



Tartu Ülikool  
Maateaduste ja ökoloogia instituut  
Geograafia osakond

# Soojussaarte ulatuse levik ja trend Tallinnas aastatel 2014 - 2018

Töö teostajad: Valentina Sagris

Mait Sepp

Isaac Newton Kwasi Buo

## Sisukord

Sissejuhatus.....	3
Mõistetest.....	5
Kuumapäev ja kuumalaine.....	5
Soojussaare efekt ja soojussaared.....	6
Varasemad uuringud.....	6
Andmed ja meetodika.....	10
Tallinna soojussaarte geograafia .....	11
Soojussaared Põhja-Tallinnas .....	16
Uued soojussaared?.....	17
Uued soojussaared Põhja-Tallinnas .....	19
Kokkuvõte .....	20
Üldised soovitused.....	21
Tehnilisi soovitusi soojussaare efekti vähendamiseks.....	22
Edasiste uuringute vajadus .....	23
Kasutatud kirjandus .....	25

## Sissejuhatus

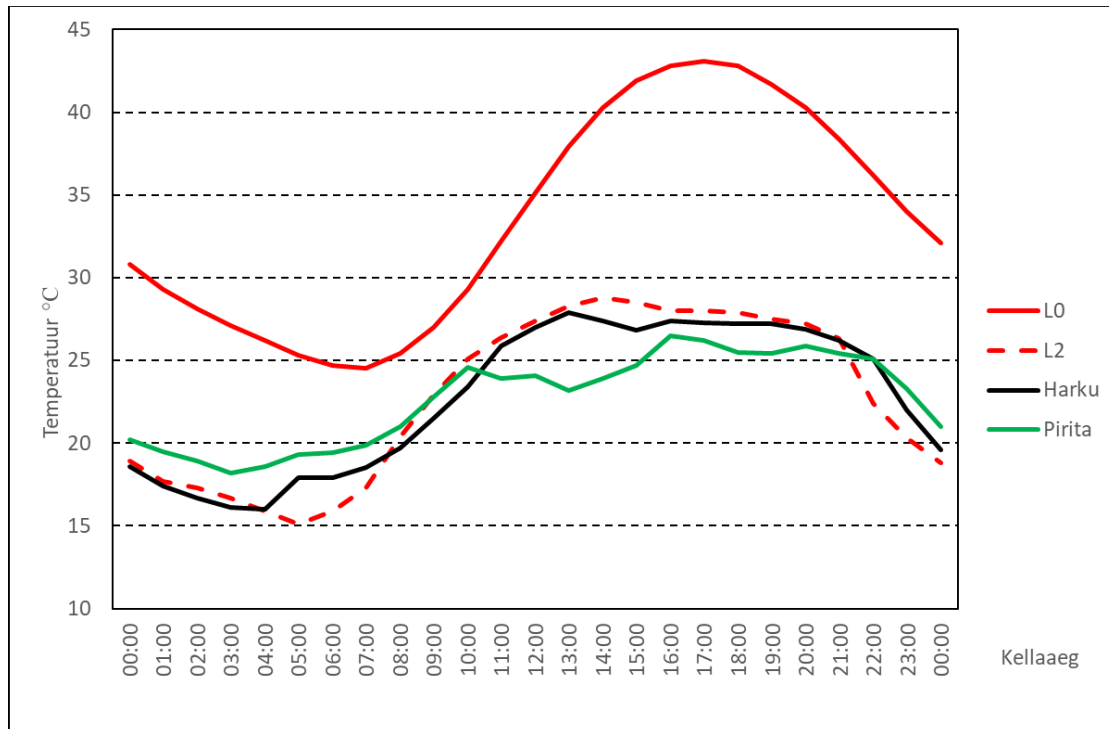
Tänapäeval on raske leida ühtegi teist teemat, mis pälviks sedavõrd palju tähelepanu kui kliimamuutused. Seejuures on Eestis ja laiemalt Läänemere piirkonnas õhutemperatuur tõusnud eriti kiiresti. Kui globaalses mastaabis räägitakse kliima soojenemisest suurusjärgus 0,8 °C alates 1880. aastast (IPCC, 2014; NOAA, 2018), siis Eestis on viimase poole sajandi jooksul aasta keskmine õhutemperatuur kerkinud ligi kahe kraadi võrra (Jaagus, 2006; Jaagus et al., 2014). Eriti järsult on soojenenud talvekuud, kuid sagenenud on ka suvised kuumalained. Aastatel 1951-1980 esines päevi, mil ööpäeva maksimumtemperatuuriks mõõdeti +30 °C ja rohkem, vaid üks kolme aasta jooksul; perioodil 1981-2000 oli selliseid päevi statistiliselt juba 1,4 aastast (vt Sepp, 2015 tabel 1).

Haruldast kuumast rannailmast on saamas iga-aastane nuhtlus, mis linnakeskkonnas võib hakata kahjustama taristuid ja muutub ohtlikuks inimeste tervisele. Ulatuslik kuumalaine võib mitmeks päevaks halvata linna normaalse funktsioneerimise ja tekitada inimohvritega kriisisituatsiooni. Kõige traagilisemaks näiteks on 2003. aasta augusti kuumalaine Euroopas, mille tulemusena suri hinnanguliselt 70 000 inimest (Robine et al., 2008). Eriti rängalt puudutas kuumalaine Prantsusmaad, kus peamiselt linnades hukkus 14802 enamjaolt vanemat inimest. See pani Prantsuse ühiskonda ja ametivõime ümber mõtestama nii päästesüsteemide funktsioneerimist (Adrot, Moriceau, 2013; Dhainaut et al. 2003) kui ka suhtumist kliimamuutustesse. Siiski suri ka 2019. suve kuumalaine ajal Prantsusmaal hinnanguliselt 1500 inimest (Berlinger, 2019).

Eestis on kuumalained ja nende mõjud veel teadvustamata probleem. Ometi suurenes Tartu ülikooli terviseinstituudi andmetel 2010. a. kuumalaine ajal suremus 31% võrra, tuues suvekuudel kaasa 191 liigsurma juhtumit. Ühe kraadine maksimaalse temperatuuri tõus toob kaasa kogusuremuse suurenemise keskmiselt 1,68% võrra (KATI, 2015). See on aga üle 500 liigsurma aastast. Halvima stsenaariumi korral (RCP8.5) on Eestis sajandi lõpuks oodata kuni 11,5% suremuse suurenemist, mis praeguse rahvastiku ja keskmise suremuse juures aastatel 2010-2014 tähendaks kuni 1068 varajast surma aastast enam (KATI, 2015). Arvestades Eestis hetkel valdavaid rände- ja demograafilisi tendentse, kus üha suurem osa elanikkonnast koondub Tallinna linnaruumi, siis enamus eelpool mainitud liigsurmadest ja terviseprobleemidest jäävad tulevikus Tallinna linna kanda. Tervist ohustavate probleemide koondumine hakkab siin paratamatult mõjutama linna mainet, valijate valikuid ja seeläbi lõppkokkuvõttes linna arenguperspektiive.

Seda, et linnas on õhutemperatuur kõrgem kui seda ümbritsevatel aladel, pandi tähele juba esimeste linnakliima uurijate poolt 19. sajandi alguses (Gartland, 2008; Oke et al., 2017). Kuumalainete ajal on need erinevused aga eriti suured. Kui linnast väljas avatud maastikul asuvas meteoroloogilises jaamas mõõdetakse õhutemperatuuriks +25 °C, siis linnas võib see olla juba ligi 30 kraadi ning kiiresti kuumenevate asfaltpindade temperatuur tõuseb üle +40 °C (joonis 1). Linnas kujundavadki õhutemperatuuri paljuski tehispinnad, mis neelavad Päikeselt tulevat kiirgust ja emiteerivad soojuskiirgust. Peamiselt on sellisteks ülekuumenevateks aladeks suured parkimisplatsid ja tumedad lamekatused aga ka liiklussõlmed. Nn soojussaarte puhul tuleb arvestada, et nende ohtlikus ei seisne üksnes linnakeskkonna „kuumutamises“. Väga oluliseks

faktoriks on eriti liiklusega seotud soojusaartega kaasnev kõrgendatud õhusaaste risk. Sageli tekivad soojusaared kuumadel tuulevaiksetel päevadel, mil linnas on õhuvahetus väike ja liiklusest tulenev õhusaaste ei haju. Koosmõjus intensiivse päikesekiirguse ja kõrgete temperatuuridega hakkavad toimuma fotokeemilised reaktsioonid. Nende toimel tekib näiteks osoon, mis on maalähedases õhukihis väga ohtlik saasteaine (Oke et al., 2017).



Joonis 1. Õhu- ja pinnatemperatuurid 25. juulil 2014. L0 – Tallinna lennuväljal 7cm sügavusel mõõdetud pinnatemperatuur; L2 – Tallinna lennuväljal 2 m kõrgusel mõõdetud õhutemperatuur; Harku – Tallinn-Harku aeroloogiajaamas 2 m kõrgusel mõõdetud õhutemperatuur; Pirita – Pirita rannikujaamas 2 m kõrgusel mõõdetud õhutemperatuur. Andmed saadud Ilmateenistusest ja Tallinna Lennujaamast.

Tallinna kontekstis on tänapäeval ohtlikud kuumalained endiselt haruldane nähtus. Ei tasu unustada, et globaalses mastaabis asub Tallinn kõrgetel põhjalaiustel. Teiseks paikneb Tallinn mere ääres ja suur osa linnast on meretuultele avatud. See leevendab nii kõrgete õhutemperatuuride kui ka näiteks õhusaaste probleeme. Kolmandaks on Tallinn veel endiselt rikas parkide, metsade ja haljasalade poolest ning seeläbi suhteliselt roheline linn. Looduslike alade rohkus on üks peamisi soojusaarte mõju ohjamise vahendeid.

Teiselt poolt ei tohiks soojusaarte mõju Tallinnas ka alahinnata. Esiteks edeneb siin äärmiselt aktiivne kinnisvaraarendus, mille tulemusel kasvab pidevalt tehnogeensete pindade ulatus ja osakaal. Ühtlasi suureneb autode arv ja liiklustihedus ning liiklusest tulenev õhusaaste. Teiseks oluliseks suundumuseks on Tallinnas toimuv sotsiaalmajanduslik segregatsioon (Marcínczak et al., 2015), mille tulemusel koondub vaesem ja seeläbi haavatavam elanikkond korruselamute piirkondadesse, kus soojusaare efekt on tugevam, kui eramute rajoonides (Sagris et al., 2015).

Kolmandaks tuleb arvestada, et senise kliimasoojenemise jätkumisel sagenevad ka kuumalained. Hinnanguliselt võib paarikümne aasta pärast Eestis igal aastal esineda 3 - 6 kuumapäeva (vt Sepp, 2015 tabel 1).

Üldiselt on teadmisi Tallinna soojusaartest ja nende mõjudest väga napilt. Ajaloolistel põhjustel on Eestis linnakliimaga vähe tegeletud (vt pt Varasemad uuringud). Samas on selge, et soojusaarte teema muutub üha aktuaalsemaks ja nõuab linna planeerimises aina rohkem tähelepanu. Käesoleva töö eesmärgiks on satelliidifotodelt eristatavate kõrgema pinnatemperatuuriga alade põhjal saada esmane ülevaade Tallinna soojusaarte geograafiast – nende paiknemisest ja ulatusest. Lisaks võrreldakse siin 2014. ja 2018. aasta kuumalaineid, et näha, kuhu on nelja aasta jooksul soojusaari juurde tekkinud. Käesoleva ülevaate lõpus antakse ka lühidalt soovitusi soojusaarte mõjude leevendamise levinumatest võtetest ning edasiste uuringute vajadusest.

## Mõistetest

### Kuumapäev ja kuumalaine

Tavaliselt mõistetakse kuumalaine all erakordselt kõrge õhutemperatuuri püsimist mitme päeva jooksul. Praktikas tuleb aga nii „erakordselt kõrge“ kui ka „mitu päeva“ võimalikult täpselt defineerida. Käesoleva töö koostamise ajal on Riigi Ilmateenistuses üle vaatamisel erakordsete ilmanähtuste hoiatuskriteeriumid. Praegu on ohtlikuks kuumalaineks defineeritud olukord, kus ööpäeva maksimumtemperatuur ulatub 30 °C ja üle selle 2 ööpäeva vältel vähemalt 30% riigi territooriumist. Eriti ohtlikuks peetakse ööpäeva maksimumtemperatuuri püsimist 30 °C ja üle selle kolme ja enama ööpäeva vältel vähemalt 30% territooriumist. Eriti ohtliku nähtusega kaasnevad keskkonnakahjustused – inimkaotused, kommunikatsiooniliinide katkemised jne (Hoiatuste kriteeriumid, 2019; Terviseamet, 2011).

