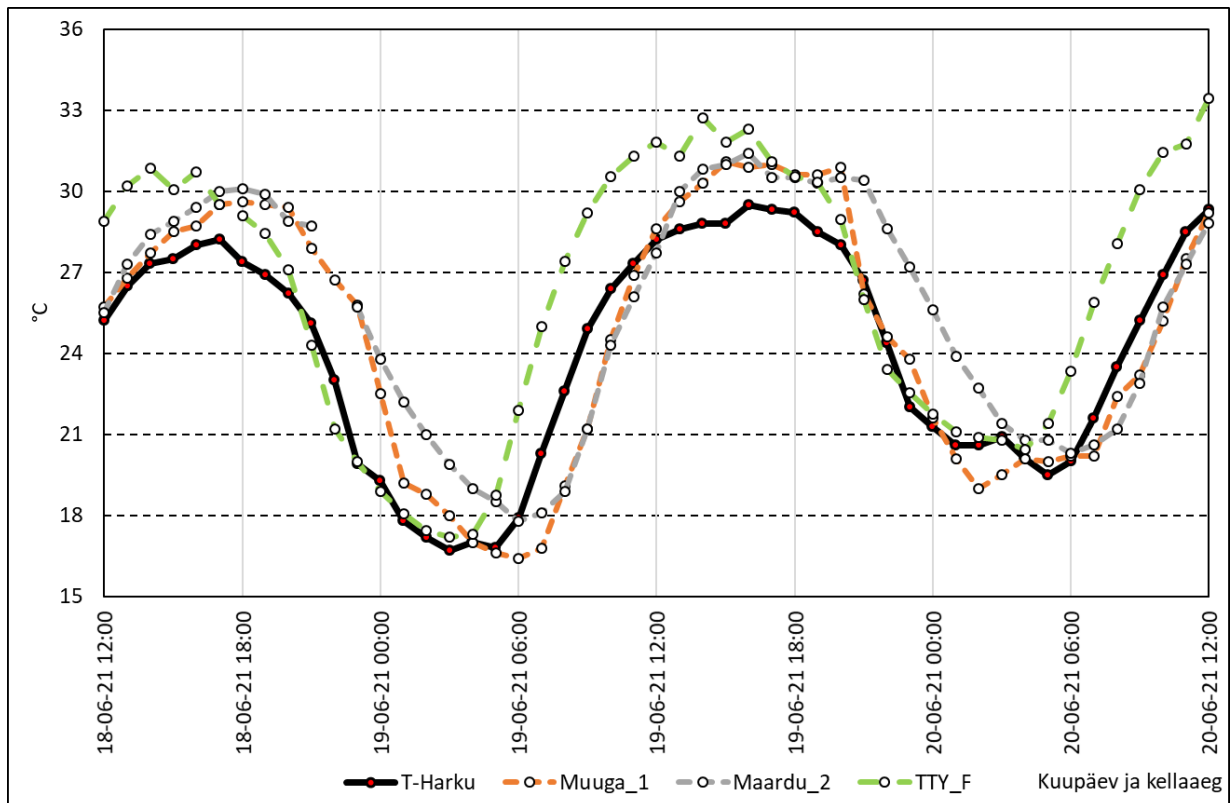
õhutemperatuur. Need on piirkonnad, kus inimesed elavad ja veedavad suurema osa ööpäevast. Pensionäride või ka kodus püsivate krooniliste haigete kontekstis on siinne soojusrežiim elu ja paraku surma küsimus. Kui kõrgete korterelamute piirkondade suhtelist kuumust saab stereotüüpiliselt seletada tõrvatud lamekatustega, siis Tallinna roheliste eramupiirkondade temperatuurierinevused vajavad edaspidi põhjalikumat analüüsi. Näiteks, miks kuuluvad Haabersti Mustajõe asumi pinnatemperatuurid soojusklassi 27-30 kraadi ja enamuses Põhja-Tallinna Pelgulinna asumi hoovides on temperatuur väiksem kui 27 °C? Sama moodi on näiteks umbes pool Kalamaja asumi tänavatest „soojad“ ja teine pool mitte (Joonis 1.5).

Selliste erinevuste põhjuseid võib olla mitmeid – arhitektuurilised (hoonetel pole kuumenevaid katuseid, puitarhitektuur), maakasutus (vähe tehispindu, kõrghaljastus), tänavate ja majade paigutus (hooned on paigutatud nii, et nende vahel käib õhk läbi). Ent palju võib sõltuda konkreetsetest ilmaoludest, näiteks tuule suunast ja antud asumi avatusest tuulele või ka pinnase veesisaldusest, taimestiku olukorrast ja nii edasi. See kõik toetab juba sissejuhatuses esitatud mõtet, et ainult ühe satelliitfoto põhjal ei saa linna soojussaarte kohta põhjanevaid järeldusi teha. Lisaks viitavad need erinevused ka sellele, et soojussaarte tegelikuks tundmaõppimiseks tuleb satelliitpiltide kõrval teha hulgaliselt maapealseid mõõtmisi.

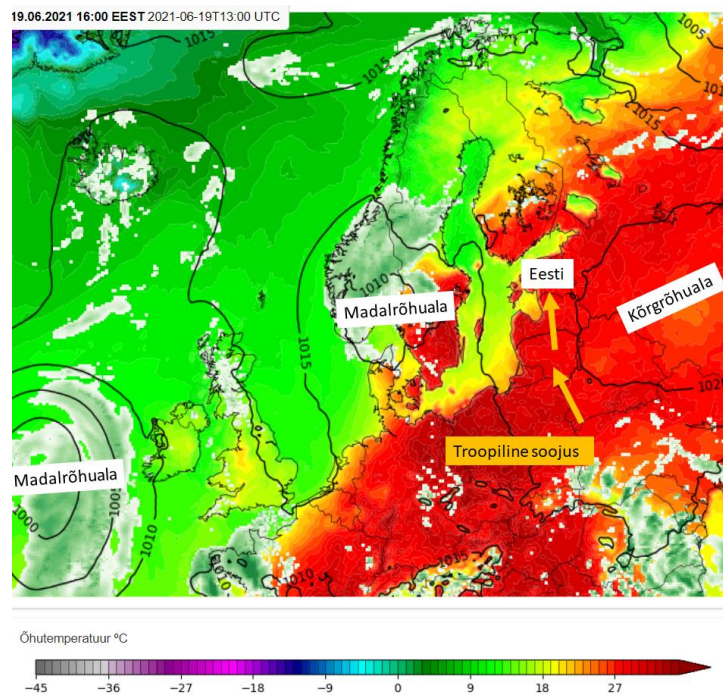
19. juuni

19. juuni keskpäev, mil Landsat 8 ülelend Tallinna järjekordselt kattis, polnud kuumalaine piik, kuid õhutemperatuurid olid sellegipoolest märkimisväärselt kõrged. Jooniselt 1.6 on näha, et Tallinn-Harku jaamas mõõdeti kl 16:00 õhusooja 29,5 °C. Võrdluseks toodud mõõtepunktides tõusis temperatuur üle 30 kraadi ja maksimum (32,7 °C) registreeriti TTÜ Füüsikainstituudi ilmajaamas kl 14:00. Siinjuures tuleb veelkord tõdeda, et Füüsikainstituudi ilmajaam käitub tüüpilise tumeda tehiskatte kohal oleva ilmajaamana – õhutemperatuur hakkab kohe peale päikesetõusu väga kiiresti tõusma ja öhtul temperatuur ka langeb väga järsku.

Riigi Ilmateenistus kirjeldas vaadeldava päeva ilmaolukorda järgmiselt: „Täna (19.06) päeval jääme Lääne-Venemaal paikneva kõrgrõhuala ja Taani lähistelt põhja poole liikuva madalrõhuala piirimaile. Lõunavoolus lisandub meile soojemat õhku. Ilm tuleb selge, vähese pilvisusega ja kuiv. Puhub valdavalt lõunakaare tuul 2-7, puhanguti kuni 12 m/s. Õhutemperatuur on 27..31, rannikul kohati 24°C“ (Ilmateenistus FB 2021). Ehk siis, Eesti jäi kahe rõhkkonna piirile nii, et lõunast „pumbati“ siia kuuma troopilist õhku (joonis 1.7).



Joonis 1.6. Õhutemperatuuri tunniandmed 18.-20. juunil 2021 mõõdetuna Tallinn-Harku aeroloogiajaamas (T-Harku), EKUKi õhuseirejaamades Muuga 1 ja Maardu 2 ning Tallinna Tehnikaülikooli Füüsikainstituudi (TTY_F) ilmajaamas. Joonise keskel, 19-06-21 12:00, on ligikaudu see aeg, mil toimus Landsat 8 ülelend.



Joonis 1.7. Sünoptiline olukord 19. juunil Euroopa idaosa kohal. Allikas: Ilmateenistus FB 2021.

Kuna 19. juuni oli alanud kuumalaine järjekorras teine päev ja Tallinn oli juba nii-öelda üleskõetud, siis on satelliidipildilt üsna keeruline eristada üksikuid soojusaari. Kui välja arvata mõned pargid, metsa- ja rohealad ning Aegna saar, ulatus enamuse Tallinna pinnatemperatuuridest üle 30 °C. Mõnedes asumites olid pinnatemperatuurid lausaliselt kõrgemad kui 40 °C – näiteks Mustamäe Kadaka asum; Haabersti linnaosas Väike-Õismäe ja Haabersti asum; valdav osa Kesklinna linnaosa asumitest, eriti Sadama; Lasnamäel Ülemiste asum ja tööstus-, lao- ning ärikvartalid, mis jäävad Peterburi tee ümbrusesse; Kristiine linnaosas tuleb eraldi mainida Lilleküla asumi Laki tn piirkonda. Kui vaadelda temperatuuripikseid, mille temperatuur ületas 45 kraadi, siis 19. juuni satelliidipildilt eristus kokku 83 sellist ala (vt nimekirja lisa 1). See arv pole lõplik, kuna mitme kokku kasvanud kumasaare puhul võib vaielda, kas mõnd sopistust pidada tegelikult eraldiseisvaks üksuseks. Nagu 3. juuni vastavas loendis (tabel 1.1) on ka kuumalaine harjal „helendavateks täppideks“ enamjaolt suured lao- ja tootmishooned, millel on väga suur ning musta värvi lamekatvus. Kuumade objektidena ilmnevad ka suuremad ostukeskused ning mõned spordirajatised. Selgelt negatiivseks nähtuseks on Tallinnas piirkonnad, kus kõrvuti paiknevad lamekatused moodustavad üle mitme tänava ulatuvaid suuri ülikuumi rajoone. Näiteks Tallinna kaardipildi keskele jääv Laki tänava piirkond, Kadaka tee, Ehitajate tee ja Kõrgepinge tänava vahele jääva äride kvartal või ka Ülemiste asumi ladude alad.

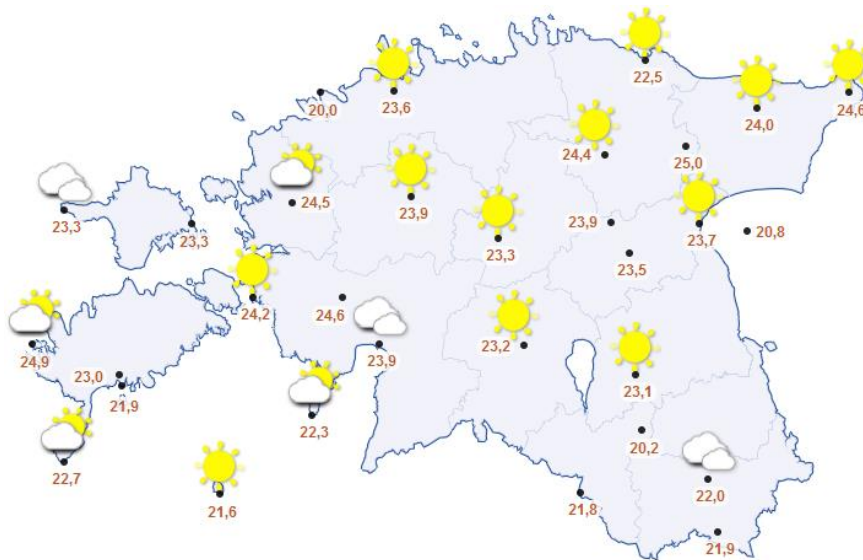
Need „helendavad katused“ on siiski konkreetsete ettevõtete ja äride küsimus. Kindlasti peab Tallinna linna soojusaare efekti mõjude vähendamise meetmete planeerimisel nendega tegelema, kuid peamine tähelepanu peaks olema suunatud elurajoonide olukorra parandamisele. Siin on mitmeid küsimusi, mida tuleb tulevikus detailsemalt analüüsida. Näiteks võib ju tõesti öelda, et terve Väike-Õismäe asum on üks suur soojusaar. Ent kõrval oleva Mustamäe (nagu ka Lasnamäe) mikrorajoonid pakuvad soojusaarte osas hoopis vaheldusrikkamat geograafiat – osades hoovides tõusis pinnatemperatuur üle 40 kraadi ja naabruses mitte. Osaliselt on Mustamäe kumasaared seletatavad suurte liiklustrassidega (Sõpruse pst, Akadeemia tee). Eriti selgelt torkab liiklustrasside kuumendav mõju silma Kristiines (Tondi tn, Sõpruse pst). Ent ilmselt ei ole siiski peamine põhjus, miks erakordselt kuumal suvepäeval on ühes kohas lihtsalt kuum ja teises ülikuum.

3. juuli

Landsat 8 järgmise ülelennu ajaks 3. juuli keskpäeval oli Eestisse jõudnud järgmine soe õhumass. Riigi Ilmateenistus edastas 2. juulil järgmise hoiatuse: „Seoses võrdlemisi soojadega ilmadega oleme tõstnud kogu Eestile 1. taseme hoiatuse. Praeguste prognooside kohaselt püsib vähemalt 2.07-10.07 Eesti kohal väga soe õhumass. Ööpäeva keskmine õhutemperatuur on enamikes paikades 20 ja enam kraadi ning päevane õhutemperatuur tõuseb mitmel pool 27..29°C-ni. 7.07-10.07 õhutemperatuuri tõus jätkub kuni 32°C-ni. Ettevaatust! Metsade tuleohtlikkus on Ida-Eestis kohati suur või äärmiselt suur!“ (Ilmateenistus FB 2021). Jooniselt 1.8 nähtub, et Eestis valitses 3. juulil kl 12 soe ja pilvitu ilm. Ilmateenistuse andmetel oli Tallinn-Harku jaamas õhutemperatuur 23,6 °C, pilvisus oli 1 pall 10 st, idakirde tuul puhus 4-5 m/s, puhanguiti 7,8 m/s. Seega oli tõesti väga soe, kuid mitte ohtlikult kuum ilm. 1.-3. juulini ulatusid Harkus ööpäeva maksimumtemperatuurid 25 kraadini; alles 4. juulil mõõdeti 29 °C. TTÜ ilmajaamas mõõdetud maksimumid kasvasid samuti päev-päevalt olles 2. juuli pärastlõunal 27 kraadi ning jõudes 5. juulil 30 °C. Satelliidi ülelennu ajal jäid seal temperatuurid vahemikku 26-27 kraadi, mis on u. 3 kraadi kõrgem kui samal ajal Harkus mõõdetud õhutemperatuur.

Kuigi 3. juuli õhutemperatuurid polnud sedavõrd dramaatilised, kui 19. juunil, siis ometi kuulub valdav osa linna territooriumil fikseeritud pinnatemperatuure klassivahemikku 35-40 kraadi. Seega üksnes pinnatemperatuuride põhjal otsustades valitses Tallinnas inimtervisele ohtlik olukord. Üle 50 °C katuseid 3. juulil ei olnud, kuid enamus 19. juuni olukorra kirjeldamisel ülesloetletud „kuumadest täppidest ja laikudest“ on endiselt selgesti eristatavad. Erinevalt eelmainitud kuumalaine pildist tulevad küllaltki reljeefselts välja pargid ja teised rohealad. Eriti torkavad silma pargid, milles on veekogu. Kohati on temperatuurikontrastid väga suured. Näiteks Kalamajas oli Volta kvartali ühe hoone (Uus-Volta tn 2a) katuse temperatuur 46,2 kraadi ja u 300 m eemal Salme kultuurikeskuse pargis 29,5 °C (joonis 1.9).

Kõrvuti 3. juuni oludega võiks ka 3. juuli olukord olla tulevaste uuringute üheks aluseks, kuna vastupidiselt kuumalaine harja lähedal tehtud pildist joonistuvad siin reljeefselts välja mitmed detailid, mis kuumalaine ajal ära varjutatakse.



Joonis 1.8. Ilm Eestis 3. juulil 2021. kl 12:00. Allikas: Vaatlusandmed 2021



Joonis 1.9. Pinnatemperatuurid Kalamajas 3. juulil 2021. Pildi keskosas on Salme kultuurikeskus koos ümbritseva pargiga, mille pinnatemperatuuriks oli 29,5 °C. vasemal üleval on Volta kvartal, kus Uus-Volta tn 2a katuse (sinist värvi pikslid) temperatuuriks oli 46,2 kraadi.

2. 2021. aastal kujunenud olukorra võrdlus 2014. ja 2018. aasta soojussaartega

Andmed ja meetodika

Antud ülesande täitmise esimese etapi eesmärgiks on saada ülevaade soojussaarte ajalisest ja ruumilisest dünaamikast. Selleks laeti NASA arhiivist alla vastavalt 2014 ja 2018 aasta suvist kuumalainet iseloomustavad satelliitfotod ja kriitiliste lävendite meetodiga klassifitseeriti neil soojussaarte alad. Lävendiks on igal antud satelliitfotol võetud Tallinna linna territooriumil asuvate soojuspikslite aritmeetiline keskmine, millele on liidetud standardhälbe väärtus. Erinevate lävendiväärtuste kasutamine on tingitud sellest, et kolm kuumalainet olid mõnevõrra erineva iseloomuga (vt allpeatükk 2014, 2018 ja 2021 kuumalainete meteoroloogiline võrdlus). Seega eristatakse kuuma ja eriti kuuma temperatuuriklassi kuuluvaid alasid (kuumasaari) võrdluses antud päeval linna keskmise pinnatemperatuuriga. Kõik võrdlustes kasutatavad meteoroloogilised andmed on avalikud andmed ja saadud Riigi Ilmateenistuse kodulehelt.

Järgmise etapina võrreldi soojussaarte levikut ja intensiivsust. Nii saame öelda, kas ja kuhu on vaadeldava perioodi jooksul tekkinud uued soojussaared ja kas olemasolevad on ajapikku muutunud intensiivsemateks („kuumemaks“ ja „laiemaks“). Samuti võrreldakse satelliitpiltide põhjal leitud kuumasaarte muutusi Tallinna linna detailsete kaartide ja arendusplaanidega. Eesmärgiks on välja selgitada soojussaarte leviku dünaamika seosed maakatte või -kasutuse muutustega. Võrdluses kasutatud kaardikihid on saadud Tallinna linnavalitsuselt.

2014., 2018. ja 2021. aasta Tallinna tehispindade võrdlus

Teatavasti on linna soojussaare efekti üheks põhjuseks linnades valdav tehispinnas, millel on hoopis teistsugused kiiruslikud omadused kui looduslikel. Tehispindade mõju demonstreerib väga hästi artiklis Sagris et al 2015 toodud joonis 3, millel on kujutatud soojussaare efekt Tallinnas ja selle ümbruse tiheasumites. Kõikides tiheasustusalades on pinnatemperatuur kõrgem kui lähedases ilmajaamas mõõdetud õhu- ja asulat ümbritseva loodusliku ala pinnatemperatuur. Seega, kui analüüsida kuumasaare leviku ja võimsuse muutusi, peame fikseerima, kuidas on vaadeldavatel aastatel muutunud tehispindade osakaal. Üldiselt on teada, et Tallinna rahvaarv pidevalt kasvab ning viimasel paarikümnel aastal toimub linnas energiline kinnisvaraarendus. Järelikult võime eeldada, et vaadeldava kaheksa aasta jooksul on paljudes Tallinna piirkondades muutunud maakasutus ning maakattena on tehispindasid juurde tulnud.

Vaadeldaval perioodil lisandunud tehisalade ja hoonete analüüs osutus algselt projektis planeeritust oluliselt keerulisemaks. Seda vaatamata linnavalitsusest saadud detailsetele andmetele ja vastavatele digikaardi kihtidele. Kihtide võrdlemisel ilmnis tuhandeid uusi tehisalasid. Nende üksikasjalise, juhtum-juhtumi haaval analüüsita on väga keeruline öelda, kas näiteks antud tee või asfaltplats on tõesti ka „päriselus“ juurde tulnud või on see näiteks „kaardiellu“ tekkinud andmebaasi tagantjärgi täiendamise või mingite klassifitseerimisreeglite muutuste tõttu. Ülesande keerukust väljendavad järgmised arvandmed: 2021. aasta seisuga oli meile saadetud kaardikihtidel hooned (koos kõrvalhoonetega) 48411 tükki ja nende kogupindalaks oli 14258812,51 m². 2014. ja 2018. a. olid need arvud vastavalt 50456 hoonet, 13289074,9 m² ja 48775 hoonet, 14142157,5 m². Hoonete arvu

vähenev (2014.-2021. a. 2045 ühiku võrra) on ilmselget digitaalne ja arvatavasti tingitud andmebaaside korrastamisest. Olgu võrdluseks öeldud, et 1944. a. märtsipommitamises kaotas Tallinn 1549 hoonet (Kivimäe, Kõiv 1997). Andmete nii suure erinevuse tõttu pole järgnevalt detailset tehispindade ja hoonestuse võrdlust ette võetud. Küll aga olid viidatud andmekihid meile heaks orientiiriks uute kuumasaarte ilmumispõhjuste interpreteerimisel.

Tallinna linnavalitsuselt saadud digikaardi kihtide alusel saab aga kommenteerida tehisalade ja hoonete rajamise üldist dünaamikat. Tallinna puhul saab rääkida järgmistest muutustest: hoonestuse tihendamine; uute asumite rajamine; uute äri-, lao- ja tootmishoonete loomine. Neist protsessidest esimene on valdav. Uusi hooneid ehitatakse vahetult juba olemasolevate vahele või kõrvale. Soojusaarte kontekstis tähendab see tavaliselt ehitamist soojusaare sisse, mistõttu on väga keeruline öelda, kas antud soojusaar on „kuumemaks“ läinud uute rajatiste või ilmaolude tõttu. Siiski on Tallinnas mõned selged näited sellest, kuidas kuumasaared on laienenud, kuna olemasoleva saare serva on ehitatud uus elamurajoon või kaubanduskeskus (täpsemalt allpool soojusaarte võrdlemise alapeatükkides).

Täiesti uusi ja eraldiseisvaid elamurajoone on perioodil 2014-2021. rajatud mõned üksikud. Paraku on need sageli ka kosmosefotode pealt kuumasaartena nähtavad (nt Pikaliiva või Kaaruti tn piirkond). Nende puhul võib ennustada, et kui majade ümber istutatud puud suuremaks kasvavad, siis olukord leeveneb. Kuid nendel piirkondadel tuleb ka edaspidi silma peal hoida ja tulevikus uute rajoonide planeerimisel arvestada, et vähemalt oma eksistentsi esimestel kümnenditel on need sageli uued kuumasaared.

Nagu mainitud, jäävad satelliitpiltide vaatlemisel kõige eredamalt silma erinevate kaubanduskeskuste, lao- ja tootmishoonete „helendavad täpid“. Enamasti moodustavad need eraldi rajoonid (nt Laki tn, Liivalao tn või Ülemiste asum), mille pinnatemperatuurid ulatuvad ka tavalisel suvepäeval kaugelt üle 30 °C. Erilist tähelepanu vääriwad aga tööstusrajoonidest väljaspool asuvad üksikud kuumad katused. Negatiivseks näiteks on siin (ja korduvalt ka allpool tooduna) Sõle Spordikeskus, mis on muidu rohelistes Pelgulinna asumis tekitanud lokaalse kuumasaare.

