KESKKONNAAGENTUUR

Soojussaarte hindamine Eesti linnades 2014-2019

Autorid: Olev Märtens*, Riina Pärg ja Jekaterina Služenikina
* - põhiautor

Lõpparuanne

© Keskkonnaagentuur, Tallinn, 2020

Kokkuvõte: Antud töös on Landsat-8 (USA) satelliidiandmete alusel hinnatud maapinna temperatuure ja võimalikke soojussaari suuremates Eesti linnades (Tallinn, Tartu, Pärnu, Kohtla-Järve, Narva, Viljandi, Rakvere) ja nende lähiümbruses ajavahemikus 2014-2019. Töö käigus jäid valikusse aastad 2014, 2018 ja 2019. Landsat-8 seireandmed on valitud aluseks, kuna need andmed on suhteliselt hea (30-100) m eraldusvõimega. Probleemiks võib olla andmete intervall (16 päeva) ja muud võimalikud takistused (ennekõike pilvisus). Töö käigus on leitud võimalikud Landsat-8 andmete (kujutiste) seeriad alginfoks, mis langeksid võimalikult kokku antud linnade lähimates ilmajaamades mõõdetud õhu temperatuuriandmetega kuumalainete leidmiseks. Valik neist andmeseeriatest on alla laetud USA geoloogiateenistuse lehelt (*https://earthexplorer.usgs.gov/*). Andmetest on infrapunase spektri kanali (*IR*) igas *pikslis* hinnatud maapinna temperatuuri (korrigeerides seda teiste lainepikkuste sensorite infoga, vastavalt üldtunnustatud meetodile [1]). Edasiselt on hinnatud võimalikke soojussaari. Tulemused on esitatud nii soojuskaartidena (*"heatmap plots"*) kui võimalike soojussaarte piltidena iga valitud linna osas, mainitud aastate suvedel (andmete olemasolul). Soojussaared on eksporditud ka nn *"shape"*-formaadis failidena kaardirakendustes kasutamiseks. Töö on teostatud kasutades avalikke andmebaase ja vabavaraliste tarkvara vahenditega (ennekõike Pythonis programmeerimine koos asjakohaste geoinformaatika, numbrilise matemaatika, pilditöötluse jmt teekidega).

Sisukord

1 Põhimõisted ja lühendid **7**

2 Töö kirjeldus **8**

2.1 Ülesandest 8

2.2 Metoodikast ja tehtud tööst 8

3 Valik soojuskaarte **11**

4 Soojussaared **35**

5 Kokkuvõtteks **53**

Tänusõnad **54**

Lisa1. Kuumalainete esinemine ja Landsat-8 andmete saadavus **56**

Joonised

1 Soojuskaart:Tallinn, 25.07.2014 [2] 9

2 Landsat-8 maapinna temperatuuri arvutusskeem [1] 10

3 Soojuskaart: Tallinn 25. juuli 2014 12

4 Landsat-8 satelliitpilt (*true color RGB*): Tallinn 25. juuli 2014 12

5 Soojuskaart: Tallinn 2. juuni 2018 13

6 Landsat-8 satelliitpilt (*true color RGB*): Tallinn 2. juuni 2018 13

7 Soojuskaart: Tallinn 5. juuni 2019 (*kaardil on pilvisust tumesiniste laikudena)* . 14

8 Landsat-8 satelliitpilt (*true color RGB*): Tallinn 5. juuni 2019 14

9 Soojuskaart: Tallinn 2. september 2019 15

10 Landsat-8 satelliitpilt (*true color RGB*): Tallinn 2. september 2019 15

11 Soojuskaart: Tartu 27. juuli 2014 (*kaardil on pilved - tumesinise äärega valged laigud)* 16

12 Landsat-8 satelliitpilt (*true color RGB*): Tartu 27. juuli 2014 16

13 Soojuskaart: Tartu 22. juuli 2018 (*kaardil on pilvisust tumesiniste laikudena)* . 17

14 Landsat-8 satelliitpilt (*true color RGB*): Tartu 22. juuli 2018 17

15 Soojuskaart: Tartu 7. juuni 2019 (*kaardil on pilvisust -tumesinised laigud või tumesinise äärega valged laigud)* 18

16 Landsat-8 satelliitpilt (*true color RGB*): Tartu 7. juuni 2019 18

17 Soojuskaart: Pärnu 25. juuli 2014 (*kaardil on pilvisust tumesiniste laikudena)* . 19

18 Landsat-8 satelliitpilt (*true color RGB*): Pärnu 25. juuli 2014 19

19 Soojuskaart: Pärnu 2. september 2019 20

20 Landsat-8 satelliitpilt (*true color RGB*): Pärnu 2. september 2019 20

21 Soojuskaart: Narva 27. juuli 2014 (*kaardil on pilved - valged laigud tumesinise äärega või tumesinised laigud)* 21

22 Landsat-8 satelliitpilt (*true color RGB*): Narva 27. juuli 2014 21

23 Soojuskaart: Narva 7. juuni 2019 (*kaardil on pilved - tumesinise äärega valged laigud või tumesinised laigud)* 22

24 Landsat-8 satelliitpilt (*true color RGB*): Narva 7. juuni 2019 22

25 Soojuskaart: Kohtla-Järve 27. juuli 2014 (*kaardil on pilved - tumesinise äärega valged laigud)* 23

26 Landsat-8 satelliitpilt (*true color RGB*): Kohtla-Järve 27. juuli 2014 23

27 Soojuskaart: Kohtla-Järve 13. juuli 2018 (*kaardil on pilved - tumesinise äärega valged laigud või tumesinised laigud)* 24

28 Landsat-8 satelliitpilt (*true color RGB*): Kohtla-Järve 13. juuli 2018 24

29 Soojuskaart: Kohtla-Järve 22. juuli 2018 (*kaardil on pilved - tumesinise äärega valged laigud või tumesinised laigud)* 25

30 Landsat-8 satelliitpilt (*true color RGB*): Kohtla-Järve 22. juuli 2018 25

31 Soojuskaart: Kohtla-Järve 7. juuni 2019 26

32 Landsat-8 satelliitpilt (*true color RGB*): Kohtla-Järve 7. juuni 2019 26

33 Soojuskaart: Viljandi 25. juuli 2014 27

34 Landsat-8 satelliitpilt (*true color RGB*): Viljandi 25. juuli 2014 27

35 Soojuskaart: Viljandi 22. juuli 2018 28

36 Landsat-8 satelliitpilt (*true color RGB*): Viljandi 22. juuli 2018 28

37 Soojuskaart: Viljandi 7. juuni 2019 29

38 Landsat-8 satelliitpilt (*true color RGB*): Viljandi 7. juuni 2019 29

39 Soojuskaart: Viljandi 2. september 2019 30

40 Landsat-8 satelliitpilt (*true color RGB*): Viljandi 2. september 2019 30

41 Soojuskaart: Rakvere 27. juuli 2014 (*kaardil on pilved - tumesinise äärega valged laigud)* 31

42 Landsat-8 satelliitpilt (*true color RGB*): Rakvere 27. juuli 2014 31

43 Soojuskaart: Rakvere 22. juuli 2018 32

44 Landsat-8 satelliitpilt (*true color RGB*): Rakvere 22. juuli 2018 32

45 Soojuskaart: Rakvere 7. juuni 2019 (*esineb pilvisust, mida on raske eristada ümbritsevast keskkonnast*) 33

46 Landsat-8 satelliitpilt (*true color RGB*): Rakvere 7. juuni 2019 33

47 Soojuskaart: Rakvere 2. september 2019 34

48 Landsat-8 satelliitpilt (*true color RGB*): 2. september 2019 34

49 Soojussaared: Tallinn 25. juuli 2014 36

50 Soojussaared: Tallinn 2. juuni 2018 37

51 Soojussaared: Tallinn 27. juuli 2018 38

52 Soojussaared: Tallinn 5. juuni 2019 39

53 Soojussaared: Tartu 27. juuli 2014 40
54 Soojussaared: Tartu 22.juuli 2018 41
55 Soojussaared: Tartu 7. juuni 2019 42
56 Soojussaared: Pärnu 25. juuli 2014 43
57 Soojussaared: Narva 27. juuli 2014 44
58 Soojussaared: Narva 7. juuni 2019 45
59 Soojussaared: Kohtla-Järve 27. juuli 2014 46
60 Soojussaared: Kohtla-Järve 22. juuli 2018 47
61 Soojussaared: Kohtla-Järve 7. juuni 2019 48
62 Soojussaared: Viljandi 25. juuli 2014 49
63 Soojussaared: Viljandi 22. juuli 2018 50
64 Soojussaared: Viljandi 7.juuni 2019 51
65 Soojussaared: Rakvere 27. juuli 2014 52
66 Puuduvad satelliidiandmed kuumalaines 53
67 Kuumalained ja Landsat-8 info saadavus: 2013 57
68 Kuumalained ja Landsat-8 info saadavus: 2014 58
69 Kuumalained ja Landsat-8 info saadavus: 2015 59
70 Kuumalained ja Landsat-8 info saadavus: 2016 60
71 Kuumalained ja Landsat-8 info saadavus: 2017 61
72 Kuumalained ja Landsat-8 info saadavus: 2018 62
73 Kuumalained ja Landsat-8 info saadavus: 2019 63

1 Põhimõisted ja lühendid

- **Linna soojussaar** (inglise k. *Urban Heat Island - UHI*) on ümbritsevast maapiirkonnast märkimisväärselt soojem linnastunud ala.
- **Landsat-8** on Ameerika maavaatlussatelliit, mis käivitati 11. veebruaril 2013, NASA ja USA geoloogiateenistuse (USGS) koostöös.
- **Maapinna temperatuur** (inglise k. *Land Surface Temperature - LST*) on maapinna kiirgustemperatuur. See ei ole tegelik temperatuur maapinnal, kuid sellel on tugev seos õhutemperatuuriga. Seega saab maapinna temperatuur olla soojussaarte näitaja.
- **Kuumalaine** osas on tegemist mittetavapäraselt kõrge õhutemperatuuriga, mis kestab vähemalt mitu päeva. Eestis on kasutusel Keskkonnaagentuuri ilmateenistuse [3] kriteeriumid:
  - ohtlik tase: Maksimaalne õhutemperatuur $\geq$ 27 °kolme ja enama päeva jooksul või ööpäeva keskmine õhutemperatuur $\geq$ 20 °kolme ja enama ööpäeva vältel;
  - väga ohtlik tase: Maksimaalne õhutemperatuur $\geq$ 30 °kolme ja enama päeva jooksul või ööpäeva keskmine õhutemperatuur $\geq$ 25 °kolme ja enama ööpäeva vältel.

2 Töö kirjeldus

2.1 Ülesandest

Töö ülesanne oli järgmine:

- valitud kuumalainete perioodidest Landsat-8 satelliitpiltide alla laadimine arhiivist ja maapinna temperatuuri (LST) produktiks tegemine/töötlemine.
- suuremate linnade (Tallinn, Tartu, Pärnu, Narva, Kohtla-Järve, Viljandi, Rakvere) ja nende lähiümbruse tiheasustusalade soojussaarte ulatuse hindamine ja kaardile kandmine;

2.2 Metoodikast ja tehtud tööst

Töö aluseks on satelliidi Landsat-8 andmeseeriad (kujutised eri lainepikkustel, ennekõike infrapunases osas). Landsat-8 tiirleb Maa ümber päikesesünkroonses, polaar-lähedasel orbiidil 705 km kõrgusel, kaldenurgaga 98,2 kraadi ja tiirleb Maa ümber iga 99 minuti tagant. Satelliidil on 16-päevane kordustsükkel ekvatoriaalse ristumisajaga: 10:00 +/- 15 minutit [4]. Landsat-8 andmetelt on kirjanduses toodud arvutusskeemi abil võimalik leida maapinna temperatuuri hinnang (*Land Surface Temperature- LST*), kasutades nähtava valguse lainepikkuse ribasid 4 ja 5 ning infrapuna riba 10 (Joonis 2). Maapinna temperatuuri hinnangust saab omakorda eristada, eraldada ja analüüsida soojusssaari [1, 2, 5]. Antud töös on loetud soojussaareks üle +30 °C maapinna temperatuuri hinnanguga alasid. Samuti saab genereeritud soojuskaartidelt visuaalselt hinnata soojussaari - lokaalseid kohti, kus temperatuur on oluliselt kõrgem võrreldes ümbritseva alaga. Eelnevatest töödest soojussaarte osas võib mainida nn KATI aruannet aastast 2015 [5] ning 2017 artiklit [2], kus on toodud ka Tallinna soojussaared 2014.a. juulis (Joonis 1), punasega märgitult (kollasega alad - kus temperatuur on üle keskmise).

Kindlasti peab siin mainima, et esiteks- satelliidipiltidelt arvutatud maapinna temperatuur on hinnanguline, kuna on saadud kaugmõõtmistega ning teatud mudelipõhise arvutusskeemidega. Teiseks võib maapinna temperatuur (mitte ainult selle hinnang) märkimisväärselt erineda samas asukohas olevast õhutemperatuurist.

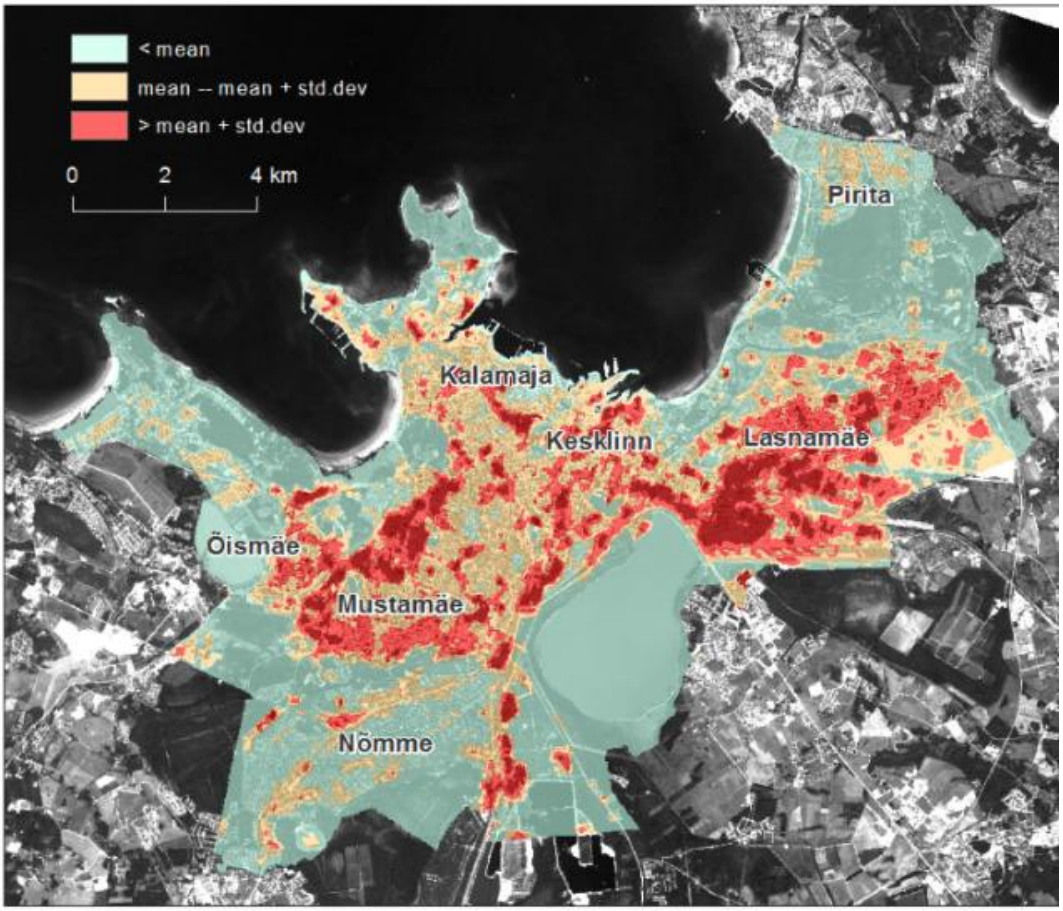
Allalaetavate andmete võimalikke seeriaid on kuupäevade osas võimalusel sobitatud vastavate linnade läheduses olevate ilmajaamade mõõdetud õhutemperatuuride kuumalainetega.

Selleks on 2014-2019 vahemikus iga aasta kohta huvi pakkuvate linnade lähimates ilmajaamades mõõdetud õhutemperatuurid ning saadavad satelliidi-andmeseeriad (pilvituse maksimaalselt 15% ja 40% tasemetel) kantud graafikutele, mis on toodud Lisas 1. Selle info põhjal valiti sobilikud satelliidi andmeseeriad.

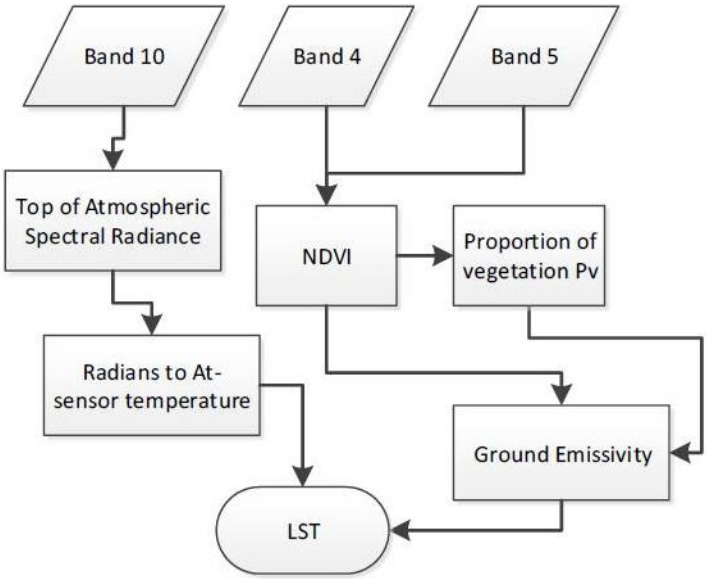
Valituks osutusid perioodid 2014 (25.-27. juuli) , 2018 (15.juuli -30.august) ning 2019 (5-7. juuni ja 2.september).