Eestis peetakse inimese tervisele eriti ohtlikuks ööpäeva maksimaalse õhutemperatuuri püsimist 30 °C juures ja kõrgemal viie või enama ööpäeva vältel (Tammets, 2012; Kui ilm muutub, 2019). Sellist olukorda on Eestis ajavahemikul 1961–2014 ette tulnud vaid kolmel suvel: 2003. aasta juuli lõpus Edela-Eestis ning 2006. ja 2010. aasta juulis Kagu-Eestis (Tammets, 2012). Kehtivate kuumalainet defineerivate kriteeriumitega on probleem selles, et kuigi üle 30 °C juhtumite esinemissagedus on just viimasel paarikümnel aastal sagenenud (Tammets, 2012; Kuukokkuvõtted, 2019), on siiski tegemist äärmiselt harvade sündmustega.

Tervise aspektist peetakse ohtlikuks nn troopilisi öid, mil ööpäeva miinimumtemperatuur ei lange alla 25 °C (Sagris et al., 2015). Teadaolevalt pole Eestis selliseid temperatuuriväärtusi veel mõõdetud, kuid tuleb ka arvestada, et need võivad esineda linnades, kus kuumenenud betoon hoiab öösel õhutemperatuuri palju kõrgemal, kui meteoroloogijaamades mõõdetakse.

Teiseks väga levinud kuum ilmaga päeva (kuumapäeva), defineerimise kriteeriumiks on ööpäeva maksimumtemperatuuri 98. protsentiil. See tähendab, et erakordseks kuumaks peetakse 2% kõige kõrgema maksimaalse õhutemperatuuriga päevi. Seda väärtust arvutatakse eraldi iga ilmajaama jaoks, kuid Eestis mõistlik üldkehtivaks piiriks võtta 27 °C, mis vastab Türi ööpäeva maksimumtemperatuuri 98. protsentiilile perioodil 1951–2010 (Sagris et al., 2015).

Üldiselt eeldatakse, et kohalik elanikkond on kohanenud piirkonnas valitseva ilmastikuga, kuid õhutemperatuuri tõusmisel 98. protsentiili väärtusteni hakkavad ilmne väikelaste, vanurite, krooniliste haigete ja teiste riskirühmade juures terviseprobleemid. Siin tuleb jällegi rõhutada, et linnades tõuseb õhutemperatuur kriitiliste väärtusteni palju varem, kui Ilmateenistuse jaamad seda fikseerivad. Käesolevas töös ongi kuumapäeva all mõistetud päeva, mil õhutemperatuur tõuseb 27 °C ja kõrgemale ning kuumalainet defineeritakse kui perioodi, mil ööpäeva maksimumtemperatuurid ei lange alla 27 °C.

### Soojussaare efekt ja soojussaared

Üldiselt mõistetakse soojussaare efekti all laialt tuntud ja hästikirjeldatud (vt pt „Varasemad uuringud“) nähtust, kus nii õhu- kui ka pinnatemperatuurid on linnas üldiselt kõrgemad kui maapiirkondades. Linnaklimatoloogias (Oke et al., 2017) tähistab see mõistete kompleksi, milles eristatakse erineva horisontaalse ja vertikaalse ulatusega tasandeid. Klassikalises mõttes võib käesolevat tööd vaadelda kui pinna soojussaare efekti uuringut, milles kaugseire meetoditel vaadeldakse kogu linna soojussaarte mustrit. Erinevalt klassikalisest definitsioonist me ei võrdle soojussaari väljaspool linna asuvate aladega vaid vaatleme konkreetsete soojussaarte asukohti ja nende pinnatemperatuure.

Käesolevas töös on mõistet „soojussaare efekt“ kasutatud üldise, kogu linna hõlmava mõistena. Konkreetsetest väga kuumadest aladest ehk rääkides „punastest täppidest“ kaardil kasutame mõistet soojussaar, ka kuumasaar või soojasaar. Need on suhteliselt piiratud, üldise linna soojussaare efekti taustal eriti kõrge pinnatemperatuuriga alad. Käesoleva töö kontekstis on soojussaartena vaadeldud alasid, mille pinnatemperatuur on kõrgem kui 32,5 °C.

### Varasemad uuringud

Linna soojussaare efekt on maailmas üks uuritumaid mikrokliimaatilisi fenomene. Esimest korda kirjeldati seda 1818. aastal Luke Howardi (1772 – 1864) poolt, kes täheldas, et Londoni linnaalal on õhutemperatuur kõrgem kui ümbruskonna maapiirkondades (Oke et al., 2017; Gartland, 2008; Howard, 1833). Soojussaare efekti uurimine oli eriti hoogne 1930-1960-ndatel, mil erinevates maailma linnades hakati tegelema mikroklimatoloogiaga ja võeti kasutusele linna kiirgusbilansi põhimõtted (Oke et al., 2017). Teiste hulgas oli siis üheks linnaklimatoloogia pionieriks Rootsi geograaf Åke Sundborg (1921-2007) kes analüüsis Uppsala temperatuurianomaaliaid ja oli esimene, kes seostas soojasaari aluspinna kiirgusbilansiga (Oke et al., 2017; Sundborg, 1950). Põhjamaadest, kus on ilmteadused üldiselt väga kõrgel tasemel, võib leida päris suure hulga linna soojussaare efekti uuringuid. Siin võib näiteks tuua Soome vastavaid töid. On ju Helsingi nii rahvaarvu kui ka geograafilise asendi poolest Tallinna jaoks hea võrdlusallikas. Tähelepanuväärseks uuringuks võib pidada Raino Heino 1978 aastal ilmunud analüüsi Soome linnade soojassaare efekti osas. Selles leiti, et Helsingi kesklinnas on õhutemperatuur võrreldes linna ümbrusega keskmiselt 0,5-1 kraadi ja miinimumtemperatuurid kuni 2 °C kõrgemad; samas maksimumtemperatuurides olulisi erinevusi ei ilmnunud (Heino, 1978). Helsingis on tänapäeval ka vähemalt kaks (Hotel Torn ja Kumpula) linnakliima meteoroloogiajaama (Nordbo et al., 2013; Oke et al., 2017) Soomes on põhjalikult uuritud mitmete väiksemate linnade nagu Turu, Lahti, Hyvinkää ja Joensuu kliimat (Heino, 1978; Ekholm, 1981; Laaksonen, 1994; Suomi et al., 2012; Suomi, Käyhkö, 2012; Suomi, 2018).

Eestis on linnade kliima uurimisega tegeletud vähe. Sellel on ka arusaadavad ajaloolised põhjused. Nõukogude perioodil olid mikrometeoroloogilised ja –klimatoloogilised uuringud suunatud eelkõige põllumajanduse toetamisele (Karing, 2013). Esimeseks tööks, milles konstateeritakse linnakeskkonna soojendavat mõju, võib pidada Kaarel Kirde (1892-1953) 1939. aastal ilmunud raamatut „Andmeid Eesti Kliimast.“ Selles leitakse, et linnas asuvate meteoroloogiliste jaamade õhutemperatuurid on alati suhteliselt kõrgemad. Kirde toob näite, et sellal Tallinna sadamas hoonete varjus asunud meteojaama keskmised temperatuurid olid ca 0,5 kraadi kõrgemad kui Lasnamäel lagedal väljal asunud jaamas. Sarnast linnasisese soojasaare mõju oletas ta ka Tartu, Pärnu, Haapsalu ja Viljandi puhul (Kirde, 1939). Ilmselt alahindas Kirde oma järeldustes mere soojendavat mõju. 1960-70-ndatel tehti Tallinnas esimesi katseid õhusaaste uurimisega (nt Kukkur, 1966; Liiv et al., 1974), mis samuti teatud määral seostuvad linnakliima teemaga.

Klassikalises mõttes linnakliima ja soojusaare efektiga hakkas 1970-ndate alguses tegelema toona Tallinna Botaanikaaias töötanud Andres Tarand. 1973. aastal alustas ta episoodiliste mõõtmistega Tallinna erinevates osades ja selgitas välja, et linna soojasaare efekt on suvel 0,5-0,7 °C. Talvel olid aga linna ja seda ümbritsevate alade temperatuurierinevused väga suured: arvestades mere-, tuule jt mõjusid hindas Andres Tarand Tallinna soojusaare efekti väärtuseks  $7,2 \pm 0,9$  °C. Suhteliselt kõige soojem oli nende mõõtmiste järgi Tallinna ajalooline kesklinn. Samas töös on ka näidatud, et soojasaare efekti väärtused on Tallinnas tugevalt seotud tuulekiirusega: mida suurem tuulekiirus, seda väiksem efekt. Samuti ilmnes üsna selgelt tuule suuna mõju – kui tuul on lääne- ja põhjakaartest, st nendest suundadest, mille suhtes on Tallinn merele avatud, siis on soojasaare efekt väiksem (Tarand, 1976). 1986. aastal ilmus nendest mõõtmistest raamat „Õhutemperatuuri ja sademete territoriaalne jaotus Tallinnas“ (Tarand, 1986), mida võib senistest Eesti linnakliimat käsitlevatest töödest pidada kõige põhjalikumaks.

Mainida tuleb ka raamatuid „Klimat Tallina“ (Prilipko, 1982), „Klimat Pjarnu“ (Prilipko, 1986) ja „Tartu kliima ja selle muutumine viimastel kümnenditel“ (Kivi, 1990). Nimele vaatamata, pole tegemist otseselt linnakliimale pühendatud teostega. Kaks esimest on kliimateatmikud, mis käsitlevad vastavalt Tallinna ja Pärnu ümbruse ilmajaamade mõõtmisandmete statistikat. Tartu kliima raamat on aga artiklite kogumik, mis on peamiselt pühendatud Tõravere ilmajaamas tehtud kiirgusmõõtmistele.

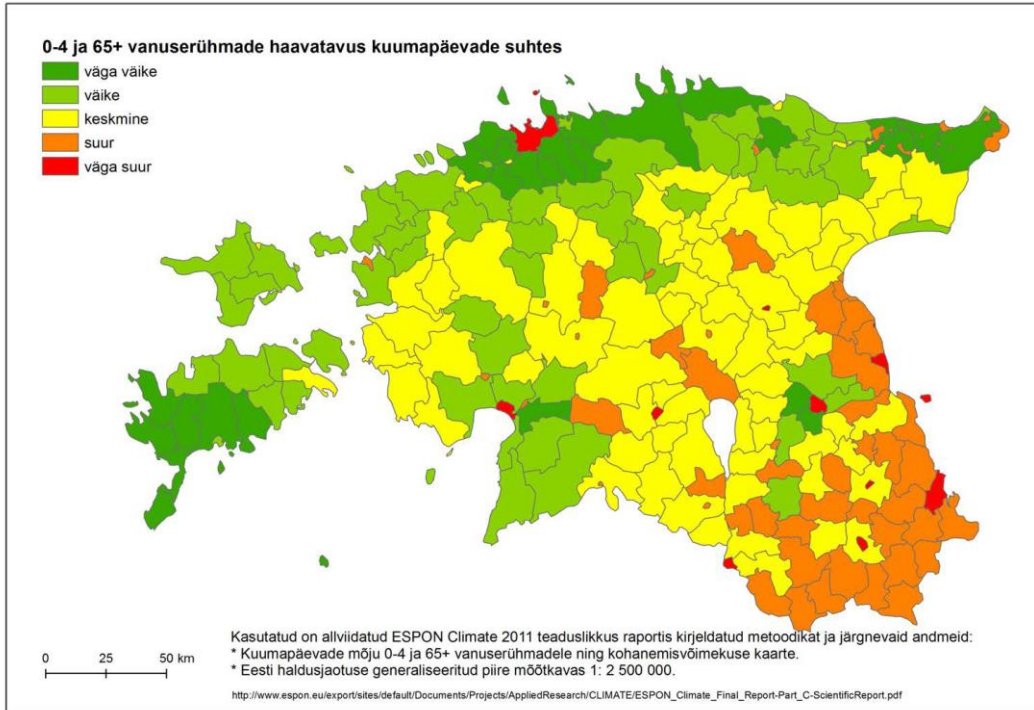
Viimastel aastatel on huvi linnakliima osas suurenenud. Siin võib mainida mõnda tudengitööd, mis on kaitstud Tartu ja Tallinna ülikoolis. Rauno Aljase (2017) magistr töö käsitleb seda, kuidas erinevates Tartu ja Tartu lähiümbruse mõõtepostide andmetes kajastuvad kuuma- ja külmalained. Töö üheks sisuliseks eesmärgiks oli välja uurida, kui paljudes kohtades Tartu ümbruses tegelikult õhutemperatuuri püsivalt mõõdetakse. Tegelikult tegelevad Ilmateenistuse kõrval ühel või teisel moel ilmastikuandmete mõõtmise ja teataval määral säilitamisega Maanteeamet ja Eesti Keskkonnauuringute Keskus (EKUK); Tartu puhul ka Ülenurme lennujaam ja Tartu ülikooli füüsikainstituut. Vaatamata vaatluspunktide suhtelisele ohtrusele on erinevatest allikatest saadud andmeid keeruline omavahel kõrvutada, kuna igal asutusel on omad andmete kogumise ja säilitamise põhimõtted. Magistr töö käigus kogutud andmetest selgus paraku ka see, et paljud mõõteriistad lähevad ekstreemselt kõrgete ja madalate temperatuuridega rivist välja. Tallinna ülikoolis on Oliver Tomingase juhendamisel kaitstud kaks Tallinna linnakliimat puudutavat

bakalaureusetööd (Käär, 2015; Tomingas, Käär, 2016; Tammel, 2019). Nendes järgitakse klassikalisi linna soojussaare efekti analüüsimise meetodeid: linna keskosa piirkonnas (Liivalaia puiestee) tehtud välimõõtmisi võrreldakse paralleelselt linnast väljas olevas meteoroloogiajaamas (Tallinn-Harku) tehtud mõõtmistega. Johanna Tammeli (2019) bakalaureusetöös on Liivalaia ja Harku vahelistest temperatuurierinevustest tulenevalt leitud aasta keskmiseks soojussaare efekti väärtuseks 0,9 °C.