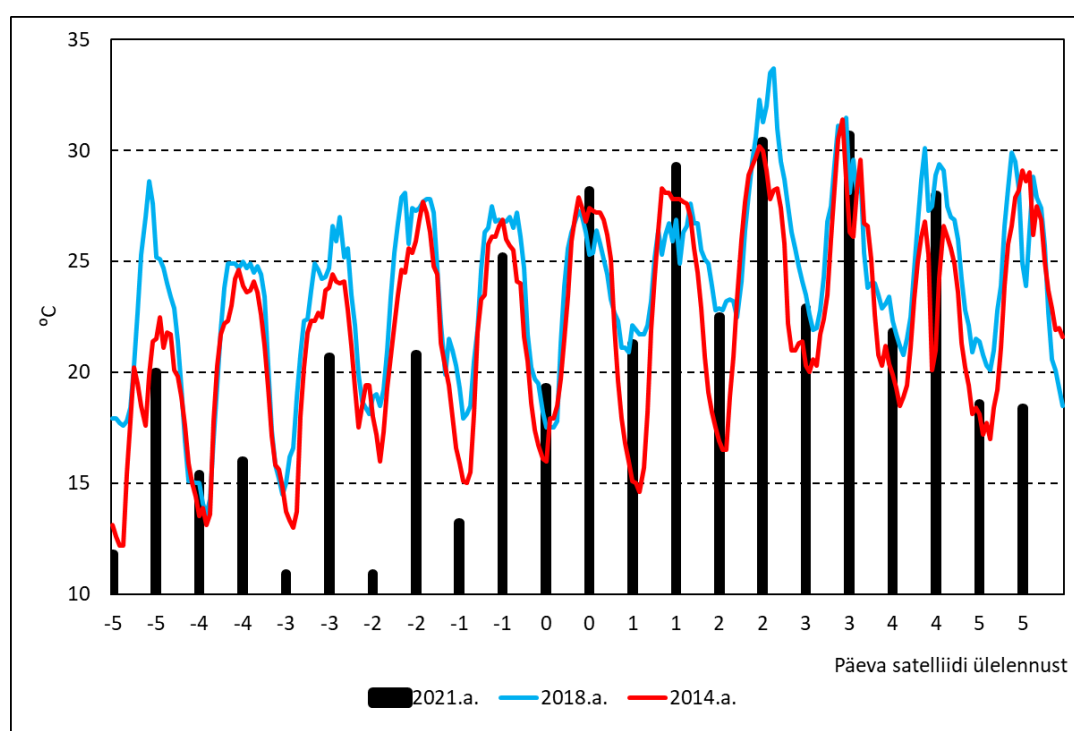
Arutlemist vääriwad üksikud „kuumad täpid“ elurajoonide keskel, mida ei saa otseselt seostada mõne uusrajatise või värskest asfalteeritud platsiga. Mitmed neist ilmnevad vaid ühel kolmest analüüsitavast kuumalainest pildil. Neid võib pidada juhuslikeks vigadeks ehk antud hetkel ja antud ilmaoludel tekkinud anomaaliateks. Selliste laikude täpsem analüüs nõuaks oluliselt rohkem ja detailsemat informatsiooni. Näiteks staadionite puhul, mis on sageli samuti kohalikud kuumasaared, peaks teadma nende kattematerjali ning näiteks ka seda, millal murukatet viimati hooldati.

2014, 2018 ja 2021 kuumalaine meteoroloogiline võrdlus

Kuna soojusaarte levik ja intensiivsus sõltub meteoroloogilistest teguritest, siis järgnevalt võrreldakse ilma, mis valitses Tallinnas 2014, 2018 ja ka 2021. aasta kuumalainet iseloomustavate satelliitfotode tegemise ajal. Meenutame, et 2014. aasta kriitilist perioodi iseloomustab pilt 25. juulil toimunud ülelennust, 2018. aasta pilt on tehtud 27. juulil; 2021. aasta oma, nagu eelpool mainitud, pärineb 19. juunist. 2014. aasta ülelennu meteoroloogilisi andmeid on mõningal määral käsitletud artiklis Sagris et al 2015. 2018. a. pildistamisel valitsenud olusid on põgusalt puudutatud projektitöös Sagris et al 2020. 2021. aasta kuumalainet on põhjalikult kirjeldatud käesolevas töös (vt peatükk „2021. aasta suve kuumalained“).

Lisaks konkreetse pildistamise hetke oludele on kindlasti tähtis vaadelda ka eelnevatel päevadel toimunut. Mõnede pindade „kuumutamiseks“ on vaja mitut järgnevat väga sooja ja päikesepaistelise päeva. Samuti on olulised öised temperatuurid, kuna jahedatel öödel on tehispindade jahtumine intensiivsem ning vastupidi – soojade ööde järel on hommikul kuumenemise starditemperatuur kõrgem.

Joonisel 2.1 ongi kujutatud õhutemperatuuri käike kolme ülelennu ajal ja sellele eelnenud ning järgnenud viie päeva jooksul, mõõdetuna Tallinn-Harku ilmajaamas iga tunni tagant. Esitatud andmed algavad vastavalt 20. juuli 2014, 22. juuli 2018 ja 14. juuni 2021 keskööst (rõhtteljel esimene punkt „-5“). Kuna 2021. aasta ilmaolukorda on eelpool üksikasjalikumalt kirjeldatud, siis on antud juhul esitatud vaid iga päeva kesköö ja –päeva õhutemperatuur. Seega esimene tulp joonisel 2.1. tähistab temperatuuri 14. juuni 2021 keskööl ja teine keskpäeval. Landsat 8 ülelennu tinglikku aega tähistab 0-päeva teine ehk keskpäeva tulp.



Joonis 2.1. Tallinn-Harku aeroloogiajaamas mõõdetud õhutemperatuurid Landsat 8 ülelennu päeval (päev 0) ja sellele eelnenud ning järgnenud viiel päeval. 2021. a. andmetest on esitatud kesköö (kl 00:00) ja keskpäeva (kl 12:00) andmed, teiste aastate puhul on tegemist iga tunni andmetega. Satelliidi ülelennu ligikaudset aega tähistab rõhtteljel olev teine null. Andmed: Riigi Ilmateenistus (Vaatlus 2021)

Temperatuuriandmete põhjal võib öelda, et kõigil kolmel päeval on nii erinevusi kui ka ilmseid sarnasusi. Üheks sarnasuseks on näiteks see, et ükski kolmest satelliitfotost ei sattunud antud kuumalaine kõige kuumemale päevale, vaid ülelend toimus 2-3 päeva enne piiki. Sarnane on ka see, et vähemalt pildistamisele eelneval päeval valitses suhteliselt kuum (kl 12:00 mõõtmise järgi 2014. a. 26,9, 2018. a. 26,8 ja 2021. a. 25,2 °C) ja päikesepaisteline ilm ning eelnev öö on samuti olnud suhteliselt soe (vastavalt 16, 17,5 ja 19,3 °C).

Üheks oluliseks erinevuseks on ülelennupäevadele eelnenud päevade temperatuurilud. Kuigi 2021. aasta pildistamispäeva temperatuur on kõige kõrgem (kl 12:00: 28,2 °C, vrdl 25,3 °C 2018. a. ja 27,4 °C 2014. a.), eelnes sellele mitu päeva suhteliselt jahedaid ilmasid ja silmatorkavalt jahedad ööd. Seega võib eeldada, et 2018. ja 2014. aasta ülelennu ajal oli Tallinnas nii-öelda akumulatsioonid soojust rohkem kui 2021. aastal. Väiksema akumulatsioonid soojusega seletatav 19. juuni 2021 Tallinna pinnatemperatuuride suurem standardhälve (tabel 2.1).

Üheks erinevuseks, mis ilmselt mõjutab kuumasaarte geograafiat, oli tuule kiirus ja suund (Vaatusandmed 2021). 2014. a. 25. juuli valitses Eestis nõrk (u. 3 m/s) ja vahelduva suunaga tuul. Keskpäeval pöördus tuul põhja- ja looderannikul põhjakaartesse. Sellest võib eeldada, et Tallinnasse kandus merelt suhteliselt jahedamat õhku. 27. juulil 2018. a. ilmakaart näitab Eesti kohal valdavalt mõõdukat (5-7 m/s) idakaarte tuult. Tallinna lähedastes mõõtepunktides (Naissaare, Tallinn-Harku, Rohuneeme) mõõdeti kl 12:00 kirdest puhuva tuule kiiruseks 4-5 m/s, puhangutega 7-8 m/s. 19. juuni 2021. a. keskpäeval oli valdavaks nõrk (2-3 m/s) lõunakaarte tuul üksikute tugevate (kuni 9 m/s) puhangutega.

Tabel 2.1. Tallinna keskmised pinnatemperatuurid, standardhälve ja keskmise pinnatemperatuuri ning standardhälbe summa Landsat 8 ülelennu päevadel. Keskmise ja standardhälbe summa on võetud lävendiks, mille alusel hinnatakse soojussaarte paiknemise, ulatuse ja intensiivsuse muutusi.

Kuupäev	Keskmine	Standardhälve	Keskmine + standardhälve
25. juuli 2014	34,37	4,79	39,16
27. juuli 2018	34,98	4,87	39,81
19. juuni 2021	35,55	5,5	41,05

Kolme kuumalaine ajal Tallinnas kujunenud soojussaarte võrdlus

Iga võrdluse peamiseks ja keerulisemaks küsimuseks on, milliseid parameetreid selleks kasutada. Ehk siis antud juhul on kõige olulisemaks see meetod, mille alusel soojussaari defineerida ja geograafiliselt piiritleda. Eelmises projektitöös (Sagris et al. 2020) võrreldi Tallinnas 2014. ja 2018. aastal kujunenud olukorda sellisel moel, et ühe kuumalaine pildi piksite temperatuuriväärtusest lahutati teise pildi vastav väärtus. Eeldati, et kui pisut jahedamast pildist lahutada kuumema pildi pikslite väärtused, siis väga suur negatiivne/positiivne lahutamistulemus viitab sellele, et antud piirkonnas on soojussaar, mida vastavalt ühel või teisel pildil pole. Põhimõtteliselt õigustas selline lähenemine end viidatud töös esitatud lähteülesande täitmisel. See on hea meetod üksikute uute „kuumade täppide“ avastamiseks. Ent soojussaarte või laiemalt kuumasaarestiku omaduste kohta ütlevad pikslite vahed vähe.

Tavaliselt valitakse soojussaarte defineerimiseks mingi kindel temperatuuriväärtus. Sageli on selleks näiteks 30 °C. See on üsna mõistlik ja üldiselt kõigile arusaadav lähenemine, mida on kasutatud ka käesoleva töö mitmes peatükis. Ent 2021. aasta 19. juuni erakordselt kuumad olud näitasid sellise formaalse lävendi kasutamise nõrkust, kuna praktiliselt kogu linna pinnatemperatuur oli tegelikult kõrgem kui 30 kraadi. Samas võis tähele panna, et näiteks pargialad olid kogu linna temperatuuritausta arvestades ikkagi suhteliselt jahedamad piirkonnad. Seega, kui valida võrdluseks mingi formaalne temperatuuritase, võib tegelikult olukorrast saada nihestatud pildi. Seetõttu on siin üritatud eri kuumalainete soojussaari eristada suhtelise skaala abil. Nagu käesoleva peatüki metoodika osas täpsemalt kirjeldatakse, arvutati iga kuumalaine pildi kohta Tallinna keskmine pinnatemperatuur ja

standardhälve. Järgnevalt käsitletakse kuumasaari, mis on defineeritud kui alad, mille pinnatemperatuur on kõrgem kui keskmise ja standardhälbe summa (tabel 2.1).

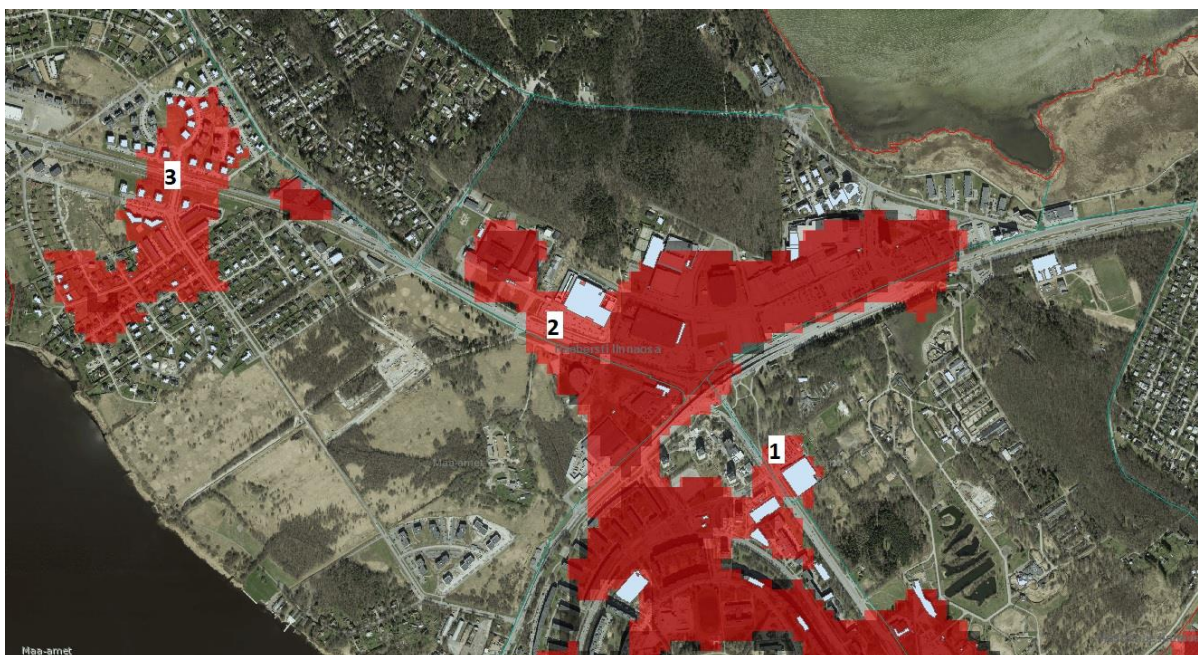
2014. ja 2018. a. võrdlus

Tallinna 2014. ja 2018. aasta kuumasaarestiku võrdluses (vt lisa 2) torkab esimese asjana silma, et saared kattuvad teineteisega päris hästi. See viitab temperatuuride suhtelise skaala meetodika õnnestunud valikule. On muidugi selgeid erinevusi. 2014. aastal kuulus suur osa Tallinna vanalinnast ülikuumade temperatuuriklassi. See ei ole metodoloogias tulenev eripära vaid kesklinn oligi 2014. a. mõnevõrra tulisem kui 2018. a. Näiteks Raekoja platsi keskel oli pinnatemperatuuri piksli väärtuseks (n.ö. tegelikult temperatuuriks) 25. juulil 2014. a 39,1 ja 27. juulil 2018. a. „vaid“ 38,2 kraadi. Tõnismäel, Rahvusraamatukogu peakse ees oli 2014. aastal 40,1 ja 2018. aastal 39 kraadi. Samas oli näiteks Lasnamäe linnaosas rohkem selliseid alasid, mis „helendasid“ 2018. aastal, kuid mitte 2014. a. Eriti ulatuslik on see erinevus Tallinna lennujaama maandumisradade idapoolses osas. Tegelikult pinnatemperatuuride vahe on siin ka üsna suur – 2014. aastal u 35 ja 2018. a 41-42 kraadi.

Erinevuste asjaolusid on keeruline seletada. Eelmises sarnases projektitöös (Sagris et al. 2020) on vihjatud, et need võivad olla seotud erinevustega mulla niiskuses. Sellele vihjab asjaolu, et 2014. a. kuumasaared hõlmasid laiemalt ka korrusmajade vahelisi haljasalasid. Paraku on mulla niiskuse teooriat andmete puuduse tõttu tagantjärele väga keeruline tõestada või ümber lükata. Mõlemal analüüsitaval juhul eelnes satelliidi ülelennu päevale pikk sademeteta periood (5-7 päeva) ning mulla niiskusega ei saa seletada tihedalt täis ehitatud vanalinna kohal olevat kuumasaart. Kuumalainete meteoroloogiliste olude võrdlusest ilmnes mõningane erinevus tuule suuna ja tugevuse osas. Ent jällegi, tuule suuna ja kiiruse mõju konkreetsele kuumasaarele vajaks eraldi analüüsi.

Üldjoontes järgivad mõlema aasta kuumasaarestikud neid samu probleemseid piirkondi, mida on kirjeldatud juba meie eelmises projektitöös (Sagris et al. 2020) ja need kattuvad päris hästi ka nende kuumade objektide loeteluga, mis on käesolevas töös esitatud lisa 1.

Piirkondi, kus võrreldes 2014. aastaga oli 2018. aastal tekkinud päris uus kuumasaar, on keeruline välja tuua. Nagu eelpool Tallinna tehispindade võrdluse peatükis kirjeldatud on asi selles, et enamasti toimub Tallinnas juba olemasolevate elamu-, tööstus- või laopiirkondade tihendamine. Seega on problemaatiline öelda, kas mingi vaadeldava kuumasaare laienemise taga on antud kuumalaine looduslikud eripärad või piirkonnas toimunud kinnisvara arenduse mõju. On küll mõningaid „suitsevaid püsse“. Näiteks 2016. aastal valminud Tallink Tennisekeskus (Osmussaare 7). 2018. aasta kuumaarhipelaagi pildil ühendas see Mustakivi ja Taevakivi tee äärde jäävad kuumasaared. 2021. aasta „kuumade täppide“ loetelus (lisa 1) tennisekeskust eraldi mainitud ei ole, kuid oma 45,1 °C katusetemperatuuriga sulandub see Kuuli ja Taevakivi tänavate vahele jäävasse soojussaarde. Näiteks Haaberstis on Väike-Õismäe kuumasaare külge pookinud Ehitajate tee 148 asuv Maxima hüpermarketi hoone (joonisel 2.2 tähistatud nr 1), mis valmis 2017. aastal. Samuti ühendas BAUHAUSi kaubamaja (valmis 2017. a.; joonisel 2.2 nr 2) üheks suureks kuumasaareks Rock al Mare kaubanduskeskuste piirkonna. 2018. a. seisuga oli täiesti uus ja eraldiseisev kuumasaar Pikaliiva asumis (joonisel 2.2 nr 3).



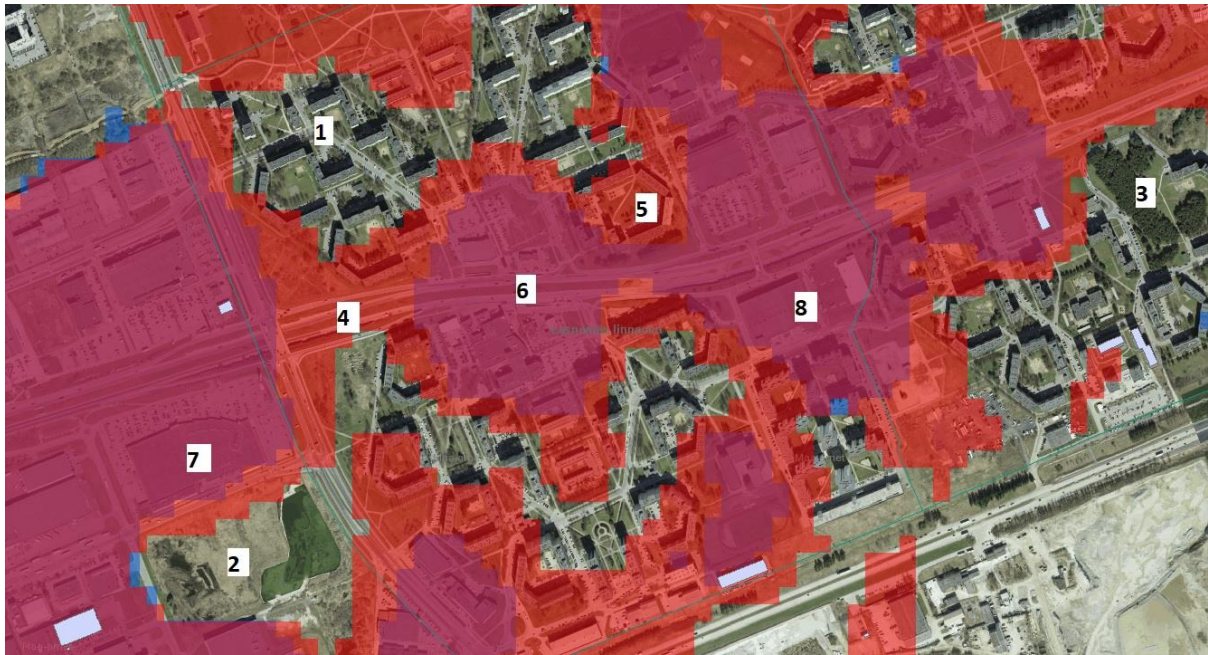
Joonis 2.2. Kuumasaared Haabersti linnaosas. Numbritega on tähistatud: 1. Maxima hüpermarket; 2. BAUHAUSi kaubamaja; 3. Pikaliiva asum. Helehalli värviga on välja toodud hooned, mida 2014 aastal kaartidel veel ei olnud, kuid 2018. aastal juba olid.

Ka Pikaliiva asumi kuumasaare puhul võib öelda, et see ei ilmne kaardil temperatuurilävendite erinevuse tõttu, vaid 2018. aastal oli seal pinnatemperatuur märkimisväärselt kõrgem. Näiteks Pikaliiva tn ja Rannamõisa tee ristmikul (joonisel 2.2 otse nr 3 all) oli 2014. a pinnatemperatuur 34,4 ja 2018. aastal 41,1 °C. Kakumäe Selveri (Rannamõisa tee 6, rajatud 2009. aastal) piirkonna kuumasaar (joonisel 2.2. nr 3 paremal olev eraldiseisev tumepunane laik), oli ühtlaselt kõrge temperatuuriga nii 2014. kui ka 2018. a. pildil (40-41 °C).

2018 ja 2021. a. võrdlus

Vaadeldes lisas 3 toodud 2018. ja 2021. a. Tallinna kuumasaarestiku geograafiat võib konstateerida, et ka need langevad omavahel üldjoontes päris hästi kokku. Seda vaatamata asjaolule, et 2021. aastal oli ilm Landsat 8 ülelennu ajal kuumem kui 2018. a. Siiski torkavad silma ka teatud erinevused. Nagu 2014. aastal, oli ka 2021. aastal vanalinna kohal kuumasaar. 2018. aastal aga mitte. Raekoja platsil oli 2021. a. tegelik temperatuur u. 42 kraadi, 2018. a. suurusjärgus 38 °C. Üldiselt ongi Põhja-Tallinna, Kesklinna ja Kristiine linnaosale iseloomulikuks, et 2021. aasta kuumasaar on mõnevõrra laiem kui 2018. a. oma.

Mustamäe ja Lasnamäe korruselamute rajoonides on pilt vastupidine – 2018. aasta kuumasaared katavad neid alasid lausaliselt, kuid 2021. aasta ülikuumad alad kontsentreeruvad pigem konkreetsete äride ja hoovide ümber (joonis 2.3). Osalt on see tingitud kuumasaari defineerivate lävendite erinevustest (tabel 2.1). Ent kui süveneda joonisel 2.3 kujutatud alade temperatuuridesse, siis ilmneb sealt põhimõttelisemaid erinevusi, mille põhjusi tuleks tulevikus lähemalt uurida. Lähestikku asuvate hoovide, tühermaade ja haljasalade temperatuurierinevused on mõnikord üle 5 kraadi.



Joonis 2.3. 2018. ja 2021. aasta kuumasaared Laagna tee ja Mustakivi tee ristmiku ümbruses. Punasega on tähistatud kuumasaared 2018. aasta satelliitpildil, sinisega 2021. aastal. Need alad, kus 2018. ja 2021. a. kuumasaared langevad kokku, on tähistatud tumepunasega. Helehallid ristkülikud on uued hooned, mis ehitati 2018. ja 2021. a. vahel. Numbrite kirjeldused tekstis.

Nii oli Kivila tänaval ja seda ümbritsevates hoovides (joonisel 2.3 tähistatud numbriga 1) pinnatemperatuur 2018. ja 2021. aastal ca 39 kraadi, Punase tn ääres oleval tühermaal (nr 2) 31-36 °C ja Seli metsas (nr 3) 36-37 °C. Seejuures rohealadel oli just 2021. aastal temperatuurid pisut madalamad, kui 2018. aastal. „Punastel servaaladel“ olid temperatuuri väärtused sageli võrdsed. Näiteks K. Kärberi tn 4 hoovis (nr 5) oli mõlema kuumalaine ajal 40 °C. Erinevus tuleneb siin just lävendite erinevusest. Ent on ka alasid, kus 2018. aastal oligi mõnevõrra kuumem, kui 2021. a. Näiteks Laagna tee mõnedel lõikudel (nr 4, 2018. a. u. 41 °C ja 2021. a. u. 39 °C). Kahe kuumalaine kokkulangevad alad (nr 6-8) on samuti enamuses võrdselt kuumad: nr 6, Laagna tee, vastavalt 43,7 ja 43,9 °C; nr 7, Mustakivi kaubanduskeskus, u 48 °C; nr 8, Raadiku tn 9 parkimismaja 41-44 °C.