Valikus olnud andmeseeriate osas on koostatud soojuskaardid ja soojussaarte kaardid. Ülelendude kuupäevad on toodud kaardijooniste all. Kellaaeg on suhteliselt konstantne, kl 12:30 paiku Eesti suveaja järgi (9:30 GMT aeg). Kommentaariks võiks märkida, et mõnel juhul on segavaks

asjaoluks pilved (nt valged piirkonnad, ümbritsetuna tumesinise servaga või üleni tumesinised piirkonnad, soojuskaartidel). Jooniste (soojuskaardid ja soojussaarte kaardid) kohal olev väikse fondiga tekst on tehnilise iseloomuga ning seotud satelliidi ülelennu kuupäevaga. Samuti on seal indikatiivselt näidatud väga ligikaudselt hinnatud kaardi-ala keskmist maapinna temperatuuri.



Joonis 1: Soojuskaart:Tallinn, 25.07.2014 [2]

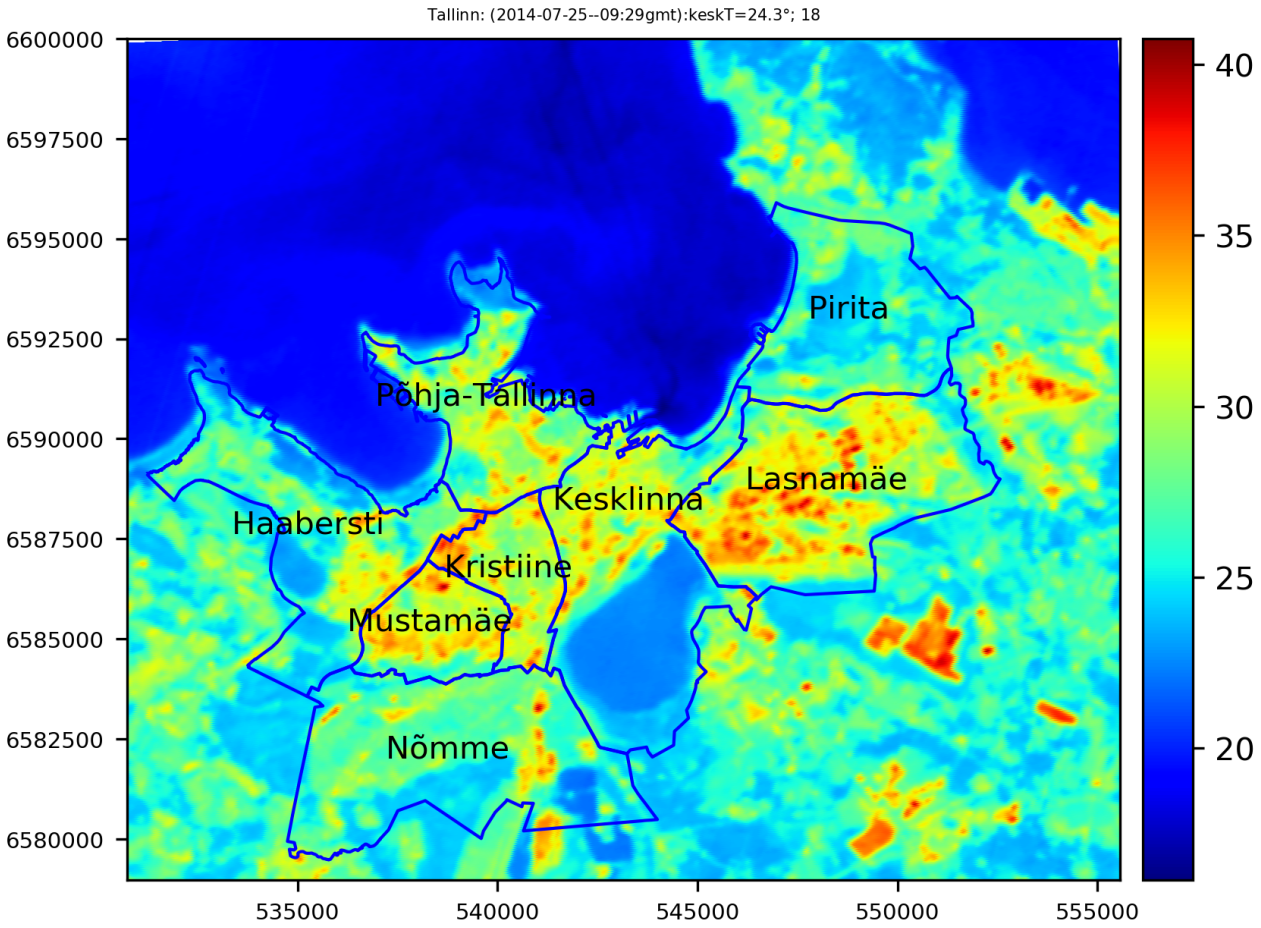


Joonis 2: Landsat-8 maapinna temperatuuri arvutusskeem [1]

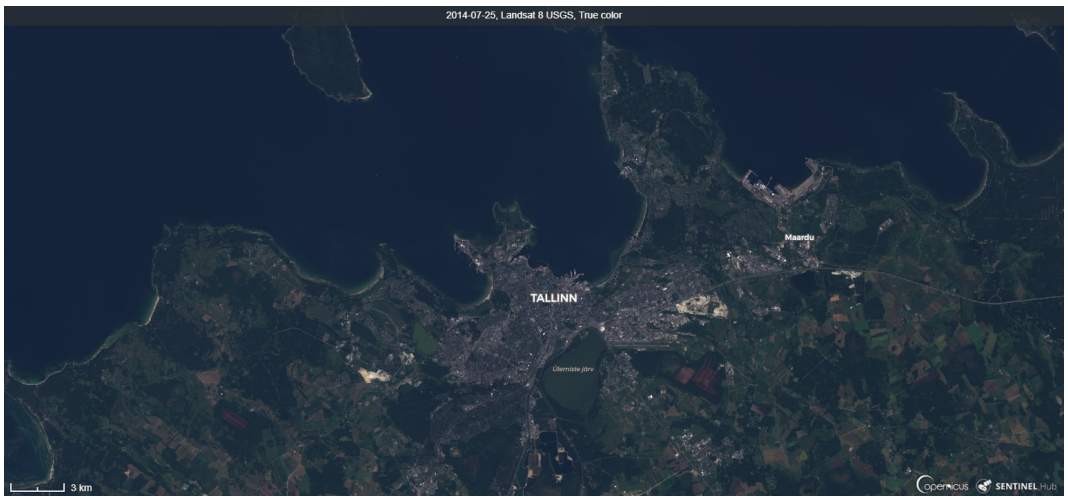
3 Valik soojuskaarte

Siin osas on toodud mainitud linnade osas soojakaardid (*heatmaps*).

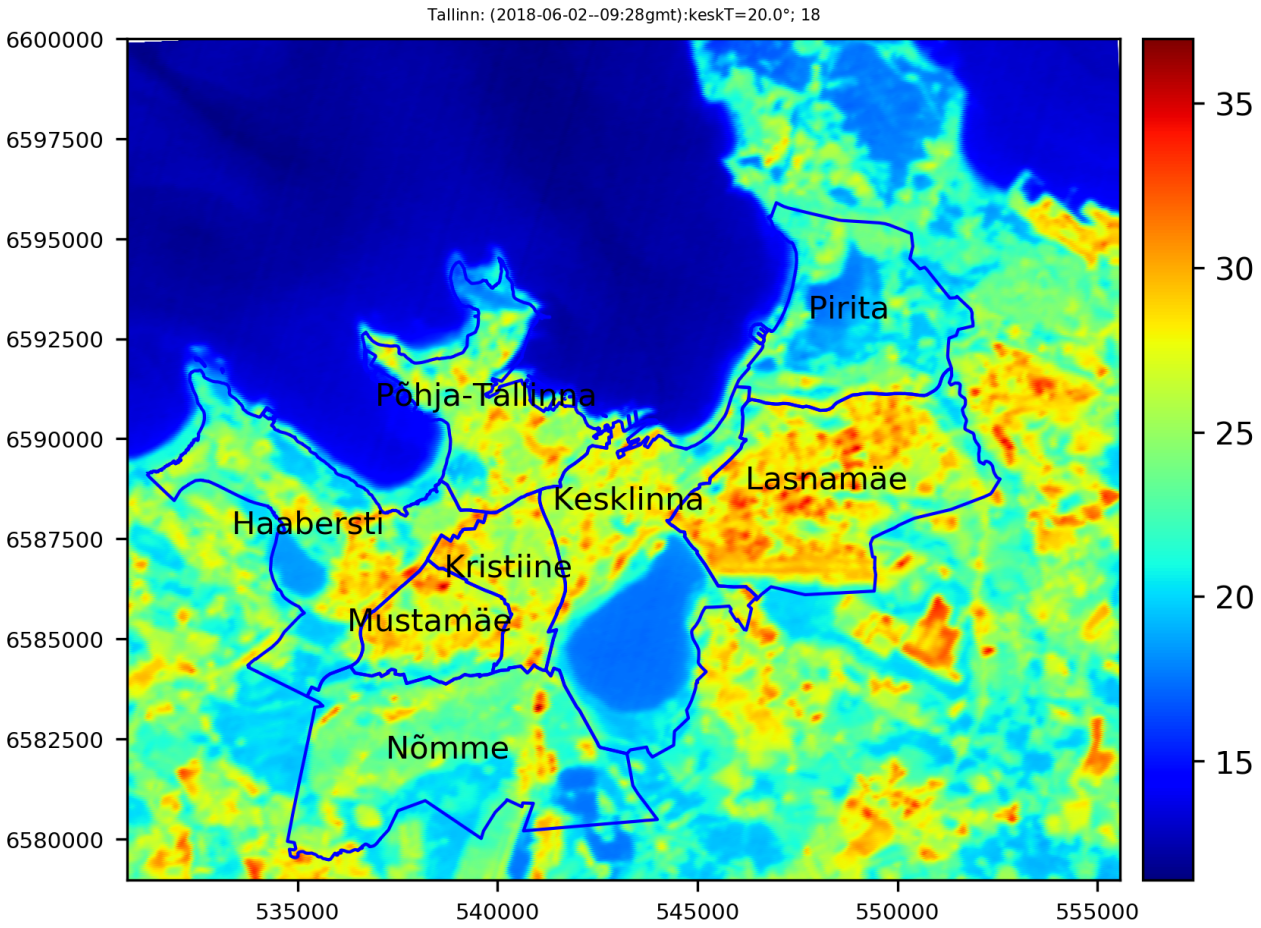
Taustainfoks on lisatud ka *Sentinel Hub EO-Browser*ist (*https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser*) Landsat-8 (*true color RGB*) satelliitpildid, mis annavad mh täiendava ülevaate sellest, kus asukohtades esines pilvisust, mis alandab maapinna näivaid temperatuure. Need alad on tavaliselt tumesinise värviga või valgete laikudena (tumesinise äärega), mis näitavad temperatuuri väärtusi pilvede tipu pinnalt ning on takistavaks asjaoluks soojussaarte leidmisel.



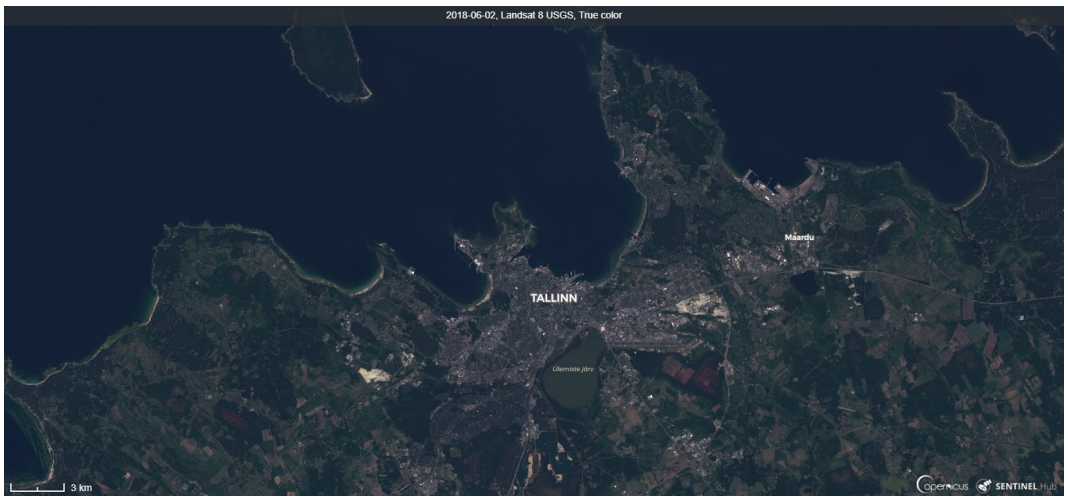
Joonis 3: Soojuskaart: Tallinn 25. juuli 2014



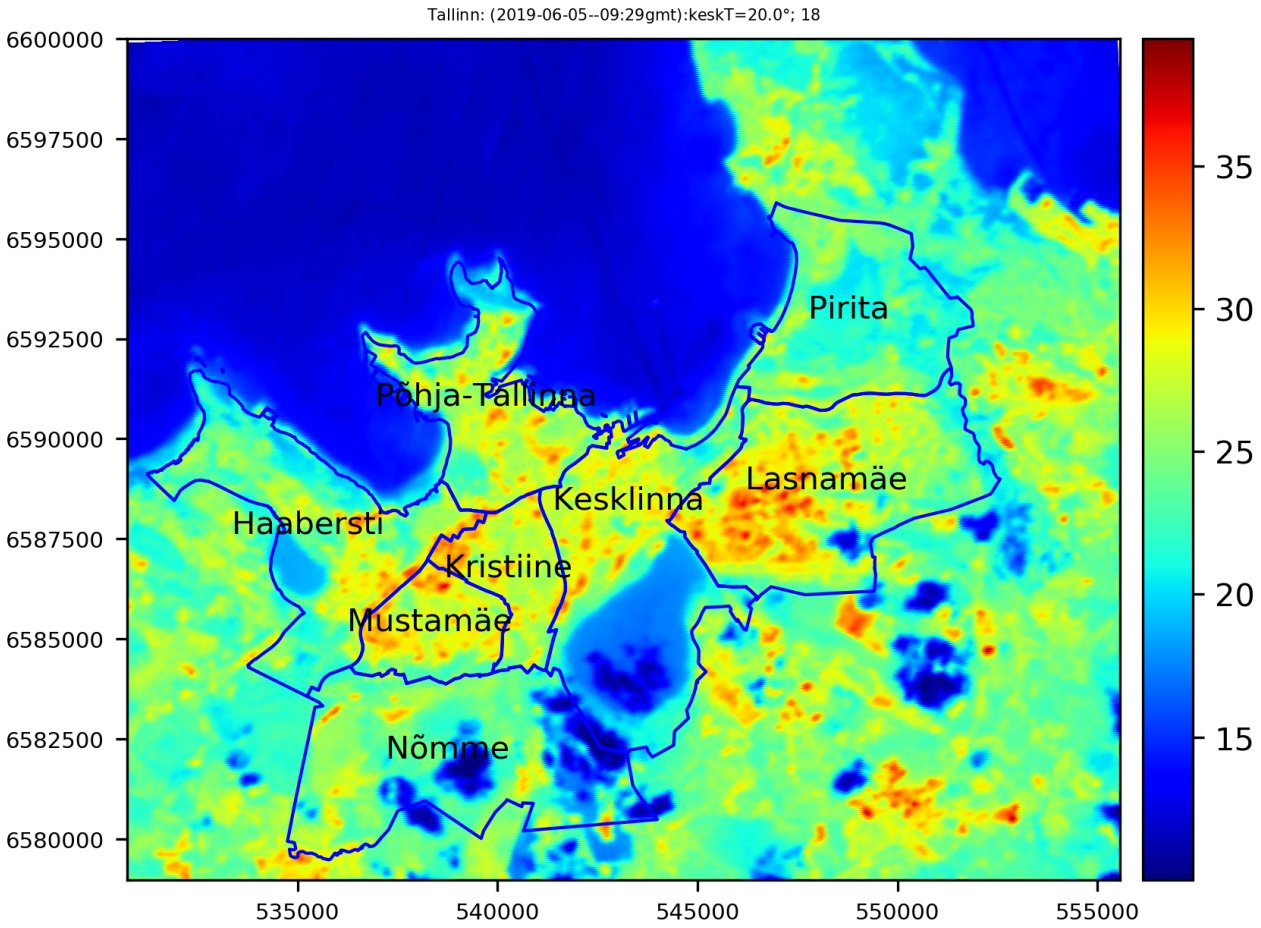
Joonis 4: Landsat-8 satelliitpilt (*true color RGB*): Tallinn 25. juuli 2014