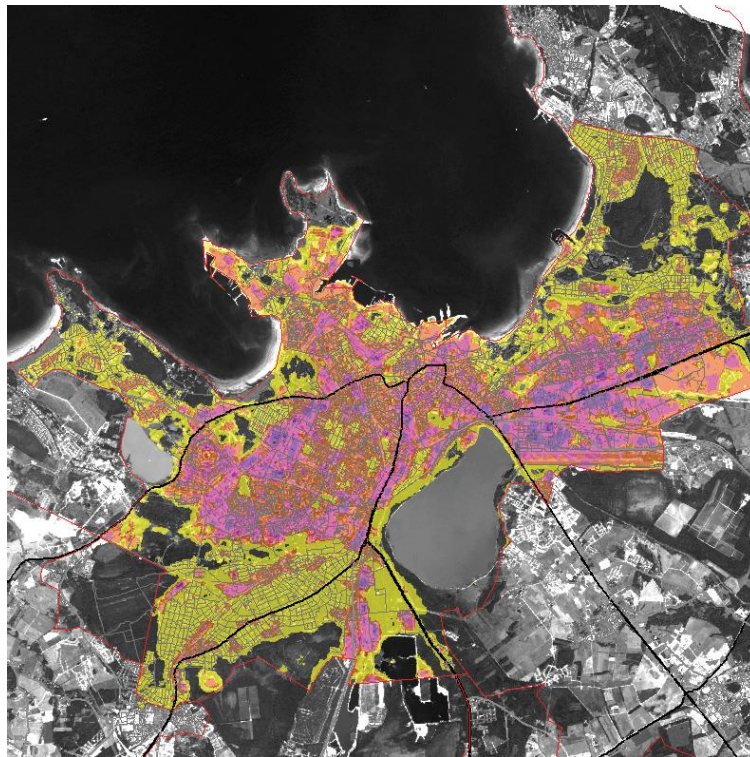
2014. aastal alustati Eesti riikliku kliimamuutuste mõjudega kohanemise strateegia ja rakenduskava koostamist. Üheks uuringuprojektiks, mis seda rakenduskava koostamist toetas, oli „Kliimamuutuste mõjude hindamine ja kohanemismeetmete väljatöötamine planeeringute, maakasutuse, inimeste ja päästevõimekuse teemas“ (ehk KATI). Projekti käigus analüüsiti ka Eesti elanikkonna kliimariskide poolt haavatavust. Haavatavuse all mõistetakse süsteemi tundlikkuse määra ja suutlikkust 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. Eesti linnade haavatavus kliimamuutuste suhtes sõltub eelkõige rahvastikuprotsessidest, milleks on rahvastiku kahanemine ja vananemine, iibe langus, aga ka kasvav ruumiline polariseerumine, suurlinnastumine, eeslinnastumine, väikelinnade kahanemine ja ääremaastumine. Kliimariskide sagenemine tulevikus on väga tõenäoline ning mitmete linnade haavatavus suureneb oluliselt seoses rahvastiku kiire vananemise ja kahanemisega (Roose, 2015; KATI, 2015).

Nagu jooniselt 2 näha, on haavatavus kuumapäevade suhtes üldiselt kõige suurem Eesti linnades, kuid just eriti Tallinnas. Kuna projekti kaheks peamiseks testalaks olid Pärnu ja Tallinn, siis nende omavalitsuste puhul koostati detailsemad haavatavuse ning mõju skeemid. Selleks ühendati pinnatemperatuuride kaart ja riskirühma kuuluvate elanike rühmade elukohtade kaardikiht. Pinnatemperatuuride kaart loodi 25. juulil 2014. kell 11:30 Landsat 8 poolt tehtud satelliitpildi alusel (joonis 3). Riskirühmade (alla 4-aastased lapsed ja üle 65-aastased) elukohad on genereeritud statistikaametist saadud rahvastiku vanuselise jaotusest 100 × 100-meetrise ruudustikuna.





Joonis 2. Väikelaste ja üle 65-aastaste haavatavus kuumapäevade suhtes (Roose, 2015).

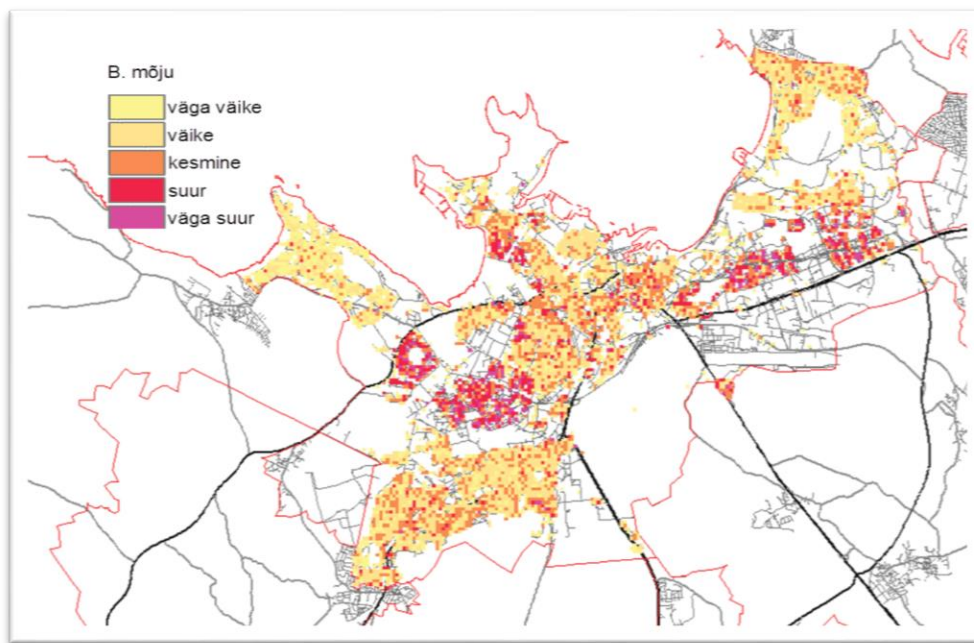


Joonis 3. Tallinna pinnatemperatuuride skeem, koostatud 25. juulil 2014. Landsat 8 kell 11:30 tehtud satelliitpildi alusel (Sagris et al., 2015).

Riskirühmade elualade ja kuumalaine ajal üle kuumenevate piirkondade kõrvutamisel saame eristada need linnaruumi osad, kus kuumalainetel on suurim mõju (Joonis 4). See tähendab, piirkonnad, kus elab suhteliselt tihedamalt riskirühma kuuluvaid inimesi ja ühtlasi on ka soojussaare efekt intensiivsem. Need on piirkonnad, kus kuumalainetega võivad tekkida potentsiaalselt kõige suuremad probleemid.

Tallinna puhul tulevad mõjude skeemilt väga selgelt välja just nn „mägede“ korruselamute piirkonnad, kus on suhteliselt palju tehnogeenseid pindasid, sellest tulenevalt võimsamad soojussaared ja paraku ka riskirühma kuuluvate inimeste suurem kontsentratsioon.

Linnaplaneerimise ja inimtervise seisukohalt ongi esmatähtis just need tugeva mõjuga piirkondade soojussaarte ulatuse vähendamine. Selles osas on satelliidipildid üks efektiivsemaid vahendeid probleemsete piirkondade tuvastamiseks ja piiritlemiseks.



Joonis 4. Soojussaare efekti mõju Tallinnas 25. juulil 2014 (KATI, 2015; Sagris et al., 2015).

## Andmed ja meetoodika

Käesolevas töös kasutatud Tallinn-Harku ilmajaama meteoroloogilised andmed on saadud Riigi Ilmateenistuse kodulehelt (Vaatlusandmed, 2019). 2014. aasta kuumalaine andmeid on täiendatud Tallinna lennujaamast saadud pinnakatte andmetega.

Linna soojussaare efekti peamist komponenti – maapinnal asuvate tehisobjektide ülekuumenemist – hinnati NASA satelliidi Landsat 8 termo- ehk soojuskanalis (spektrivahemik 10,30–12,50  $\mu\text{m}$ ) tehtud piltide alusel. Kasutatud soojusfotode piksli suuruseks on  $30 \times 30$  m. Landsati piltide töötlemisest on põhjalikumalt kirjutatud artiklis Sagris, Sepp (2017).

Kuumalaineid iseloomustavad vastavalt 25. juulil 2014. ja 27. juulil 2018. aastal tehtud pildid. Tulenevalt Landsati ülelennu graafikust on mõlemad fotod tehtud kl 11:30. 2014. aasta pilt on

sattunud kuumalaine haripunktile, mistõttu on pinnatemperatuurid äärmiselt kõrged. 2018. satelliidifoto on aga kuumalaine algusest, mil eelnevate päevade kuumus pole veel tehispindadesse akumulunud. Piltide valik sõltub Landsat 8 ülelennu sagedusest – täpselt sama kohta pildistatakse iga samal 16 päeva tagant. Oluliseks satelliitpiltide kasutamise piiranguks on meie piirkonnas aluspinda varjav pilvkate. Siin vaadeldaval kahel päeval pilvi Tallinna kohal ei olnud, kuigi maapinda varjavad pilved pole haruldased ka kuumalainete ajal.

Projekti käigus tellijale esitatud satelliitpiltide GEOTiff failides on igal pikslil oma konkreetne temperatuuriväärtus. Käesolevas töös on need väärtused visualiseerimise eesmärgil klassifitseeritud väikeseks arvuks temperatuurivahemikeks. Seejuures on klassifitseerimise aluseks võetud vaadeldaval päeval Tallinn-Harku jaamas kl 12:00 mõõdetud õhutemperatuur 2 m kõrgusel. Kriitiliseks piiriks on nii 2014 kui ka 2018 aasta temperatuurikaartidel võetud 27,5 °C, mis on lähedane mõlemal korral Tallinn-Harku jaamas kl 12 mõõdetud õhutemperatuuriga. Eeldame, et neid alasid, mille pinnatemperatuur on kõrgem kui ilmajaamas mõõdetud õhutemperatuur, võib pidada soojusaarteks. Järgnevates peatükkides on soojusaartena põhjalikumalt käsitletud neid alasid, mille pinnatemperatuur on kõrgem kui 32,5 °C.

Pildil on värvita on jäetud need alad, kus pinnatemperatuur on väiksem kui Harkus mõõdetud õhutemperatuur. Eraldi klass on pikslid, mille kohta andmeid ei ole (no data). Sellised esinevad pildi servaaladel ja linna territooriumil neid ei ole.

Kuna 2014 aasta pilt on oluliselt „kuuem“, kui 2018. a. oma, siis see temperatuuride erinevus võimaldab avastada uusi, nelja aasta jooksul lisandunud soojussaari. Selleks sai 2018. aasta pildi pikslite väärtusest lahutatud 2014. aasta pikslite väärtused. Võib eeldada, et suure positiivse väärtusega alad on täiesti uued soojusaared.

Järgnevates peatükkides on mõlema kuumalaine kohta esitatud kogu linna hõlmavad joonised. Kuna lähiajal alustatakse Põhja-Tallinna üldplaneeringut, siis on seda linnaosa analüüsitud eraldi.