Üldiselt on ka 2021. aasta kuumasaarestiku puhul väga raske väita, et see oleks laienenud uusarenduste mõjul. Siiski leiab ka selliseid näiteid: joonisel 2.4 on kujutatud kuumasaarestik Pelgulinna ja Sitsi asumis. Pelgulinnas võib uue kuumasaare tekkimist seletada Sõle Spordikeskuse (Sõle tn 40a) valmimisega 2017. aastal. Paavli tn kuumasaare laienemist saab seostada 2014-2019 aastatel arendatud Sitsi Õunaia korterelamutega.



Joonis 2.4. 2018. ja 2021. aasta kuumasaared Põhja-Tallinna linnaosa Pelgulinna ja Sitsi asumis. Punasega on tähistatud kuumasaared 2018. aasta satelliitpildil, sinisega 2021. aastal. Need alad, kus 2018. ja 2021. a. kuumasaared langevad kokku, on tähistatud tumepunasega. Helehallid riskülikud on uued hooned, mis ehitati 2018. ja 2021. a. vahel. Hall ruut pildi alumises osas – Sõle Spordikeskus; hallide majade rida pildi ülemises vasakus osas: Sitsi Õunaiaia arendus.

Päris uusi ja iseseisvaid kuumasaari on aga vähe. Näiteks peale 2020. a rekonstruktsiooni on Mustjõe Gümnaasium (Paldiski mnt 83) koos kõrvalasuva korruselamu ja staadioniga muutunud kohalikuks kuumasaareks. Samuti väärivad „kuumade laikude“ näiteks toomist Pikaliiva asumi Kaaruti ja Äkke tänava uusarendus ning alles 2021. aasta kevadel valminud Lidl Rannamõisa kauplus (Rannamõisa tee 12a).

2014 ja 2021. a. võrdlus

Kuigi keskmiste temperatuuride järgi otsustades (tabel 2.1) oli 2021. aasta kuumalaine võimsam kui 2014. aasta oma, on mõlemal juhul Tallinna kuumasaarestiku geograafia üldjoontes sarnane. Selle kokkulangevuse taga võib olla asjaolu, et mõlemal päeval valitses nõrga tuulega ilm ja õhu liikumist oli vähe.

Kesklinna ja Haabersti linnaosade puhul võib märgata, et 2021. a. kuumasaared on seal laiemad; Mustamäe ning Lasnamäe korruselamute rajoonides haaravad aga 2014. a. saared enda alla oluliselt suurema territooriumi. Nagu teiste võrdluste puhul, saab siingi nentida, et kuumasaarte laienemised on vaid teatud määral seletatavad uute hoonetega. Üldpildist torkavad silma näiteks juba korduvalt mainitud Sõle spordikeskus aga ka uusarendused Pae järve kaldal (Paepargi tn). Teisalt ei saa sellega seletada näiteks 2021. a. vanalinna kohal lasuvat suurt kuumasaart, mis on ilmselt seotud tuuleolude sarnasusega. Kui minna detailidesse, siis kahe kuumalaine fotodes on teisigi sarnasusi või täpsemalt öelda, ühiseid erinevusi 2018. a. oludest. Nii võib öelda, et mitmel 2018-21 a võrdluses ilmnenud uue kuumasaare kohal oli juba 2014. aastal „kuum täpp.“ Näiteks Mustjõe Gümnaasiumi staadioni kohal.

Üldiselt peab mainima, et just paljud staadionid ja spordiväljakud tulevad mõlemal pildil (2014 ja 2021) kuumasaartena selgelt välja. Tundub, et tuulevaiksete ilmadega on piirete ja tribüünidega piiratud lagedal alal, nagu seda staadionid on, kuumasaar varmas tekkima.

Kuumasaarte võimsus

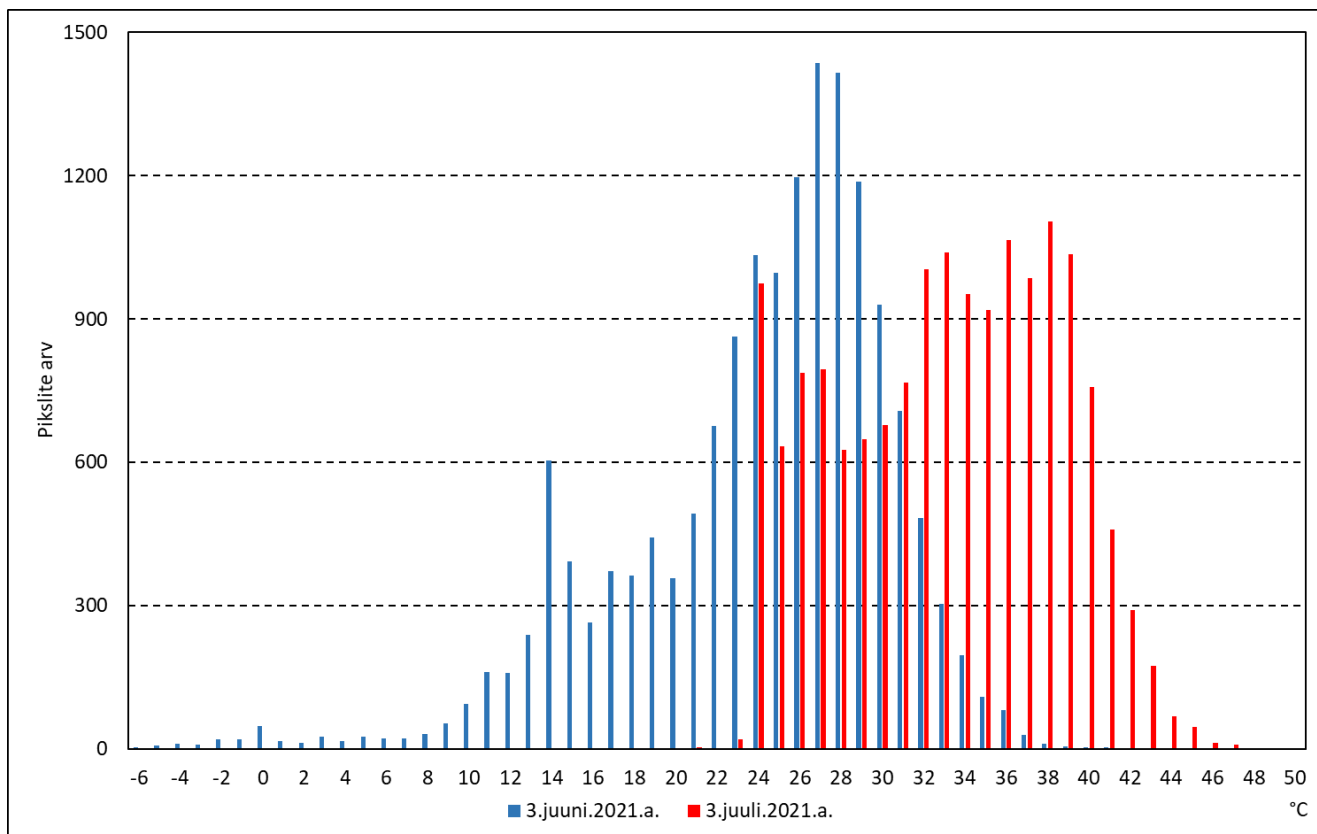
Üldiselt võib Tallinn-Harku ilmajaama ja satelliidiandmete põhjal küll öelda, et 2021. aasta kuumalaine oli oluliselt võimsam kui varasemad, kuid selle füüsikaliseks väljendamiseks napib andmeid. Tegelikult tuleks kuumasaarte võimsuse hindamiseks kasutada linna energiabilansi arvutamise meetodeid (Oke et al. 2017). Linna energiabilansi koostamine oleks aga hoopis teistlaadi uurimistöö.

Seetõttu visualiseerime kuumalainete võimsust läbi temperatuurijaotuse. Teatavasti koosneb satelliitfoto pikslitest (Landsat 8 puhul 30 × 30 m suurustest) ning Tallinna linna territooriumit katab neid kindel arv (15949 pikslit). Kui lugeda kokku, kui suure arvu pikstite temperatuuriväärtus ületab mingit antud lävendit, siis saame hinnata, kui suur osa linna pindalast antud pinnatemperatuuriga on. Temperatuuripikslite jaotuse muutuse alusel võime öelda, et üks kuumalaine oli teisest võimsam, kuna mingi ekstreemse väärtusega pikslite arv suurenes.

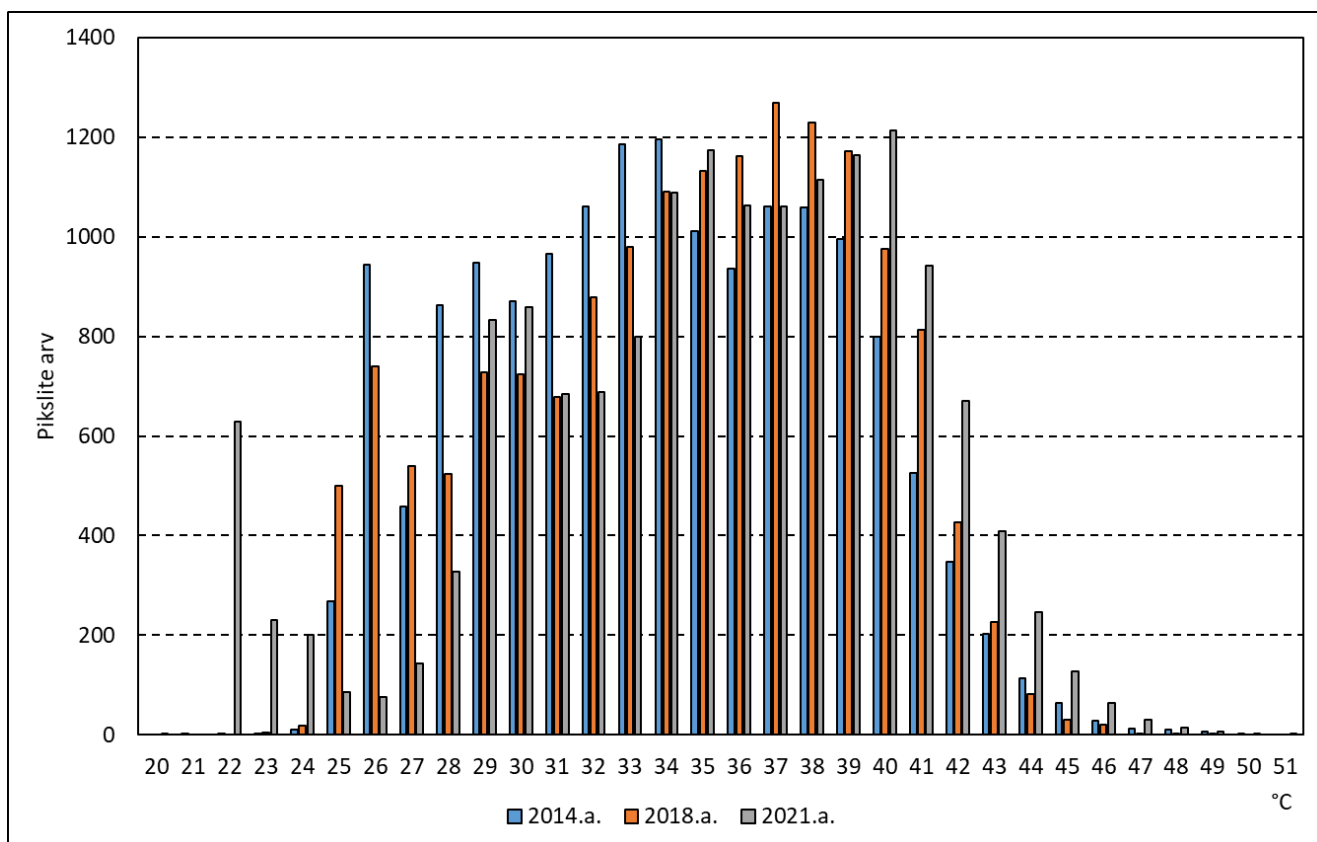
Esimese etapina tuleb jällegi defineerime lävendid, millega võrdlust teha. Antud juhul on mõistlik kasutada formaalseid temperatuuripiire ning võtame samasuguse jaotuse, kui allpool on kasutatud haavatavuse analüüsil. Seega keskendume nendele pikslitele, mille temperatuuriväärtus on kõrgem kui 30 kraadi. Kuumadeks peame pikslid, mille temperatuur on 35-40, väga kuumadeks pinnatemperatuuriga üle 40 °C ja eriti kuumadeks üle 45 kraadiseid.

Kõigepealt vaatleme, kuidas näeb välja Tallinna pinnatemperatuuride jaotus n.ö. tavalisel ja kuumal suvepäeval, milleks on vastavalt 3. juuni ja 3. juuli 2021 (joonis 2.5). Jaotuse erinevus on drastiline. Kui 3. juuni puhul on selge piik 26-29 kraadi juures (meenutame, et Tallinn-Harku ilmajaamas oli õhutemperatuur sel hetkel 18 °C), siis 3. juuli pilt on nihkes kõrgemate temperatuuride poole ja teravat tippu ei ole. Siit me võime arvutada, et 3. juunil katsid pikslid, mille pinnatemperatuur oli 30 °C ja rohkem, 18% Tallinna territooriumist. Üle 40 °C olid vaid mõned üksikud punktid (vt tabel 1.1). Kuumal 3. juulil (Tallinn-Harku jaama õhutemperatuur 23,6 °C) oli üle 30-kraadiseid pikslid koguhulgast juba 71.7%, üle 40-kraadiseid 11,5% ning 45 °C 0,4%. Ühe piksli temperatuuriväärtuseks oli 50 °C (Nõmme linnaosas Liivalao tn 11 laokompleksi katus). Kommentaariks võib öelda, et 3. juuni temperatuurijaotuse vasakul pool olevad hästi madalad temperatuurid on tingitud pilvedest. Kõigil Tallinna temperatuurijaotustel on vasakul pool madalamate temperatuuride osas väike piik – see on pikslitest, mis katavad Ülemiste järve ja rannikul merepiiri.

Sarnaselt 3. juuni ja 3. juuli temperatuurijaotustega võime võrrelda kolme kuumalaine fotot (joonis 2.6, tabel 2.2).



Joonis 2.5. Temperatuuripikslite jaotus 3. juunil ja 3. juulil 2021.



Joonis 2.6. Temperatuuripikslite jaotus 25. juulil 2014, 27. juulil 2018 ja 19. juunil 2021.

Tabel 2.2. 2014, 2018. ja 2021. a. kuumalainet iseloomustavate satelliitfotode 30, 40 ja 45 °C temperatuurilävendit ületavate pikslite osakaal kogu Tallinna katvate 30 × 30 m temperatuuripikslite koguarvu (15949). Veerus „Õhutemperatuur“ on toodud antud päeval kl 12:00 Tallinn-Harku aeroloogiajaamas mõõdetud õhutemperatuur.

Kuupäev	Õhutemperatuur	≥ 30 °C (%)	≥ 40 °C (%)	≥ 45 °C (%)
25. juuli 2014	27,9	78,1	13,3	0,8
27. juuli 2018	27,3	80,9	16,2	0,4
19. juuni 2021	28,2	84,2	23,4	1,5

Eelpooltoodud jooniste ja tabeli alusel võib esiteks nentida, et pinnatemperatuuridel on kuumalaine ajal silmatorkavalt teistsugune jaotus, kui tavalisel suvepäeval (s.o. 3. juuniga sarnastel päevadel). Jaotuse kuju järgi otsustades kuulub ka 3. juuli 2021 kuumalaine päevade hulka, seda vaatamata asjaolule, et õhutemperatuurid polnud sel päeval kriitiliselt kõrged. Jooniselt 2.6 torkab silma, et kõige kuumemal päeval, 19. juunil 2021. a., on suure hulga pikslite temperatuuriväärtuseks 22 °C. See on Ülemiste järve ja ranniku mõju ning peegeldab ka seda, et enne 19. juulit 2021. olid suhteliselt jahedad ööd ja päevad - Ülemiste järv ei jõudnud piisavalt üles soojeneda. 2014. ja 2018. a. pildistamise päevale eelnesid juba küllaltki kuumad ööd ning päevad. Sestap on neil ka Ülemiste piik 26 °C juures. Tabel 2.2 juures võib märgata, kuidas suhteliselt väikese õhutemperatuuri erinevusega muutub eksponentsiaalselt eriti kuumade pindade osatähtsus. 2014. a. Harkus mõõdetud õhutemperatuur on 0,6 °C kõrgem kui 2018. aastal ja üle 45 kraadiste pikslite osatähtsus suurenes kohe kaks korda. Drastilisem on 2014. a. ja 2021. a. võrdlus – õhutemperatuuri erinevus on 0,3 kraadi, kuid eriti kuumi pikslid on jällegi kaks korda rohkem. Samas, nagu näha tabelis 2.2 toodud üle 30 ja üle 40 kraadiste pikslite võrdlusest, pole Harkus mõõdetud õhutemperatuuride ja Tallinna pinnatemperatuuride vaheline seos päris üksühene. Ilmselgelt mängivad siin oma rolli ka teised meteoroloogilised tegurid (nt tuule suund ja kiirus ning eelnevate päevade ilmaolud).

Kokkuvõtvalt võib öelda, et tõesti on aasta aastalt Tallinna soojussaared muutunud võimsamaks – nende pindala on suurenenud ja temperatuurid tõusnud. Eelneva analüüsi põhjal saab väita, et kuumasaarte parameetreid mõjutavad siiski kõige rohkem just satelliitfoto tegemise ajal ja sellele eelnenud paari-kolme päeva ilmaolud. Muutused linna maakasutuses on pigem sekundaarsed ja mängivad rolli mõne konkreetse uusasumi puhul.

3. Tallinna elanikkonna haavatavuse analüüs

Kuumalained ja soojussaared pole lihtsalt huvitav uurimisobjekt, vaid neil on linnaelule konkreetne mõju. Halbade asjaolude kokkulangemisel võib kuumalaine pikaks ajaks halvata linna liikluse, kahjustada taristuid, tekitada probleeme elektri- ja veevarustussüsteemides jne. Kuumalainete kõige traagilisem mõju on inimeste haigestumine ja surm. Kliimamuutuste jätkudes tuleb arvestada, et suvised kuumalained sagenevad ja muutuvad üha pikemateks ning kuumemateks (Sepp 2015; Sagris et al. 2015). Paratamatult tuleb Tallinnal nende uute tingimustega kohaneda. Linna, kui kompleksse süsteemi, toimimise edukus sõltub suuresti tema haavatavusest. Valitsustevaheline kliimamuutuste paneel defineerib haavatavust järgmiselt: „Haavatavus on süsteemi tundlikkuse määr ja suutlikkus tulla toime ebasoodsate kliimamuutuste mõjuga, sealhulgas kliima varieerumise ja äärmustega. Haavatavus on süsteemile mõjuva kliimamuutuse ja kliima muutlikkuse iseloomu, ulatuse ja kiiruse funktsioon, selle süsteemi tundlikkus ja kohanemisvõime“ (IPCC 2007; Roose 2015). Tavaliselt hinnatakse piirkonna haavatavust liites kliima mõju kohalikule kohanemisvõimekusele. Kohanemisvõimekus on aga inimeste teadlikkuse, hariduse ja elatustaseme summaarne näitaja ning seega on tegemist keeruka sotsiaalmajandusliku suurusega.

Käesolevas analüüsis on aga lähtutud mõnevõrra lihtsamast metoodikast (Sagris et al. 2015), mida rakendati Tallinna haavatavuse hindamisel 2014.-15. aastal Eesti riiklik kliimamuutustega kohanemise strateegia väljatöötamisel maakasutuse ja planeerimise ning tervise ja päästevõimekuse valdkonnas (KATI 2015). See lähenemine põhineb eeldusel, et riskirühmad (nt eakad, väikelapsed ja krooniliste haiguste põdejad) on kuumalainete suhtes kõige tundlikumad ja ühtlasi ka kõige haavatavam elanike grupp. Sisuliselt uuritakse linnas neid piirkondi, kus on korraka väga kõrged pinnatemperatuurid ja elab suhteliselt rohkem riskirühmadesse kuuluvaid inimesi. See tähendab, et tegelikult hinnatakse kuumasaarte mõju riskirühmadele.

Andmed ja metoodika

Järgnevas analüüsis kasutatakse soojussaarte iseloomustamiseks juba eelpool kirjeldatud Landsat 8 poolt 25. juulil 2014 ja 19. juunil 2021 tehtud fotosid. Riskirühmadeks on käesoleval juhul alla 5 aasta vanused lapsed ja üle 65 aastased eakad. Krooniliselt haigete andmeid polnud mõistlik analüüsida, kuna see oleks rikkunud isikuandmete kaitse põhimõtteid. Riskirühmadesse kuuluvate inimeste elukohtade paiknemise andmed on saadud Statistikaametist 100 x 100 m ruudustikuna. Kui ruudus on vähem kui kolm antud gruppi kuuluvat elanikku, siis tulenevalt Andmekaitseeadusest pole õigust inimeste täpset arvu näidata. Digitaalsel kaardil on sellisel juhul ruudu väärtus kas 999999 kui tegu on 2014. a või -4 kui on tegu 2021. a. andmetega. Analüüsi jaoks omistasime nendele ruutudele väärtuse 1.

Käesoleva töö puhul tuleb tähele panna, et Statistikaametist saadud andmete põhjal elab Tallinnas oluliselt vähem inimesi, kui Rahvastikuregistri andmetel. Viimasest lähtub Tallinna linnavalitsus oma linnakodanike loendamisel. Statistikaamet kasutab rahvaarvu arvutamiseks residentsuse indeksi. Selle põhjal leitakse iga inimese puhul Eestis elamise tõenäosus. Tõenäosuse arvutamiseks vajaminevad tunnused leitakse erinevatest registritest ja neid kasutatakse kindla prioriteedi alusel. Residentsuse indeksi põhimõtteid on põhjalikult tutvustanud Ene-Margit Tiit ja Ethel Maasing (2016). Statistikaameti residentsuse indeksi kohaselt elas Tallinnas 2014. a umbes 394000 elanikku ja 2021. aastal 432000. Rahvastikuregistri andmetel, esitatuna Tallinna linna ametlikul internetileheküljel

(Tallinn 2021), elas 1. jaanuaril 2014 Tallinnas 429899 ja 1. jaanuaril 2021. a. 445688 inimest. Seega erinevus on esimesel juhul u 36000 ja 2021. aastal suurusjärgus 14000 inimest ehk võrreldav terve Nõmme või Pirita linnaosa rahvastikuga. Antud juhul eeldame, et Rahvastikuregistri ja Statistikaameti andmete erinevused ei ole süstemaatilised ehk siis n.ö. puuduvad inimesed on jaotunud territoriaalselt ja vanuserühmade alusel ühtlaselt. Loodetavasti annab 2021. a. rahvaloendus rahvaarvu arvestamise erinevate meetodite osas suurema selguse, kuid siin eeldatakse, et need erinevused ei moonuta Tallinnas tegelikult valitsevat pilti haavatavuse osas.

Järgnevalt on analüüsitud kolme suurust: haavatavus, eksponeeritus ja mõju.

Haavatavus on siin tehniline mõiste ja kasutatakse rahvastiku ja riskirühmade iseloomustamiseks.

Haavatavus = (Rahvaarv_norm + lapsed_kuni05_norm + seniorid_üle65_norm) / normaliseerimise koefitsient

Haavatavuse arvutamiseks kasutasime kolme komponenti: rahvaarv, väikelaste arv (alla 5 aastased), seniorite arv (vanemad kui 65 a). Kõik komponendid on normaliseeritud vahemikku 0 kuni 1. Järgmise etapina on leitud kõigi komponentide summa ja summat on omakorda normaliseeritud. Kaalusid väikelaste ja senioride grupile ei ole kasutatud. 2014. ja 2021. a. olude võrreldavuse tagamiseks on mõlema aasta puhul normaliseeritud parameetrid ühised.