Joonis 5: Soojuskaart: Tallinn 2. juuni 2018



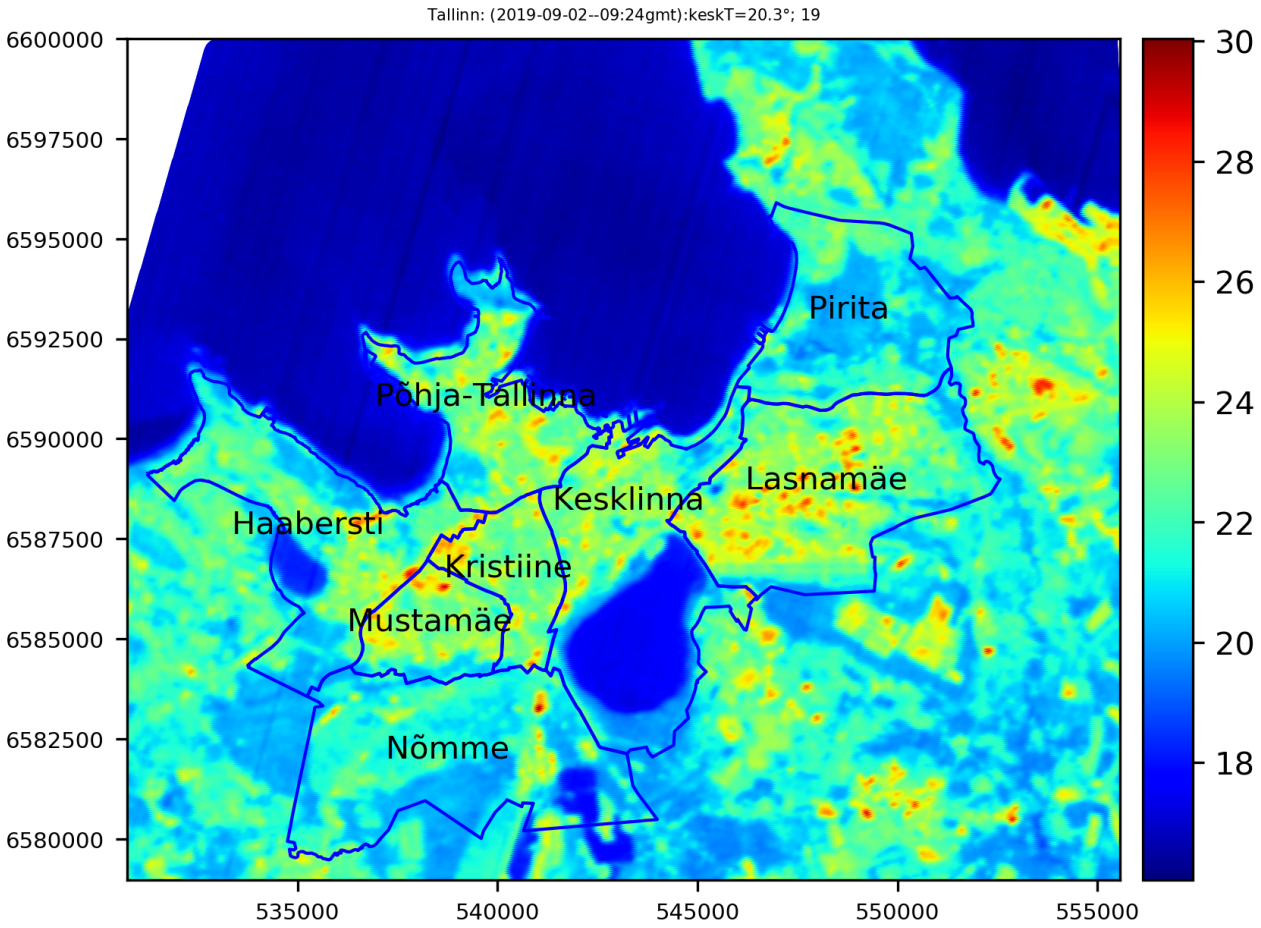
Joonis 6: Landsat-8 satelliitpilt (*true color RGB*): Tallinn 2. juuni 2018



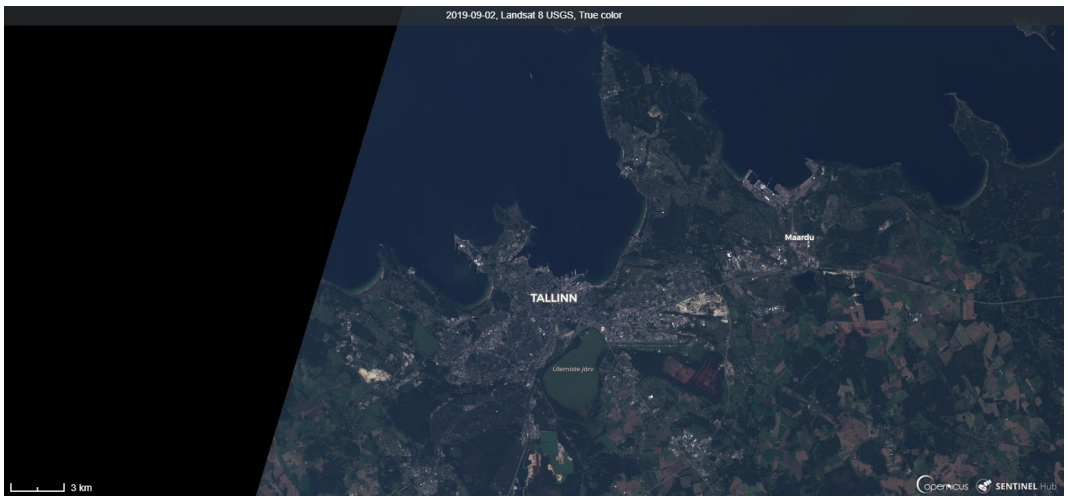
Joonis 7: Soojuskaart: Tallinn 5. juuni 2019 (*kaardil on pilvisust tumesiniste laikudena)*



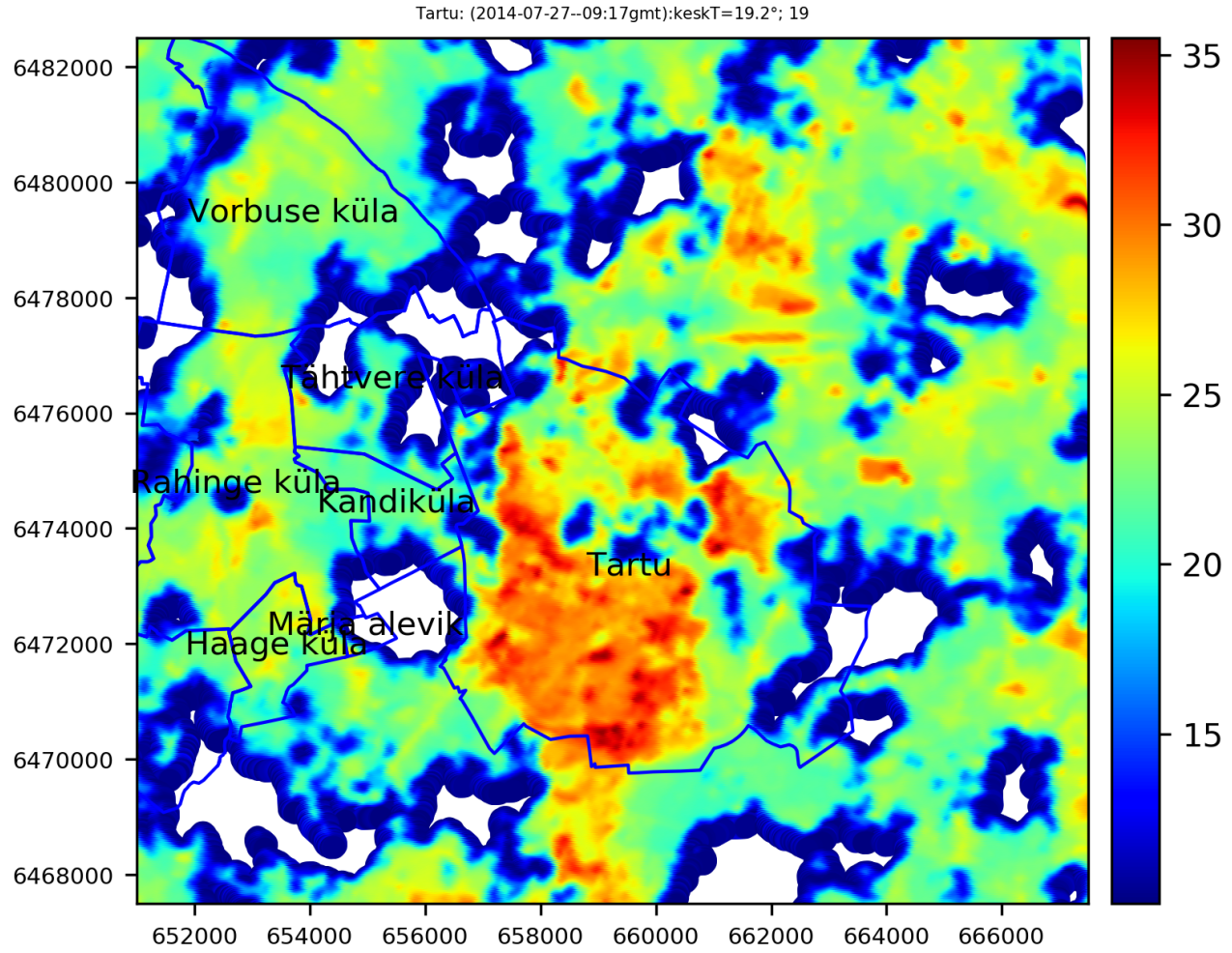
Joonis 8: Landsat-8 satelliitpilt (*true color RGB*): Tallinn 5. juuni 2019



Joonis 9: Soojuskaart: Tallinn 2. september 2019



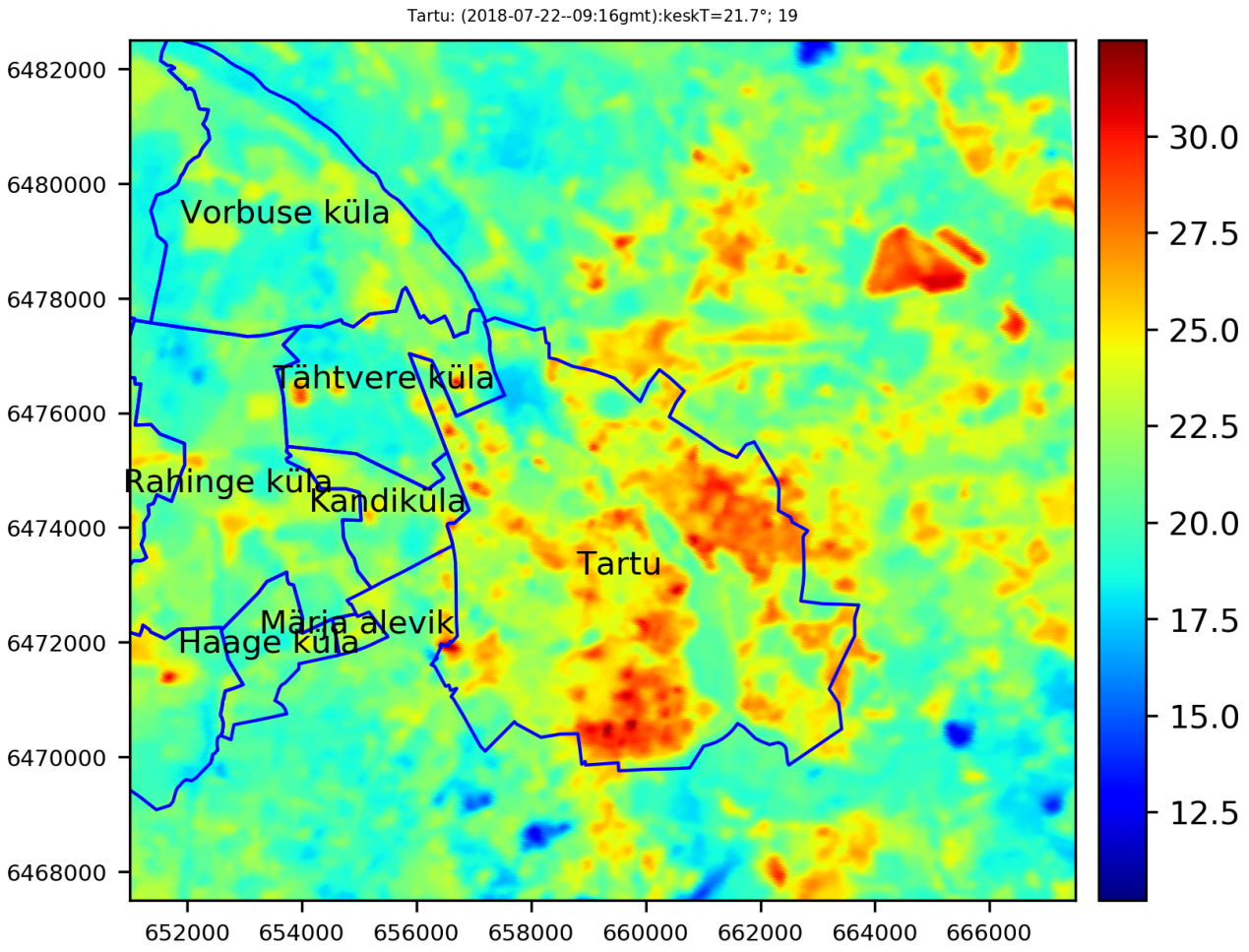
Joonis 10: Landsat-8 satelliitpilt (*true color RGB*): Tallinn 2. september 2019



Joonis 11: Soojuskaart: Tartu 27. juuli 2014 (*kaardil on pilved - tumesinise äärega valged laigud)*



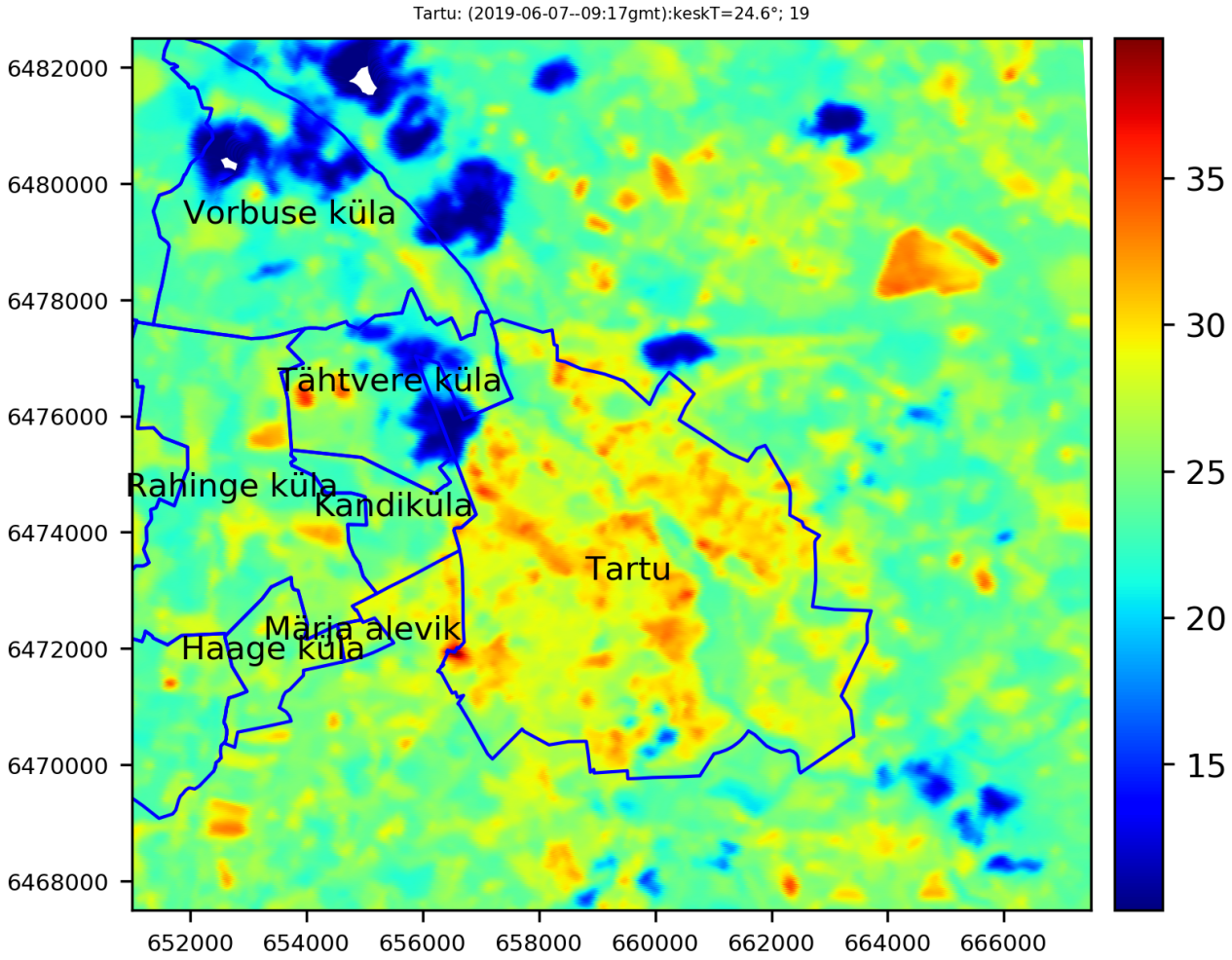
Joonis 12: Landsat-8 satelliitpilt (*true color RGB*): Tartu 27. juuli 2014



Joonis 13: Soojuskaart: Tartu 22. juuli 2018 (*kaardil on pilvisust tumesiniste laikudena)*



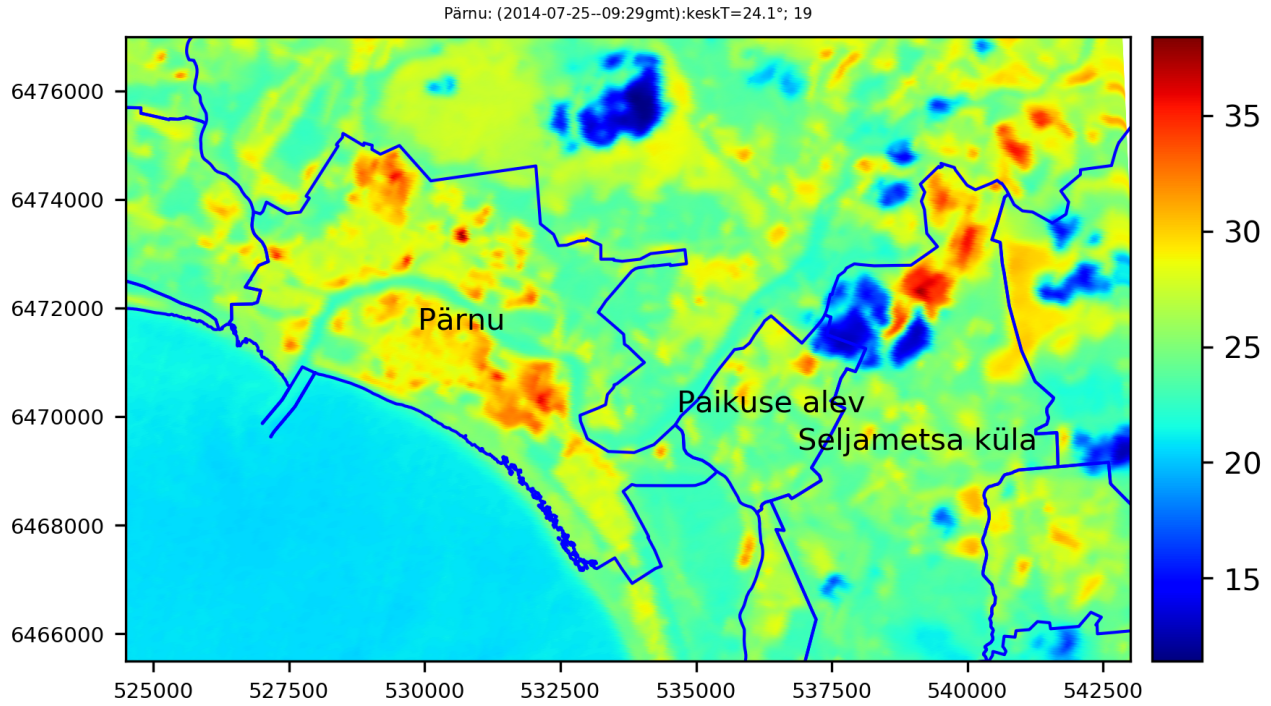
Joonis 14: Landsat-8 satelliitpilt (*true color RGB*): Tartu 22. juuli 2018