## Tallinna soojusaarte geograafia

Peamiselt tänu KATI projektile on 2014. aasta juulis esinenud kuumalainet ja selle mõjusid suhteliselt põhjalikult käsitletud (vt. Sagris et al., 2015; Sagris, Sepp, 2017; Sepp et al., 2015). Samas on soojusaarte geograafiat ehk paiknemist Tallinna linnaruumis mainitud vaid üldsõnaliselt. See on teema, mis vajaks tulevikus haavatavuse ja soojusaarte mõju vähendamise tegevuskavade väljatöötamisel väga detailselt uurimist. Seejuures tuleb rõhutada, et nende võimalike tegevuskavade fookuses ei peaks olema „punased täpid“ kaardil vaid meetmed peaksid eelkõige lähtuma iga konkreetse soojusaare mõjust (vt joonis 4).

Kui vaadelda 2014. aasta juuli kuumalainet (joonis 5), siis praktiliselt **kogu linnas** olid pinnatemperatuurid kõrgemad, kui Harkus mõõdetud õhutemperatuur. Erandiks (joonisel värvita alad) on mõned Pirita ja Nõmme elurajoonid ning Haabersti mereäärsed tänavad.

Alustades ülevaadet **Lasnamäest**, siis selle linnaosa Mustakivi teest idapoole jääval alal on soojusaare efekt suhteliselt tagasihoidlik. Siin on küll tõrvatud lamekatustega kõrged korrusmajad, kuid need on paigutatud üksteisest suhteliselt kaugele ja majaplokkide vahel on ohtralt haljasalaid ja parke. Mustakivi ja J. Smuuli tänava vahelisel alal on soojusaar palju

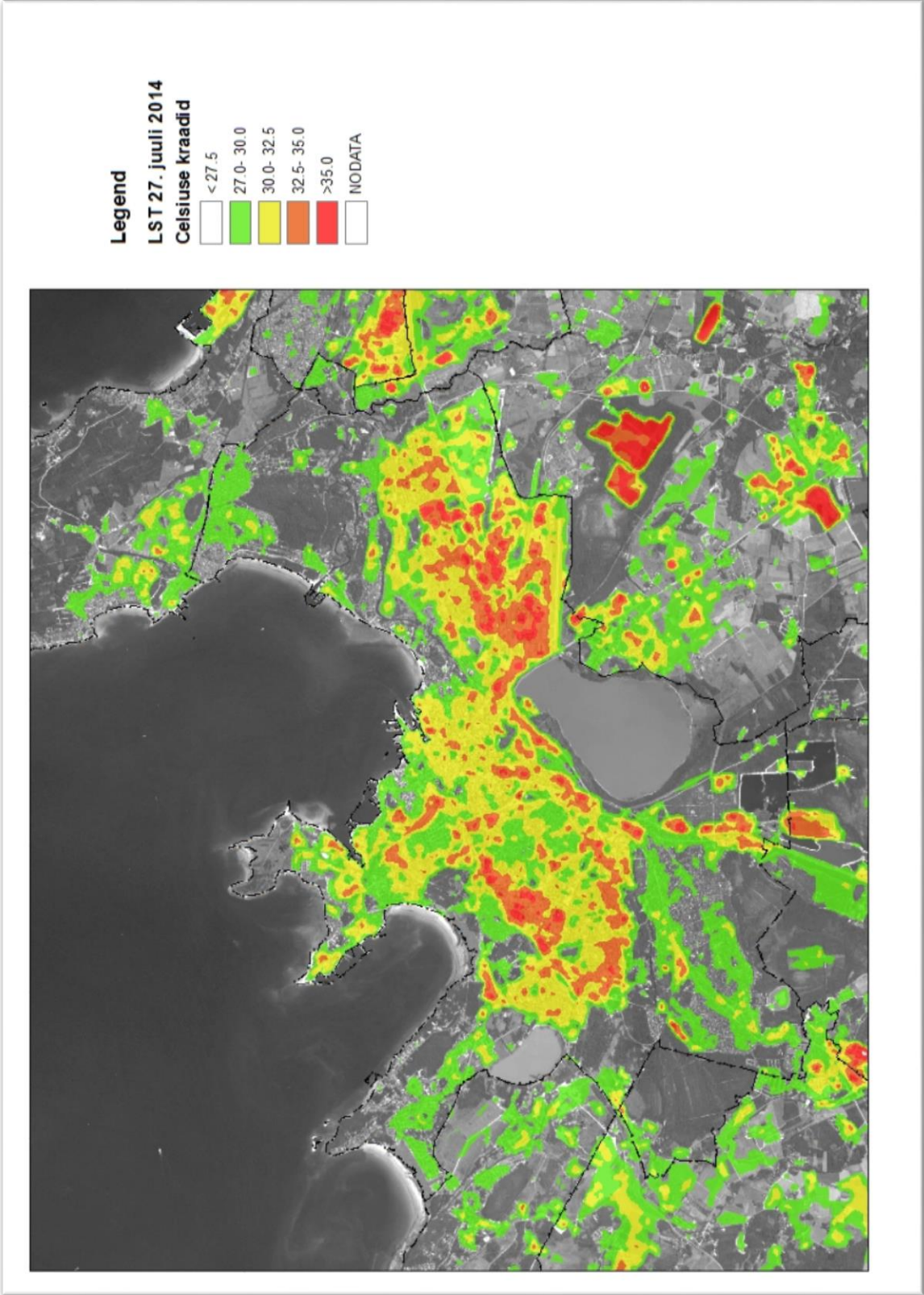
intensiivsem. Laagna tee ümbruses on mitmeid suurte parkimisplatside ja hiiglaslike lamekatustega kaubandus- ja tööstusettevõtteid. Ka elamurajoonid on siin väga tihedalt täis ehitatud – viiekorruselised majad moodustavad suletud või poolsuletud hoove, milles on vähe rohelist. Mitmes kohas ümbritsevad selliseid hoove veel ka üheksakorruselised majad, mis võivad õhuvahetust veelgi halvendada. Vaadeldaval alal torkavad kuumasaarte kõrval teravalt silma pinnad, mille temperatuur on suhteliselt madalam – Punase tänava äärde jäävad tühermaad ja Tondi raba koos selle kõrval olevate alvarialadega (tulevased Alvari, Loometsa ja Lavamaa tänavad).

Probleemseks piirkonnaks on aga kujunenud Peterburi maantee ja Ülemiste lennuvälja vahele jääv tööstus- ja kontorihoonete rajoon. Siin tõusevad tehispindade, eelkõige lamekatuste temperatuurid äärmiselt kõrgele. On väga iseloomulik, et „helendavateks täppideks“ on just hiljuti väga tihedalt täis ehitatud ärikvartalid, kus praktiliselt puuduvad rohealad. Selgelt eristuvaks kuumasaarte ahela moodustavad Ülemiste keskus, Tartu mnt - Peterburi mnt ristmik ja Sikupilli keskus. Seda kontrastsemalt mõjuvad Ülemiste ärikvartali üksikud alad, mille pinnatemperatuur on õhutemperatuurist madalamad – nt Sõjamäe raba.

**Kesklinn** on äärmiselt tihedalt täis ehitatud, kusjuures majad moodustavad väikeseid ja praktiliselt täielikult suletud hoove. Rohealad on siin suhteliselt palju ning sageli kõrghaljastusega, kuid enamasti on tegemist väikeste platsidega. Ometi leiab siit suhteliselt vähe selgelt eristuvaid kuumasaari. Erandiks on Järvevana tee-Tehnika tn liiklussõlm koos Järvevana tee äärde jääv kaubandus- ja ärihoonete reaga (ESPAK-Veereni keskus), Pärnu mnt äärde jäävad tööstus- ja ärialad (Vineeri-Veerenni piirkond). Ent üksikute heledate täppidena torkavad ka kesklinnas silma just parkimisplatsid ja kaubanduskeskused; nt Admiraliteedi basseini juures olev Nautica keskus koos parkimisplatsidega.

Üldiselt on kogu kesklinna pinnatemperatuur ühtlaselt 27-35 kraadi ümber, st mõnevõrra kõrgem kui Harku jaamas mõõdetud õhutemperatuur. Tuleb taas korrata, et käesoleva töö joonistel on kujutatud pinnatemperatuuri, st ka puuvõrade ja katuste temperatuuri. Kuna kesklinn väga tihedalt täis ehitatud, siis enamasti kujundab pikslite temperatuuriväärtuse katuste temperatuurid. Siinjuures tuleb märkida, et kesklinnas on valdavalt viilkatused, mis hajutavad päikesekiirgust üsna efektiivselt. Seda, millised olud valitsevad kuumalaine ajal tegelikult kesklinna tänavatel ja hoovides, vajaksid eraldi *in situ* uuringuid.

**Mustamäel** on samuti väga suured alad, kus domineerivad tõrvatud lamekatused ja laialdased parkimisplatsid, mis satelliitpildilt paistavad silma ühtse suure kuumasaarena. Üks selliseid saarestikke jääb Mustamäe teest, Ehitajate ja A.H. Tammsaare teest, Kõrgepinge tänavast ning Marja tänavast moodustuva ja osaliselt Kristiine linnaossa ulatuva kiilu sisse. Jällegi on tegemist peamiselt äri-, tööstus- ja kaubanduskeskustest koosneva maaga, kus on tehispindade osakaal väga suur. Teine lai kuumasaarestik on kujunenud Akadeemia tee ümbrusesse, kus kaardipildis paistavad samuti silma mitmete uusehitiste äärmiselt laiad lamekatused ja parkimisplatsid. Mustamäe elukvartalites on pinnatemperatuur võrreldavast õhutemperatuurist kõrgem, kuid sarnaselt Kesklinnale või Lasnamäele, mitte nii kõrged kui oodatud. Mustamäel on üldiselt elamud ehitatud üksteisest suhteliselt kaugemale ja nende vahel on haljasalad, millel sageli täiskasvanud, laia võraga puud.



Joonis 5. Tallinna soojussaared 2014. aasta kuumalaine ajal.

**Haabersti** linnaosa kõige äratuntavam objekt on kindlasti tiigi ümber ringis asuvate korrusmajadega Väike-Õismäe asum. Ringi lõuna- ja põhjapoolses osas moodustavad „punase täpi“ suhteliselt tumeda pinnaga staadionid. Ringist edelas, Harku järve lähedal on soojussaar kujunenud bussijaama ja Järveotsa keskuse katusest. Õismäe ringist põhjas on laiem kuumaala, mis hõlmab Paldiski mnt, Rannamõisa ja Ehitajate tee liiklussõlme ning selle äärde ehitatud kultuuri- ja kaubanduskeskuseid koos parkimisplatsidega.