Saadud normaliseeritud tulemused ehk indeksid on vahemikus 0 – 1 ja neile omistatakse järgmised haavatavuse klassid:

Klass	Vahemik
Väga väike	0,0 – 0,2
Väike	0,2 – 0,4
Keskmine	0,4 – 0,6
Kõrge	0,6 – 0,8
Väga kõrge	0,8 – 1,0

Eksponeeritus iseloomustab temperatuuriolusid, mis analüüsitava päeval valitsesid ehk millele on elanikkond eksponeeritud. Ka eksponeeritus on esitatud normaliseeritud kujul:

Eksponeeritus = (Temperatuur – 20) / 25

Võrreldavuse jaoks on satelliitpildi algsed 30 × 30 m temperatuuripikslid teisendatud 100 × 100 m ruudustikule. Eksponeerituse normaliseeritud tulemused on vahemikus 0 – 1 ehk indeksina ja nende alusel on määratletud järgmised klassid:

Klass	Vahemik	Väärtus, °C
Väga väike	0,0 – 0,2	alla 20
Väike	0,2 – 0,4	20 – 25
Keskmine	0,4 – 0,6	25 – 30
Kõrge	0,6 – 0,8	30 – 35
Väga kõrge	0,8 – 1,0	35 – ja üle

Mõju on haavatavuse ja eksponeerituse korrutis:

Mõju = Haavatavus x Eksponeeritus

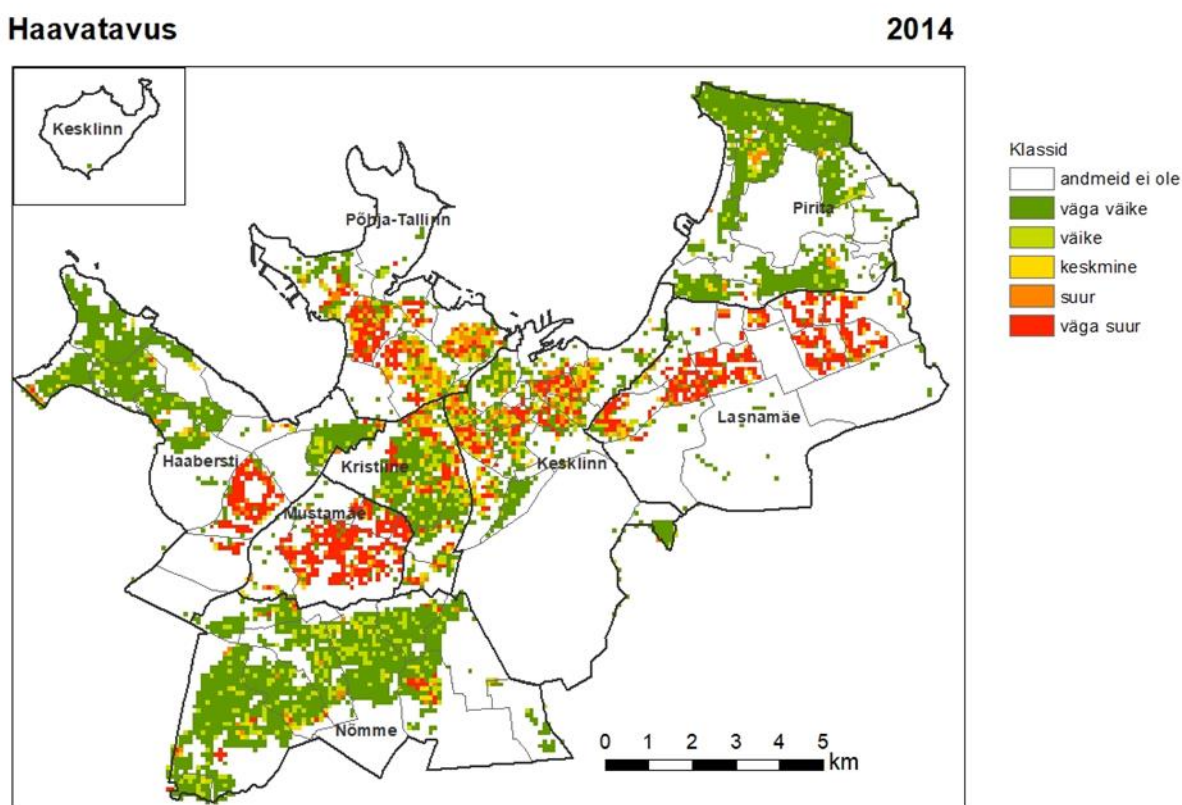
Selle näitaja põhjal eristuvad need piirkonnad, kus on soojusaarte mõju riskirühmadele kõige suurem. Mõju on mõneti vastuoluline näitaja: seal kus on haavatavus suur (riskirühmadesse kuuluvate inimeste suur kontsentratsioon), kuid temperatuur suhteliselt madal, ei pruugi mõju olla kuigi suur. Ja vastupidi – ülekuumenenud keskkond ei pruugi avaldada suurt mõju kui elanike (eriti riskirühma kuuluvaid) on antud linnaosas vähe.

Ka mõju on arvuliselt esitatud indeksina vahemikus 0 – 1 ja nende põhjal eristatavad klassid on järgmised:

Klass	Vahemik
Väga väike	0,0 – 0,2
Väike	0,2 – 0,4
Keskmine	0,4 – 0,6
Kõrge	0,6 – 0,8
Väga kõrge	0,8 – 1,0

Järgnevalt on esitatud 2014. ja 2021. a. olude kirjeldus ning võrdlus just nende kolme näitaja (haavatavus, eksponeeritus ja mõju) kaupa.

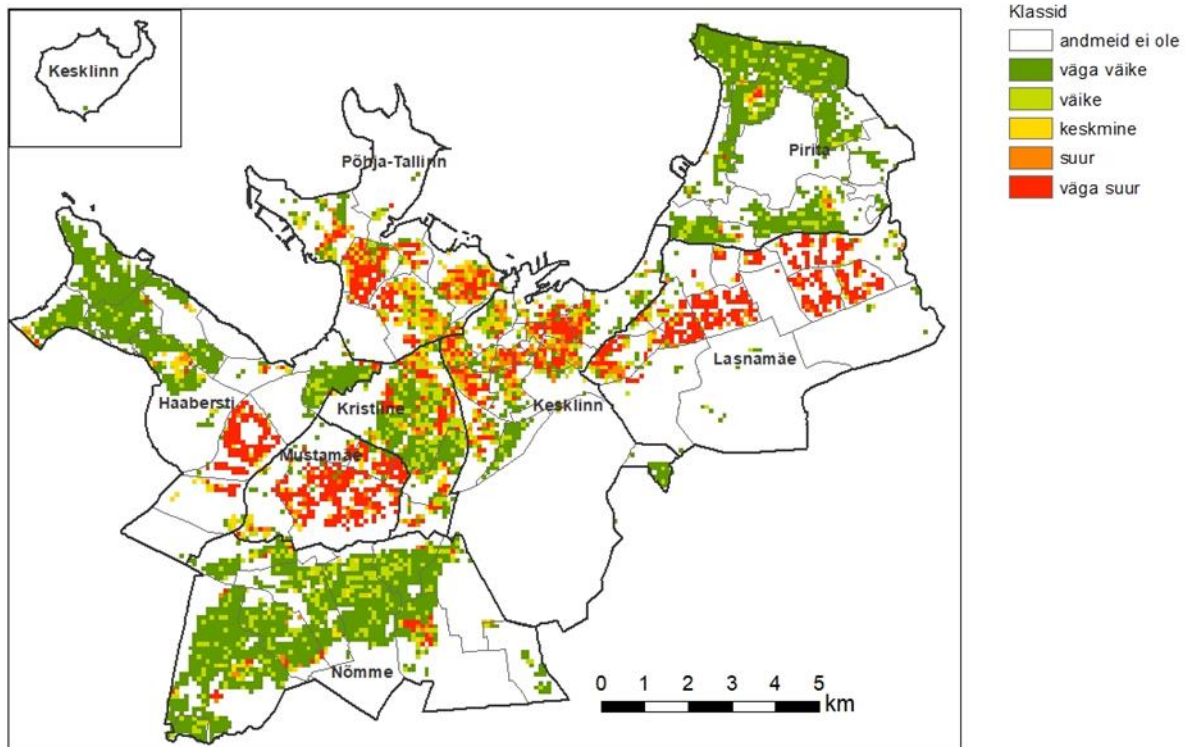
Haavatavus



Joonis 3.1. Haavatavuse klassid 2014. a.

Haavatavus

2021



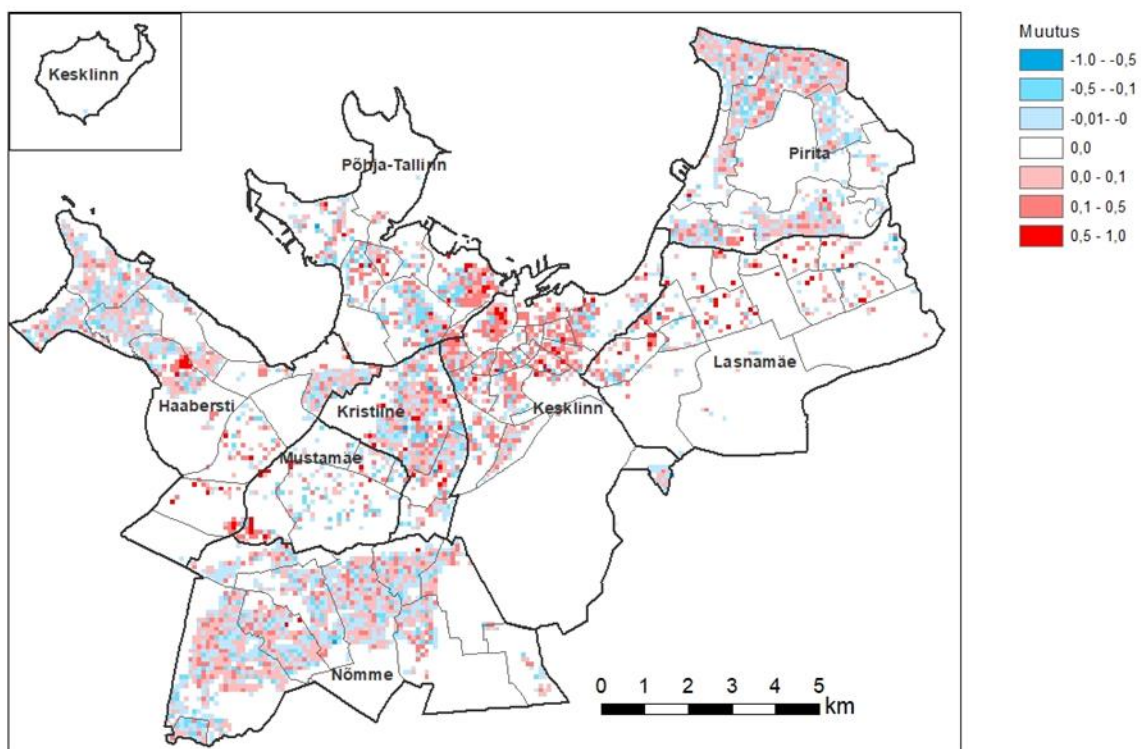
Joonis 3.2. Haavatavuse klassid 2021. a.

Joonistel 3.1. ja 3.2 on kujutatud haavatavuse jaotus Tallinnas vastavalt 2014. ja 2021. aastal. Sisuliselt näitavad „punased“ ruudud piirkondi, kus on riskirühmadesse (antud juhul alla 5 aastased lapsed ja üle 65 aastased vanurid) kuuluvaid inimesi elanikkonna üldarvu suhtes kõige rohkem. Mõlemal joonisel paistavad eriti selgelt silma Väike-Õismäe, Mustamäe ja Lasnamäe. Ka suuremas osas Kesklinna linnaosa asumites domineerib punane värv, nagu ka Põhja-Tallinna Pelguranna, Pelgulinna ja Kalamaja asumites. Üksikuid punaseid täppe võib leida praktiliselt kõikides asumites, milles on korrusmajade rajoon. Eriti ilmekalt ilmneb see muidu rohelises ja valdavalt eramajadest koosnevas Nõmme linnaosas. Pirital tuleb „punase laiguna“ välja Mähe Padriku tee piirkonna uusarendus.

Kaheksa aasta jooksul toimunud muutusi iseloomustavad joonised 3.3 ja 3.4. Esimesel on kujutatud muutusi haavatavuse indeksi väärtuse alusel. Joonisel tähistavad punased ruudud piirkondi, kus 2021. aastal oli rohkem riskirühma kuuluvaid inimesi kui 2014. aastal. Tinglikult võib selle alusel eristada asumeid, kuhu on inimesi juurde (punased) või ära (sinised) kolinud. Punase laiguna torkab silma Kesklinna linnaosa asumid. Rahvastikuregistri andmetel (Tallinn 2021), on seal toimunud ka kõige suurem sisseränne: vaadeldaval perioodil on siin rahvaarv suurenenud ligi 10000 elaniku võrra. Üldiselt, eriti nn „mägedes,“ on haavatavus suurenenud vanurite kontsentratsiooni suurenemisega. Kas see on seotud vanainimeste kolimisega nendesse suhteliselt odavamalt eluaset pakkuvatesse kortermajade piirkondadesse või põliselanike vananemisega, vajaks eraldi analüüsi. Vaid mõnede üksikute uusarendusrajoonide puhul (näiteks Haaberstis Pikaliiva) on haavatavuse kasvu taga väikelaste suurenenud hulk.

Haavatavus

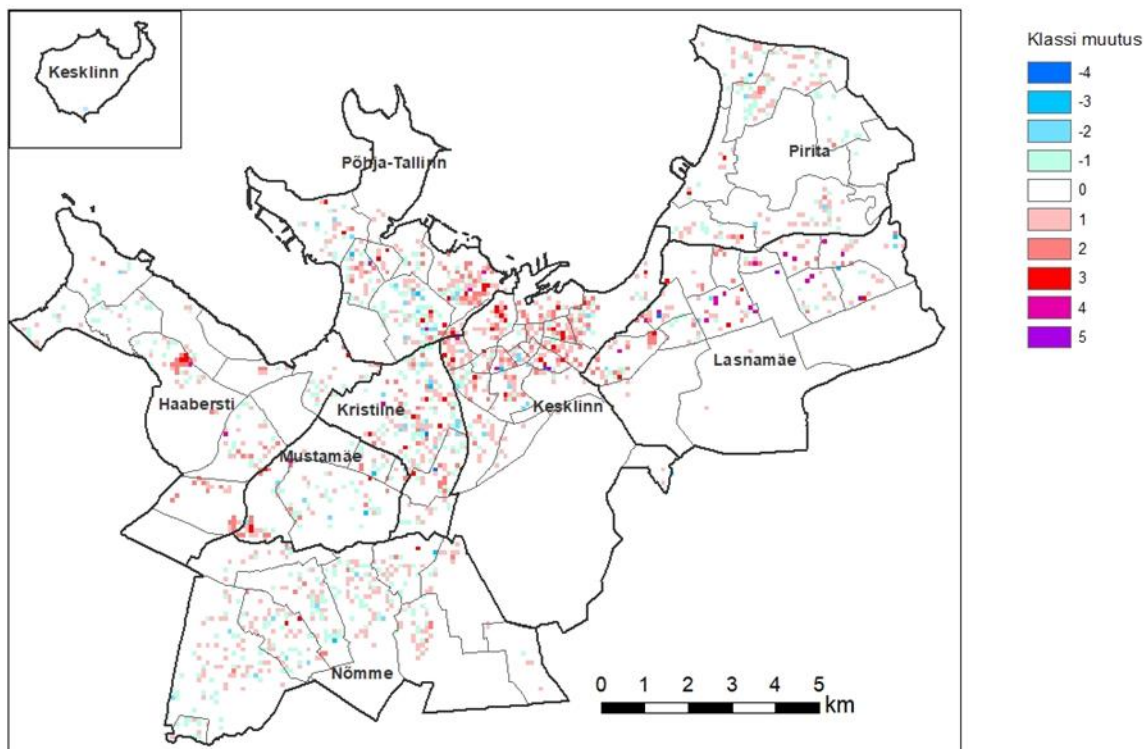
2021-2014



Joonis 3.3. Haavatavuse indeksi muutus aastate 2021. ja 2014. vahe alusel.

Haavatavus

2021-2014



Joonis 3.4. Haavatavuse klassi muutus 2021. ja 2014 vahe alusel.

Kuigi mõlemal joonisel (3.3 ja 3.4) püüavad pilku just Kesklinna asumite ja Kalamaja punased alad, siis joonisel 3.4 tuleks tähele panna ka Lasnamäel toimunud muutusi. Nii on näiteks Laagna asumis mitu „lillat täppi,“ mis viitavad sellele, et haavatavuse klass on muutunud 4-5 ühiku võrra. S.t. kui 2014. aastal oli neis ruutudes haavatavus väike või väga väike, siis nüüd suur ja väga suur. Arvestades, et juba 2014. aastal oli Laagna, nagu ka Mustakivi, Priisle, Kuristiku ja Seli asumid haavatavuse mõttes murettekitavad alad, siis 2021. aastaks on need probleemid süvenenud. Kuna tegemist on kõrge rahvastikutihedusega korterelamute rajoonidega, siis tähistavad need „lillad täpid“ suure hulga riskirühma kuuluvate inimeste lisandumist.

Eksponeeritus

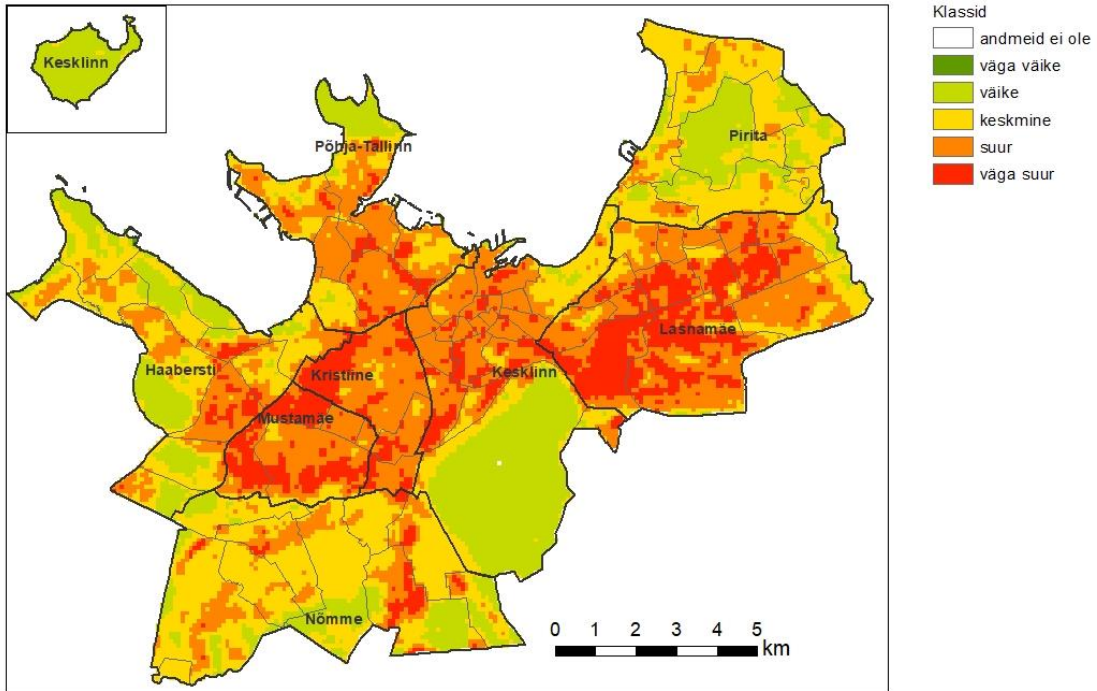
Sisuliselt on eksponeeritus pinnatemperatuuri funktsioon ning seega väljendab tegelikult samu kuumasaari, mida analüüsiti käesolevas töös kuumalainete võrdlemise peatükis. Üldpilt on siiski mõnevõrra erinev, kuna siin on klasside eristamise aluseks teistsugused lävendi väärtused kui kuumasaarte võrdluses. Kui näiteks 2021. aasta puhul on kuumasaare defineerimise aluseks võetud u. 41 kraadi (tabel 2.1), siis siin on „väga suure“ eksponeerituse klassi piiriks 35 °C. Seega on siinne pilt oluliselt „punasem,“ kui kuumasaarte võrdluses esitatud kaardid (lisad 2-4).

Mõlema joonise (3.5 ja 3.6) puhul tuleb arvestada, et need esindavad erakorralisi ilmastikuolusid ning seetõttu pole kummalgi sisuliselt „väga väikesesse“ eksponeerituse klassi kuuluvaid alasid. Kuna 2021. aasta satelliidipildil on pinnatemperatuurid kõrgemad kui 2014. aasta omal, siis on ka selge, et joonisel 3.6 on „suurde“ ja „väga suurde“ klassi kuuluvaid alasid palju rohkem kui 2014. a joonisel 3.5. Seetõttu on loomulik, et ka joonistel 3.7 ja 3.8 valdavad punased toonid. Kui lahutada soojema 2021. aasta temperatuuriandmetest suhteliselt jahedama 2014. a vastavad andmed, siis on nii eksponeerituse indeksid kui ka klassid nihkes kuumenemise poole. Huvitava detailina võib tähele panna, et 2014. aastal olid vahetult mere äärde jäävad alad tunduvalt jahedamad kui 2021. aastal. Eriti selgelt torkab see erinevus silma joonisel 3.7. Tõenäoliselt on see tingitud tuulesuundade erinevusest. Nagu eelmises peatükis kirjeldatud, olid nii 25. juuli 2014 kui ka 19. juuni 2021 suhteliselt tuulevaiksed, kuid esimesel juhul oli valdav tuulesuund põhjast ja teisel juhul lõunast.

Mitmed nii öelda sinised alad, ehk piirkonnad, kus 2014. a pinnatemperatuur oli kõrgem kui 2021. aastal, on seotud veekogudega (nt Raku järv Nõmmel Männiku asumis). Ent nagu nenditi ka eelpool toodud 2014. ja 2021. aasta kuumasaarte võrdluses, oli 2014. aastal pinnatemperatuur tõesti mitmetes kohtades kõrgem kui kuumemal 2021. aastal. Eriti kontrastne on ses osas Lasnamäe. Nii paistab joonistel 3.7 ja 3.8 silma „külmasaar“ Sõjamäe, Laagna, Pae ja Ülemiste asumi piiril, umbes Punase tn Selveri juures. Olgu mainitud, et seal asuv lao- ja tootmishoone Punane tn 42/1 on käesolevas töös märgitud kui üks eriti kõrge pinnatemperatuuriga objektidest (vt lisa 1). Pääskülas võib sinise ala näiteks tuua Pääsküla mäe (endine Pääsküla prügimägi) ja Pelgulinnas Merimetsa piiri ääres asuva hipodroomi. Üldiselt paistavad staadionid oma eripärase käitumisega silma ka teistes asumites (näiteks Kalevi Keskstaadion Juhkentalis). See kõik viitab sellele, et eksponeeritus ja selle muutused ei ole triviaalne teema ning sõltub ilmaolude kõrval ka sellest, kuidas üks või teine objekt antud meteoroloogilistes oludes soojuslikus mõttes käitub.