Joonis 15: Soojuskaart: Tartu 7. juuni 2019 (*kaardil on pilvisust -tumesinised laigud või tumesinise äärega valged laigud)*



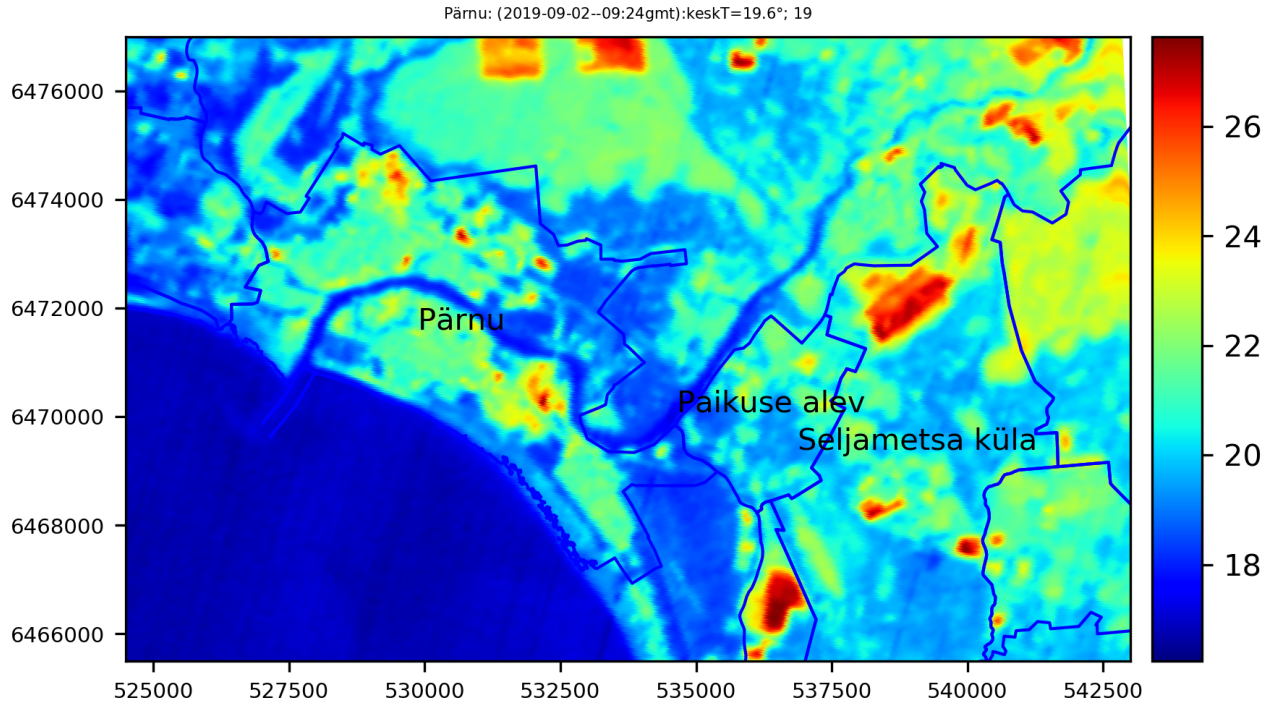
Joonis 16: Landsat-8 satelliitpilt (*true color RGB*): Tartu 7. juuni 2019



Joonis 17: Soojuskaart: Pärnu 25. juuli 2014 (*kaardil on pilvisust tumesiniste laikudena)*



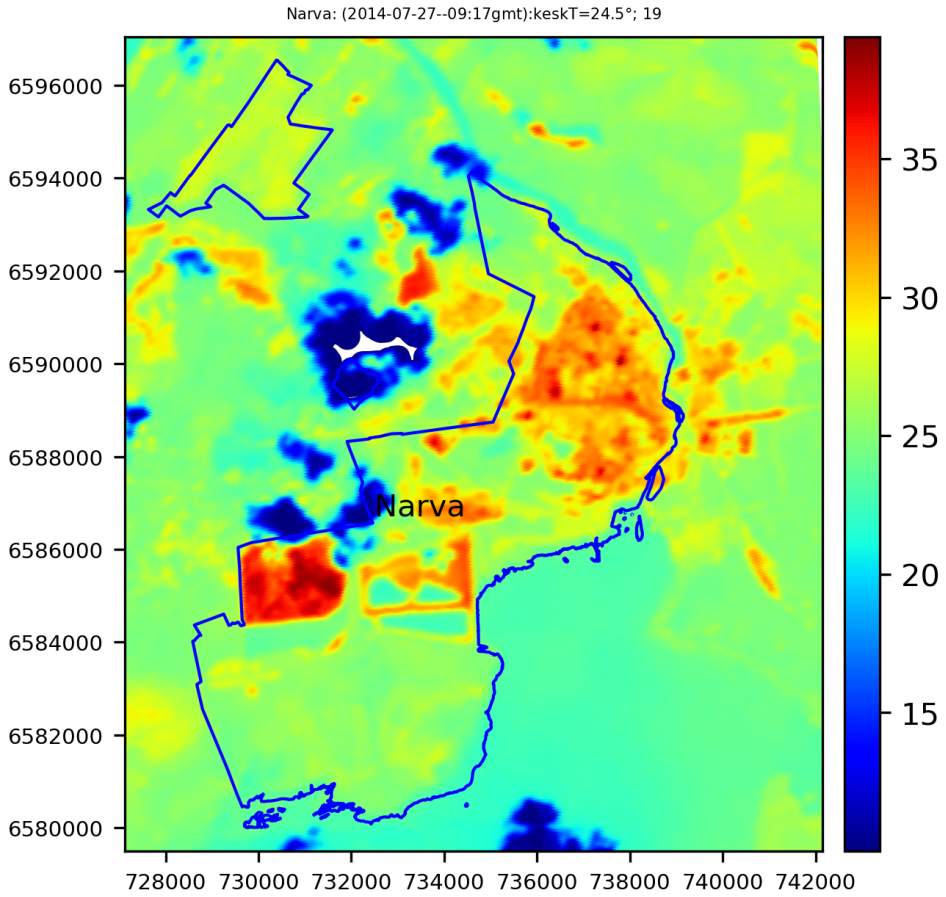
Joonis 18: Landsat-8 satelliitpilt (*true color RGB*): Pärnu 25. juuli 2014



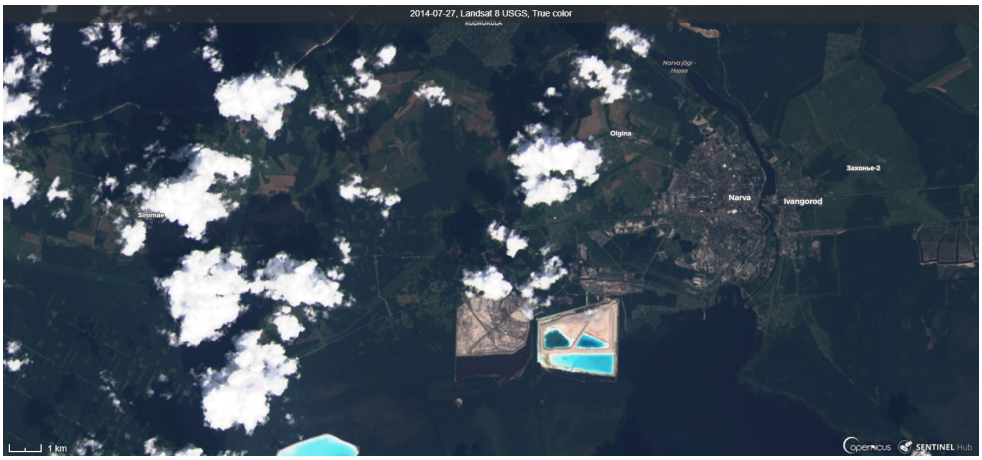
Joonis 19: Soojuskaart: Pärnu 2. september 2019



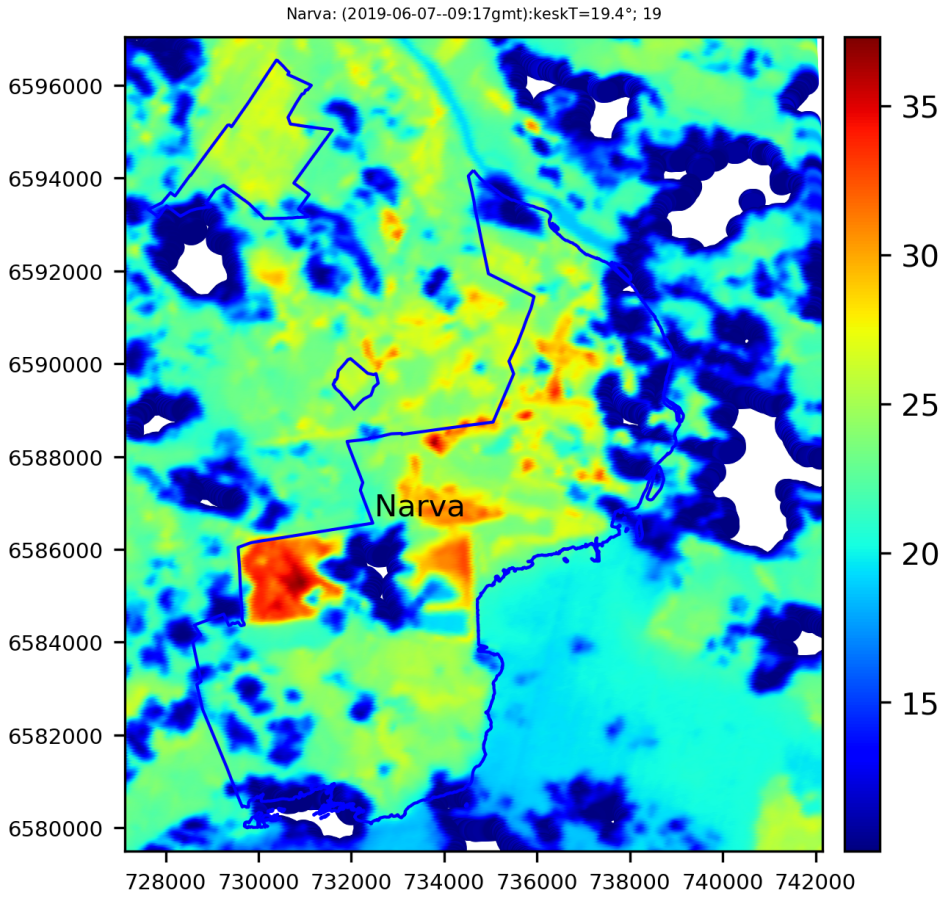
Joonis 20: Landsat-8 satelliitpilt (*true color RGB*): Pärnu 2. september 2019



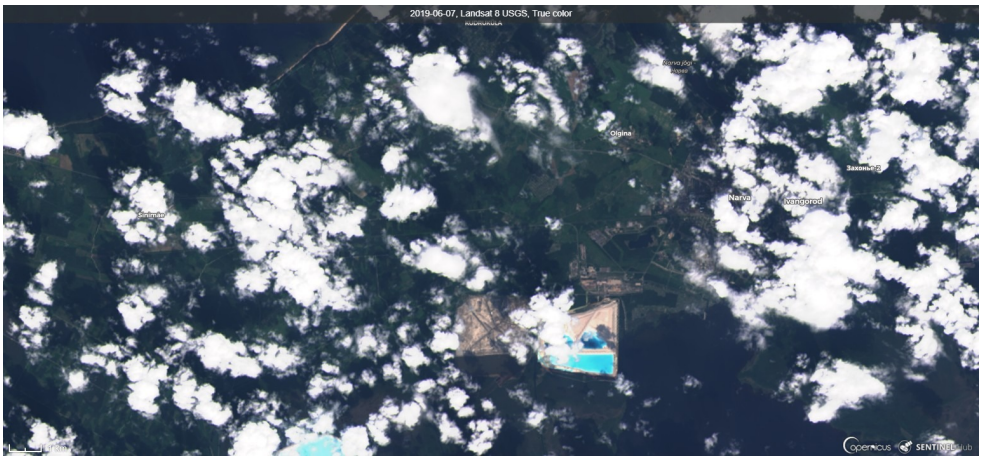
Joonis 21: Soojuskaart: Narva 27. juuli 2014 (*kaardil on pilved - valged laigud tumesinise äärega või tumesinised laigud)*



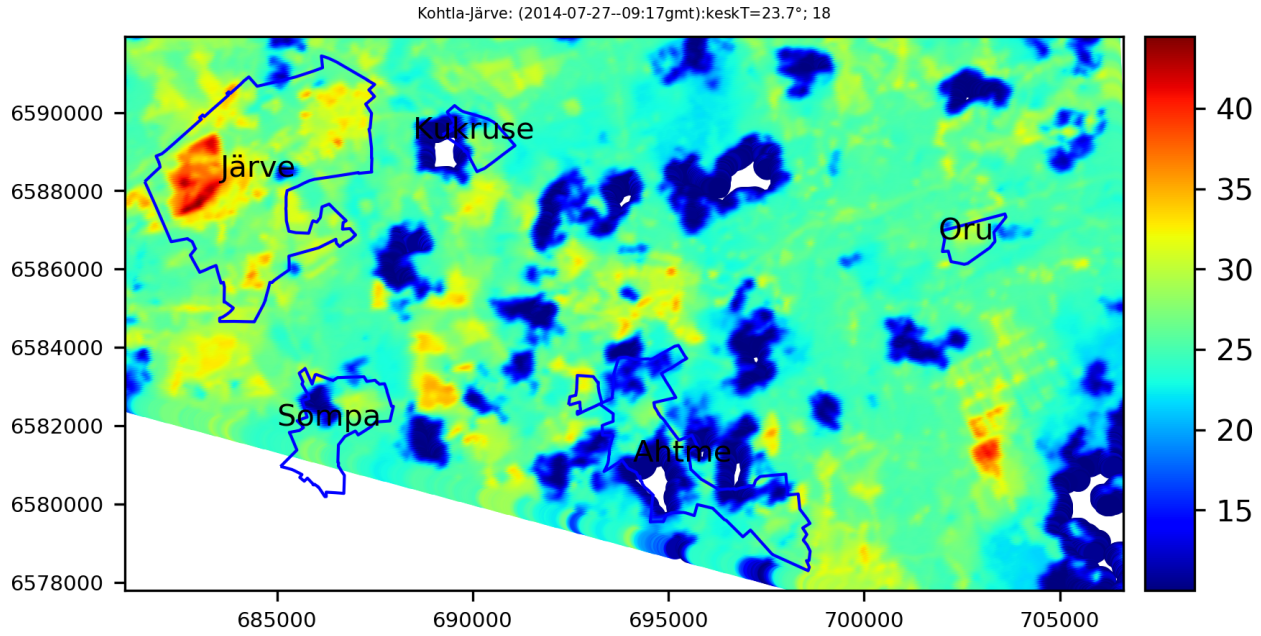
Joonis 22: Landsat-8 satelliitpilt (*true color RGB*): Narva 27. juuli 2014



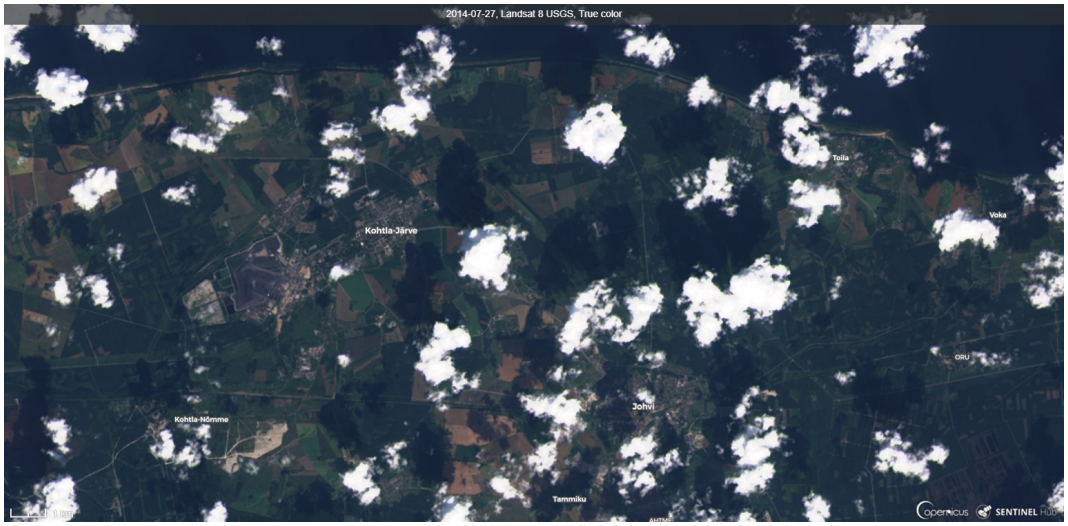
Joonis 23: Soojuskaart: Narva 7. juuni 2019 (*kaardil on pilved - tumesinise äärega valged laigud või tumesinised laigud)*