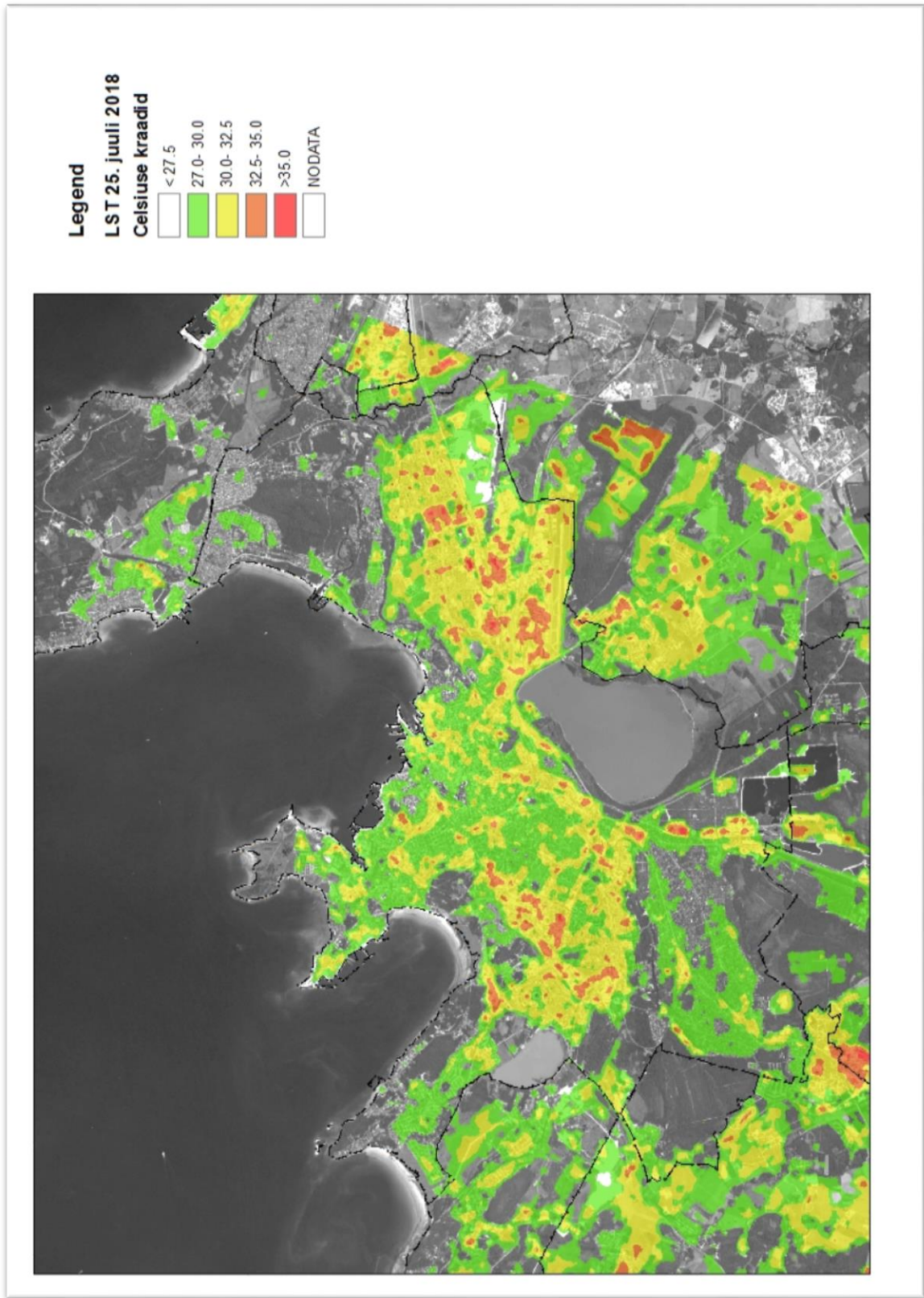
Ülejäänud Haabersti, nagu ka **Kristiine**, Nõmme ja Pirita linnaosade kohta on soojussaarte osas vähe lisada, kuna peamiselt on tegemist eramajade rajoonidega, kus kõrghaljastusel väga suur osatähtsus. **Nõmme** puhul tulevad kuumemate aladena välja peamised magistraalid ja raudteeliinid ning seda just nende äärde ehitatud suurte laohoonete või kaubanduskeskuste tõttu (nt Järve keskus, Männiku tee äärsed tööstusalad). Keset Nõmme linnaosa „helendab“ soojussaarena endine Nõmme-Väike depoo, mis on nüüd tihedalt hoonestatud äriala. Samamoodi torkab Nõmme lääneservas silma Kalda tänava tööstusrajoon ja Kadaka pst ning Särje tänava vaheline äriala.

Enamuse **Pirita** linnaosast hõlmab Kloostrimets ja Pirita jõe org. Lausalisest soojussaarest, nagu teistes linnaosades, siin rääkida ei saa kuna Pirital praktiliselt puuduvad äri- või tööstushooned ja väga suured kaubanduskeskused. Lisaks asetsevad peamised trassid ja asustusosalad vahetult rannikutsoonis, mis vähendab soojussaare efekti. Antud juhul pole vaja ületähtsustada neid üksikuid „punaseid täppe“, mis skeemilt paistavad. Ent ei saa ka mainimata jätta, et kõige kuumemaks alaks on Pirital uus Sisekaitseakadeemia kompleks koos seda ümbritseva uuslamu rajooniga.

2018. aasta pinnatemperatuuride pildil (joonis 6) ei hõlma soojussaared nii laialdasi alasi, kui 2014. aastal. Ühelt poolt võib see jätta petliku mulje probleemi marginaalsusest. Teiselt poolt annab nii-öelda lahjam pilt meile parema võimaluse eristada soojussaarte tuumikalasid: kohti, kus juba esimeste päikesepaisteliste ilmadega pind üle kuumeneb.

Nii võib **Lasnamäe** idaosas satelliitpildilt „helendavate“ täppidena üles leida praktiliselt kõik suuremad kauplused. Samamoodi moodustavad näiteks Lasnamäe Centrum ja Prisma Lasnamäe koos ümbritsevate parkimisplatside ning teiste kaubandusettevõtete hästi äratuntava soojussaare. Selgelt tuvastatav on ka Ülemiste City rajoon. Tallinna ehk kõige kuumemaks kohaks on aga Pae ja Peterburi tee vahele jääv tööstusala. Samuti on kuumasaared praktiliselt kõik Peterburi tee koridori rajatud tööstus- ja kaubanduskeskused.

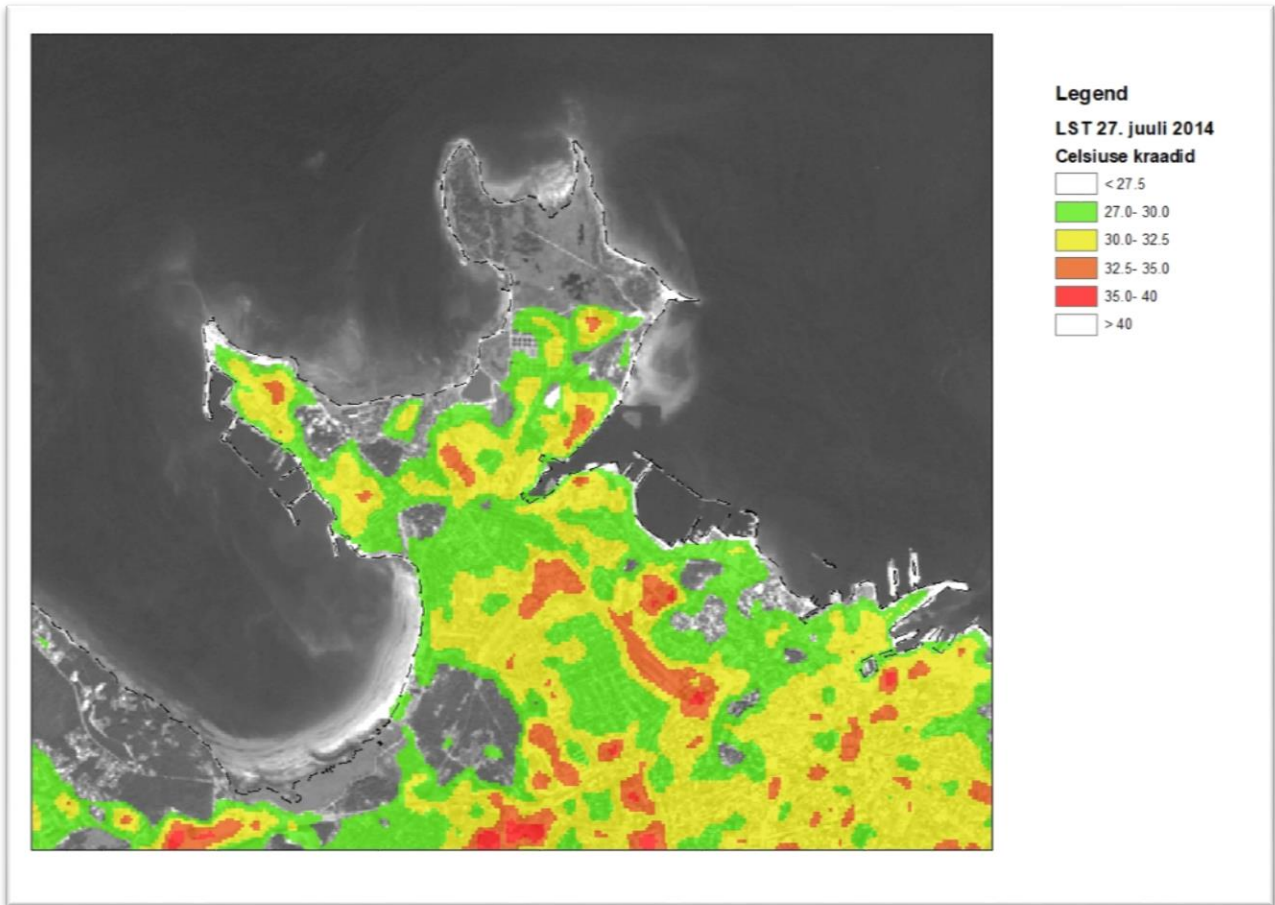
Kuumasaarte rea moodustavad ka **Mustamäe** tee ümbrusesse jäävad ärikvartalid. Teisteski linnaosades ilmnevad kohe esimesel kuumapäeval peamiselt kas tööstusalad või siis uued kaubanduskeskused. Nii torkab 2018. aasta pildilt **Haaberstis** silma just Rocca Al Mare kaubanduskeskust, Saku Suurhalli, Haabersti Rimi Hyper ja nende parkimisplatse ühendav soojussaar.



Joonis 6. Tallinna soojussaared 2018. aasta kuumalaine ajal.

## Soojussaared Põhja-Tallinnas

Suur osa Põhja-Tallinna linnaosast asub kolmest küljest merele avatud Kopli ja Paljassaare poolsaarel, kus merelt tulevad tuuled leevendavad soojussaare efekti. Ent ajalooliselt on Koplisse rajatud hulga tööstus- ja sadamahooneid, mistõttu on siin ka suhteliselt palju päikese käes kuumenevaid tehnogeenseid pindasid. Sarnaselt ülejäänud linnale, ilmnevad Põhja-Tallinnaski 2014. aasta kuumalaine pildil (joonis 7) mitmed väga laialdased kõrgema temperatuuriga alad ja 2018. aastal (joonis 8) konkreetsed tuumikkohad, kus pinnatemperatuur tõuseb kõrgele juba kuumalaine esimestel tundidel.

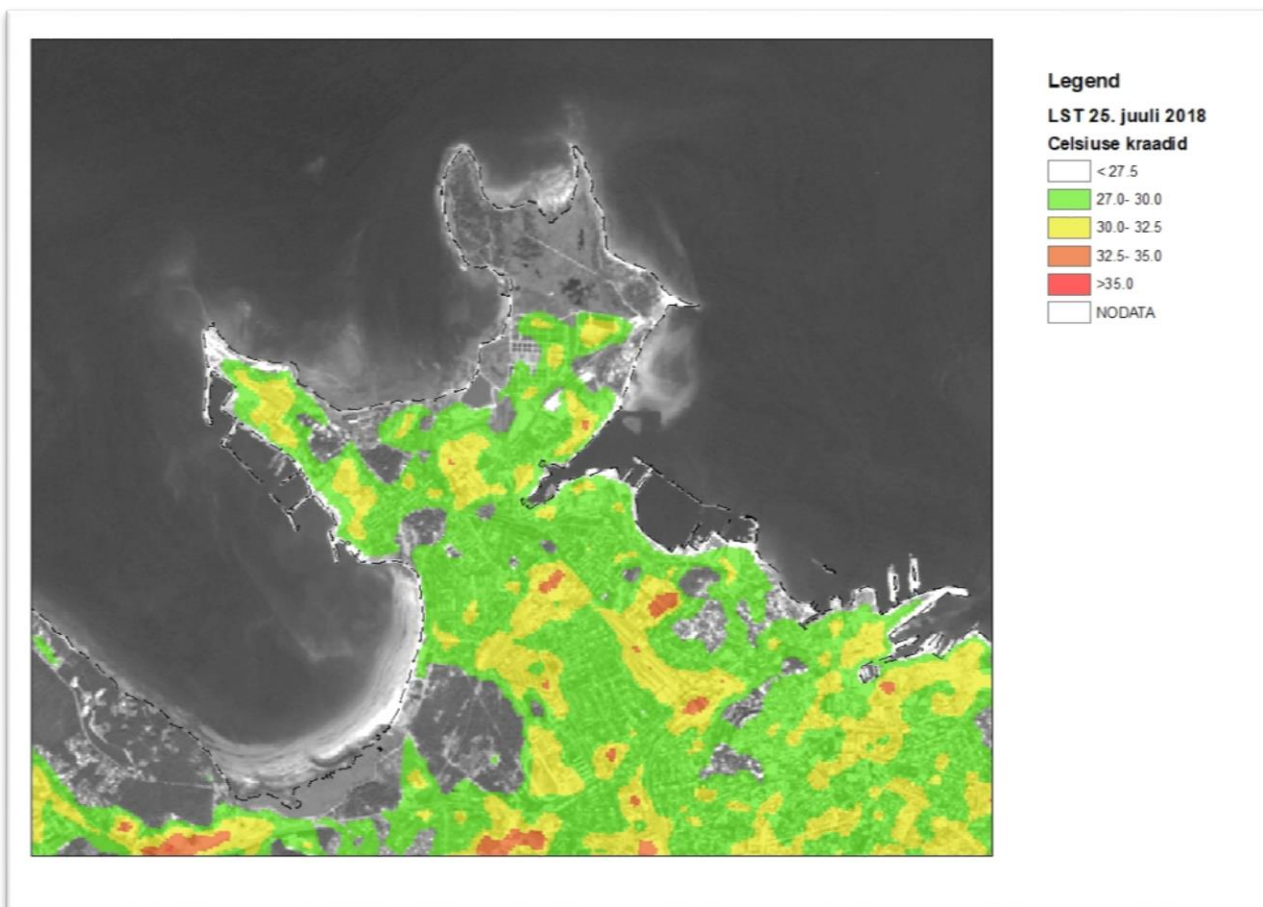


Joonis 7. Soojussaared Põhja-Tallinnas 2014. aasta kuumalaine ajal.