Eksponeeritus

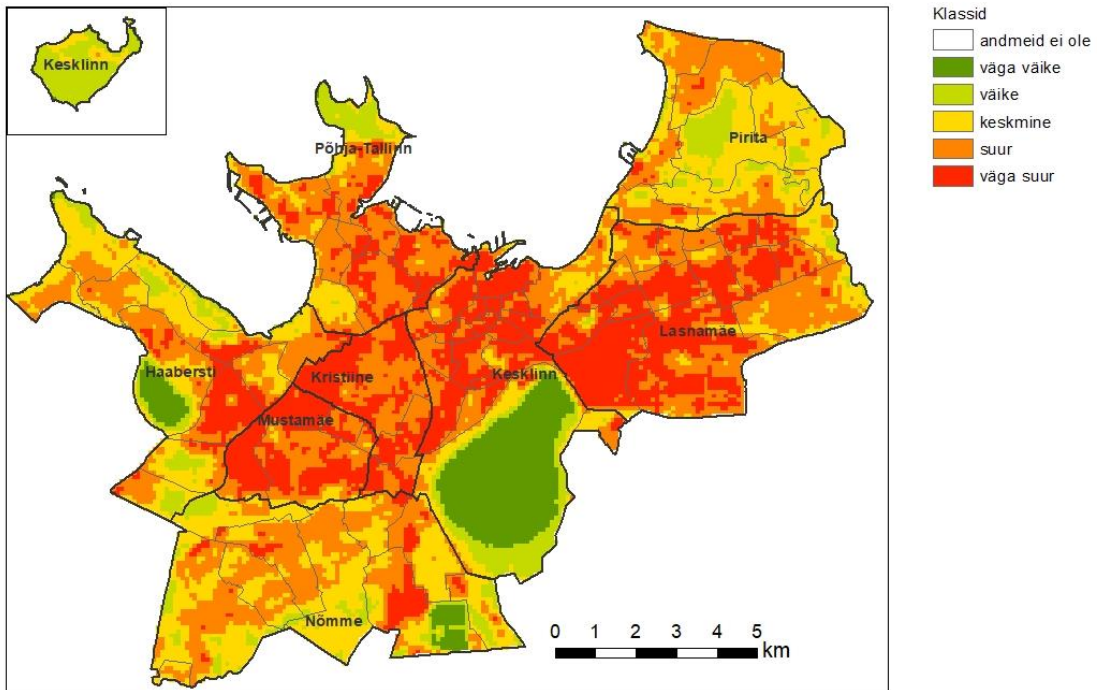
2014



Joonis 3.5. Eksponeerituse klassid 2014. aastal

Eksponeeritus

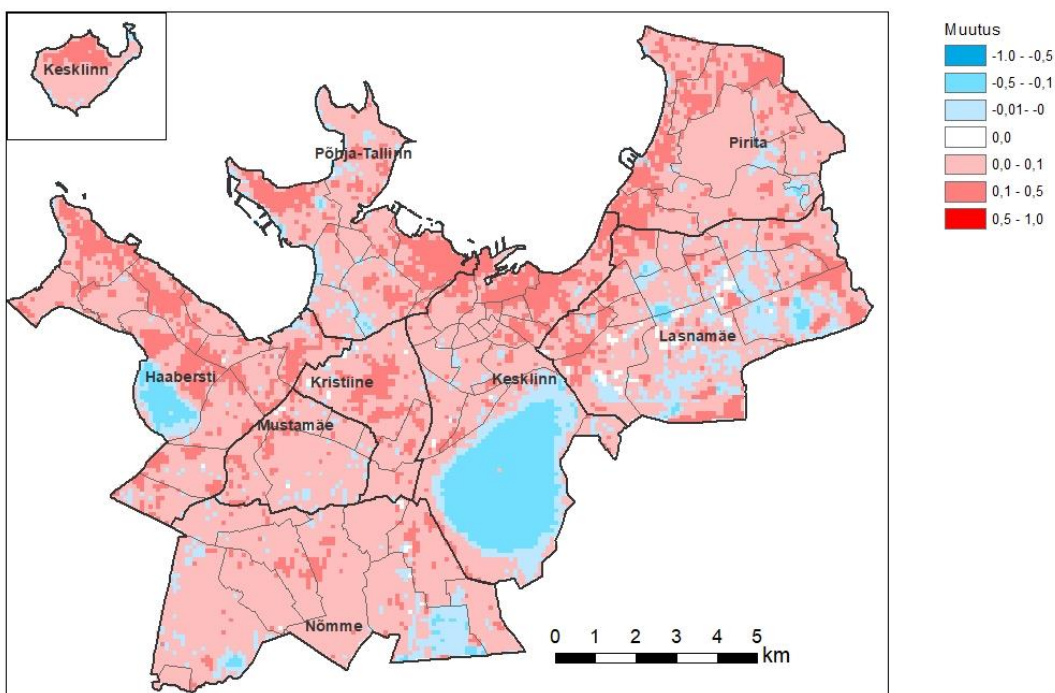
2021



Joonis 3.6. Eksponeerituse klassid 2021. aastal

Eksponeeritus

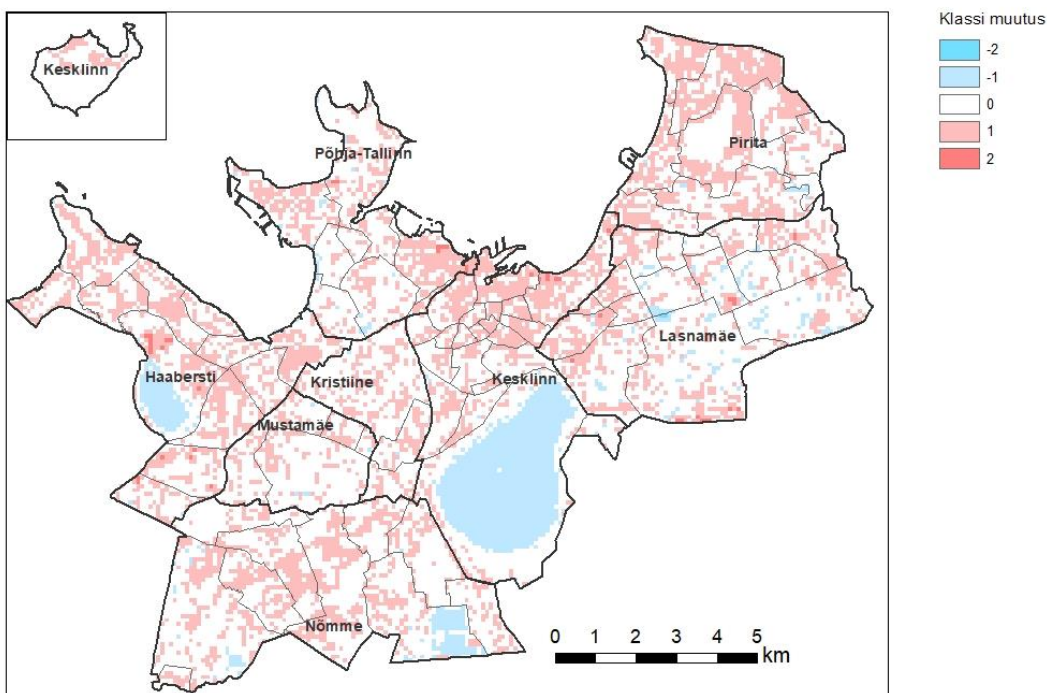
2021-2014



Joonis 3.7. Eksponeerituse indeksi muutus aastate 2021. ja 2014. vahe alusel

Eksponeeritus

2021-2014



Joonis 3.8. Eksponeerituse klassi muutus 2021. ja 2014 vahe alusel

Mõju

Mõju geograafilise jaotuse tõlgendamise puhul tuleb tõdeda, et 100 × 100 m ruudustik on sedavõrd üldine, et „punaste täppide“ seostamine mingite konkreetsete objektidega on raskendatud. Nii näiteks on keeruline öelda, kas Pirita linnaosa „keskmise“ (joonis 3.9) ja 2021. a. „väga suure“ mõjuga laiku (joonis 3.10) seostada Merivälja pansionaadi (Ranniku tee 48) või pigem ikkagi Mähe Padriku tee piirkonna uusarendustega. Lasnamäe Priisle asumis idaosas võivad mõned pikslid tähistada Iru hooldekodu mõju.

Seda selgemalt joonistuvad välja üldised tendentsid. 2014. aasta pildil (joonis 3.9) on „keskmise“, „suure“ ja „väga suure“ mõju klassi kuuluvate pikslite alusel väga hästi ära tuntav Väike-Õismäe ring. Sama moodi on enamused Mustamäest suure mõju all. Siin eristub väga suure mõjuga aladena Sõpruse puistee ja Ehitajate tee ristmiku lähedale jäävad 9 ja enama korrusega majade piirkonnad. Samamoodi on Lasnamäe asumites suure ja väga suure mõjuga seotud just kõrged korrusmajad ja nende hoovid. Ka näiteks suhteliselt rohelistes Kristiine linnaosas on punakama tooniga ruudud seotud korruselamutega ning mõnevõrra kriitilisemad alad jäävad samuti peamiste liiklustrasside ümbrusesse (nt Endla tn). Kesklinna ja Põhja-Tallinna pilt on palju värvikirevam kuna siin on ka asustusmuster palju mitmekesisem – lähestikku on mitmekorruselised kortermajad ja aedadega ümbritsetud puitelamud. Ikkagi eristuvad selgelt ka siin just nõukogudeaegsed korruselamute kvartalid, kus on mõju „suur“ või kohati „väga suur“. Seetõttu on Põhja-Tallinna linnaosas „punaseks laiguks“ Pelguranna asum. Näiteks Karjamaa asumis katab oranž pikslite rida (suur mõju) Tööstuse tn äärde jäävaid 5-korruselisi paneelmaju (Tööstuse tn paaritud majad alates nr 79 kuni 95). Kesklinnas on üheks kriitiliseks alaks näiteks Sibulaküla asum Kentmanni ja Kaupmehe tänava piirkonnaga. Ka Nõmme linnaosa „punased ruudud“ asuvad nõukogudeaegsetes korterelamute piirkondades (näiteks Valdeku ja Pihlaka tn vaheline ala, ka Rännaku pst - Saha tn piirkond või Pääskülas Tirdi ja Teelise tänav).

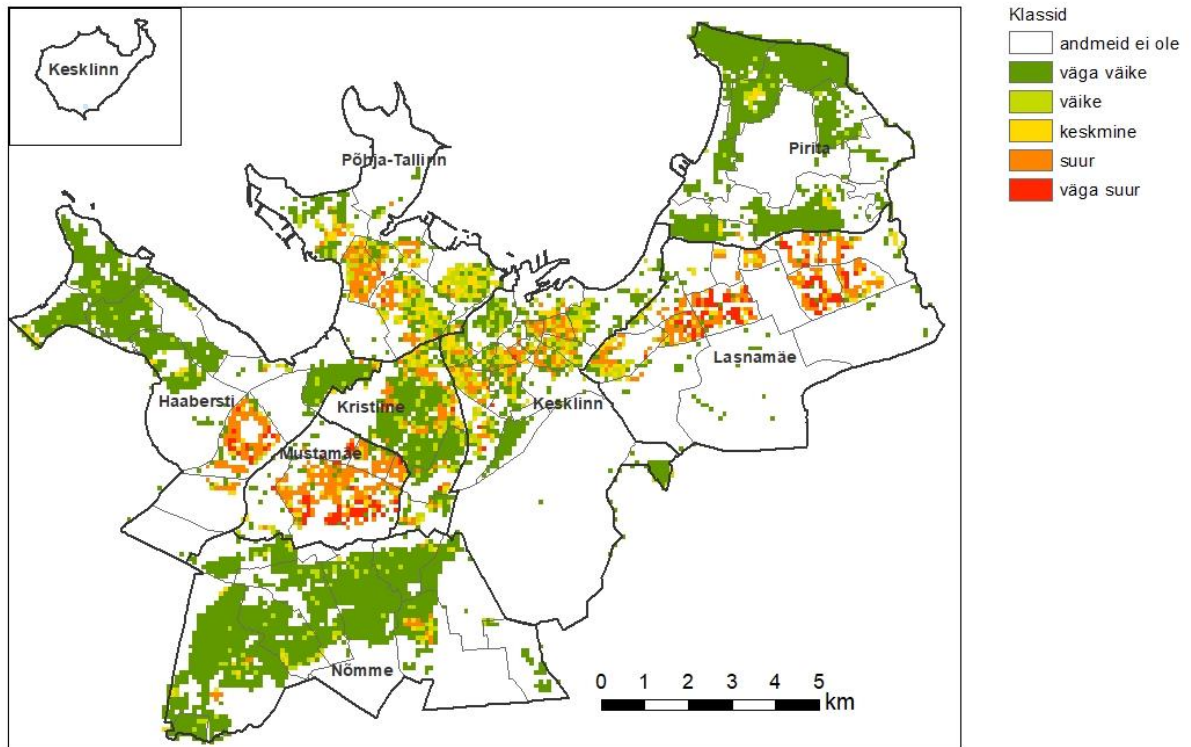
Kuna 2021. aastal olid nii haavatavus kui ka eksponeeritus suurem, siis on loogiline, et mõju, kui nende kahe suuruse korrutis, on suurem. Mõju muutused (joonis 3.11 ja 3.12) viitavad üldise olukorra halvenemisele, kuid on samuti kombinatsioon haavatavuse ja eksponeerituse muutustest. Nii võib Kesklinna olukorra kriitilisust seletada antud päevade ilmaolude erinevusega aga muidugi ka faktiga, et Tallinna kesklinna on aastatega juurde kolinud arvestatavalt suur hulk inimesi. Ent tulevikus vääraks detailsemat uurimist näiteks küsimus, mis on põhjustanud Tallinna vanalinnas „väga suure“ mõju klassi kuuluvate pikslite ilmumise.

Kui aga analüüsida lähemalt joonisel 3.11 toodud alasid, kus on toimunud suur indeksi väärtuse muutus positiivses, see tähendab mõju suurenemise suunas, siis suurel osal juhtudest langevad need kokku uusarendustega. Nii näiteks eristub Haaberstis selgelt juba korduvalt mainitud Pikaliiva oma Noorkuu ja Vanakuu tänavaga. Aga ka näiteks Väike-Õismäel 2016. aastal valminud korterelamud Paldiski mnt 201 ja 209 ja Kodulahe kvartal. Sama moodi võib üles lugeda mõned Põhja-Tallinna uusarendustega seotud punased alad: Sepa tänav, Ketrāja tänav, Manufaktuuri tänav, Noblessneri kvartal, Volta kvartali korterelamud, Vibu tänav, Uus-Kalamaja ja Soo tn ristmik, Vana-Kalamaja ja Väike-Patarei tn ristmik, Soo tänava alguses olev Soo 1b kvartal.

Neist näidetest ei tohiks aga uusarenduste kohta teha põhjapanevaid järeldusi. Pigem on see veel üks teema, mis vajab tulevikus mitmekülgsemat analüüsi. Uusasumite planeerimise seisukohalt on väga oluline teada saada, miks suurel osal senistest uusarendusrajoonidest on kuumalainete mõju suur. Kas tähtsamaks teguriks on kohalik mikrokliima või demograafilised eripärad (näiteks suur väikelaste osakaal).

Mõju

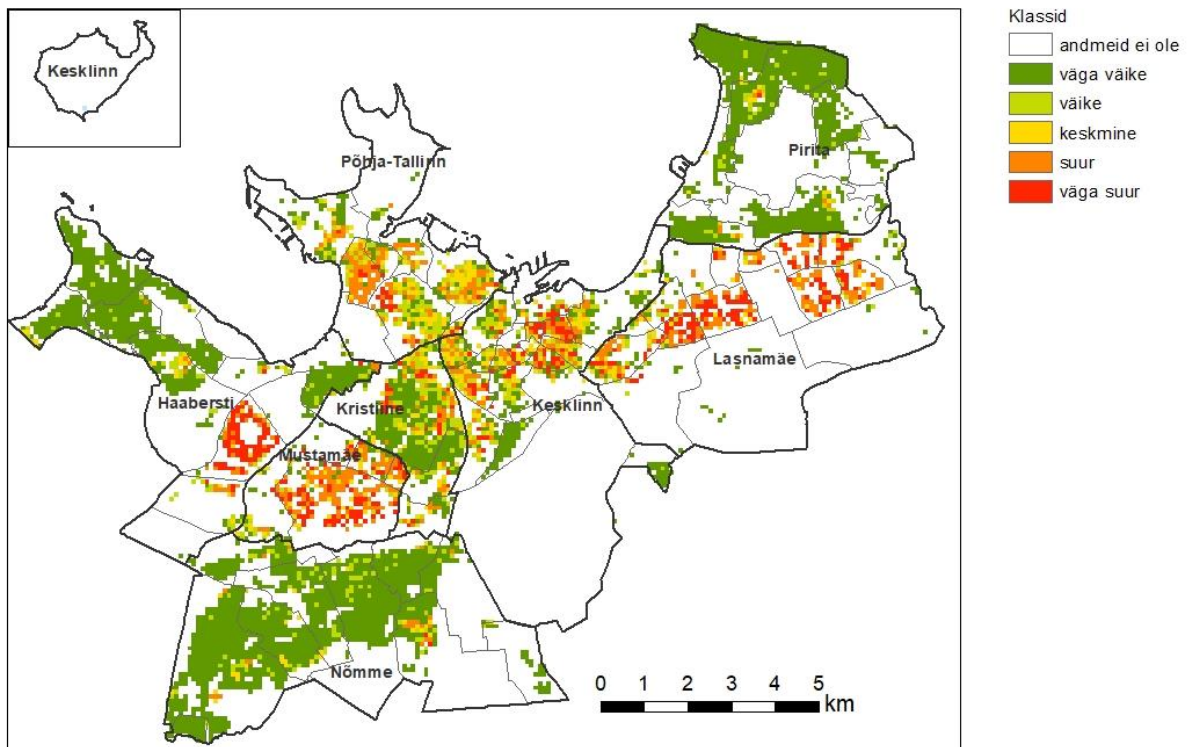
2014



Joonis 3.9. Mõju klassid 2014. aastal

Mõju

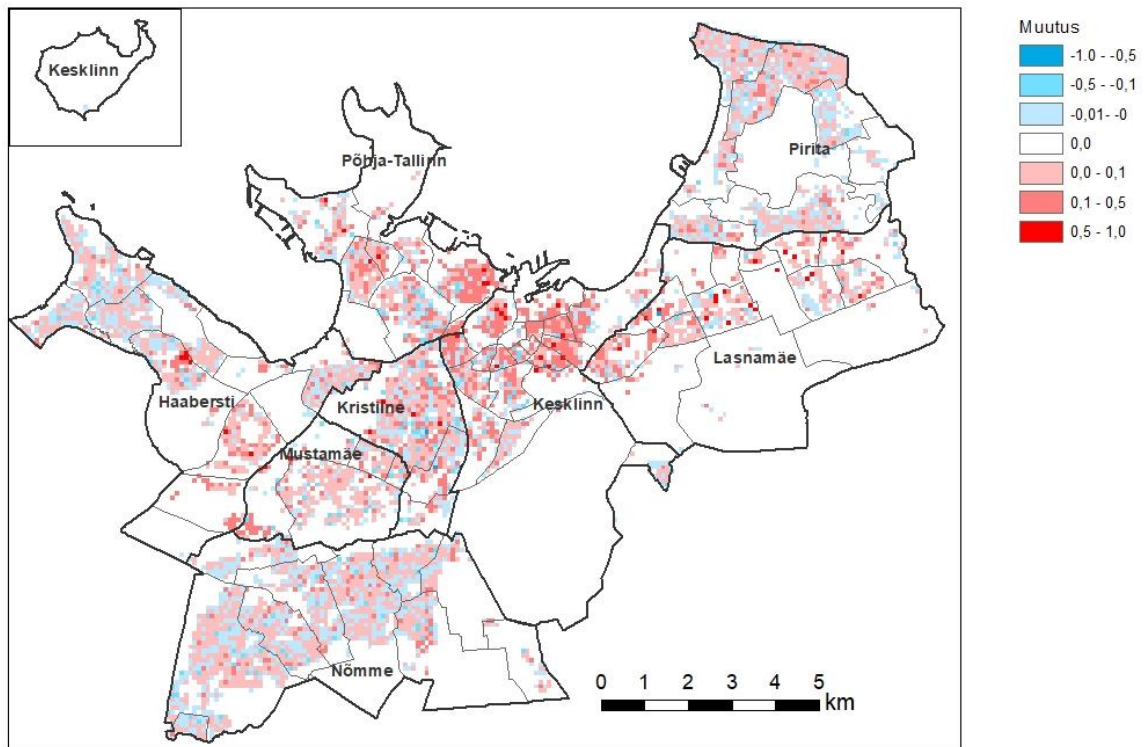
2021



Joonis 3.10 Mõju klassid 2021. aastal

Mõju

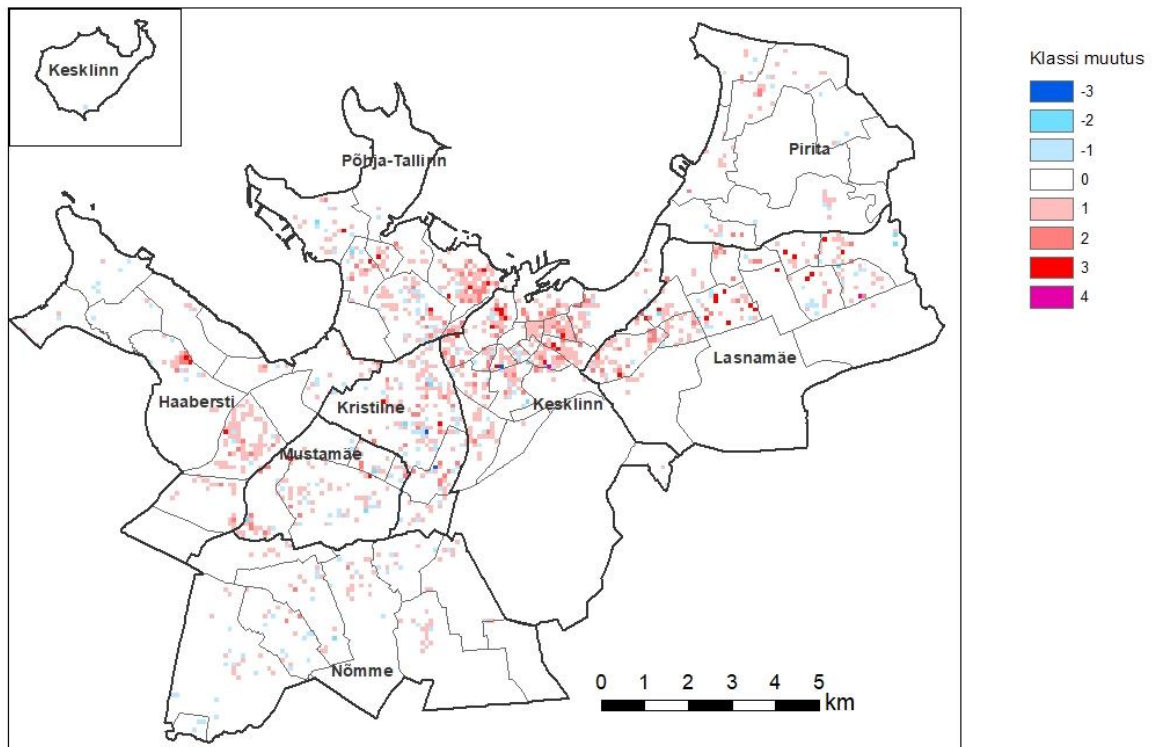
2021-2014



Joonis 3.11. Mõju indeksi muutus aastate 2021. ja 2014. vahe alusel

Mõju

2021-2014



Joonis 3.12. Mõju klassi muutus 2021. ja 2014 vahe alusel

Ka mõju vähenemist esindavad sinised ruudud väärivad tulevikus detailsemat uurimist. Praegusel juhul ei saa nende paiknemisest välja lugeda mingeid süstemaatilisi muutusi. Seega jääb edaspidiseks analüüsimiseks mitmeid küsimusi. Nagu korduvalt mainitud, olid 2014. ja 2021. a. ilmaolud mõnevõrra erinevad ja need erinevused võivad linnasiseses mikroreljeefistikus võimenduda. Või väljendab siniste pikslite muster pigem linnasiseseid demograafilisi protsesse? Näiteks vanurite ja noorte perede kolimist ühest asumist teise.

Nii kliimamuutustega kohanemise kui planeerimise ning ka ehitusnormide ja sotsiaalhoolekande süsteemi seisukohalt on need väga tähtsad küsimused. Kui Tallinna linna tulevikku suunava tegevuse üheks eesmärgiks on kuumalainete mõju vähendamine, siis peab teadma, kas selleks täiustada riskirühmadele pakutavaid sotsiaalteenuseid või tuleb muuta planeerimisreegleid ja ehitusnorme.

4. MODIS satelliitandmed ja Tallinna öised temperatuurid

Kui varasemad Tallinna soojussaarte uuringud kasutasid Landsati süsteemi andmeid, siis siin katsetatakse MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer, keskmise lahutusvõimega kujutise spektroradiomeeter) andmete rakendamist. Mõlemal süsteemil on omad eelised ja puudused. Landsat edastab kõrge lahutusega (30 × 30 m) pilte, kuid harva (samast geograafilisest punktist iga 16 päeva tagant). Arvestades Eesti ilmastikku, on juhus, kui satelliidi ülelend satub pilvitule päevale, suhteliselt haruldane. MODIS instrumendid on kinnitatud kahele NASA satelliidile: Terra ja Aqua ning mõlemad tehiskaaslased ületavad sama punkti päeval (vastavalt kl 10:30 ja 12:30 ning 11:30 ja 13:30 vahel) ja öösel (kl 20:30 - 22:30 ja 00:00 - 3:00). Seega on tõenäosus sattuda vähemalt mõnele pilvitule ilmale MODISE puhul palju suurem. Kahjuks on MODISE lahutusvõime 1 × 1 km. See on globaalsete mudelite sisendväljundina piisav, kuid konkreetse linnaosa uurimiseks vähe. Ometi annab ka ruutkilomeetri suurune võrgustik kombineerituna tiheda vaatlusgraafikuga hea algandmete baasi, millega uurida linna üldist temperatuuritausta. Eriti väärtuslik on MODISE andmestik seetõttu, et võimaldab analüüsida öiseid temperatuure.