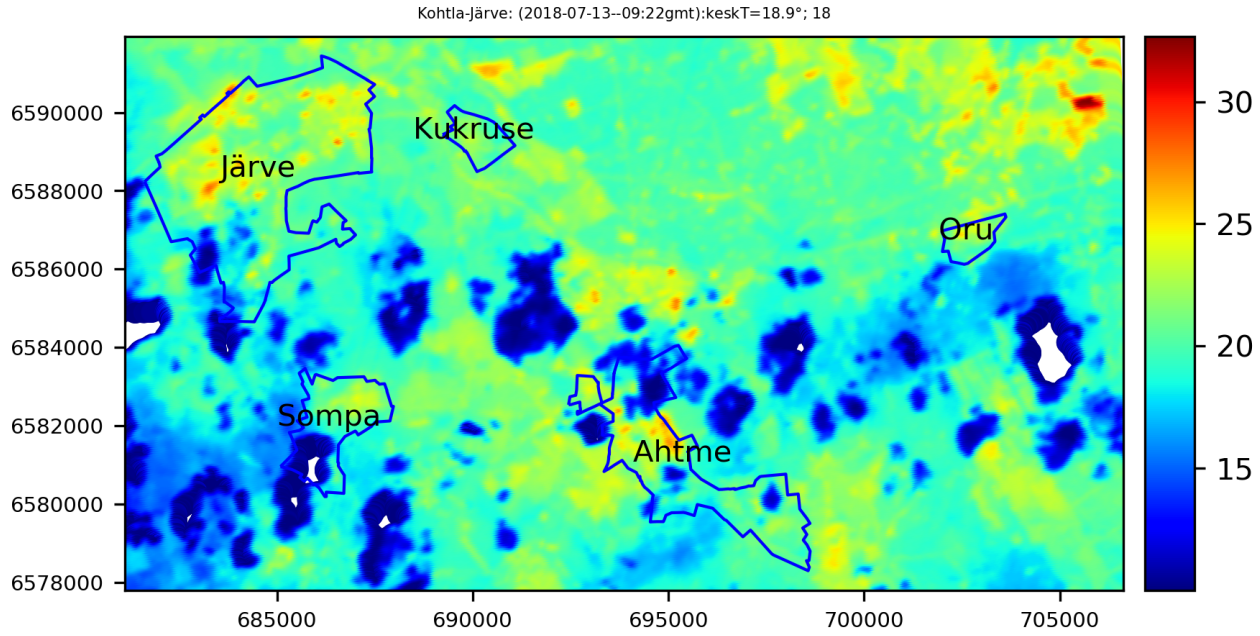
Joonis 24: Landsat-8 satelliitpilt (*true color RGB*): Narva 7. juuni 2019



Joonis 25: Soojuskaart: Kohtla-Järve 27. juuli 2014 (*kaardil on pilved - tumesinise äärega valged laigud)*



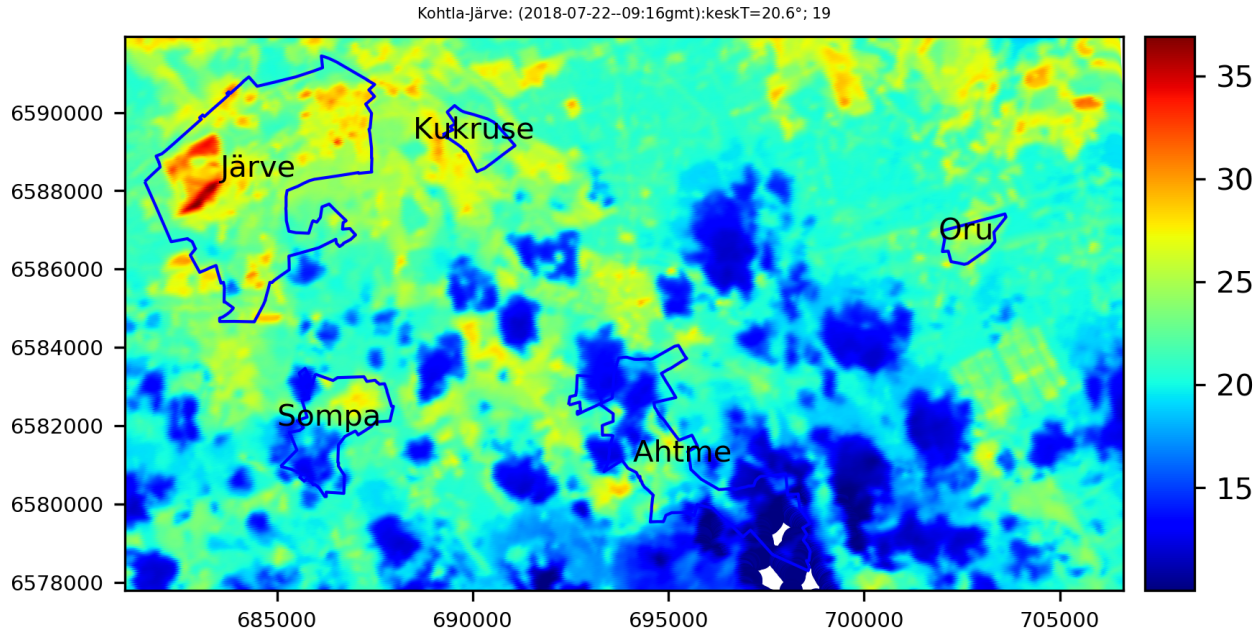
Joonis 26: Landsat-8 satelliitpilt (*true color RGB*): Kohtla-Järve 27. juuli 2014



Joonis 27: Soojuskaart: Kohtla-Järve 13. juuli 2018 (*kaardil on pilved - tumesinise äärega valged laigud või tumesinised laigud)*



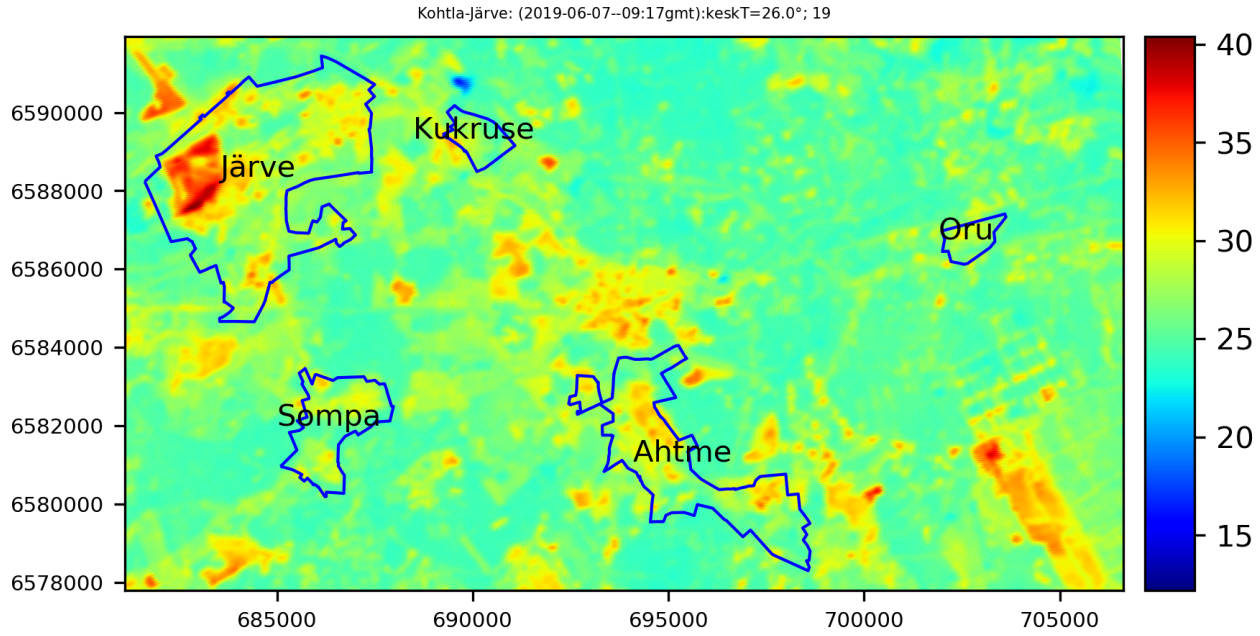
Joonis 28: Landsat-8 satelliitpilt (*true color RGB*): Kohtla-Järve 13. juuli 2018



Joonis 29: Soojuskaart: Kohtla-Järve 22. juuli 2018 (*kaardil on pilved - tumesinise äärega valged laigud või tumesinised laigud)*



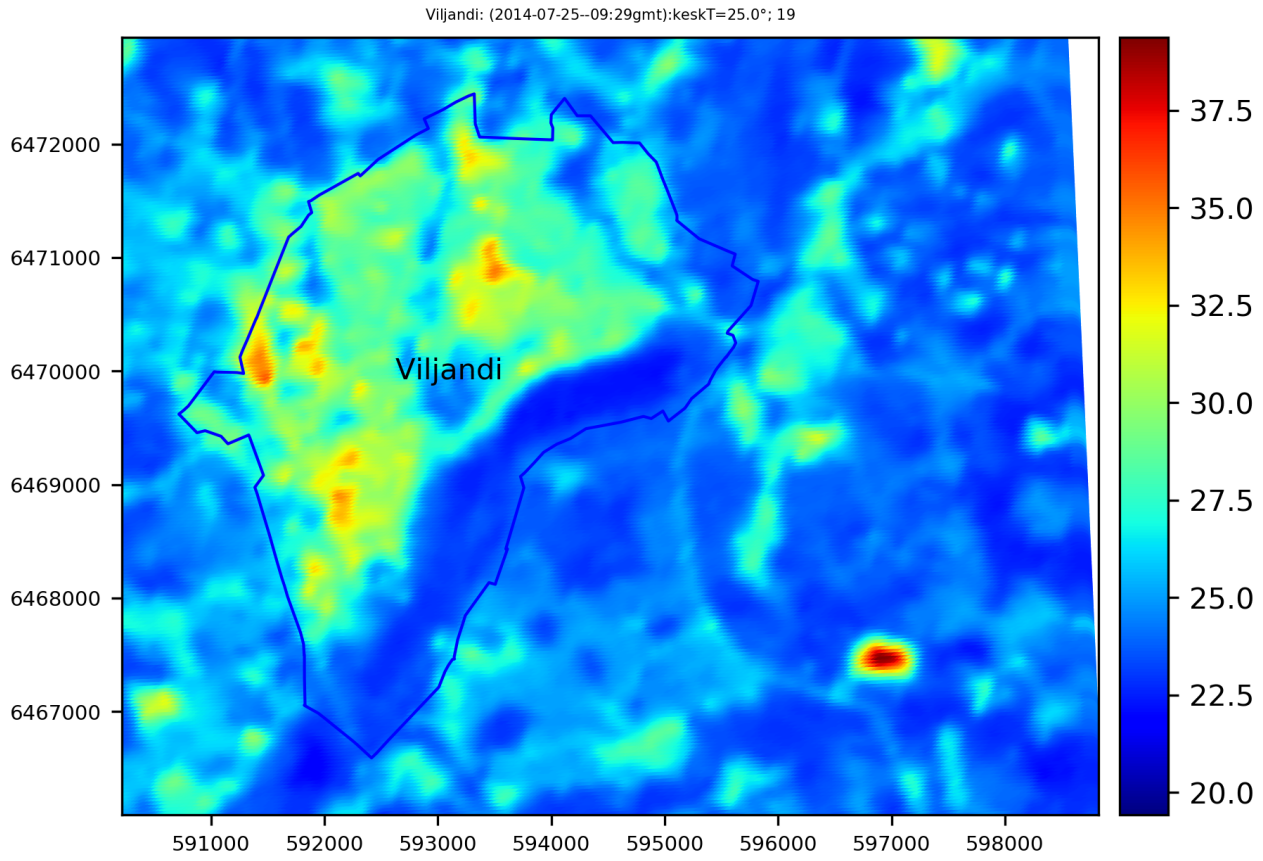
Joonis 30: Landsat-8 satelliitpilt (*true color RGB*): Kohtla-Järve 22. juuli 2018



Joonis 31: Soojuskaart: Kohtla-Järve 7. juuni 2019



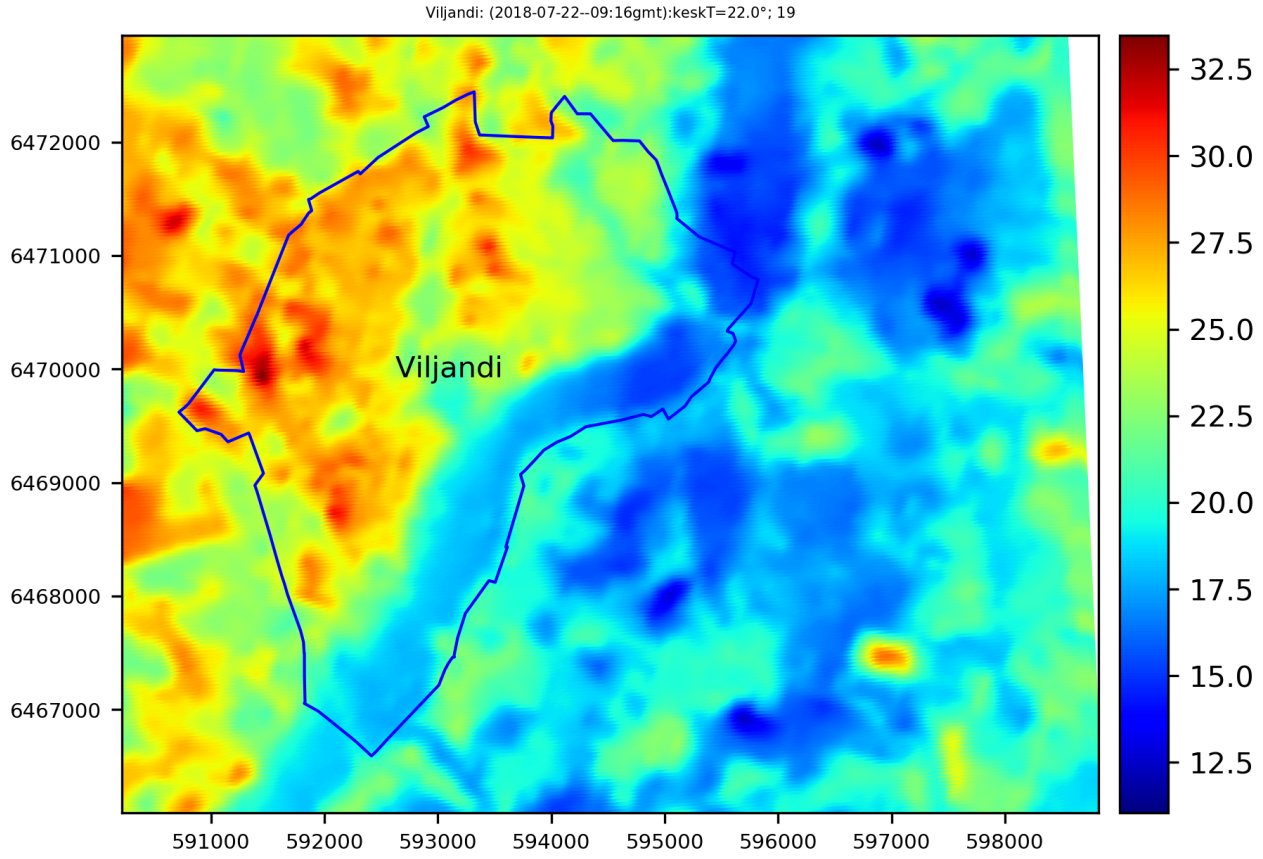
Joonis 32: Landsat-8 satelliitpilt (*true color RGB*): Kohtla-Järve 7. juuni 2019



Joonis 33: Soojuskaart: Viljandi 25. juuli 2014



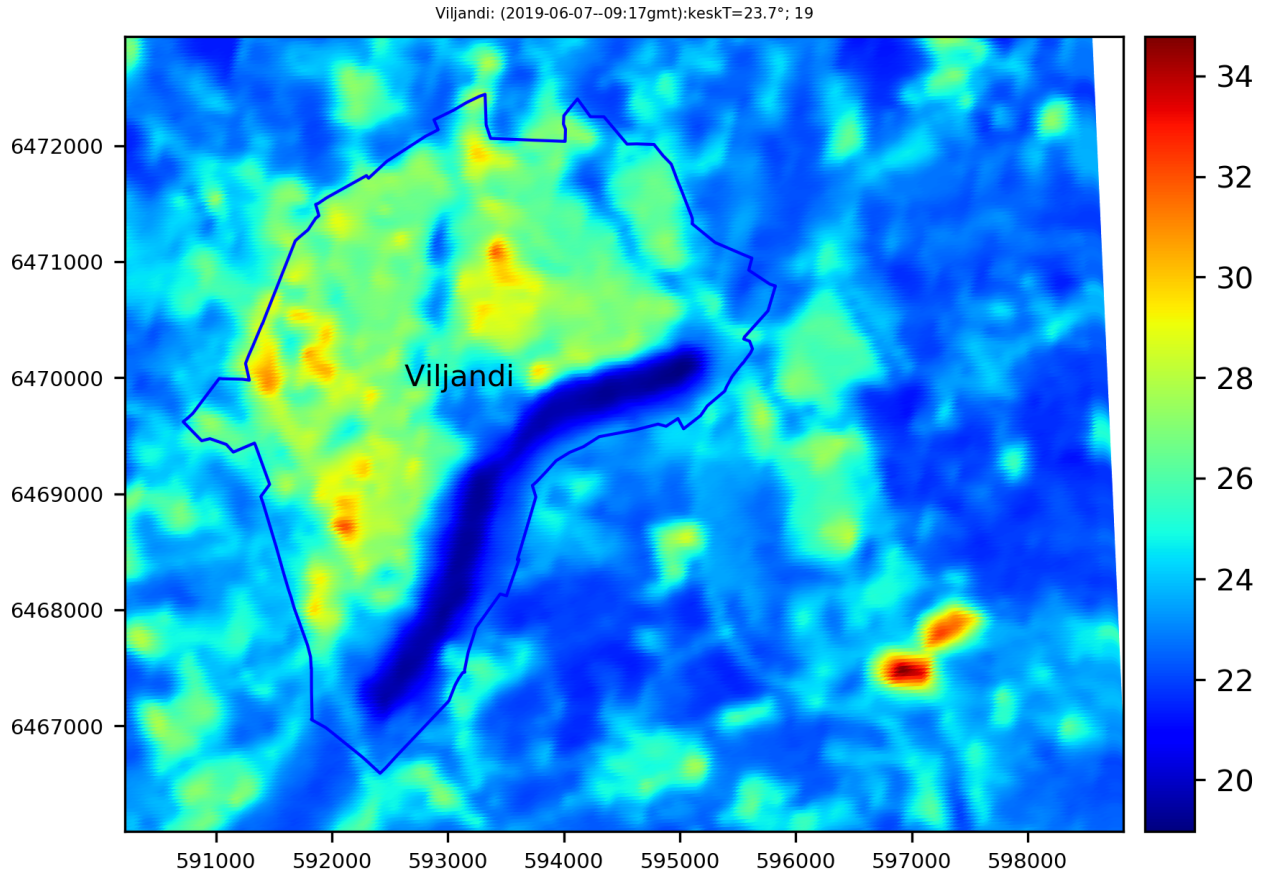
Joonis 34: Landsat-8 satelliitpilt (*true color RGB*): Viljandi 25. juuli 2014