Esmajärjekorras torkab 2014. aasta pildilt silma ülekuumenenud Kopli kaubajaama raudtee. Sellega liituvad ühelt poolt Balti jaama ümbruse ja Telliskivi loomelinnaku, teiselt poolt Volta ja Sitsi tööstuskvartali kuumasaared. Kopli ja Paljassaare poolsaare ühinemiskohas kujuneb kuumasaareks nn Kopli mägi ja sellest lõunas olev Maleva tänava ärikvartal. Kopli poolsaarel kujuneb soojussaar välja „Põhjala“ tehase ja Marati tn 7 laohoone ning BLRT tehaste hiigelsuurtel katustel. Paljassaares on kuumad Paljassaare tee äärde jäävad tööstus- ja sadamahooned. Mõneti oodatavalt on väga kõrge temperatuuriga Paljassaare reoveepuhastusjaama komposti järelvalmimise väljak, kus tumedad kompostivaalud neelavad intensiivselt päikesekiirgust ja emiteerivad soojuskiirgust. Liikudes linnaosa lõunaservale hakkavad siin kuumalaine ajal



„helendama“ Tallinna trollipargi asfaltplats ja selle kõrval oleva Ädala tänava ärimajad. Silmatorkavaks on Mööblimaja oma suure lamekatusega ja selle kõrval asuv suhteliselt tumeda kattega Pelgulinna Gümnaasiumi staadion, mis koos moodustavad märkimisväärse soojussaare. „Punaste täppidena“ torkavad silma näiteks Sõle ja Kolde tänava ristmiku piirkonda ehitatud kaupluste katused, aga ka Ehte tänava koolide ala.



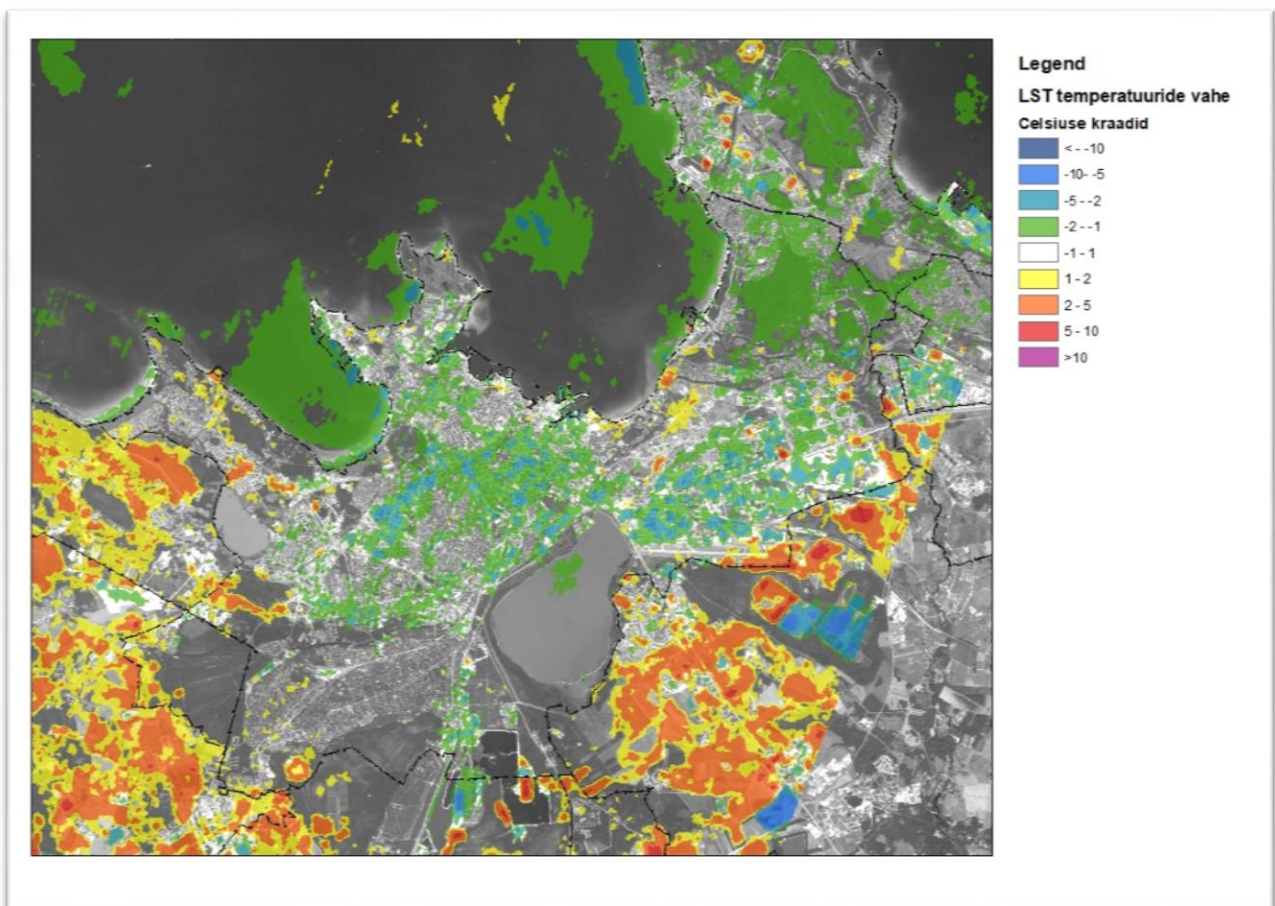
Joonis 8. Soojussaared Põhja-Tallinnas 2018. aasta kuumalaine ajal.

## Uued soojussaared?

Kahe suhteliselt pika ajavahemiku järel tehtud satelliitpildi kõrvutamise annab meile võimaluse uurida soojussaarte ajalise dünaamika. St. vastata küsimustele, kas ja kuhu on tekkinud juurde uusi soojussaari. Praegusel juhul on nendele küsimustele püütud vastata metoodilises mõttes kõige lihtsamalt – 2018. aasta 27. juuli pinnatemperatuuri pikslitest on lahutatud 2014. a. 25. juuli vastava piksli väärtused. Kuna 2018. aasta temperatuurid on üldiselt madalamad, siis peaksid kõik negatiivse väärtusega pikslid näitama neid piirkondi, kus 2014. aastal oli soojussaare efekt tugevam, kui 2018. aastal. Väga kõrged positiivsed väärtused joonistel 9 ja 10 peaksid aga tähistama soojussaari, mis on nelja aasta jooksul juurde tekkinud.

Pikslite lahutamise meetod vajab edaspidi kindlasti arendamist ja detailsemat analüüsi. Praegu tekitavad selle tulemused teatud küsimusi, millele vastamiseks oleks vaja andmeid mulla ja

taimestiku niiskusvarude kohta. Näiteks võib joonisel 9 näha, et enamus väljapoole Tallinna jäävaid alasid on positiivse väärtusega. See tähendab, et 2018. aastal olid need suhteliselt soojemad, kui kuumemal 2014. aastal. Põhjuseks võivadki olla erinevused mulla- ja taimkatte niiskusoludes. Sellele, et satelliitidele paistvad pinnatemperatuurid sõltuvad just vee olemasolust ja pinnakatte seisundist, viitab Ülemiste lennuväljast kagusse jääva Rae raba käitumine. Raba kahel kagupoolsel väljal toimub turba ammutamine ja 2014. aasta kuumalaine pildilt (joonis 5) torkavad need punaste ristkülikutena väga teravalt silma. Kolmas, vahetult lennuradadest lõunasse jääv ja osaliselt taimestikuga kaetud kaevevälja pinnatemperatuur on aga lähedane õhutemperatuurile ja kaardilt (joonis 5) soojussaarena silma ei paista. 2018. aasta kuumalaine ajal „helendab“ aga ka see ristkülik ja nii on vahede joonisel (joonis 9) Rae rabas kolm erivärvilist ala – kaks negatiivsete väärtustega „sinist“ ja üks „punane“.



Joonis 9. 2018. ja 2014. aasta pinnatemperatuuride vahe Tallinnas. 2018. aasta 27. juuli pinnatemperatuuridest on lahutatud suhteliselt kuumema 2014. a. 25. juuli temperatuurid.

Paraku tekitab Rae raba näide küsimusi ka linna siseste uute „punaste laikude“ tõlgendamises. Kas need näitavad ilmingimata uusi tehnogeenseid pindu või erinevusi kahe kuumalaine mullaniiskuses? Kui otsida näiteid Haabersti linnaosas, siis üks positiivsete väärtustega ala ehk siis potentsiaalselt uus soojasaar Kakumäel on ilmselt seotud Kakumäe sadama väljaehitamisega. Samas ilma kohapealse põhjaliku uuringuta on raske öelda, kas näiteks Harku järve põhjakaldale

jääv uus kuumasaar on tingitud Järvetipu ja Pärnaõue elamurajooni värsketest majadest või veel täis ehitamata kruntide mulla seisundist. Näiteks Tiskres kohe linna ja Tabasalu aleviku piiril asuv laik on pigem seotud Hansu ning Roolahe tänava vahel asuva loodusliku ala niiskusrežiimiga. Põgusal ülevaatel näibki, et enamuse Tallinna linna piiresse jäävatest uutest „punastest laikudest“ on seotud looduslike aladega. Näiteks üheks äratuntavaks alaks on „Russalka“ mälestusmärgi ümbritsevad muruplatsid. Ent nagu Põhja-Tallinna linnaosa näitel võib väita, tulevad detailsemal analüüsil just temperatuuride vahede kaardilt selgelt välja ka mitmed uusarendused, mis 2018. aasta kaardilt veel eraldi kuumasaarena silma ei torka.

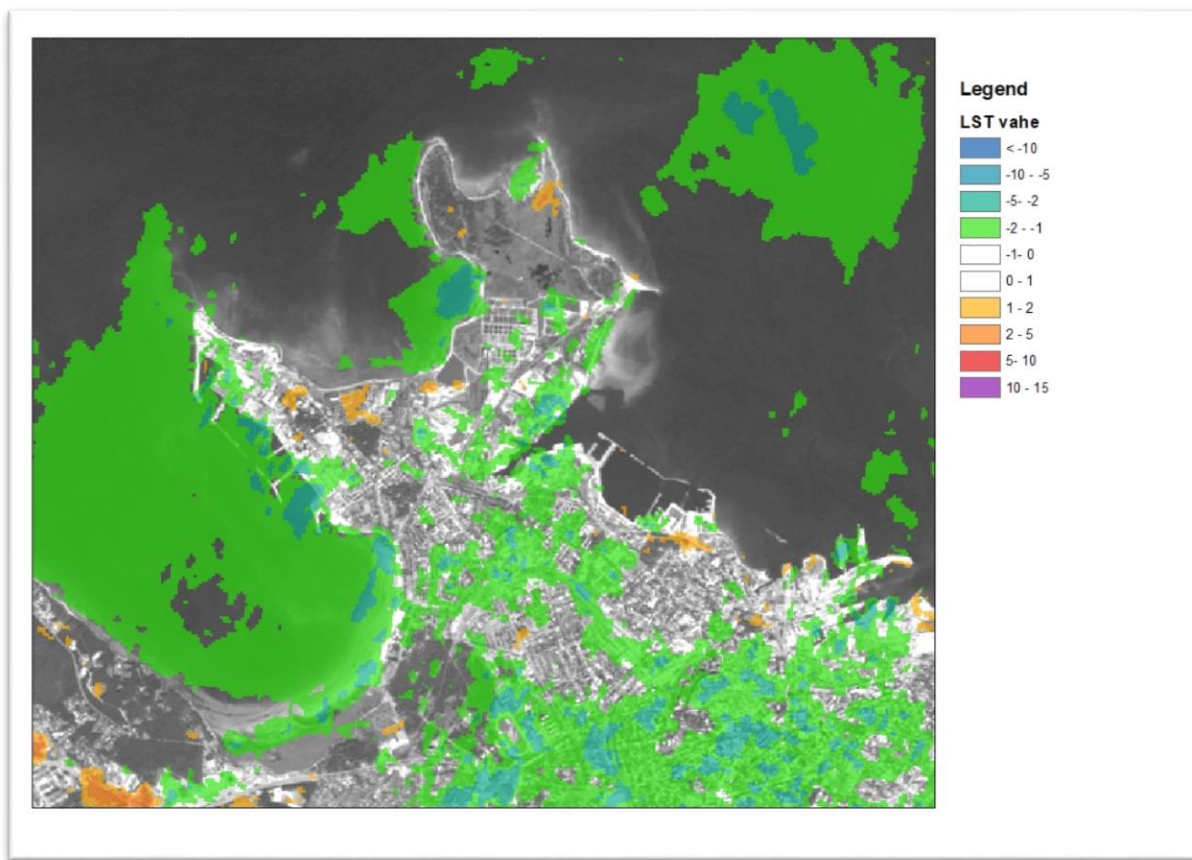
Päris uus ja märkimisväärselt võimas kuumasaar, kus 2018. ja 2014. aasta temperatuuride erinevus ulatub üle 10 kraadi, on lisandunud Lasnamäele Peterburi tee äri- ja tööstusalade koridori. Lähemal vaatlusel selgub, et selle „punase täpi“ all on 2016. aastal valminud Tallinki tennisekeskus (Osmussaare 7). Mainimisväärsed on ka Paepargi uusarendus, Tondiraba jäähall, Peterburi tee Rimi Hyper piirkond ja Priisle äripark.