Kõrgeid öiseid temperatuure peetakse inimtervise seisukohalt ohtlikumaks kui päevaseid, kuna nende puhul ei saa inimese organism korralikult välja puhata. Seega suureneb hüppeliselt risk tervisehädade ilmnemiseks. Kuna linnas on ohtralt tehispindasid, mis päeval kuumenevad, kuid ei jahtu ka öösel, siis on niinimetatud „troopiliste ööde“ kujunemise tõenäosus tiheasustusaladel väga suur. Eestis on kuumade ööde küsimusega tegeletud vähe. Önnestus leida vaid üks töö (Tarand, Chełchowski 1974), milles teemat käsitletakse. Viidatud artiklis analüüsiti 15 ilmajaama andmeid perioodil 1951-65. Jaamadest üheksas leiti kokku 10 „troopilist“ ehk sellist ööd, mille korral miinimumtemperatuur ei langenud alla 20 °C. Sellised ööd esinesid eriti soojade õhumasside sissetungide ja pikaajaliste päikesepaisteliste päevade järel ning olid tavalisemad kas rannikujaamades või suurte siseveekogude kallastel asuvates jaamades.

Nüüd, 60 aastat hiljem on troopilised ööd endiselt haruldus, kuid paraku enam mitte nii suur. Otsustades Riigi Ilmateenistuse andmete (Ajaloolised 2021) põhjal oli perioodil 2004-2020 ainuüksi Tallinn Harku aeroloogiajaamas kokku 16 sellist juhtu, kus ööpäeva miinimumtemperatuur oli vähemalt 20 °C. Halb on see, et mitmel juhul kestsid need mitu ööd järjest – näiteks 13.-15. juuli 2010 ja 28.-31. juuli 2018. Ka 2021. aasta suvel oli mitmel ööl õhutemperatuur üle kriitilise 20 kraadi lävendi (joonis 1.2).

Algne plaan MODIS andmete põhjal analüüsida kolme kuumalainet, ei realiseerunud, kuna võrdlusmeetodid vajavad edaspidi veel täiustamist. Ainult kolme päeva võrdlemist MODISE andmetel ei ole mõistlik teha, kuna Landsat 8 on oma piksli suurusega 30 × 30 m oluliselt detailsem. Järgnevalt on aga 2021. a. suve kuumematel päevadel (2. juuni - 29. juuli) toimunud ülelendude alusel klassifitseeritud Tallinna kuumemad ja jahedamad piirkonnad.

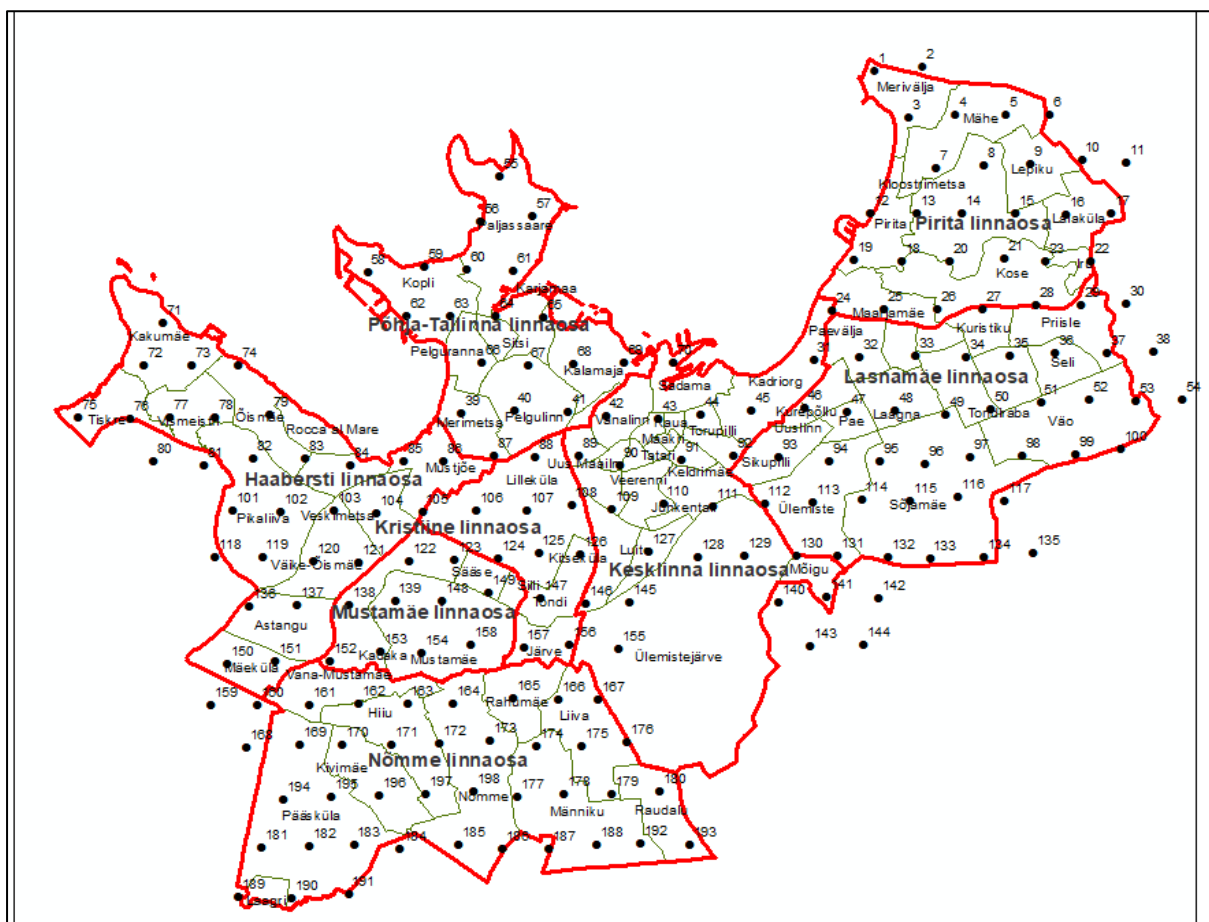
Andmed ja meetodika

Järgnevas analüüsis kasutatakse satelliitide Terra ja Aqua spektroradiomeetri MODIS abil salvestatud pinnatemperatuure 193 Tallinna ja selle vahetus läheduses asuva punkti kohta (joonis 4.1). Teoreetiliselt peaks mõlema satelliidi andmetest moodustuma maatriks, kus iga vaadeldava punkti kohta on kaks temperatuurinäitajat – öine ja päevane. Praktikas pole aga kummagi tehiskaaslase

andmed täiuslikud kuna ka 2021. a. palavatel nädalatel oli hulgaliselt tiheda pilvkattega päevi. Seetõttu jäi suurem osa vaatluspäevadest ja –öödest välja ning olenevalt satelliidist ja vaatlusajast kasutati analüüsis 9 - 23 kõige kvaliteetsema andmemassiiviga kuupäevade andmeid. Andmeaukude tõttu jäid välja ka mõned punktidest. Üldiselt praagiti välja kõik andmerekad, milles oli rohkem kui kolm andmeauku. Allesjäänud ridades täideti puuduolevad andmed lähima naabri meetodil. Kuna kvaliteedikontrollist allesjäänud päevad olid pilvitud, siis enamasti olid need ka kuumemad.

Andmete korrastamise järel toimus klasterdamine. Eesmärgiks oli eristada sarnase temperatuurikäitumisega piirkondi. Antud juhul tähendab temperatuurikäitumine seda, kui sarnaselt kuumad või vähemkuumad vaatluspunktid omavahel on.

Klasterdamiseks kasutati k-keskmiste meetodit. Antud meetodi puhul on kõige kriitilisem küsimus klastrite arv. Kuna klastrite arvu valimiseks kindlaid reegleid ei ole, siis peab selle valima iga uurija ise. Käesoleval juhul sai esimeses lähenduses eeldatud, et iga Tallinna linnaosa võib oma temperatuurikäitumise osas erineda ja seetõttu võeti algelt klastrite arvuks kaheksa. Tulemuste analüüsil selgus, et tegelikult sõltub punktide sarnasus hoopis asendist ranniku ja teiste veekogude suhtes aga ka piksli alal domineerivast maakasutusest ja ehitiste iseloomust. Üldiselt 8 klasteri kasutamine ei õigustanud end, kuna eristatud gruppide omavaheline erinevus polnud kuigi suur. Selleks, et esitada linnasiseseid erinevusi kontrastsemalt, sai järgmine analüüs tehtud nelja klasteriga. Nende alusel võib linnaruumi tinglikult jagada „külmaks,“ „jahedaks,“ „soojaks“ ja „kuumaks“. Arvuliselt väljendavad neid klasse klasteri keskmine temperatuur, mis on arvutatud kõigi antud klasterisse kuuluvate punktide pinnatemperatuuri keskmisena üle kõigi analüüsitud päevade.

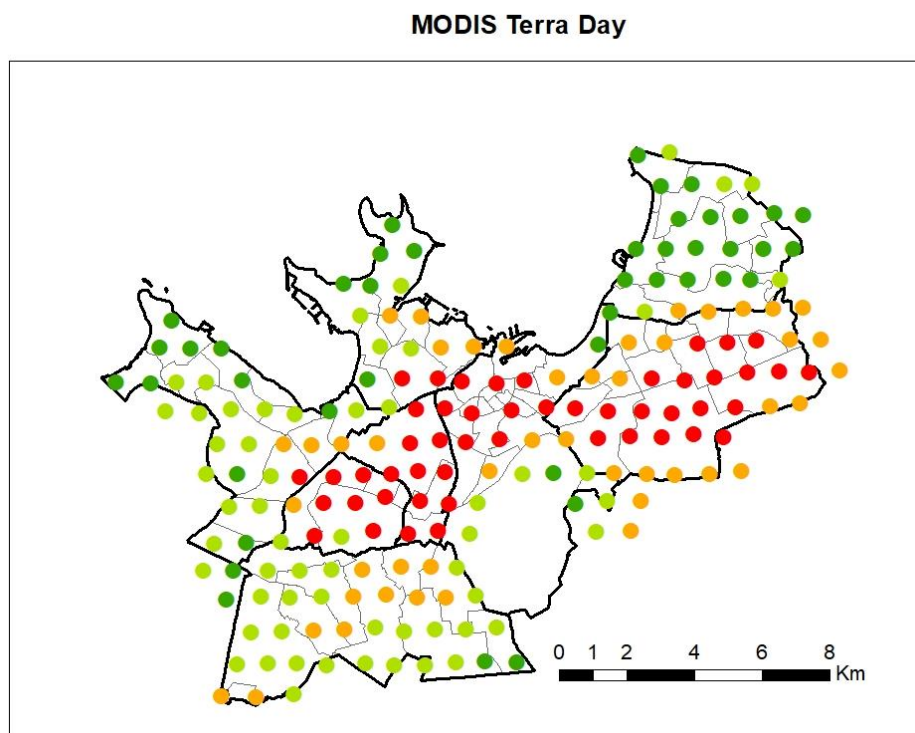


Joonis 4.1. Käesolevas töös kasutatud MODIS pinnatemperatuuri punktide jaotumine Tallinnas ja selle lähimbruses.

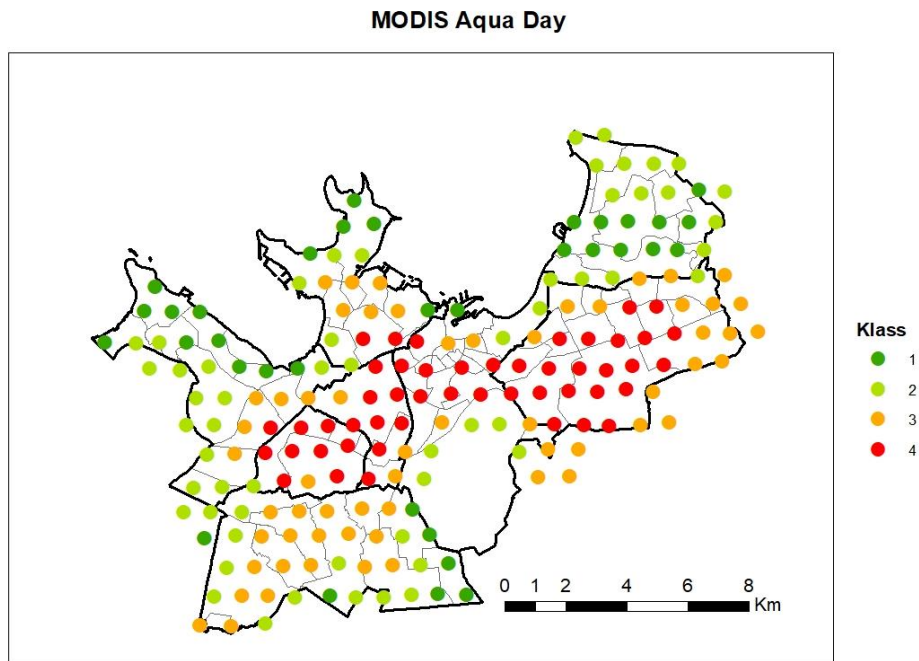
MODIS päev

MODISE andmete interpreteerimisel tuleb eelkõige tähele panna, et tegemist on meetodika esmase katsetamisega ning tegelikult ei pruugi andmete erinevuste tõttu siinsed pildid olla omavahel võrreldavad. Sel põhjusel on ka temperatuuriklasside kirjeldus jäetud üldsõnaliseks (külm-kuum), kuna konkreetsete arväärtuste esitamine poleks teaduslikus mõttes korrektne ja tooks kaasa tulemuste väärtõlgendamist. Pigem tuleb jooniseid võtta kui teatavat taustainformatsiooni. Ometi annavad need 1 × 1 km pildid üllatavalt häid ja lihtsasti selgitatavaid tulemusi.

MODIS Terra pilt (joonis 4.2) iseloomustab Tallinna olukorda kuumadel suvehommikutel (kuna puudusteta andmereal esindavad pilvituid ilmasid, siis võib eeldada, et tegemist on ühtlasi ka kuumade ilmadega). Oodatavalt joonistuvad kuumade linnaosadena välja Kesklinna, Mustamäe, Kristiine ja Lasnamäe. Üsna selgelt tulevad välja kõik probleemsed asumid, kus on kas korterelamutest või siis lao- ja tootmishoonetest kujunenud laialdased kuumasaared. Rannikuäärsed ja Ülemiste järve lähedased alad on suhteliselt jahedamad, samuti nii-öelda rohelisemad linnaosad: Piritä, Haabersti, Põhja-Tallinn ja ka Nõmme. Viimases kuulub küll üllatuslikult suur osa territooriumist „sooja“ klassi.



Joonis 4.2. 2021. a. suvel MODIS Terra poolt päeval (umbes kl 10:30 ja 12:30 vahel) tehtud temperatuurimõõtmiste klassid Tallinnas ja selle lähiümbruses. Klassid jaotuvad vastavalt keskmisele temperatuurile „külmaks,“ (klass 1) „jahedaks,“ (2) „soojaks“ (3) ja „kuumaks“ (4).



Joonis 4.3. 2021. a. suvel MODIS Aqua poolt päeval (umbes kl 11:30 ja 13:30 vahel) tehtud temperatuurimõõtmiste klassid Tallinnas ja selle lähiümbruses. Klassid jaotuvad vastavalt keskmisele temperatuurile „külmaks,“ (klass 1) „jahedaks,“ (2) „soojaks“ (3) ja „kuumaks“ (4).

MODIS Aqua lendab üle Tallinna umbes lõuna ajal ja täiesti oodatavalt on „kuuma“ klassi kuuluvate alade hulk suurenenud. Vastavalt on ka vähenenud „külmade“ ja „jahedate“ pikslite hulk. Rannikule jäävad alad on nüüd mõnevõrra kontrastsemalt „külmad“ ja vähemalt „sooja“ klassi kuuluvad enamuse elurajoone. Erandiks on osa Pirita ja Haabersti metsasematest asumitest.

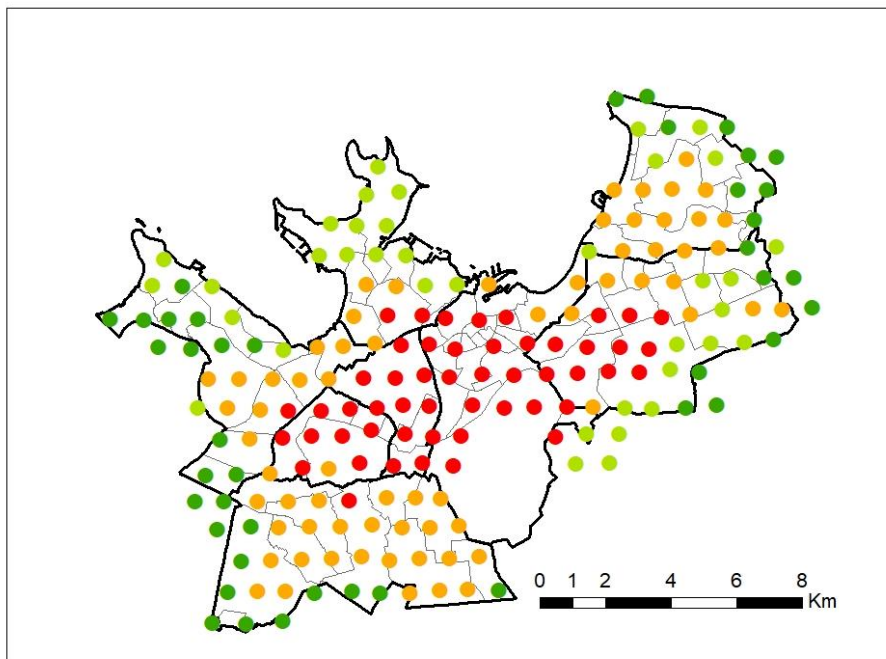
MODIS öö

Öiste temperatuuride kommentaariks peab üle kordama, et me kasutame suhtelist skaalat. Öö puhul on „kuuma“ klassi temperatuurid madalamad, kui päevase „külmade“ klassi omad. Kui tuua selle kinnituseks mõned arvulised näitajad, siis päeval on „kuuma“ klassi keskmine temperatuur olenevalt satelliidist suurusjärgus 33-34 ja „külmade“ u 25 kraadi. Öine „kuum“ jääb olenevalt mõõtmise kellaajast vahemikku 16-19 ja „külm“ 13-16 kraadi.

MODIS Terra (joonis 4.4) iseloomustab hilisõhtust olukorda mil linnaruum ei ole jõudnud veel täielikult maha jahtuda. Suhteliste temperatuuride skaalal on linna kese ja enamuse asumeid „kuumad“. Ent märgatav on ka juba Ülemiste järve mõju – kuna veekogud jahtuvad suhteliselt aeglasemalt, siis on ka järve ümbruse alad oluliselt soojemad, kui linna keskmine. Eriti selgelt tuleb see välja peale keskööd tehtud MODIS Aqua pildilt (joonis 4.5). Öösel on enamuse veekogude äärsed alad ja mere rand kontrastselt soojemad, kui linn üldiselt. Männikul tuleb välja isegi Raku järve mõju.

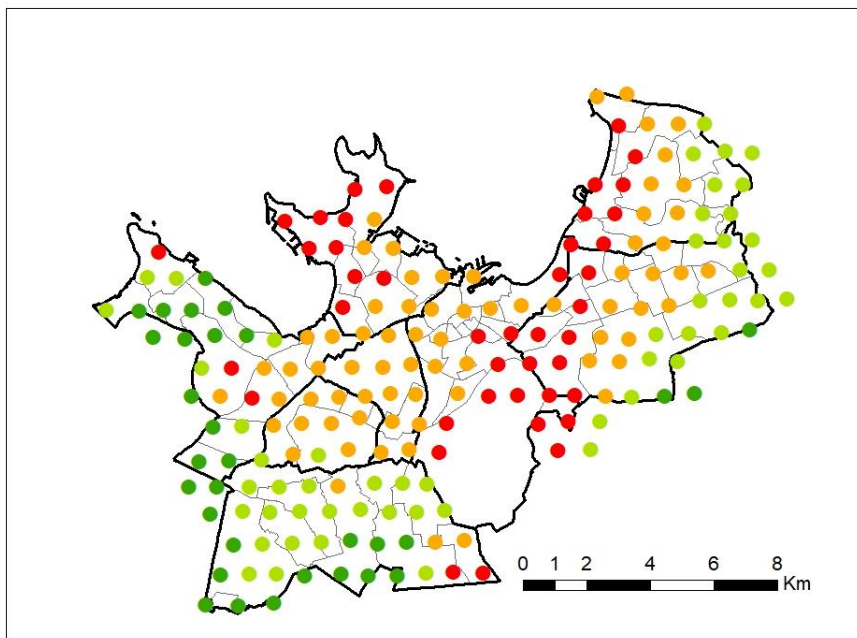
Inimtervise seisukohalt võib Tallinna öist üldpilti pidada positiivseks. Juba paar tundi enne keskööd hakkab temperatuuripildis tähtsat rolli mängima mere ja Ülemiste järve mõju. See tähendab, et linna tehispinnad jahtuvad väga kiiresti. Paar tundi peale keskööd on mere ja järve soojendav mõju valdav.

MODIS Terra Night



Joonis 4.4. 2021. a. suvel MODIS Terra poolt öösel (umbes kl 20:30 - 22:30 vahel) tehtud temperatuurimõõtmiste klassid Tallinnas ja selle lähiumbruses. Klassid jaotuvad vastavalt keskmisele temperatuurile „külmaks,“ (klass 1) „jahedaks,“ (2) „soojaks“ (3) ja „kuumaks“ (4).

MODIS Aqua Night



Joonis 4.5. 2021. a. suvel MODIS Aqua poolt öösel (umbes kl 00:00 - 3:00 vahel) tehtud temperatuurimõõtmiste klassid Tallinnas ja selle lähiumbruses. Klassid jaotuvad vastavalt keskmisele temperatuurile „külmaks,“ (klass 1) „jahedaks,“ (2) „soojaks“ (3) ja „kuumaks“ (4).

Võib küll öelda, et ka öisel pildil (joonis 4.5) joonistuvad selgelt välja valdavalt paneelmajadest koosnevad asumid, kuna need kuuluvad enamasti „sooja“ klassi. Ent siin tuleb arvestada, et selle klassi keskmine temperatuur on u. 15 kraadi. See on teema, mille üle tasuks tulevikus diskuteerida kuna siin demonstreeritavad temperatuurid on suure ajalise ja ruumilise keskmistamise väljundid. Kahjuks pole meil kasutada öö kõige jahedama osa (kl 4-6) andmeid, et vaadelda temperatuurimuutuste edasist dünaamikat. Samuti, nagu juba korduvalt mainitud, puudub meil maapealne vaatlusvõrk, millega satelliitandmeid võrrelda.

Arutelu

Järgnevalt võetakse kokku ja arutletakse mõnede küsimuste üle, mis käesoleva projektitöö juures töökoostajate vahel kõige rohkem diskussioone tekitasid. Tegemist ei ole teaduslikus mõttes aruteluga, kus viidatakse autoriteetsetele allikatele, vaid pigem mõttevahetus teemal, mida käesolevast analüüsist arvata ja kõrva taha panna.

Kuumadest katustest

Käesolevas töös on korduvalt viidatud Tallinna tööstus-, lao- ja ärihoonete ekstreemselt kuumadele lamekatustele. Lisas 1 on neist toodud eraldi nimekiri ja sealt näeme, et mõningal juhul ulatuvad nende pinnatemperatuurid 50 °C. Seega on tegemist olulise ja mis kõige tähtsam, satelliidifotodest väga silmatorkava probleemiga.

Järgnevalt üritatakse lahata katuste teemat erinevatest aspektidest. „Rehepapilikult“ väljendudes on peamiseks küsimuseks, kas ja kui palju peaks nende kosmosepiltidelt paistvate „kuumade täppidega“ tegelema. Argumente, mis toetavad nii vastust „jah, peab tõsiselt võtma“ kui ka „see pole tegelikult probleem,“ jätkub.