Joonis 35: Soojuskaart: Viljandi 22. juuli 2018



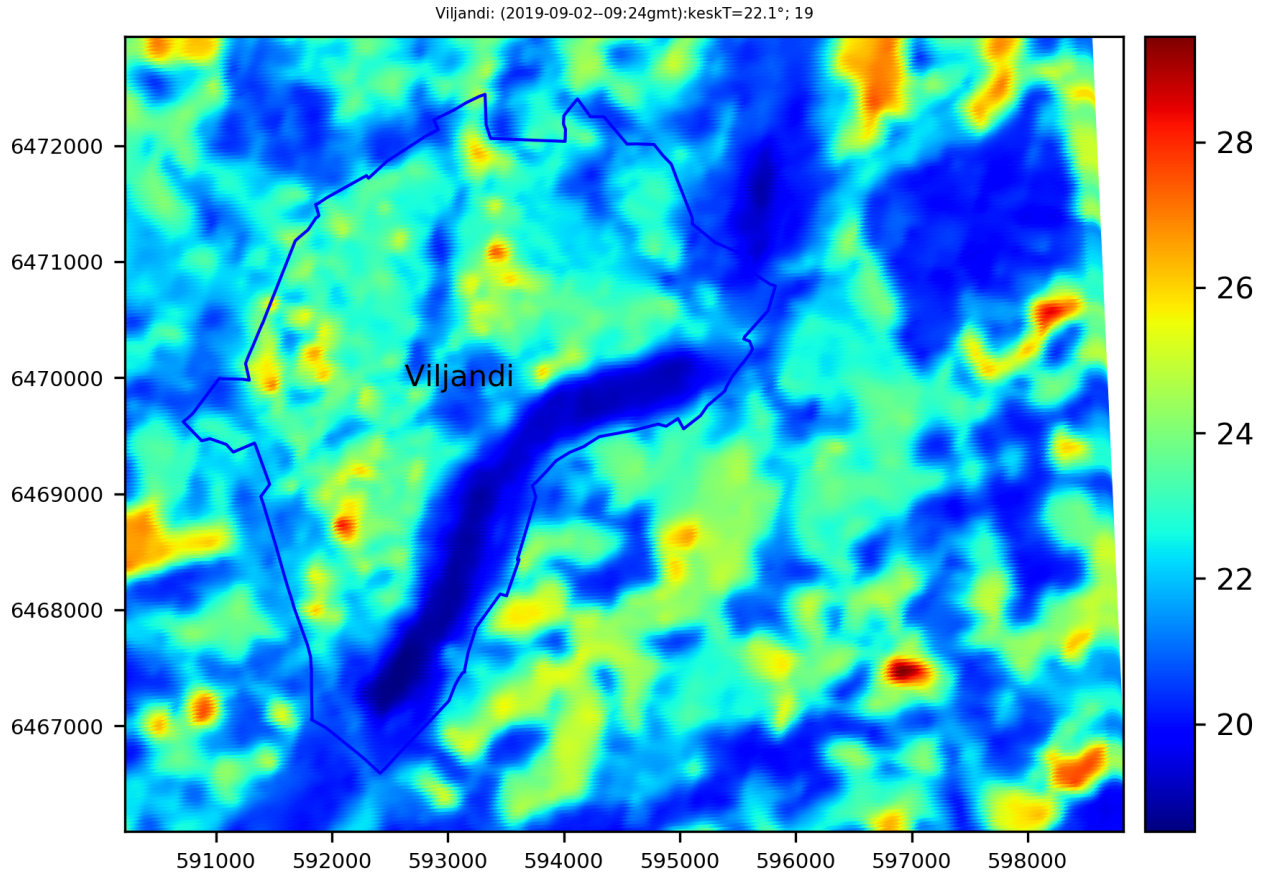
Joonis 36: Landsat-8 satelliitpilt (*true color RGB*): Viljandi 22. juuli 2018



Joonis 37: Soojuskaart: Viljandi 7. juuni 2019



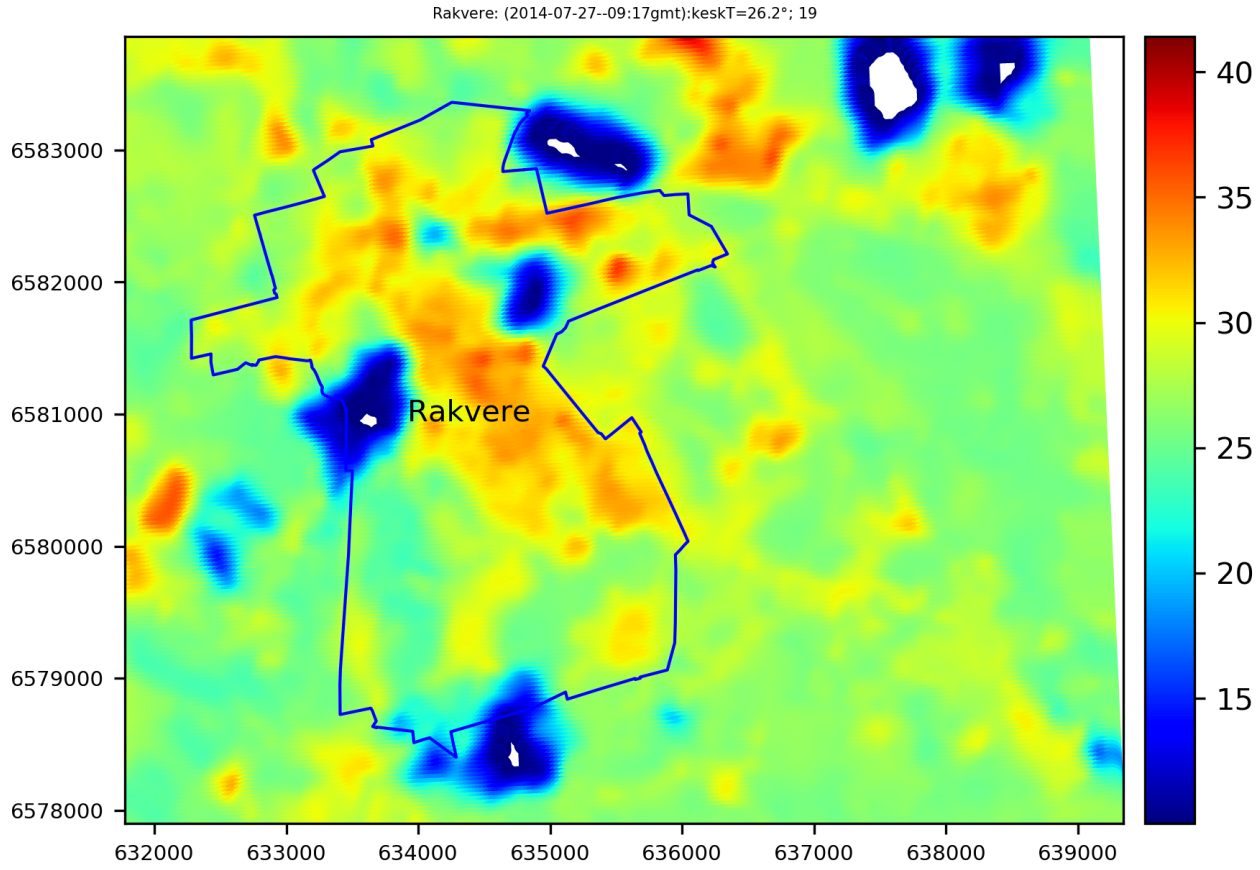
Joonis 38: Landsat-8 satelliitpilt (*true color RGB*): Viljandi 7. juuni 2019



Joonis 39: Soojuskaart: Viljandi 2. september 2019



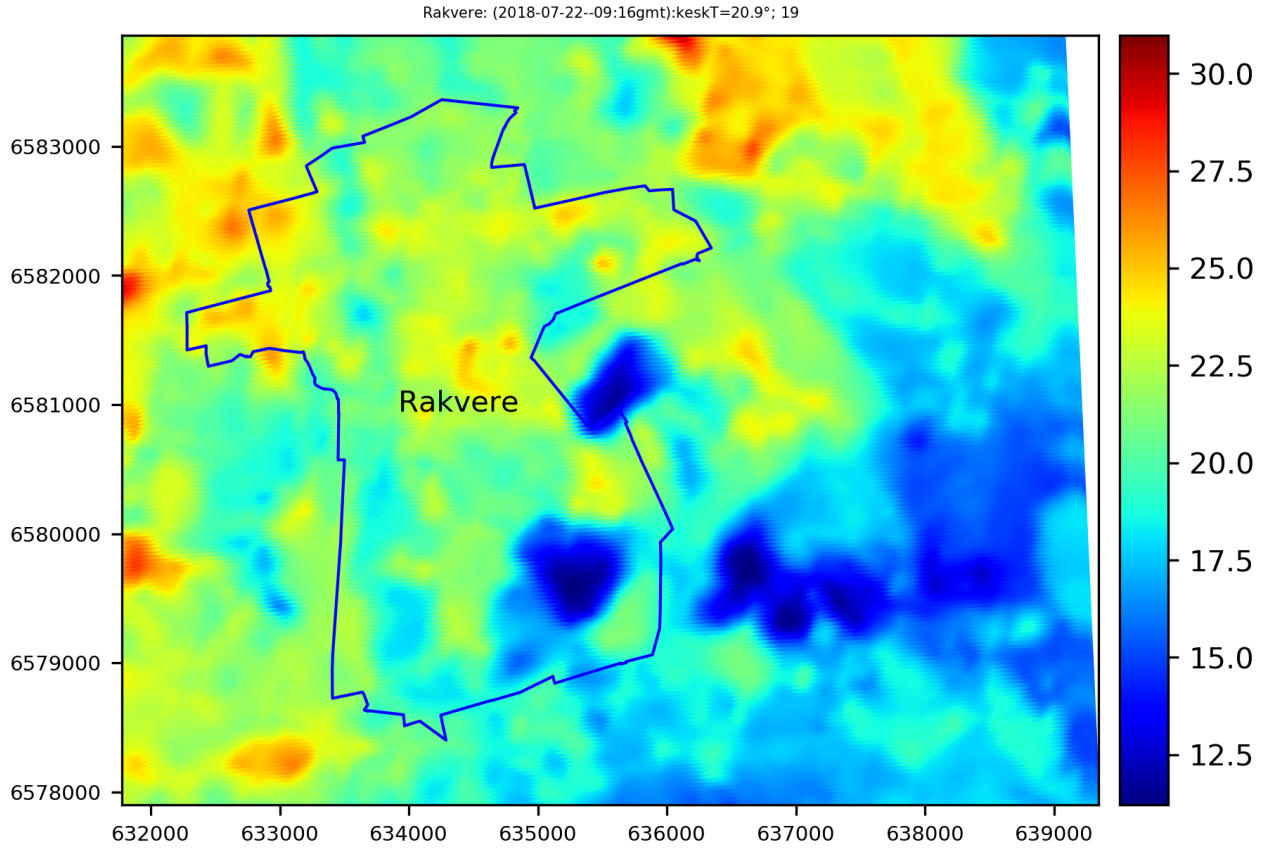
Joonis 40: Landsat-8 satelliitpilt (*true color RGB*): Viljandi 2. september 2019



Joonis 41: Soojuskaart: Rakvere 27. juuli 2014 (*kaardil on pilved - tumesinise äärega valged laigud)*



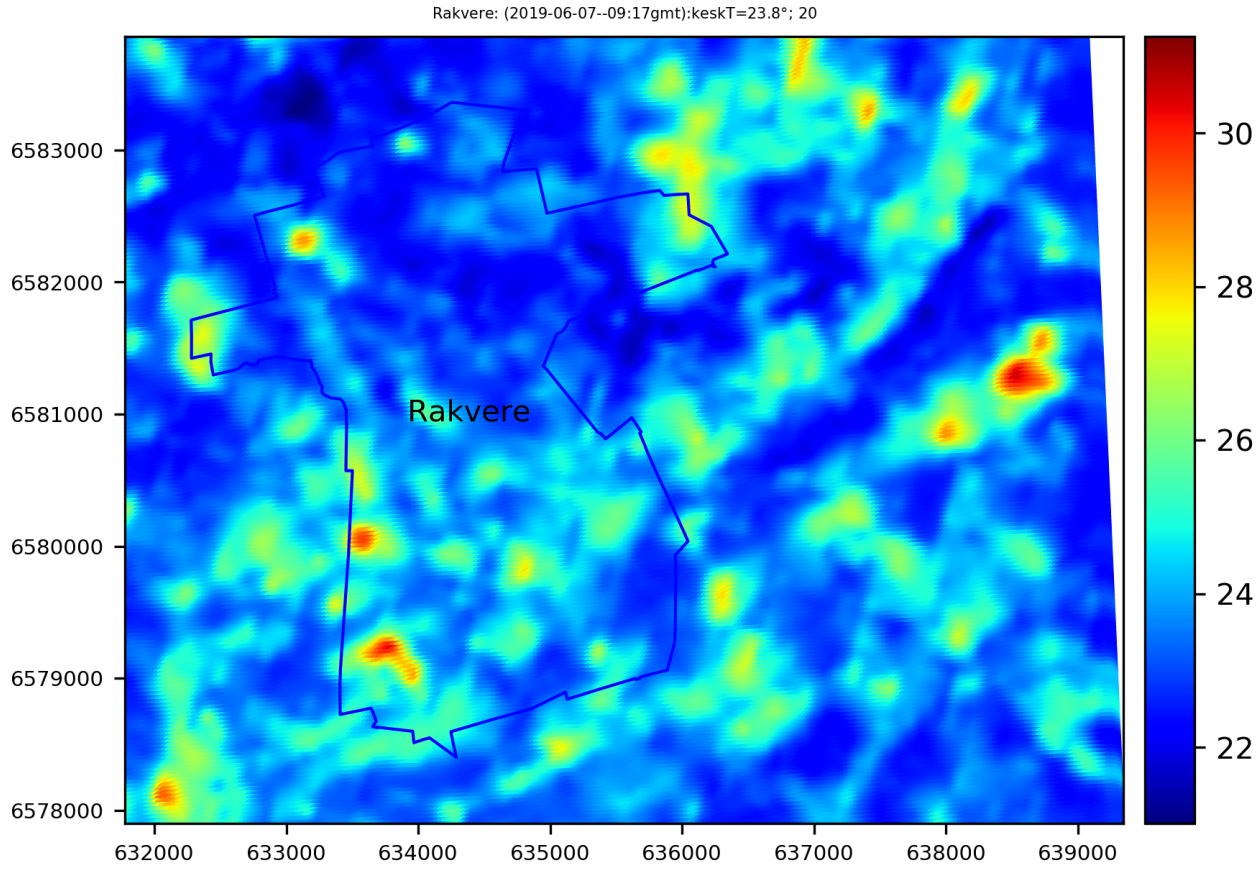
Joonis 42: Landsat-8 satelliitpilt (*true color RGB*): Rakvere 27. juuli 2014