### Uued soojusaared Põhja-Tallinnas

Põhja-Tallinna puhul kerkivad üles samad metodoloogilised küsimused kui ülejäänud linnas: kas uus soojusaar on tekkinud uutest ehitistest ja maakasutuse muutustest või siis pinnase niiskusoludest. Peab rõhutama, et joonisel 10 päris uusi soojusaari tegelikult välja ei tulegi – need nõ punakate alade temperatuurierinevus on enamusel juhtudest 1-2 kraadi. Tuleb ka arvestada ohuga, et väiksemate alade käsitlemisel on tendents üksikuid piksleid ületähtsustada.

Põhja-Tallinna kõige silmatorkavam nii-öelda uus kuumasaar asub Väike-Paljassaarel. Kuid see on tegelikult Saartevahe järv ning seda ümbritsev märgala. Ka teised Paljassaare „täpid“ on ilmselt tingitud pinnase niiskuse eripäradest. Samuti on Kopli poolsaare soojasaari ilma põhjaliku uuringuta keeruline seostada muutustega maastikus. Nii on Kopli liinide piirkonna „laiku“ raske ühitada tehnogeensete pindade laienemisega. Viimastel aastatel on seal protsessid liikunud pigem loodustumise suunas. Teist Kopli poolsaare laiku võiks seostada 2016. aastal toimunud Kopli trammidepoo renoveerimisega, kuid ilma põhjalikuma analüüsita on selline järeldus meelevaldne.

Üks ala, mis vääriks süvitsi uurimist, on Lennusadama piirkond, kus praegu käib aktiivne kinnisvara arendustöö. Ilmselt muudavad uusrajatised ka kohalikku mikrokliimat. Praegune satelliitpiltide võrdlus viitab, et Vibu tänava 2016. aastal valminud majad (majaderida Vibu 2-10) koos Kalaranna tänava äärde jäävate uusarendustega on sinna kujundamas uut soojusaart. Teiseks mainimisväärselt rajatiseks on 2017. aastal ukсед avanud Sõle spordikeskus (Sõle 40a). Suure tumeda katuse ja moodsalt musta värvi väliskujundusega on see koos juba eelpool mainitud Kolde Selveriga muutmas piirkonna suvist mikrokliimat kuumemaks.



Joonis 10. Pinnatemperatuuride vahe Põhja-Tallinnas. 2018. aasta 27. juuli pinnatemperatuuridest on lahutatud suhteliselt kuumema 2014. a. 25. juuli temperatuurid.

## Kokkuvõte

Linna soojussaare efekt ja kuumasaared on Eestis veel teadvustamata probleem. Neid on ka meie teadlaste poolt suhteliselt vähe uuritud. Samas, nagu näitab käesolev töö, on Tallinnas hulga pindasid, mille temperatuur on 10-15 kraadi kõrgem kui samal ajal meteoroloogiajaamas mõõdetav õhutemperatuur. Tavaliselt moodustavad silmatorkavaid soojussaari tööstus-, äri- ja kaubanduskeskuste tumedad lamekatused ning keskusi ümbritsevad asfalteeritud parkimisplatsid. Kõige võimsamad kuumasaarestikud ehk alad, kus kuumalaine ajal tekib laialdane soojussaar, on Ülemiste City kandis, Peterburi ja Mustamäe tee äärde jäävates ärirajoonides.

Kui soojussaarte efekti probleemile läheneda haavatavuse vähendamise põhimõtetest, siis tuleb eelkõige pöörata tähelepanu elamupiirkondade olukorrale. Võrreldes ärialade kuumasaarestikega on soojussaare efekt elamurajoonides tagasihoidlik. Suure osa Tallinnast moodustavad individuaalelamud (Pirital, Kristiines, Haaberstis, Nõmmel), kus majade ümber on kas suhteliselt suur aed või hooned asuvad parkmetsas, kus puude võrad ning lehestik ei lase päikesekiirgusel tehnogeenseid pindasid kuumutada. Samuti on paljude Mustamäe ja Lasnamäe korruselamute vahel suhteliselt suured varjuandvate puudega haljasalad. Probleemaatiliseks piirkonnaks on Lasnamäel Laagna tee ümbrus kus korrusmajad on üksteisele lähedale ehitatud. Majad moodustavad kinniseid hoove, milles on kõrghaljastust vähe. Probleemseteks aladeks on

kujunemas mitmed uusarenduspiirkonnad. Sageli on need tihedalt täis ehitatud ning kõrghaljastus neis kas puudub või pole puud veel piisavalt kõrgeks kasvanud.

Käsitledes soojussaare efekti mõjusid elurajoonides tuleb aga teadvustada satelliitpiltide analüüsimeetodi teatud nõrku kohti. Satelliitpiltide puuduseks on see, et puuvõrade varjus olevaid kõnniteid tehiskaaslaste mõõteaparatuur ei näe. Seega napib meil informatsiooni sellest ruumist, kus inimesed Tallinnas tegelikult liiguvad ja elavad. Satelliitpilt ei ütle täpselt ka seda, millest kuumasaar tekib; st. kas näiteks mõne kaubanduskeskuse katuse katmiseks kasutatud materjalide kiirguslikest omadustest või sinna installeeritud seadmetest. Teiseks oluliseks puuduseks on satelliitide ülelennu sagedus. Landsat 8 pildistab täpselt sama ala iga 16 päeva tagant. Seega võib juhtuda, et meid konkreetselt huvitavast ilmasündmusest ei pruugi fotot olla. Kuumalained võivad sattuda just perioodi, mil satelliidi ülelendu ei toimu.

Et saada täit ülevaadet Tallinna soojussaare efektist ja selle mõjudest, tuleks satelliitandmeid kombineerida nii püsivaatlustest, marsruutvaatlustest ja ka näiteks eksperimentaalvaatlustest kogutavate andmetega. Kindlasti tuleks Tallinnasse rajada püsivaatluste võrgustik ning regulaarne marsruutvaatluste süsteem. Lähiaja perspektiivis annaks Tallinna linnakliima tundmaõppimisele väga palju juurde kasvõi see, kui EKUK Liivalaia ja Väike-Õismäe seirejaamadel oleksid termomeetrid. Nendest kohtadest kogutavad andmed oleksid satelliitpiltidele väärtuslikuks võrdlusandmeteks. Marsruutvaatlused annaksid võimaluse saada regulaarseid vaatlusandmeid paljudest erinevatest linnaosadest. Seda infot saab samuti kasutada satelliitpiltide verifitseerimiseks, ent ka linna erinevate osade mikrokliima tundmaõppimiseks.

## Üldised soovitused

1. Soojussaare efekti ohjamisel peab lähtuma haavatavuse vähendamisest. See tähendab, eelkõige tuleb keskenduda nendele aladele, kus soojussaared mõjutavad riskirühma kuuluvaid inimesi. Kuumasaarte likvideerimine ei peaks olema omaette eesmärgiks, kuna sellisel juhul on oht keskenduda üksikutele kuumadele katustele ja kaotada silmist üldist pilti.
  - a. Soojussaare efekti tuleb silmas pidada ka õhusaaste, energia kokkuhoiu ja taristu toimekindluse aspektist. Seejuures ei peaks keskenduma endiselt väga haruldastele kuumalainetele. Teatud kohtades võib kuumasaar tekkida igal päikesepaistelisel päeval aprillist septembrini.
2. Haavatavuse vähendamise puhul ei tohi kapselduda insener-tehnilistele lahendustele. Oluliselt mõjusamad on niinimetatud pehmed meetmed: inimeste teadlikkuse tõstmine, riskigruppide sotsiaalse sidususe tõstmine, sotsiaaltöö toetamine jne.
3. Insener-tehniliste lahenduste planeerimisel tuleks arvestada ka teiste tulevikukliima tendentsidega – lumekatte vähenemine, paduvihmade sagenemine, 0-kraadiga ilmade sagenemine jne. Kitsalt ühe probleemi vähendamisele suunatud meetmed võivad võimendada mõne teise ekstreemse ilmastikunähtuse negatiivseid mõjusid.
4. Uute kuumasaarte tekkimise vältimiseks tuleb muuta planeerimise ja ehitamise põhimõtteid. Seejuures tuleks vältida administratiivseid ettekirjutusi vaid selgitada arendajatele, et rakendatavad meetmed annavad konkurentsieeliseid. Näiteks katuseprofiili

või kattematerjali muutmine võib kokku hoida hoone jahutamise kulusid. Murukatus vähendab talviseid soojakadusid.

5. Tallinna linnas tuleks luua keskkonnaseire süsteem. Soojasaare efekti jälgimise kõrval parandab läbimõeldud seiresüsteem oluliselt näiteks tehnohoolduse kvaliteeti ja operatiivsust.

### Tehnilisi soovitusi soojusaare efekti vähendamiseks

Nagu eelpool mainitud, ei peaks haavatavuse seisukohalt tehnilised lahendused olema primaarsed. Samas on tehnilised lahendused sageli odavamad, nende teostus kõigile nähtav ja nende mõju konkreetselt mõõdetav. Järgnevalt anname märksõnadena ülevaate peamistest meetmetest, mida kasutatakse kuumasaare mõju vähendamiseks.

- **Vesi.** Selle märksõna alla kuuluvad kõik linnasisesed märgalad, tiigid, veega täidetud kraavid, allikad ja purskkaevud. Vesi on üheks enimsoovitatud soojusaare ohjamise vahendiks, kuna vee aurustamine vähendab efektiivselt õhutemperatuuri. Nii on veega kastmine või vee pritsimine tänavatele üks väga levinud kuumuse leevendamise viise. Käesoleva töö joonistel 6 ja 5 torkab silma, et kuumalaine ajal on just vesised alad (nt Tondi ja Sõjamäe raba) suhteliselt jahedamad piirkonnad. Lisaks meeldib inimestele vee ääres olla ja vee voolamist jälgida. Tehisveekogud on üheks levinud arhitektuurseks võtteks, kuidas uuselamurajoone „looduslikumaks“ muuta. Ühtlasi on need veekogud reservuaarideks, kuhu koguneb paduvihmade ajal liigvesi. Samas on tehisveekogude loomine suhteliselt kallis ja nende pidev hooldamine kulukas.
- **Pargid ja parkmetsad.** Kõrghaljastus pakub kuumalainete ajal varju ja ei lase pinnasel, sh puude all olevatel tehnogeensetel pindadel kiiresti kuumeneda. Evapotranspiratsiooni abil võivad puud ka õhutemperatuuri tõusu aeglustada. Üksnes muruplatsid kuumalaine ajal probleemi leevendajatena ei toimi, kuna muru kuivab kiiresti ära ja vajab soojusaareks muutumise vältimiseks pidevat kastmist.
- **Suurte tumedate pindade vältimine.** Nagu käesolevas töös korduvalt konstateeritud, ilmnevad suured kuumasaared sageli just suurte hoonete lamekatuste ja hooneid ümbritsevate parkimisplatside koosmõjul. Ühelt poolt võib neid hiigelpatse vaadata kui äririski. Näiteks võivad kauplused kuumadel päevadel kaotada kliente, kuna viimastel on väga ebamugav mööda tulist parkimisplatsi poodi tulla. Teiselt poolt haakub see teema aga üldise autostumise ohjamise poliitiliste valikutega ja küsimusega, kas igale poole peab autoga ligi pääsema? Kolmandast küljest võivad sageli suurte liiklussõlmede kõrval olevad platsid anda oma panuse inimtervisele ohtlike fotokeemilistele reaktsioonidele.
- **Tänavate värvimine.** See meetod on kõneainet leidnud tänu 2018. aasta kevadel Los Angeleses tehtud eksperimendile, kus mõned sõiduteed kaeti valge värviga. Väidetavalt andis värvimine häid tulemusi ja õhutemperatuur püsis nendel aladel kuumalaine ajal u. 10 kraadi madalam. Värvimise puhul tuleb aga arvestada, et see on suhteliselt kallis meede (Los Angelese näitel 40 000 USD miili kohta) ja kindlasti ei ole ratsionaalne hakata lausaliselt kõiki tänavaid värviga katma. Siiski oleks mõistlik tulevikus tänavate renoveerimisel kasutada heledamaid kattematerjale, nt tänavakive, või lisada asfaldile värvi. Samas oleks suhteliselt lihtne värvida lamekatuseid ja sellega vähendada suurte kontori- ja tootmishoonete ning kaubanduskeskuste soojusaare efekti.