Kõigepealt vaatleme „pole probleemi“ poolt. Esiteks moodustavad need „täpid“ linnast tõesti vaid tühise osa – 2021. a. eriti kuumade suve seisuga u. 1,5% linna pindalast. Tavalisel suvepäeval on probleemsetelt kuumi katuseid kümnekond. Enamuses koonduvad need lamekatused väga konkreetsetesse ja selgesti piiritletavatesse lao- ja tööstuspiirkondadesse, kus sisuliselt ei ela ühtegi inimest (nt Laki tänava piirkond). Seega ei tohiks need mõjutada kellegi heaolu ning võimalikku mõju nendes piirkondades töötavatele inimestele võib küüniliselt lähenedes vaadelda kui iga töötaja isiklikku riski. Mõnevõrra teisiti on olukord elamukvartalite vahele peitunud kaubanduskeskuste ja suurte spordihoonetega. Nende puhul pole aga üksüheselt selge, kuidas katusetemperatuur mõjutab ümbritseva ala õhutemperatuuri. Teatavasti tõuseb soojusvoog ülespoole, mistõttu ei tohiks see mitmeid meetreid allpool asuva kõnnitee kohal olevat õhku mõjutada. Paljude „kuumade täppide“ ümber on küllaltki lai kõrge temperatuuriga pikslite rõngas, ent satelliidifotode järgi otsustades on need pigem põhjustatud tootmis- ja eriti kaubandushoonete laiadest parkimisplatsidest. Ärilises kontekstis saab kuumasid parkimisplatse ja katuseid vaadelda kui äririski. Kui parkimisplats muutub nii tuliseks, et inimesed ei taha seal autost välja tulla, siis hakkavad ärid kliente kaotama. Kuum katus hakkab paratamatult kuumutama siseruume ning sellest suurenevad kulutused jahutussüsteemidele ja vastavalt paisub ka elektriarve.

Kuumade lamekatuste vastu võitlemiseks on samuti hulga argumente. Esiteks võib tuua globaalse aspekti – lamedad katused kiirgavad just seda sama soojuskiirgust, mis jääb tänu kasvahoonegaaside kontsentratsiooni kasvule atmosfääri lõksu. Võib küll vaielda, kuivõrd üks „täpp“ kliimasoojenemisele kaasa aitab, kuid üldiselt vaadeldakse linnasid kui ühtesid tähtsamaid kasvahoonegaaside ja soojuskiirguse allikaid. Kuumad katused annavad kindlasti oma osa linnade kohalt kaugemale kanduva õhu soojenemisele. Seega ei räägita tänapäeval enam lihtsalt linnade soojussaare efektist vaid ka nende temperatuure tõstvast mõjust linnade ümbruses. Kindlasti tõstavad need „kuumatäpid“ temperatuuri linnakeskkonnas endas. Seda nii satelliidilt vaadatuna, kui ilmselt ka n.ö. jalakäija kõrgusel. Tegelikult ei tõuse katustelt lähtuv kuumavoog ühtse sambana kõrgematesse õhukihtidesse, vaid muuhulgas käivitab koos ümbritsevate tänavate võrgustiku ja mikroreljeefiga keerulise

turbulentsisüsteemi. Kas ja kuidas konkreetsed kuumad katused mõjutavad ümbritsevate alade temperatuure, tuleks selgeks teha välitööde ja modelleerimisega.

Kui me hindame linna keskmist temperatuuri satelliitpildilt, siis ühelt poolt on väga kuumasid katuseid tõesti suhteliselt vähene hulk ja Tallinna kontekstis ei mõjuta need kogu linna keskmist temperatuuri kuigi palju. Kui 19. juunil 2021 poleks Tallinnas üle 45 kraadiseid pindasid, siis olnuks keskmine pinnatemperatuur madalam vaid u. 0,3 kraadi võrra. Sageli on need katused aga kuumasaare südameks ja võib eeldada, et koos katusetemperatuuri langetamisega langeb ka kuumasaare keskmine. Tallinnas on katuste mõju kohta ümbritsevatele mikrokliimale mitmeid huvitavaid näiteid, mida tuleks tulevikus edasi uurida. Näiteks eelpool mainitud Salme kultuurikeskuse „külmasaar“ (joonis 1.9). Huvitav näide on 2020. aastal Tallinnas avatud DEPO kauplus-ladu (Veskiposti tn 1). Vastupidiselt teistele hiiglaslikele lamekatusega hoonetele ei ole see muutunud kohalikuks kuumasaareks. Tõsi, 2021. a. kuumalaine ajal olid selle lähiümbruse temperatuurid kõrgemad, kuid pigem lisandunud tehispindadest (parkimisplatsidest) kui heledat värvi ja päikesepaneelidega kaetud katusest.

Paljude kuumade lamekatuste kõige kuumemaks osaks on kohad, kuhu on paigutatud jahutus- jms seadmed ja nende väljalaskevad. Seda on satelliidipiltidelt kõige selgemalt märgata just mitmete kaubanduskeskuste puhul. Just hoonete enda jahutamise seisukohalt on tumedad lamekatused lõppematu ring – kuumal päeval hakkab tuliseks köetud katus siseruume soojendama, mis omakorda nõuab tugevamat jahutamist, mille tulemusel kuumenevad katusel olevad seadmed ning mis omakorda annavad oma panuse katuse kuumenemisele. Seda võib tõesti võtta kui ettevõtte äririski. Ent kui arvestada, et kuumal päeval suureneb jahutusvajaduse suurenemise tõttu hüppeliselt ka üldine energiatarbimine, siis sellest aspektist vaadatuna pole tegemist vaid asutusesisesega probleemiga. Energia kokkuhoiu vaatevinklist võib nii lamekatusest kui ka seadmetest emiteeruvat soojuskiirgust võtta kui raiskamist kuna füüsikalises mõttes on tegemist energiaga. See on küll madalakvaliteediline, kuid tänapäevaste tehnoloogiate toel korduvkasutav.

Kuumade katuste vastu võitlemisel peab leidma majanduslikult ja igale antud koha mikrokliimale sobiva kompromissi. Kindlasti peaks Tallinnas edendama rohekatuste ja nn külmade katuste ideid ning nende positiivseid külgi tutvustama ettevõtjatele ja kinnisvara arendajatele. Samas tuleb tõdeda, et lühikeses perspektiivis on ettevõtjale klassikalise lamekatuse rajamine odavam, kui uute ideedega katsetamine. Küll aga peaks linn ise üritama siin trendi luua ja uute spordi- või sotsiaalrajatiste projekteerimisel küsima, kuidas antud lahendus hakkab mõjutama ümbruskonna mikrokliimat. Kuumade lamekatuste vastu võitlemisel on veel üks kari, millele on korduvalt takerdunud ka käesoleva töö koostajad. Seda kivi otsa põrutamist on kohata ka teistes sarnastes linnakliima analüüsides, mis kasutavad satelliitandmeid. Nimelt on need „kuumad täpid“ kosmosepiltidelt sedavõrd silmatorkavad ja võiks isegi öelda, et pimestavad, et on kerge sattuda nende lummusesse. Nende kõrvalt on väga raske näha üldist pilti. Sestap oleks linnakodanike üldise heaolu seisukohalt mõistlikum „kuumade täppide“ vastu sõdimise asemel keskenduda linna, kui süsteemi, haavatavuse ja kuumalainete mõju vähendamisele.

Uusasumitest

Uusasumeid tuleks täiesti eraldi uurida, kuna arvestades Tallinna praeguseid rahvastikutrende, on ka lähikümnenditel oodata uute elamurajoonide tekkimist. Viimase 20 aastaga on Tallinnasse rajatud hulga väga erinäolisi elamukomplekse, et nende seast leiab kindlasti kuumalainete ja

kliimamuutustega kohanemise aspektist nii positiivseid kui negatiivseid näiteid. Nende näidete analüüs oleks Tallinnale, kes konkureerib ümbruskonna valdadega uute kodanike ehk sisuliselt maksutulu suurenemise osas, eluliselt oluline. Kui keskkonnatingimused pole linnas piisavalt rahuldavad, siis hakkavad kodanikud linnast lahkuma. Tallinlased ise muutuvad üha keskkonnateadlikumaks ning jõukamaks, mis tähendab seda, et ollakse altimad sobivamat elamisaset leidma. Seda siis kas linna enda sees või hoopis selle ümbruses.

Käesolevas töös on mainitud mitut uusasumit, mis paistavad satelliidipiltidelt silma kui kuumasaared. Kuid tegelik pilt on palju kirjum ning sestap on uusasumid keerulised uurimisobjektid. Üks probleem on näiteks selles, et sageli rajatakse uusi maju juba olemasolevate elamurajoonide sisse. See tundub olevat kõige levinum just Kesklinna linnaosas. Kuidas selline tihendamine mõjutab juba olemasoleva kuumasaare omadusi, on ainult satelliidipildi alusel otsustades keeruline öelda. Mõnede näidete puhul võib tõesti öelda, et uued elamud on kuumasaart võimendanud. Põhjuseks on siin tehispindade pindala suurenemine, kõrghaljastuse puudumine ja väga sageli ka lamekatused, mis küll on Eesti kliimasse sobimatud, kuid endiselt arhitektide ning kinnisvaraarendajate lemmikud. Arhitektuuriliste omapärade seisukohast oleks eraldi huvitav uurimisobjekt musta värvi hooned. Must ja tumepruun on viimasel kümnendil samuti muutunud moevärviks.

Käesolevast analüüsist tuleb välja, et mitmetes uusasumites on haavatavus üsna kõrge ja märkimisväärselt paljud neist aladest kuuluvad suure mõju klassi. Raske on aga öelda, kas seda võib pidada uusasumite üldiseks omaduseks ning millest see on tingitud. Mõju on sisuliselt looduslike ja sotsiaalsete tingimuste kombinatsioon ning seega peaks keskkonnauurijate kõrval uusasumite küsimust analüüsima ka sotsiaalteadlased.

„Mäed“

Tavaliselt mõistetakse „mägede“ all nõukogude ajal Tallinnasse rajatud mitmekorruseliste paneelmajade rajoon. Stereotüüpiliselt võib öelda, et need kõik on kuumalainete ajal kuumasaared. Ka tavalistel suvepäevadel on tegemist keskmisest soojemate piirkondadega. Põhjuseks tehispindade suur osakaal ning lamekatused, mis on kaetud musta tõrvapapiga.

Ent erinevate kuumalainete võrdlus näitab, et asi ei pruugi olla nii mustvalge. Näiteks Mustamäel on mitmeid kvartaleid, kus isegi 2021. aasta suvel ei tõusnud temperatuurid ülemäära kõrgeks. Pisut utreerides võib öelda, et kuumalaine ajal oli Mustamäe mändide vahel meeldivam, kui mõnes uusarendusrajoonis. Vähemalt osaliselt võib seda erinevust seletada kõrghaljastusega. Mustamäe majade vahel on viimase 50-60 aastaga kasvanud puud, mis pakuvad palavaga varju ja hoiavad satelliidilt vaadatuna pinnatemperatuurid suhteliselt madalad.

Korruselamute rajooni mikrokliima vajab kindlasti tulevikus põhjalikumat uurimist, kuna see on palju keerulisem küsimus, kui ainult katused ja puud. Tõenäoliselt mängivad siin rolli teatud pinnaseomadused, mullaniiskus jne. Üksnes kosmosepiltide põhjal on üsna keeruline seletada, miks ühe hoovi kohal on kuumasaar ja kõrval olevas mitte. Eriti värvikalt tulevad erinevused välja Lasnamäel, kus 2021. aasta suve kuumasaar kattis väiksema ala, kui mõnevõrra jahedamal 2014. aastal.

Ka „mägede“ puhul tuleb silmas pidada, et seal on kuumalaine mõju hästi suur. Jällegi tuleks edaspidi täpsemalt analüüsida neid põhjusi, miks see nii on ja milline külg – kliimaatiline või sotsiaalne – omab selles kandvamat rolli.

Kuumasaarestik

Soojusaarte geograafia analüüsimise puhul on kõige kriitilisemaks need parameetrid, mille alusel saari defineerida. Tavaliselt on varasemates töödes võetud lävendiks satelliidipildilt paistva pinna temperatuur 30 °C. Kõik pinnad, mille temperatuur on 30 kraadi või kõrgem, on tunnistatud soojusaareks. Sellisel lähenemisel on omad positiivsed ja negatiivsed küljed. Positiivseks on see, et ühtse formaalse piiri kasutamine on kõigile mõistetav. Analüüsi mõttes muutub olukord keeruliseks siis, kui on vaja võrrelda erinevate omadustega kuumalaineid. 2021. a. näitel oli enamuse Tallinna pinnatemperatuur üle 30 kraadi ning seda peamiselt seetõttu, et eelnevate kuumalainetega võrreldes olid 2021. aastal ka ilmajaamas mõõdetavad õhutemperatuurid märkimisväärselt kõrgemad.

Siin kasutatud suhteline skaala (linna keskmine pinnatemperatuur + standardhälve) pole samuti ideaalne, kuid oli projektis antud ülesande täitmiseks piisav. Vaatamata erinevate meteoroloogiliste omadustega päevadele, joonistusid selle lähenemise alusel välja küllaltki sarnased kuumasaared. Kuumasaarte ülekattuvus oli üllatavalt suur. Nendest kuumasaartest moodustub Tallinnale iseloomulik kuumasaarestik. Arhipelaagi tuumadeks on aga ulatuslikud tööstus-, lao- ja kaubanduspiirkonnad, mis asuvad suhteliselt kompaktsel aladel (nt Järvevana tee, Laki tn kvartalid jne). Need on oma kuumade pindadega Tallinna üldpildis niivõrd domineerivad, et varjutavad kõik teised saared ja saarekesed.

Siiski, kui lähtuda kuumalaine mõju vähendamisest, siis tuleks neid suuri tööstusalasid vähemalt esialgu ignoreerida ja täpsemalt uurida neid kohti, kus kuumasaar katab elamurajoone. Veelgi enam – planeerimistöös peaks lähtuma tavalise suvepäeva pildist. Siin analüüsitud 2014. 2018. ja 2021. aasta kuumalained on ekstreemsed olukorrad, mille puhul peab olema valmis kriisijuhtimise tasemel. Mõju vähendamise seisukohalt peaksid sellisel juhul rakenduma sotsiaalabi ja meditsiini meetmed. N.ö. kõvade meetmete rakendamist (nt haljastuse muutmise või veekogude rajamine) tuleks planeerida eelisjärjekorras aga nendele aladele, kus on ka tavalisel päeval palav.

Uurimisvajadus ja andmeallikad

Tähelepanelik lugeja märkas kindlasti, et sisuliselt iga teema ja küsimus lõppes konstateeringuga: „Seda tuleks edaspidi täpsemalt uurida.“ See on muidugi tüüpiline lause igas teadustöös, kuid teiselt poolt peab arvestama, et iga küsimuse lahendamine tekitab kümneid uusi küsimusi. See on teadusliku mõtteviisi ja teaduse arengu põhiline toimimisviis. Käesolevast tööst tuleneb kaks peamist uurimisvajaduse suunda. Esiteks peab haavatavuse analüüsi kaasama rahvastiku- ja sotsiaalteadlasi. Haavatavus on pigem sotsiaalne probleem kui klimatoloogiline või insener-tehniline. Käesolevas töös on satelliitinfo ja andmebaasidest kogutud teabe alusel kaardistatud piirkonnad, kus kuumalaine mõju on kõige suurem. Ent küsimused, kuidas need piirkonnad on kujunenud, millised tegurid on nende tekkimisel primaarsed, kuidas olukorda leevendada ja milline võib olla nende alade tulevik, vajab interdistsiplinaarset lähenemist ja koostööd erinevate teadusharude vahel.

Teiseks oluliseks teemaks, millega käesoleva töö koostajad pidevalt kokku põrkasid ja mis vajab kindlasti Tallinna linna poolset sekkumist, on meteoroloogiliste andmete puudus. Satelliitpildid on küll linnakliima analüüsiks väga head andmeallikad, kuid meil ei ole neile kõrvale pakkuda usaldusväärseid maapealseid mõõtmisi linna seest. Seetõttu me sisuliselt ei tea, mida tähendab

näiteks vanalinna kohal olev kuumasaar õhutemperatuurina vanalinna tänavatel. Me võime küll teha teiste linnade kohta tehtud vastavate uuringute alusel mõningaid oletusi, kuid neil oletustel oleks määramatus sedavõrd suur, et käesolevas töös on sellistest arvutustest loobutud.

Ehk - kuni Tallinnas ei ole maapealsete ilmajaamade võrgustikku, saab satelliitpiltide põhjal enamuse linnaruumi osas esitada rangelt võttes vaid oletusi. Maapealsete vaatlusandmete küsimusel on samuti mitu takku. Ühelt poolt tehakse Tallinnas mõõtmisi ohtralt. Internetist võib leida mitmeid koole ja hobivaatlejaid, kelle andmeid nende kodulehel *online* demonstreeritakse. Kuid nende vaatluste puhul puudub piisav usaldusväärsus ja paraku ka arhiiv, kust andmeid kätte saada. Linnasiseseid temperatuurimõõtmisi tehakse ka Tallinna ülikooli Loodus- ja terviseteaduste instituudis. Riigi Ilmateenistusel on mitu mõõtmispunkti Tallinna lähiümbruses (Tallinn-Harku aeroloogiajaam, Pirita ja Rohuneeme merejaam, Kloostrimetsa hüdroneetriajaam), kus ühtlasi mõõdetakse ka õhutemperatuuri. Ent Tallinna kesklinnas või elamurajoonides pole neist ühtegi. Pirita ja Kloostrimetsa jaamad on sedavõrd kohaspetsiifilised, et need on käesolevast tööst välja jäätud. Ka Eesti Keskkonnauurimise Keskus (EKUK) teeb mitmetes õhukvaliteedi seire jaamades õhutemperatuuri mõõtmisi, kuid Tallinnas asuvatest punktides pole ühegi andmed avalikult kätte saadavad. Varasemates töodes on kasutatud Tallinna lennujaamas tehtud mõõtmisi. Ent ka need pole avalikult Internetist kättesaadavad ja teiselt poolt on lennuväli linna maakasutuse struktuuri mõttes ikkagi erandlik maastik. Ka siin kasutatud TTÜ Füüsikainstituudi ilmajaam pole ideaalne andmeallikas, kuna selle töös esineb tõrkeid ning see pole ka n.ö. ametlik jaam.

Juba aastaid on avalikult räägitud, et Tallinna-sisese andmenälja leevendamiseks võiks ilmanäitajaid mõõta EKUKi linnasisestes jaamades, eelkõige Liivalaia mõõtepunktis. Õieti peaks selles Tallinna ühes tähtsamas liiklussõlmes asuda Ilmateenistuse automaatjaam. Kuid siiski võiksid ka EKUKi Rahu tn ja Väike-Õismäel asuvas jaamas võiks olla termomeeter. EKUKi Loomaaia (mõõtepunkt Zoo) mõõtetorni algne ilmavaatlusprogramm oli linnakliima seisukohalt ideaalilähedane, kuid paraku pole sealt juba pikemat aega Interneti ilmutatud mingeid temperatuurandmeid. Seega, usaldusväärseid ilmaandmeid linna kohta, kus elab ligi kolmandik Eesti rahvastikust lihtsalt pole.

Hiljutised uudised Tallinnas tänavate äärde paigaldatud 22 nutikast ilmajaamast on suund õige tee poole, kus operatiivselt saabuvad teadmised keskkonnatingimuste muutustest aitavad linna juhtida. Ent selliseid jaamasid oleks vaja oluliselt rohkem, nendest moodustuv süsteem peab olema järjepidev ja jätkusuutlik, neist kogunevaid andmeid peab pidevalt salvestama ja aastakümneid säilitama ning nende põhjal tekitama ka analüüsisüsteemi. Arvestades Tallinna jätkuvat kasvu peaks linn kaaluma iseseisva ilmateenistuse loomist.

Kokkuvõte

Käesoleval tööl oli neli peamist eesmärki: kaardistada 2021. aasta kuumalainetest tekkinud soojussaari Tallinnas, võrrelda 2021. aastal kujunenud olukorda 2014. ja 2018. aasta soojussaartega, teha elanikkonna haavatavuse analüüs ja analüüsida õiste soojussaarte kujunemist.

Esimese ülesande kohta võib kokkuvõtvalt öelda, et Tallinna linnavalitsusele esitati kaardikihid, millel on Landsat 8 poolt soojuskanalis tehtud fotode töötused. Kriitiliste lävendite meetodil eritati Tallinna soojussaared satelliidi 19. juuni 2021. a. kl 12:30 toimunud ülelennul kogutud andmete põhjal. Kuigi tegemist polnud juunikuise kuumalaine kõrghetkega, oli üle 80% Tallinna territooriumil pinnatemperatuurid kõrgemad kui 30 °C.

Teise eesmärgi kokkuvõtteks peab konstateerima, et 2021. a. kuumalaine oli palju kuumem, kui võrdluses kasutatud 2014. ja 2018. a. oma. Seda nii õhu- kui ka pinnatemperatuuride osas. Vastavalt sellele olid ka soojusaared laiemad ja võimsamad. Ent kuumasaared (s.t. antud kuumalaine kontekstis kõige kuumemad alad) langesid omavahel päris hästi kokku. See tähendab, et Tallinnas on kindlad piirkonnad, mis kuumaga muutuvad alati eriti kuumaks. Peamiselt on need tööstus-, lao-, ja ärihoonete piirkonnad kus on valdavaks musta kattega lamedad katused. Elamupiirkondades on kuumasaari suhteliselt vähe. Erandiks on mõned uusasumid, kaubanduskeskused ja spordihallid.

2014. ja 2021. aasta võrdlus haavatavuse osas näitas selgelt, et Tallinna haavatavus on kasvanud. Seda peamiselt kahel põhjusel: esiteks oli 2021. a. kuumalaine oluliselt võimsam kui 2014. a. oma ja teiseks on Tallinnas suurenenud riskirühmadesse (alla 5 aastaste laste ja üle 65. a. seenioride) kuuluvate inimeste arv. Esimesele põhjusele on lisaks kliima üldisele soojenemisele kaasa aidanud tehispindade mõningane suurenemine ja uusarendusrajoonide tekkimine Tallinnas. Teise põhjuse taga on Tallinna rahvaarvu üldine suurenemine, seda eriti Kesklinna linnaosas, kus ühtlasi on ka probleeme kuumasaartega.

MODIS andmete analüüs ei õnnestunud päris nii, nagu seda projektitaotluses ette kujutati. Üldiselt kasutatakse MODIS andmeid siin linnakliima analüüsil Eestis esmakordselt. Nende andmete eeliseks on see, et MODIS aparatuuri kandvad satelliidid (Terra ja Aqua) lendavad kumbki üle Tallinna kaks korda ööpäevas. Seega saame suhteliselt tiheda andmevoo, mis ühtlasi võimaldab analüüsida öiseid temperatuure. Puuduseks on väike lahutusvõime (1×1 km) ja ikkagi ka Eesti kliima, kus pilvitut ilma esineb harva. Seetõttu sai 2021. a. kuumade suvepäevade kohta MODIS andmete põhjal teha vaid üldisi järeldusi. Kokkuvõtvalt võib öelda, et ka MODISe päeval tehtud piltidel eristuvad Tallinnas selgelt kuumana kesklinn koos seda ümbritsevate, peamiselt korruselamutest koosnevate linnaosadega. Pirita, Nõmme ja Haabersti rohelised asumid olid sel erakordsel suvel ikkagi suhteliselt jahedad piirkonnad. Öiste temperatuuride alusel võib öelda, et linn jahtus suhteliselt kiiresti ja juba mõni tund peale keskööd oli valdavalt „kuumaks“ (suhtelisel skaalal) piirkonnaks mererand ja järvede vahetu ümbrus. Seega vähemalt MODISe ajaliselt ja ruumiliselt keskmistatud andmete põhjal ei eristunud Tallinna elurajoonides ohtlikke öiseid kuumasaari.

Kasutatud allikad

Ajaloolised (2021). Ajaloolised ilmaandmed. Riigi Ilmateenistuse koduleht. <http://www.ilmateenistus.ee/kliima/ajaloolised-ilmaandmed/>

Eesti välisõhu kvaliteet (2021). Eesti õhukvaliteedi juhtimissüsteem. EKUK <http://ohuseire.ee/>

Füüsikainstituut (2021). Tallinna Tehnikaülikooli Füüsikainstituudi ilmajaam <http://parsek.yf.ttu.ee/ws/home>

Howard. L. (1833). The Climate of London: Deduced from Meterological Observations Made in the Metropolis and Various places Around it. London, Harvey and Darton.

Ilmateenistus FB (2021). Keskkonnaagentuur - Riigi Ilmateenistus, Facebook, <https://www.facebook.com/eesti.ilmateenistus>

IPCC (2007). Climate Change 2007, the Fourth Assessment Report.

Kaasik, M., Kallaste, T., Kimmel, V., et al. (2015). Õhusaaste käsiraamat. Tallinn: Ajakirjade Kirjastus.

Kallis, A. (2010). Eesti ilm on kuri ja kaval. Eesti Loodus 3. lk 6-11

KATI (2015). Kliimamuutuste mõjude hindamine ja kohanemismeetmete väljatöötamine planeeringute, maakasutuse, inimestevise ja päästevõimekuse teemas (KATI). Lõpparuanne. Aruande autorid: Antti Roose jt. Tartu.