Joonis 43: Soojuskaart: Rakvere 22. juuli 2018



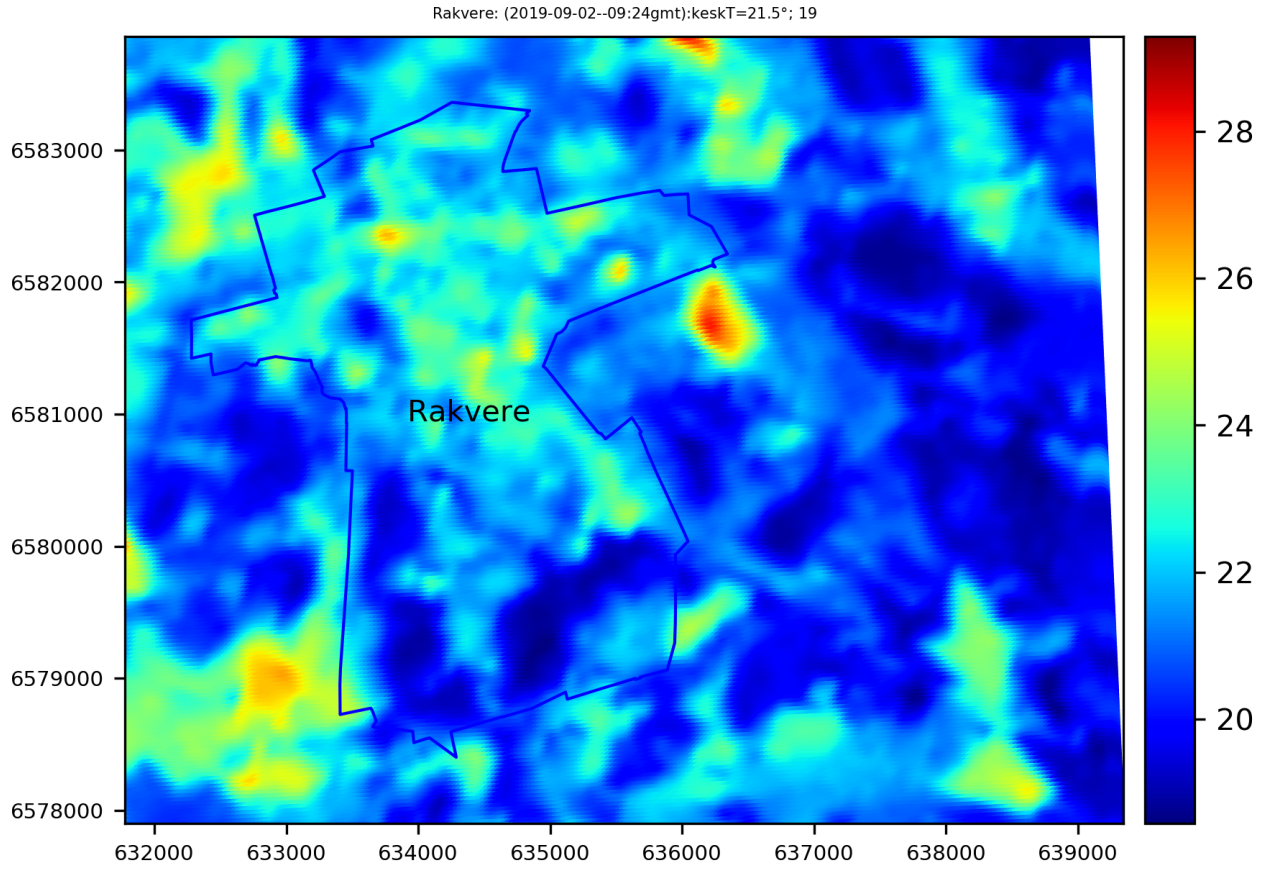
Joonis 44: Landsat-8 satelliitpilt (*true color RGB*): Rakvere 22. juuli 2018



Joonis 45: Soojuskaart: Rakvere 7. juuni 2019 (*esineb pilvisust, mida on raske eristada ümbritsevast keskkonnast*)



Joonis 46: Landsat-8 satelliitpilt (*true color RGB*): Rakvere 7. juuni 2019



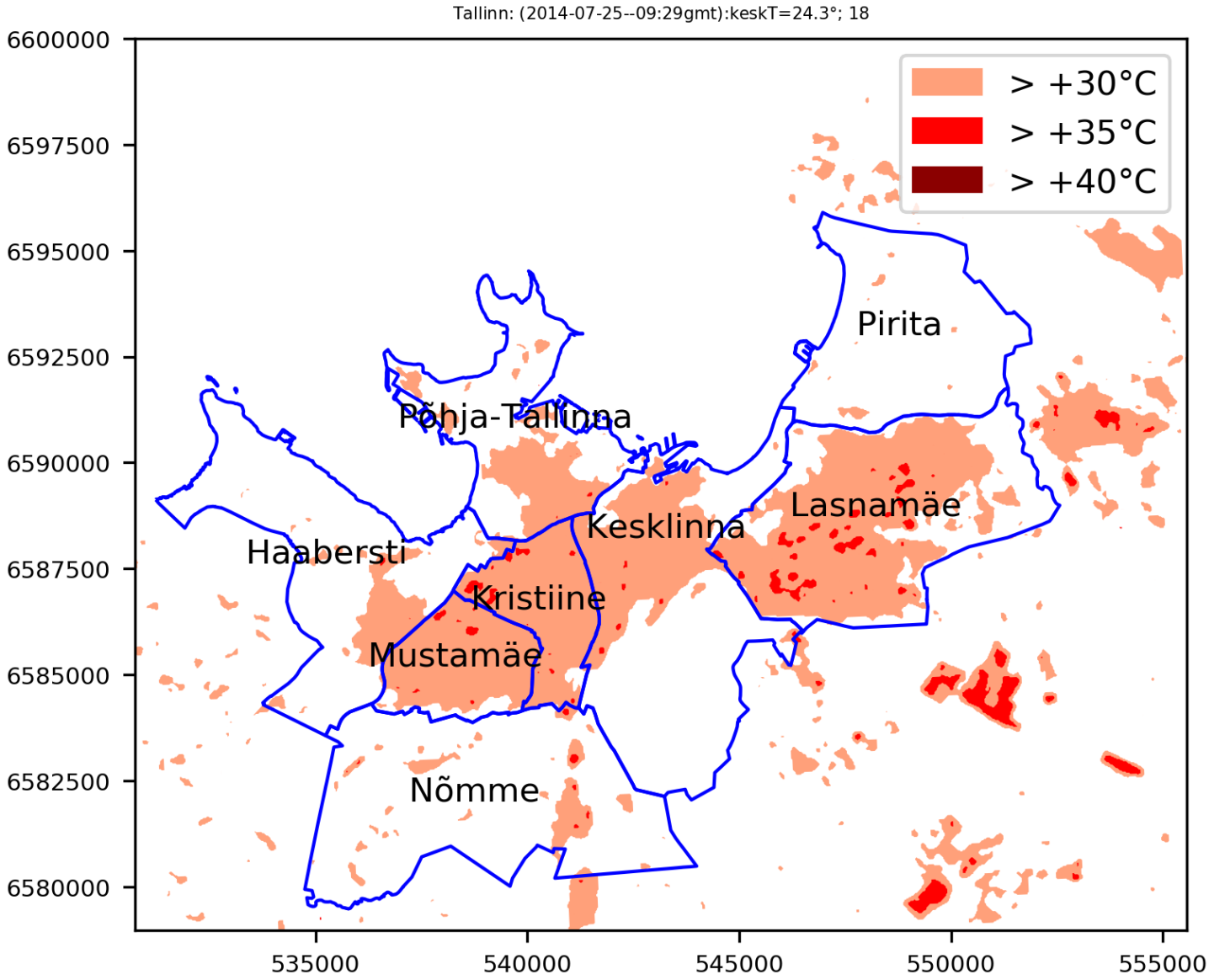
Joonis 47: Soojuskaart: Rakvere 2. september 2019



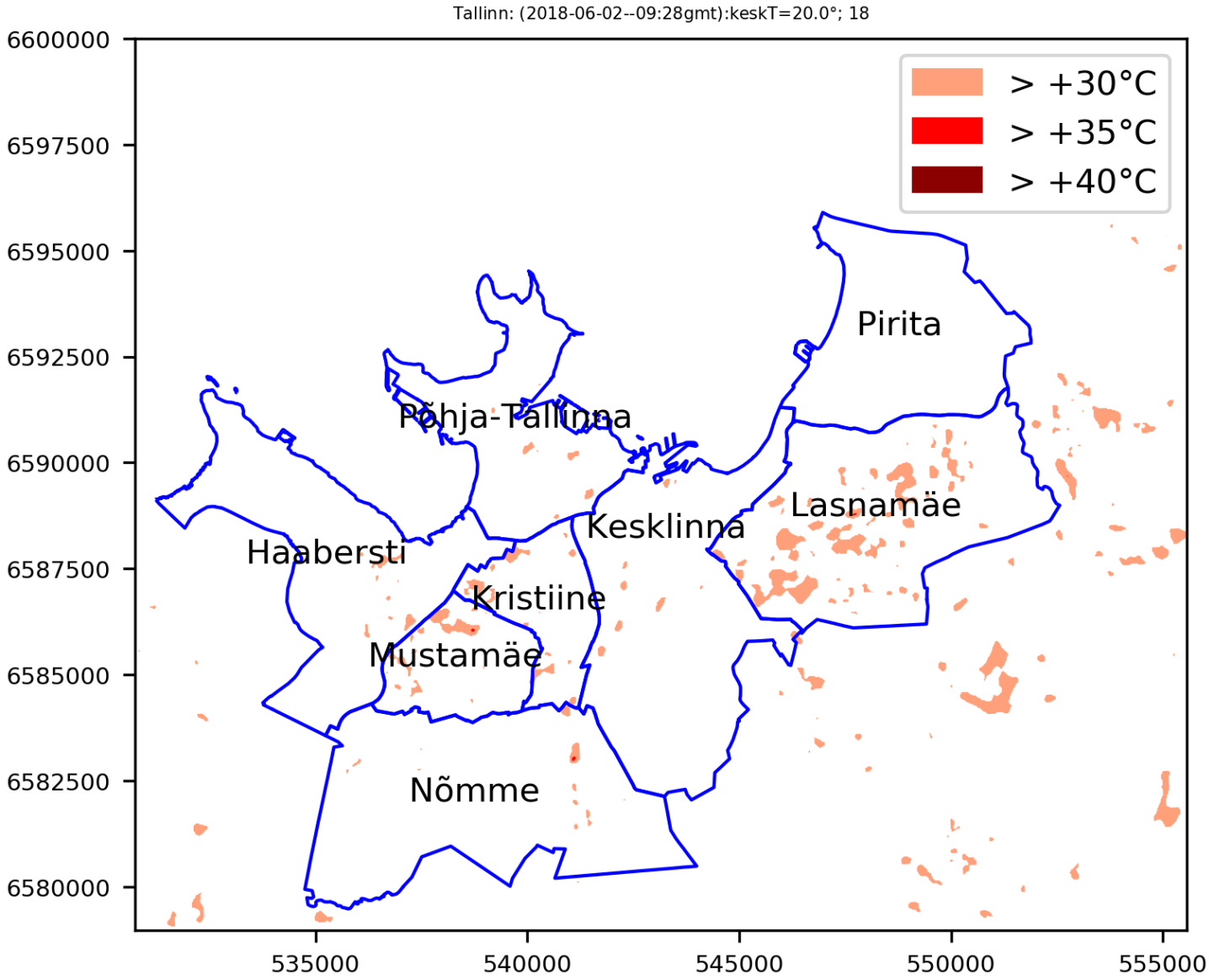
Joonis 48: Landsat-8 satelliitpilt (*true color RGB*): 2. september 2019

4 Soojussaared

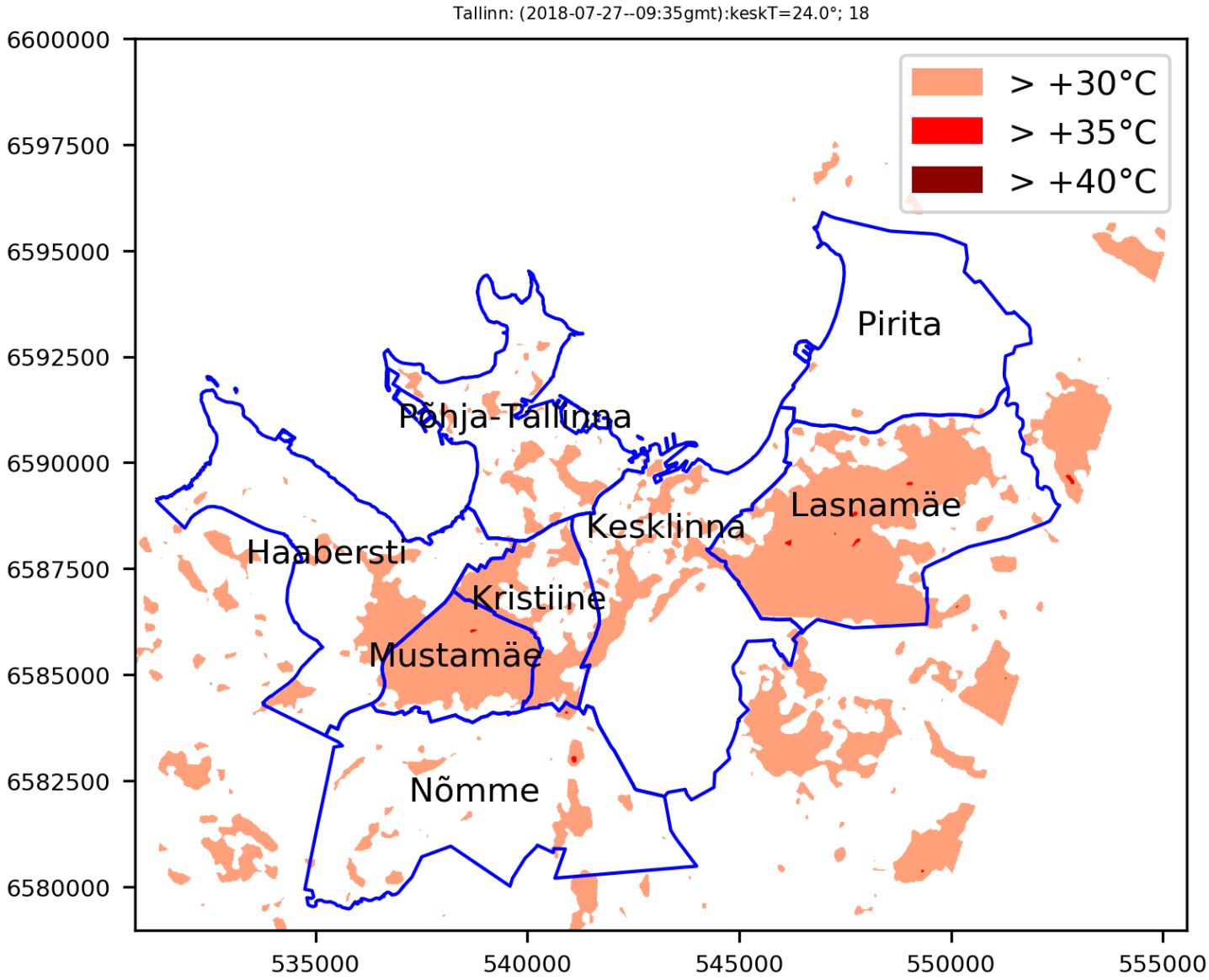
Siin osas on toodud mainitud linnade osas soojussaared, kasutades lävendit +30°C. Lisaks on kasutatud +35°C ja +40°C lävendeid, veel kõrgema temperatuuriga alade eristamiseks. Vaata ka eelmises osas toodud kommentaare andmete aja ja pilvisuse kohta.



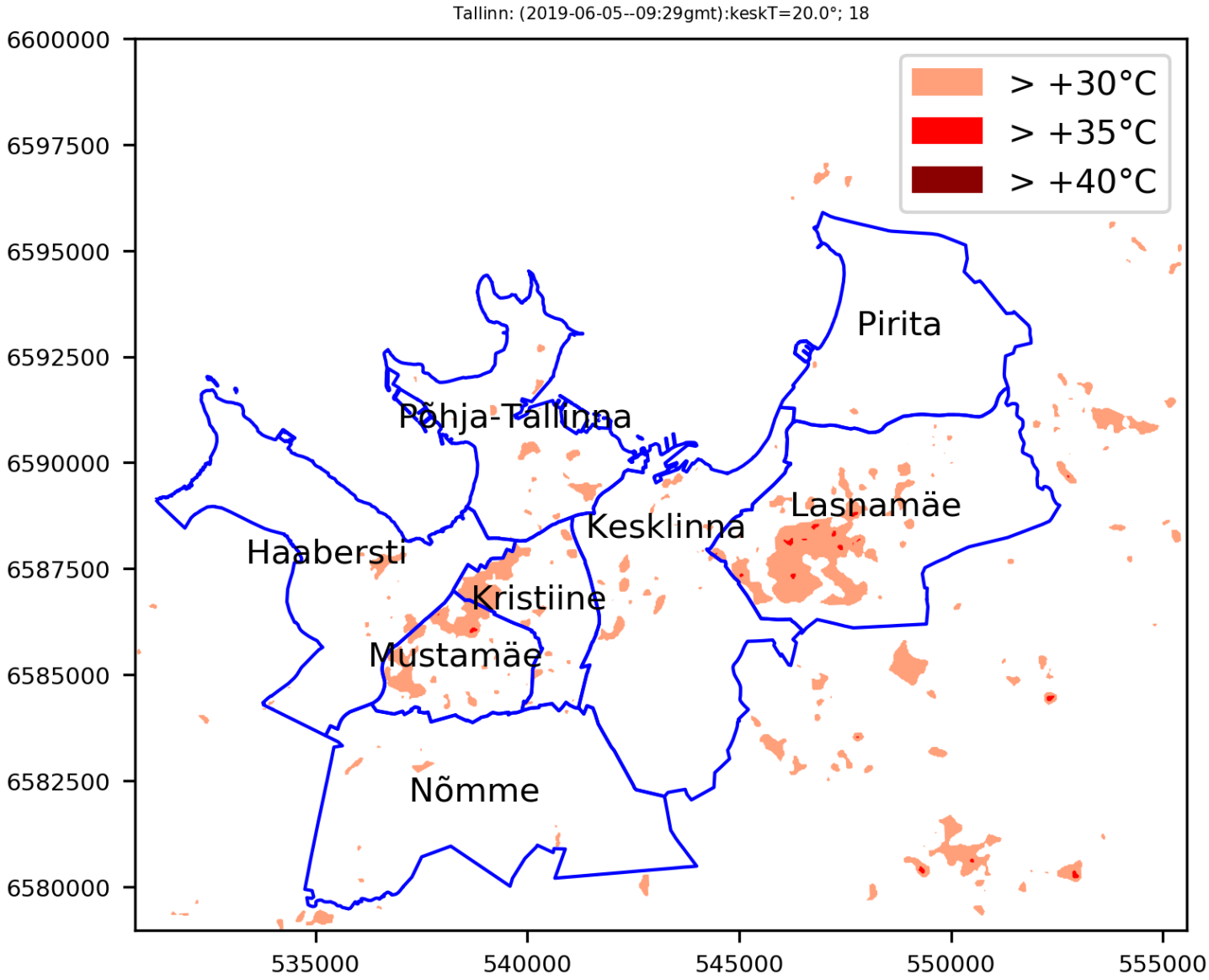
Joonis 49: Soojussaared: Tallinn 25. juuli 2014