- **Murukatused.** Murukatused on Eestis suhteliselt vähe levinud lahendus lamekatuste kuumenemise vähendamiseks. Ometi on murukatuseid Tartu ülikoolis väga põhjalikult uuritud ja leitud, et need muudavad väga efektiivselt katuse albeedot. Suureneb katuse vastupidavus ja eluiga, vähenevad hoone jahutus ja ka talvised küttekulud. Lisaks hoiab murukatuse pinnas kinni suhteliselt palju vett, mistõttu väheneb padusadudest tingitud veetulv. Alahinnata ei saa ka katuse rekreatiivset rolli. Teiselt poolt on murukatuste rajamine suhteliselt kallis ja selle rajamist tuleb planeerida juba hoone projekteerimise käigus. Ka peetakse murukatuse hooldamist sageli kulukaks.
- **Viilkatused.** Viilkatused on viimastel kümnenditel moest ära läinud, kuigi nagu ka käesolevast tööst nähtub, on need linnas üsna efektiivseks päikesekiirguse hajutajaks. Nende ehitamine on mõnevõrra kallim, kuid viilkatused on vastupidavam ja põhjamaade kliimas sobilikumad.

## Edasiste uuringute vajadus

Edasiste uuringute vajadus sõltub püstitatavast lõppeesmärgist. Arvestades sellega, et Tallinna rahvaarv pidevalt tõuseb ning linna struktuurid muutuvad üha keerukamaks, peaks pikemas perspektiivis linnal olema oma **keskkonnaseire süsteem**, mis toetaks taristu haldamist, transpordisüsteemi toimimist, planeerimisotsuseid ja keskkonnaprobleemide ohjamist.

Süsteemi osadeks oleksid püsivaatlusjaamad, marsruutvaatluse vahendid ja regulaarsed kaugseire vaatlused, mis kõik annaksid sisendi linna keskkonnamudelile. Mudeli väljundiks oleks linna keskkonnaseisundi pilt, millelt paistaks reaajas iga linna piirkonna, tee või asumi temperatuuride, õhusaaste jms olukord.

Peamine igapäevane rakendus võiks sellel süsteemil olla tänavate ja liiklustingimuste monitoorimises. Näiteks kiilasjäa ohu prognoosimisel.

Püsivaatlusjaamade hulga ja asukoha peaks määrama eraldi uuringud. Neis jaamades peaks lisaks klassikalisele 2 m kõrgusel mõõdetavale õhutemperatuurile jälgima ka pinna, sh asfaltpinna temperatuure. Lähiaja uuringute perspektiivis tuleks termomeetrid lisada EKUKi Liivalaia ja Väike-Õismäe mõõtejaamadele. Marsruutmõõtmiste puhul võiks rakendada regulaarselt liikuvat ühistransporti. Termomeetrite lisamine bussidele ja trammidele annaks mudeli jaoks ühtlase infovoogu. Kaugseire all pole siin mõeldud üksnes satelliitpilte vaid ka droonidelt ja üle linna lendavate reisilennukitelt kogutavat infot.

**Lähitulevikus** tuleks aga koostada uurimisprojekt, mis annaks vastuseid käesolevas töös üles kerkinud küsimustele ja rajaks kindla teadusliku aluse keskkonnaseire süsteemi koostamisele. Uurimist vajavad küsimused ja teemad on järgmised:

- a) Kuidas on Tallinna soojussaarte geograafia muutunud eelnevate aastate (aastakümnete) lõikes? 2014. ja 2018. aasta piltidega võib kõrvutada ka näiteks satelliidifoto 2010. aasta kuumalainest. Kuna kuumasaared hakkavad „helendama“ praktiliselt iga päikesepaistelise ilmaga, siis saarte kujunemise ja arenemise jaoks võib kasutada satelliidipilte, mis on tehtud päikesepaistelisel päeval aprillist septembrini. Seega on analüüsimist ootavat algmaterjali suhteliselt ohtralt.

- b) Soojussaarte kujunemise seosed maakasutuse muutustega. Käesolevast tööst selgus, et paljud soojussaared on seostatavad konkreetsete lamekatuste ja parkimisplatsidega. Kuid täpsema vastuse annab soojussaarte leviku küsimustele GIS analüüs, kus satelliidipilte võrreldakse maakasutuse ja selle muutustega.
- c) Öised soojussaared. Inimtervise seisukohalt on öised soojussaared elurajoonides palju ohtlikumad, kuna ei lase inimestel öösiti välja puhata. Öösel tehtud satelliitpiltide lahutusvõime on Landsat 8 fotodest madalam, kuid nende ajaline samm on palju tihedam.
- d) Külmasaared. Tehnogeensetel pindadel on omadus soojuskiirgust kiiresti kaotada. Nii on külmal poolaastal linnasisesed temperatuurid sageli madalamad, kui väljaspool linna. Külmasaartel võib näiteks tekkida ootamatu kiilasjääd.
- e) Olemasolevate temperatuuriandmete analüüs. Tallinna linna territooriumil ja selle lähiümbruses mõõdetakse temperatuure mitmetes kohtades ja asutuste poolt: ilmateenistuse kõrval teeb ilmaelementide vaatlusi lennujaam, EKUK, Maanteeamet. Kui välja arvata lennuvälja ja loomaaias asuv EKUKi mõõtejaam, siis otseselt soojussaari teistest mõõtepunktidest otseselt seirata ei saa. Samas pakuvad need kõik satelliitfotodele väärtuslikku taustainfot.
- f) Kohapealsed mõõtmisekspeditsioonid. Projekti käigus tuleb teha mitmeid kohapealseid mõõtmisi. Ühtelt poolt on need vajalikud satelliitfotode verifitseerimiseks. Vaid kohapealsete, satelliidi ülelennuga paralleelsete mõõtmistega saab kindlaks teha tehiskaaslastelt saadava info usaldusväärsust. Teiselt poolt vajavad katselisi mõõtmisi näiteks droonidelt peamised kuumasaared aga ka hoovid ning puude varju jäävad tänavad, mille pinda satelliidid ei näe.
- g) Haavatavuse kordusuuring. 2021. aastal toimuv rahvaloendus annab uusi ja loodetavalt põhjalikumaid andmeid riskirühmadest. Kõrvutades neid andmeid põhjalikuma linna mikrokliima analüüsi tulemustega saab teha ka detailsemat haavatavuse analüüsi.



## Kasutatud kirjandus

- Adrot, A., Moriceau, J. L., 2013. Introducing performativity to crisis management theory: An illustration from the 2003 French Heat wave crisis response. *Journal of Contingencies and Crisis management*, 21(1), 26-44.
- Aljas, R., 2017. Kuidas kajastuvad kuuma- ja külmalained Tartu linna õhutemperatuurides aastatel: 2003-2016? Magistritöö loodusgeograafias ja maastikuökoloogias. Juhendaja: Mait Sepp. Tartu Ülikool, Geograafia osakond
- Berlinger J., 2019. Nearly 1,500 deaths linked to French heat waves. CNN 9. september 2019. <https://edition.cnn.com/2019/09/08/europe/france-heat-wave-deaths-intl-hnk-scli/index.html>
- Dhainaut, J., Claessens, Y., Ginsburg, C. et al., 2003. Unprecedented heat-related deaths during the 2003 heat wave in Paris: consequences on emergency departments. *Crit Care* 8, 1
- Ekholm J., 1981. Joensuun paikallisilmasto. *Terra* 93(4): 145–154.
- Gartland. L., 2008. Heat Island Understanding and Mitigating Heat in Urban Areas. Earthscan.
- Heino R., 1978. Urban effect on climatic elements in Finland. *Geophysica* 15( 2): 171– 188.
- Hoiatuste kriteeriumid, 2019. <http://www.ilmateenistus.ee/ilmatarkus/kasulik-teada/hoiatuste-kriteeriumid/>
- Howard. L., 1833. The Climate of London: Deduced from Meteorological Observations Made in the Metropolis and Various places Around it. London, Harvey and Darton.
- Karing. P., 2013. The regionalisation of microclimate data. *Baltic Horizons*, Vol 19, 57–67.
- 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.
- Kivi, R. (koost.), 1990. Tartu kliima ja selle muutumine viimastel kümnenditel. Eesti Teaduste Akadeemia, Astrofüüsika ja Atmosfäärifüüsika Instituut. Tartu. Eesti Teaduste Akadeemia.
- Kui ilm muutub, 2019. <http://www.ilmateenistus.ee/ilmatarkus/kasulik-teada/kui-ilm-muutub-ohhtlikuks/kuumalaine-ehk-palavus/>
- Kukkur, Õ., 1966. Predvaritel`nye dannye issledovaniya himitcheskogo sostava atmosfernogo vozduha Tallina. *Sbornik rabot Tallinskoj GMO*, 4. 14-19.
- Kuukokkuvõtted, 2019. <http://www.ilmateenistus.ee/kliima/kuukokkuvotted/>
- Käär, M., 2015. Tallinna soojasaare seos talviste ilmastikuteguritega. Bakalaureusetöö. Juhendaja: Oliver Tomingas. Tallinna ülikool, loodusteaduste osakond.
- Laaksonen K., 1994. Lämpötilan jakaumia Hyvinkään kaupungissa keskikesän öinä. *Terra* 106(3): 326–342.

- Liiv, R., Ott, R., Luiga, P., Pikkov, V., 1974. Kumulativnoe opredelenie dvoukisi sery i ftoridov v atmosfernom vozduhe. *Izvestiya AN ESSR*. 23(3):208-213.
- 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.
- Nordbo, A., Järvi, L., Haapanala, S., Moilanen, J. & Vesala, T., 2013. Intra-city variation in urban morphology and turbulence structure in Helsinki, Finland. *Boundary-Layer Meteorology*, 146, 469–496.
- Oke, T.R., Mills, G., Christen, A., Voogt, J.A., 2017. *Urban climates*. Cambridge University Press.
- Prilipko G.I. (toim.), 1982. *Klimat Tallina*. Leningrad: Gidrometeoizdat.
- Prilipko G.I. (toim.), 1986. *Klimat Pjarnu*. Leningrad: Gidrometeoizdat.
- 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 kohaneda? Kliimamuutustega kohanemine Eestis – valmis vääramatuks jõuks? Toimetaja: Roose. A. *Publicationes Instituti Geographici Universitatis Tartuensis* 112, 6-19.
- 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.
- Sepp, M., 2015. Kliimamuutustega kohanemise klimatoloogilised aspektid. Kliimamuutustega kohanemine Eestis –valmis vääramatuks jõuks?. Toimetaja: Roose. A. *Publicationes Instituti Geographici Universitatis Tartuensis* 112, 20-37.
- Sepp, M., Sagris, V., Tamm, T., 2015. Eesti asub kliimamuutuste tulipunktis. *Eesti Loodus*, 66 (8), 8–13.
- Sundborg, Å., 1950. Local Climatological Studies of the Temperature Conditions in an Urban Area, *Tellus* 2, 222–232.
- Suomi, J., Hjort, J., Käyhkö J., 2012. Effects of scale on modelling the urban heat island in Turku, SW Finland *Clim. Res.*, 55. 121-136.
- Suomi, J., Käyhkö J., 2012. The impact of environmental factors on urban temperature variability in the coastal city of Turku SW Fnl. *Int. J. Clim.*, 32, 451-463
- Suomi, J., 2018. Extreme temperature differences in the city of Lahti, southern Finland: Intensity, seasonality and environmental drivers. *Weather and Climate Extremes*, 19, 20-28.

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

Tammets, T., 2012. Eesti ilma riskid. Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituut. Eesti Entsüklopeediakirjastus, Tallinn.

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.

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

Vaatlusandmed, 2019. <http://www.ilmateenistus.ee/ilm/ilmavaatlused/vaatlusandmed/>