Kirde, K. (1939). Andmeid Eesti Kliimast. Tartu: K. Mattiesen.

Kivimäe, J., Kõiv, L. (koost.) (1997). Tallinn Tules. Tallinna Linnaarhiivi toimetised. Tallinna Linnaarhiiv: Tallinn.

Käär, M. (2015). Tallinna soojasaare seos talviste ilmastikuteguritega. Bakalaureusetöö. Juhendaja: Oliver Tomingas. Tallinna ülikool, loodusteaduste osakond.

Marcińczak, S., Tammaru, T., Novák, J., Gentile, M., Kovács, Z., Temelová, J., Valatka, V., Kährik, A. & Szabó, B. (2015). Patterns of socioeconomic segregation in the capital cities of fast-track reforming postsocialist countries. *Annals of the Association of American Geographers*, 105(1), 183–202.

Murage, P., Hajat, S., & Kovats, R. S. (2017). Effect of night-time temperatures on cause and age-specific mortality in London. *Environmental epidemiology* (Philadelphia, Pa.), 1(2), e005. <https://doi.org/10.1097/EE9.000000000000005>

Märtens, O., Pärn, R., Služenikina, J. (2020). Soojusaarte hindamine Eesti linnades 2014-2019. Lõpparuanne. Keskkonnaagentuur. <https://keskkonnaagentuur.ee/analused-ja-indikaatorid/analused/ilmaandmed-ja-kliima>

NASA (2021). USA Riikliku Aeronautika- ja Kosmosevalitsuse satelliitpiltide arhiiv. <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Näyhä S. (2007). Heat mortality in Finland in the 2000s. *Int J Circumpolar Health*. 2007 Dec;66(5):418-24. doi: 10.3402/ijch.v66i5.18313.

Oke, Timothy R. et al. (2017). *Urban climates*. Cambridge University Press

Orru, H.; Lanki, T.; Forsberg, B. et al. (2015) Tervis. Kliimamuutuste Mõjude Hindamine ja Kohanemismeetmete Väljatöötamine Planeeringute, Maakasutuse, Inimtervise ja Päästevõimekuse Teemas (KATI); Roose, A., Ed.; Tartu Ülikool: Tartu, Estonia, lk. 162–252.

Pärli, M. (2021). Kuumalaine tõi juulis liigsuremuse. <https://www.err.ee/1608312332/kuumalaine-toi-juulis-liigsuremuse>

Rekker, K. (2013). 2010. a erakordselt kuum suvi Eestis ja selle mõju rahvastiku suremusele. Juhendajad Ene Indermitte Astrid Saava; Tartu Ülikool, Arstiteaduskond, Tervishoiu instituut, Keskkonna- ja töötervishoiu õppetool.

Rekordid (2021). Rekordid, õhutemperatuur. Riigi Ilmateenistuse koduleht <http://www.ilmateenistus.ee/kliima/rekordid/ohutemperatuur/>

Robine, J-M., Cheung, S.L.K., Le Roy, S., et al., (2008). Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *Comptes Rendus Biologies* 331 (2): 171–178.

Roose, A. (2015). Kliima muutub – kuidas koheneda? Roose, A. (Toim.). Kliimamuutustega kohanemine Eestis – valmis vääramatuks jõuks? (6–19). . Tartu: Tartu Ülikool. (Publicationes Instituti Geographici Universitatis Tartuensis; 112).

Ruuhela R., Hyvärinen O., Jylhä K. (2018) Regional Assessment of Temperature-Related Mortality in Finland. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15:3, pages 406.

Sagris, V., Sepp, M., Gauk, M. (2015). Kuumalained ja soojussaared – Tallinna näide. Kliimamuutustega kohanemine Eestis – valmis vääramatuks jõuks?. Toimetaja: Roose. A. Publicationes Instituti Geographici Universitatis Tartuensis 112, 68–78.

Sagris, V., Sepp, M. (2017). Landsat 8 TIRS Data for Assessing Urban Heat Island Effect and its Impact on Human Health. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 14 (12), 1–5. DOI: 10.1109/LGRS.2017.2765703.

Sagris, V., Sepp, M., Buo, I. N. K (2020). Soojussaarte ulatuse levik ja trend Tallinnas aastatel 2014 – 2018. <https://www.tallinn.ee> › Tallinna_soojussaared2020

Saava, A., Rekker, K., Indermitte, E. (2015). Äärmusliku kuum suvi (sh kuumalainete) mõju rahvastiku suremusele. *Eesti Arst*, 94 (5), 288–293.

Sepp, M. (2015). Kliimamuutustega kohanemise klimatoloogilised aspektid. Antti Roose (Toim.). Kliimamuutustega kohanemine Eestis - valmis vääramatuks jõuks? (20–37). Tartu Ülikooli Kirjastus. (Publicationes Instituti Geographici Universitatis Tartuensis; 112).

Suvi (2021). Keskkonnaagentuur, Riigi Ilmateenistus <https://storymaps.arcgis.com/stories/8bc2e0cbf0944eccb5802deefd4d782f>

Tallinn (2021). Tallinna elanike arv. Tallinna kodulehekül. <https://www.tallinn.ee/est/Tallinna-elanike-arv>

Tammel, J. (2019). Tallinna soojasaare muutlikkus ja seda mõjutavad tegurid. Bakalaureusetöö. Juhendaja: Oliver Tomingas. Tallinna ülikool, keskkonnakorralduse õppekava.

Tarand, A. (1976). Urban-climatology investigations in Estonia. *Estonia. Regional Studies. Academy of Sciences of the Estonian S.S.R., Estonian Geographical Society. Tallinn.* 45-56.

Tarand, A. (1986). Õhutemperatuuri ja sademete territoriaalne jaotus Tallinnas. Tallinn: Eesti NSV Teaduste Akadeemia.

Tarand, A. Chelchowski, V. (1974). Palavad (troopilised) ööd Eestis. Eesti Geograafia Seltsi aastaraamat 1971-1972 lk 25-41. (vene keeles).

Tiit E.-M., Maasing, E. (2016). Residentsuse indeksi rakendamine rahvastikustatistikas. <https://www.stat.ee/sites/default/files/2020-12/Residentsuse%20indeksi%20rakendamine%20rahvastikustatistikas%20ET.pdf>

Tomingas, O., Käär, M. (2016). Tallinna soojasaare seos talviste ilmastikuteguritega. Eesti Geograafia Seltsi Aastaraamat (toim. Järvet, A.) 41. 64-80.

Vaatlus (2021). Riigi Ilmateenistuse vaatlusandmed. Riigi Ilmateenistuse koduleht. <http://www.ilmateenistus.ee/ilm/ilmavaatlused/vaatlusandmed/>

Vaatlusandmed (2021). Riigi Ilmateenistuse vaatlusandmed kaardi kujul. Riigi Ilmateenistuse koduleht. <http://www.ilmateenistus.ee/ilm/ilmavaatlused/vaatlusandmed/kaart/>

Õispuu, T.-M. (2019). Kuumalained Eestis aastail 1951-2018. Eesti Geograafia Seltsi aastaraamat. Nr 44. lk 93-110

Ööpäevaandmed (2021). Riigi Ilmateenistuse koduleheküljel. <http://www.ilmateenistus.ee/ilm/ilmavaatlused/vaatlusandmed/oopeavaandmed/>

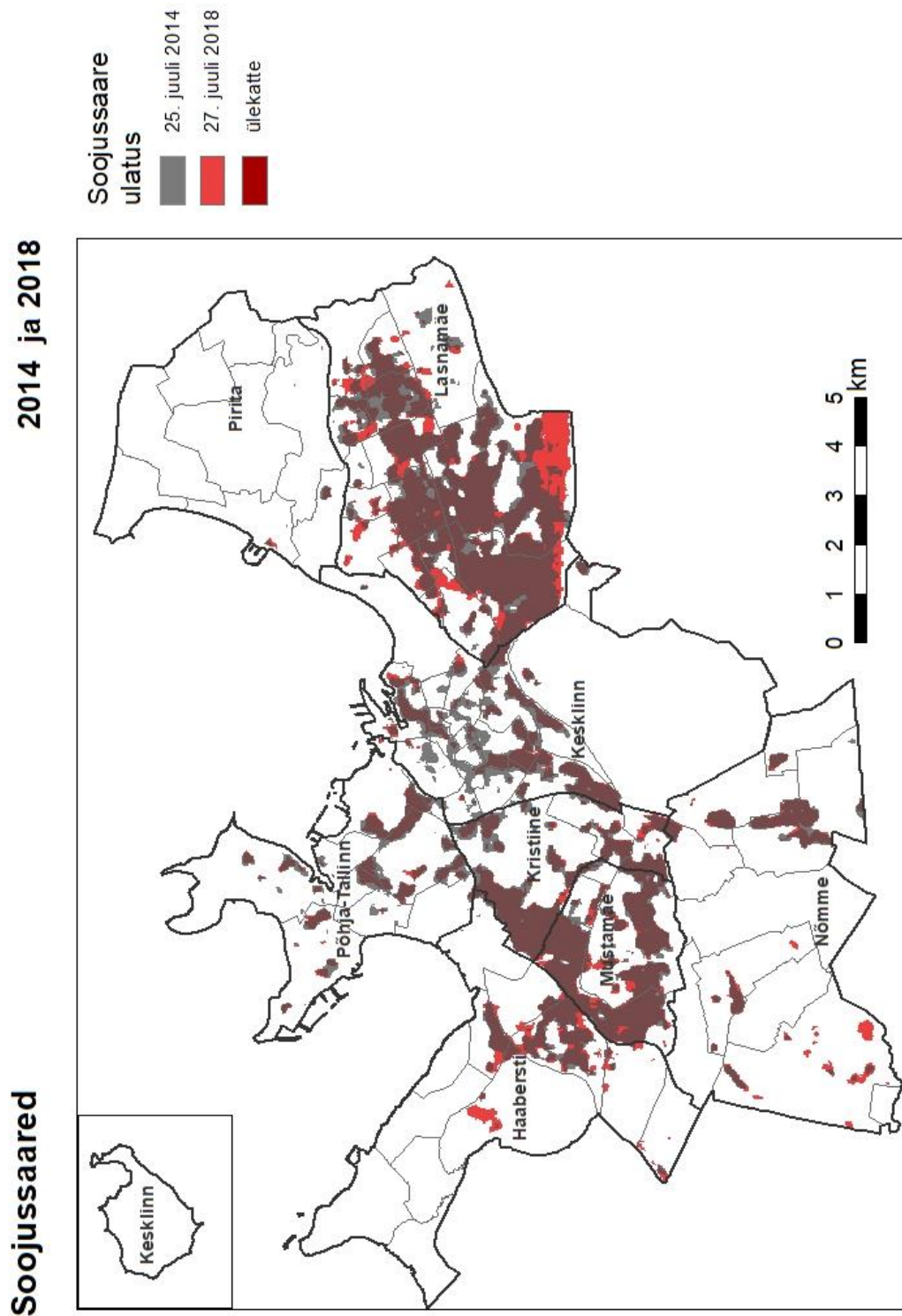
Lisa 1. Loetelu objektidest ja piirkondadest, mille pinnatemperatuur oli 19. juuni 2021. a. keskpäeval kõrgem kui 45 °C. Lahtris „Tegelik temperatuur“ on antud objekti temperatuuripikslite kõrgeim väärtus.

NR	Linnaosa	Aadress	Objekt	Tegelik temperatuur °C
1	Põhja-Tallinn	Paljassaare tee 30	Paljassaare Kalatööstus, AS	46,1
2	Põhja-Tallinn	Paavli 4/Kopli 35C	Autoteeninduste ja ärimajade kompleks	45,7
3	Põhja-Tallinn	Paavli 3/Kopli 33	Ärihoonete kompleks	45,5
4	Põhja-Tallinn	Volta tn 1-4	Volta kvartal	46,6
5	Põhja-Tallinn	Telliskivi tn 60/3	Telliskivi loomelinnak	46,1
6	Kesklinn	Ahtri tn 9 – Lootsi tn 6	Nautica ostukeskus ja SuperAlko pood koos nende vahele jäävate Lootsi tn hoonetega	47,8
7	Kesklinn	Gonsiori tn 2/Kaubamaja tn 1	Tallinna kaubamaja vanema osa katus	45,2
8	Kesklinn	Vesivärava 37	Torupilli Selver	45,2
9	Kesklinn	Pirita tee 28	Eesti Näituste messikeskus	45,3
10	Kesklinn	Viadukti tn 42	Lao- ja äripindade kvartal, ESPAK AS	47,7
11	Kesklinn	Töökoja tn 3	Ärimaja	45,2
12	Kesklinn	Türi tn 10d	Äri- ja laohoone, Mööblifurnituur ja Surfshop	46,2
13	Kesklinn	Pärnu mnt 139c	Ärihoonete kvartal, Spordiklubi Sparta maja	46,6
14	Kesklinn	Kanali tee 12a	Tootmis- ja laohooned	47,5
15	Nõmme	Pärnu mnt 238	Järve ostukeskus	48,4
16	Nõmme	Liivalao 11 ja 14	Liivalao äri- ja ladude kvartal	55
17	Nõmme	Räniliiva 5	Tootmishooned	46,5
18	Nõmme	Silikatsiidi tn 4	Tootmishooned	46,3
19	Nõmme	Silikatsiidi tn 5	Tootmishooned	45,7
20	Nõmme	Silikatsiidi tn 7	Tootmishooned	45,9
21	Nõmme	Silikatsiidi 12	Tootmishooned	45,5
22	Nõmme	Kalda tn 7c	Äri- ja laohoonete kvartal	45,5
23	Haabersti	Õismäe tee 1 – Ehitajate tee 109	Nurmenuku kaubanduskeskuse kvartal	46,6
24	Haabersti	Lõuka tn 10	Äri- ja tootmishoone, AS Reusner trükikoda	45
25	Haabersti	Haabersti nt 1	Haabersti Rimi	46,5
26	Haabersti	Paldiski mnt 104b	Saku Suurhall	45,4
27	Haabersti	Paldiski mnt 102	Rock al Mare kaubanduskeskus	45,6
28	Mustamäe	Sütiste tee 29	Maa-aluste garaažide kompleks	45,7
29	Mustamäe	Akadeemia tee 21- Tööstuspargi 1/9	Tehnopoli kvartal	45,5
30	Mustamäe	Mäealuse tn 10-12	Äri- ja laokompleks	45,9
31	Mustamäe	Kadaka tee 179	Klementi maja, Suva tehas	45
32	Mustamäe	Leiva tn 1	AS Leibur	46,3
33	Mustamäe	Leiva tn 3	Äri- ja bürookoonete kvartal	46,3
34	Mustamäe	Kadaka tee 72a/1	Autopoodide tagahoov	45,1
35	Mustamäe	Pilvetee tn 6/1	Büroo- ja teenindushoone	45,5

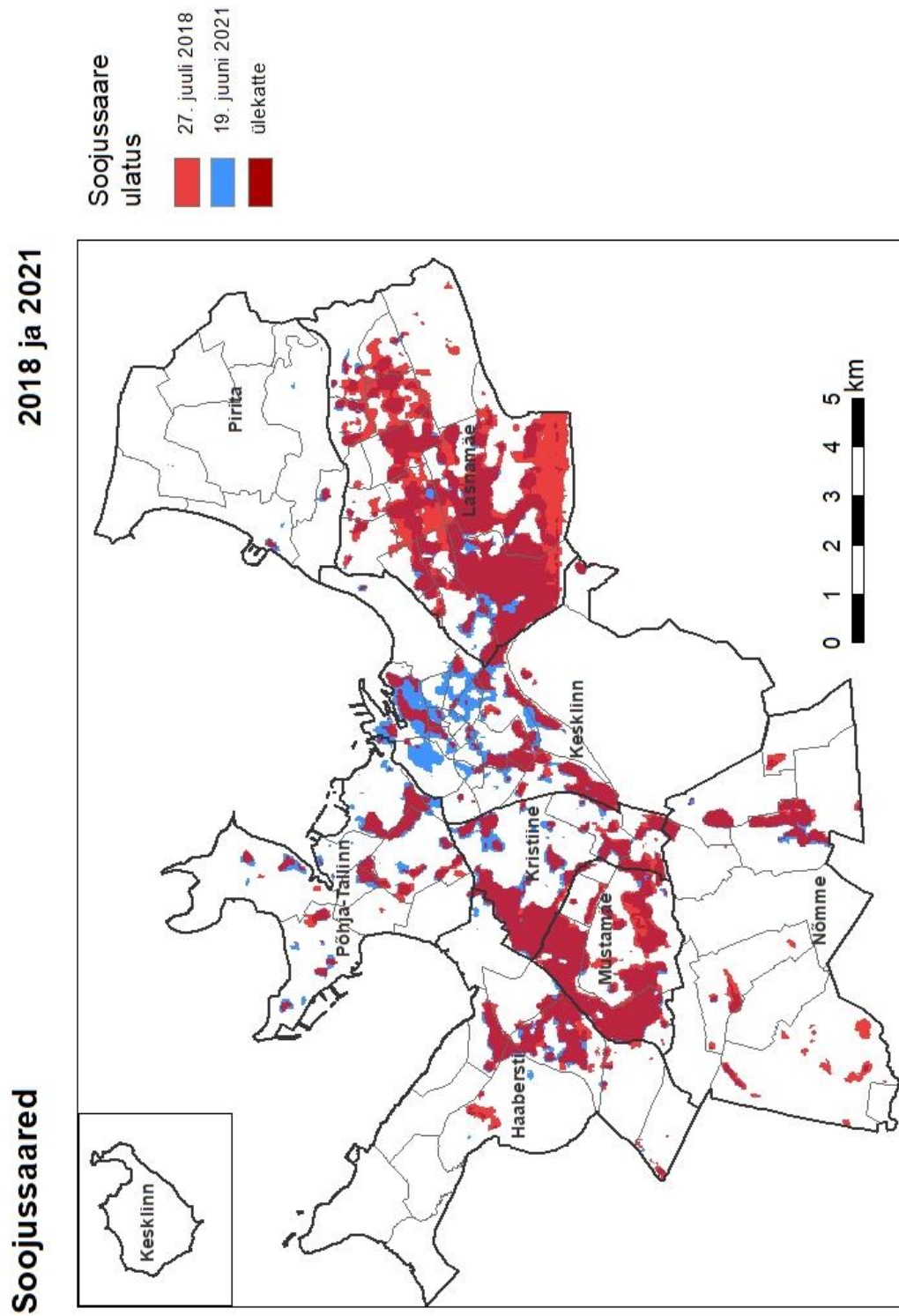
36	Mustamäe	Kadaka tee-Ehitajate tee -Kõrgepinge	Kadaka tee, Ehitajate tee ja Kõrgepinge tänava vahele jääv poodide ja äride kvartal, Kadaka Selver	48,8
37	Mustamäe	Kadaka tee – Laki tn	Laki tn ärikvartal	48
38	Mustamäe	Laki tn 26 ja 28	Trükikoda, Folger Art AS	45,7
39	Mustamäe	Laki 19	Harju Ehituse maja koos tiibhoonetega	45,3
40	Mustamäe	Karjavälja tn 4	Mustika keskus koos ümbritsevate ärihoonetega	49,3
41	Mustamäe	Rabaküla tn 10/1	Tootmis- ja ärikvartal, endise aiandi abihooned	45,5
42	Kristiine	Laki 5 kuni 16	Laki tänava AS Norma ümbruse tootmis- ja ärihoonete piirkond	49
43	Kristiine	Mustamäe tee 44a ümbrus	Tootmis- ja laohoonete ning auto- ja kummiparandusäride rajoon	45,9
44	Kristiine	Laki tn 1	Standardi maja	45,4
45	Kristiine	Liimi tn 6 – Mustamäe tee 18a	TalMac lao- ja ärihoone ning Gildhall büroohoone	46
46	Kristiine	Pirni tn 12	RUG Mööbel koos ümbritsevate hoonetega	49,1
47	Kristiine	Mustamäe tee 5b koos Mustamäe tee 6	Moller Auto salong ja büroo- ning laohooned	48,4
48	Kristiine	Endla tn 45	Kristiine Keskus	47,7
49	Kristiine	Sõpruse pst 184	Tallinna Tööstushariduskeskus, Õpilaskodu	45
50	Kristiine	Tondi tn 84/2	Audentese spordikeskus	45,3
51	Kristiine	A. H. Tammsaare tee 62	Tondi Selver	45,4
52	Kristiine	A. H. Tammsaare tee 49	Tondi K-Rauta	47,1
53	Kristiine	Tuisu tn 30	Rimi Super	45,1
54	Kristiine	Pärnu mnt 232/1	Info-Auto Järve hoone	47,2
55	Lasnamäe	Tartu mnt 87	Sikupilli ostukeskus	49,9
56	Lasnamäe	Peterburi tee 2	T1 Mall of Tallinn	46,9
57	Lasnamäe	Suur-Sõjamäe tn 4	Ülemiste ostukeskus	49,2
58	Lasnamäe	Sepise tn 1 - Tartu mnt 101	Tallinna lennujaam koos lähedaste büroohoonetega	47
59	Lasnamäe	Sepapaja tn 12	Sepapaja ja Valukoja tn vanade tootmis- ja laohoonete piirkond	47,5
60	Lasnamäe	Peterburi tee 34	ExpresPost ja seda ümbritsevad laohooned	46,6
61	Lasnamäe	Valukoja tn 27	Jeti Jäähall	47,8
62	Lasnamäe	Kesk-Sõjamäe tn 3	Lao-, äri- ja tootmishoonete piirkond Kesk-Sõjamäe tn ümbruses	48,2
63	Lasnamäe	Peterburi tee 44	Ärihoonete hoov	46,4
64	Lasnamäe	Vesse tn 1- Betooni tn 2	Peterburi tee ääres Vesse ja Betooni tn vahele jäävad Maksimarket ja teised kauplused	49,4
65	Lasnamäe	Betooni tn 6/1	Laohoone	47,2
66	Lasnamäe	Sõstramäe tn 8	Laohoone	46,6

67	Lasnamäe	Peterburi tee 92f	Victor Stationery tootmishoone ümbritsevate laohoonetega	48,5
68	Lasnamäe	Mahtra tn 1	Mustakivi kaubanduskeskus	45,5
69	Lasnamäe	Mustakivi tee 17	Lasnamäe Prisma	47
70	Lasnamäe	Mustakivi tee 13	Lasnamäe Centrum	49,5
71	Lasnamäe	Kuuli – Taevakivi tn	Laagna tee, Peterburi tee, Kuuli ja Taevakivi tn vahele jääv laohoonete kvartal	48,9
72	Lasnamäe	Tähesaju tee 8	Bauhaus Lasnamäe	45,9
73	Lasnamäe	Varraku tn 12 ja 14	A1000Market ja Tondiraba Jäähall	46
74	Lasnamäe	J. Koorti tn 25	Lasnamäe Sportmängude Maja spordiväljakud	45
75	Lasnamäe	Peterburi tee 81	Ärihoone	47,9
76	Lasnamäe	Punane tn 42/1	Lao- ja tootmishoone	49,8
77	Lasnamäe	Peterburi tee 71/1	Ehituse ABC Peterburi tee	45,4
78	Lasnamäe	Peterburi tee 67a	Ericsoni tehas	50,1
79	Lasnamäe	Punane tn 16b-18	Kaubanduskeskus Idakeskus ja Erapolikliniik Balneom	47,6
80	Lasnamäe	Vahuri tn 2	Kaubahoov	45,1
81	Lasnamäe	Väike-Paala – Vahuri tn	Suure-Paala tn ümbrusesse, Väike-Paala ja Vahuri tn vahele jäävad lao- ja tootmishooned	50,2
82	Lasnamäe	Uuslinna tn 10	Tallinna Lasnamäe Mehaanikakool	46,1
83	Lasnamäe	Võidujooksu tn 7a-f	Garaažidekompleks	47,3

Lisa 2. Tallinna kuumasaarestik 2014. ja 2018. aasta võrdluses. Musta värviga on tähistatud 2014. aasta ja punasega 2018. aasta kuumasaared. Tumepunane on ala, kus kahe aasta kuumasaared kattusid.



Lisa 3. Tallinna kuumasaarestik 2018. ja 2021. aasta võrdluses. Punase värviga on tähistatud 2018. aasta ja sinisega 2021. aasta kuumasaared. Tumepunane on ala, kus kahe aasta kuumasaared kattusid.



Lisa 4. Tallinna kuumasaarestik 2014. ja 2021. aasta võrdluses. Musta värviga on tähistatud 2014. aasta ja sinisega 2021. aasta kuumasaared. Tumesinine on ala, kus kahe aasta kuumasaared kattusid.