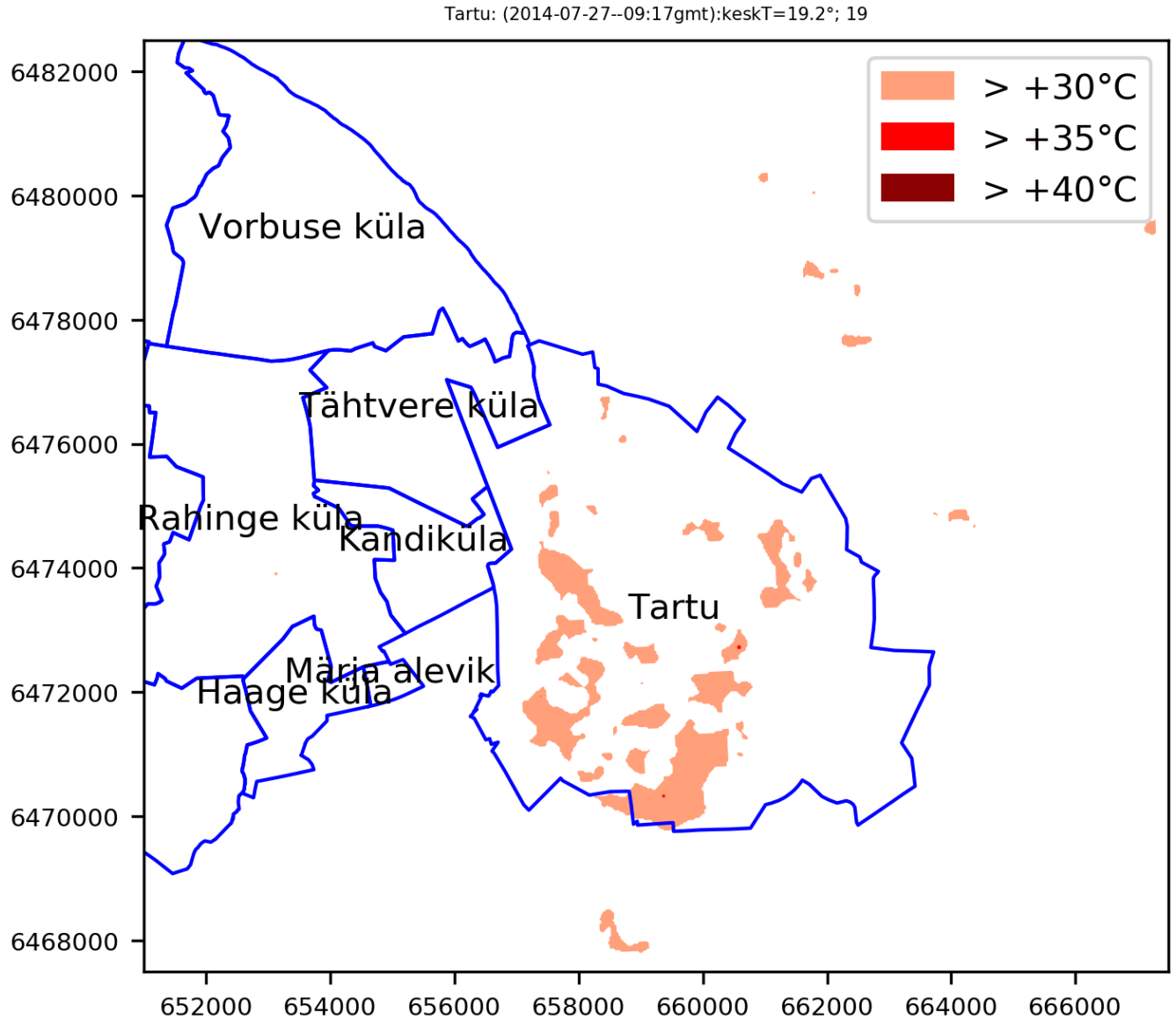
Joonis 50: Soojussaared: Tallinn 2. juuni 2018



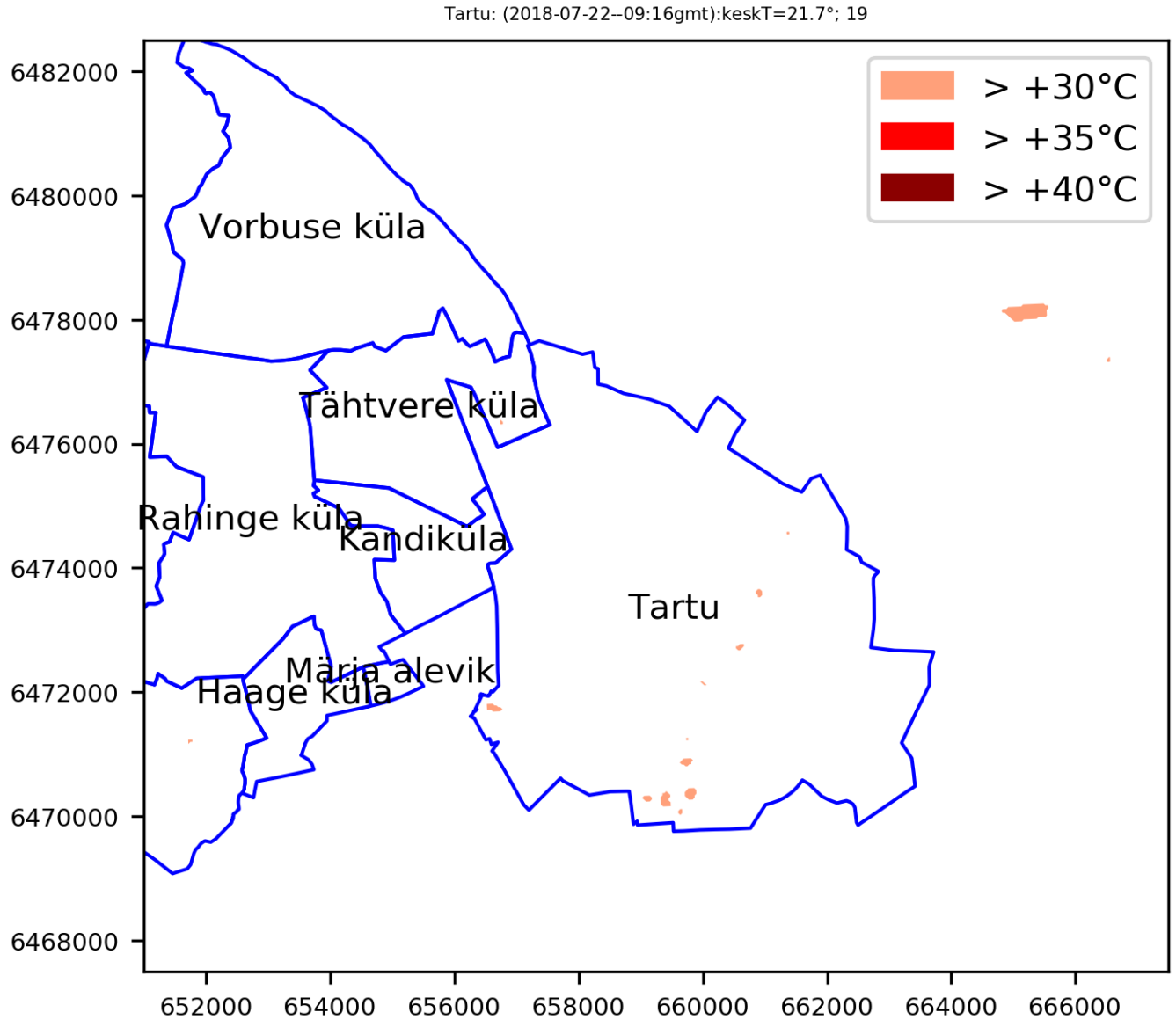
Joonis 51: Soojussaared: Tallinn 27. juuli 2018



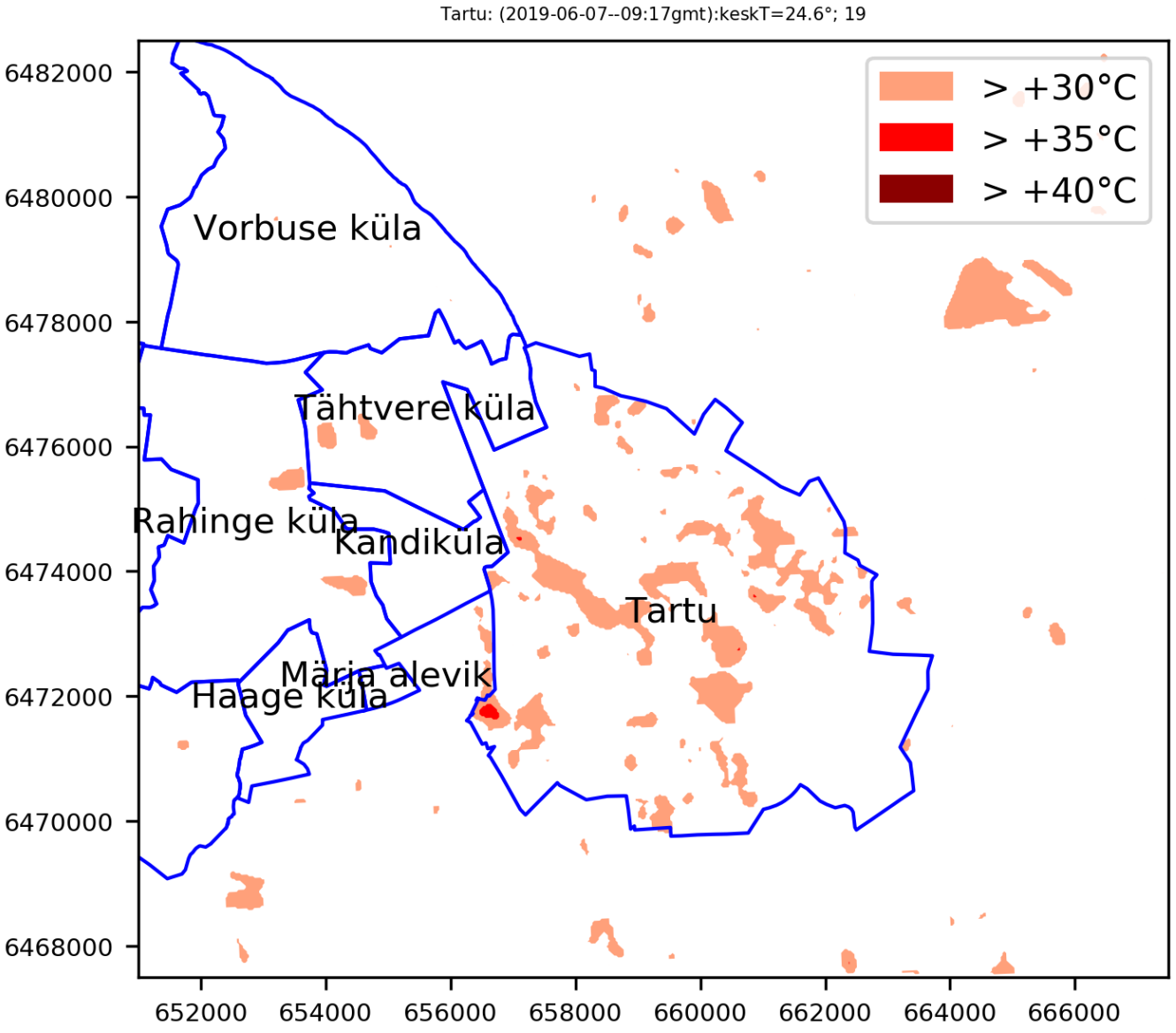
Joonis 52: Soojussaared: Tallinn 5. juuni 2019



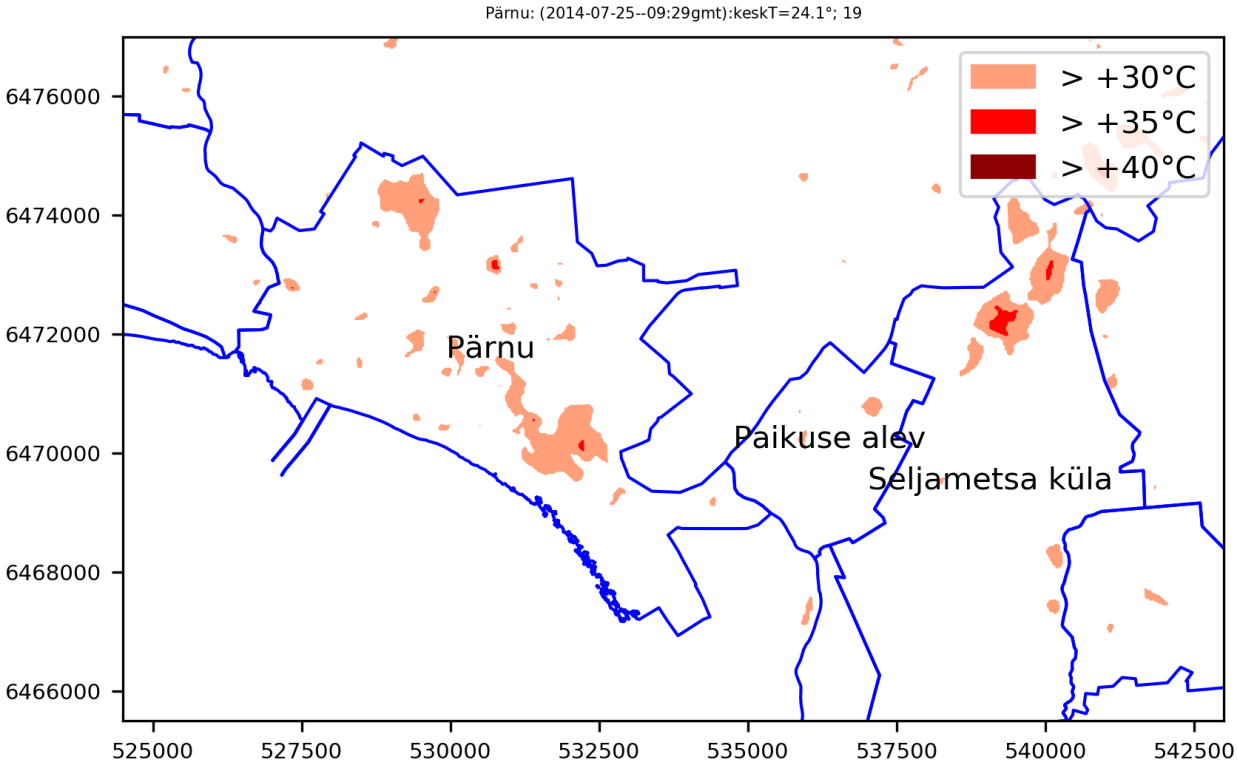
Joonis 53: Soojussaared: Tartu 27. juuli 2014



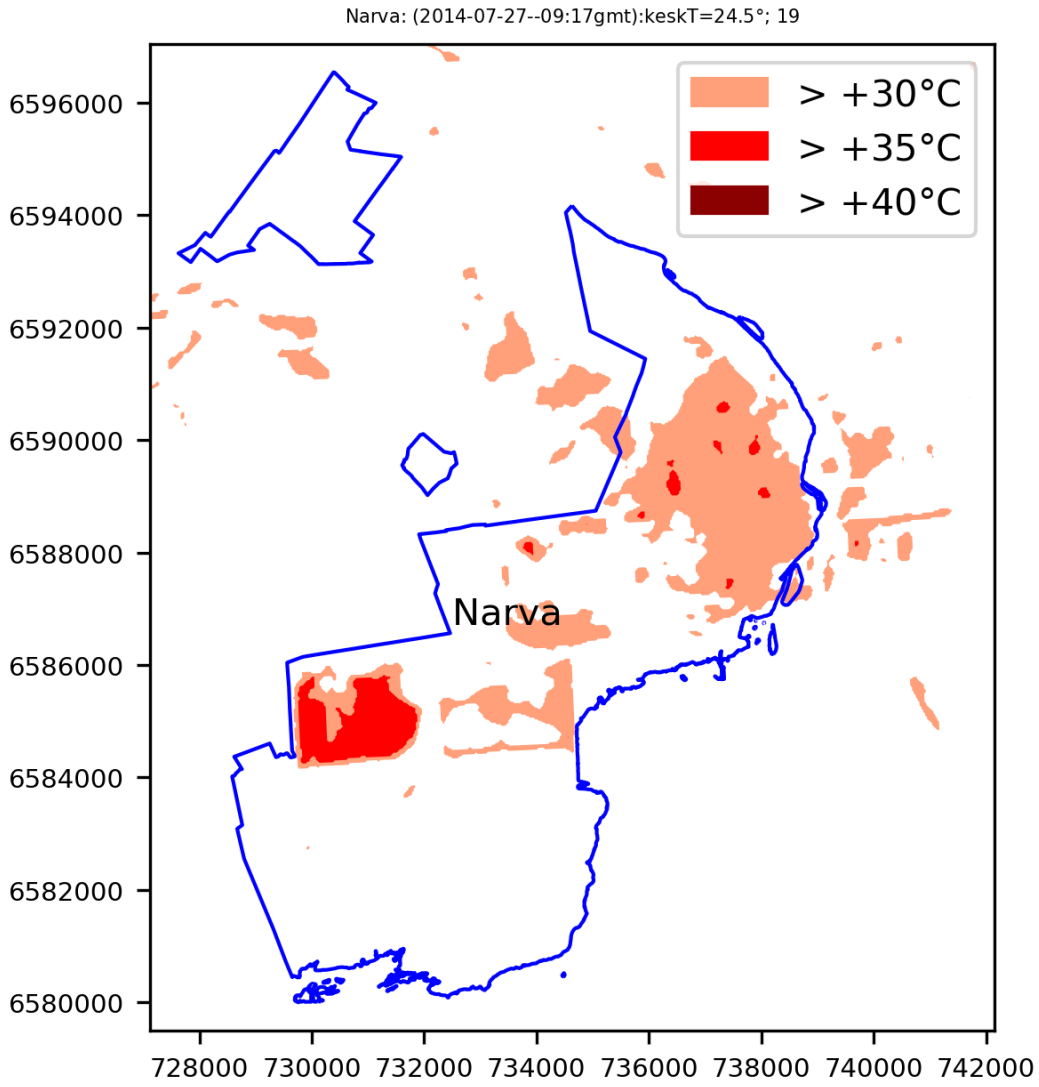
Joonis 54: Soojussaared: Tartu 22.juuli 2018



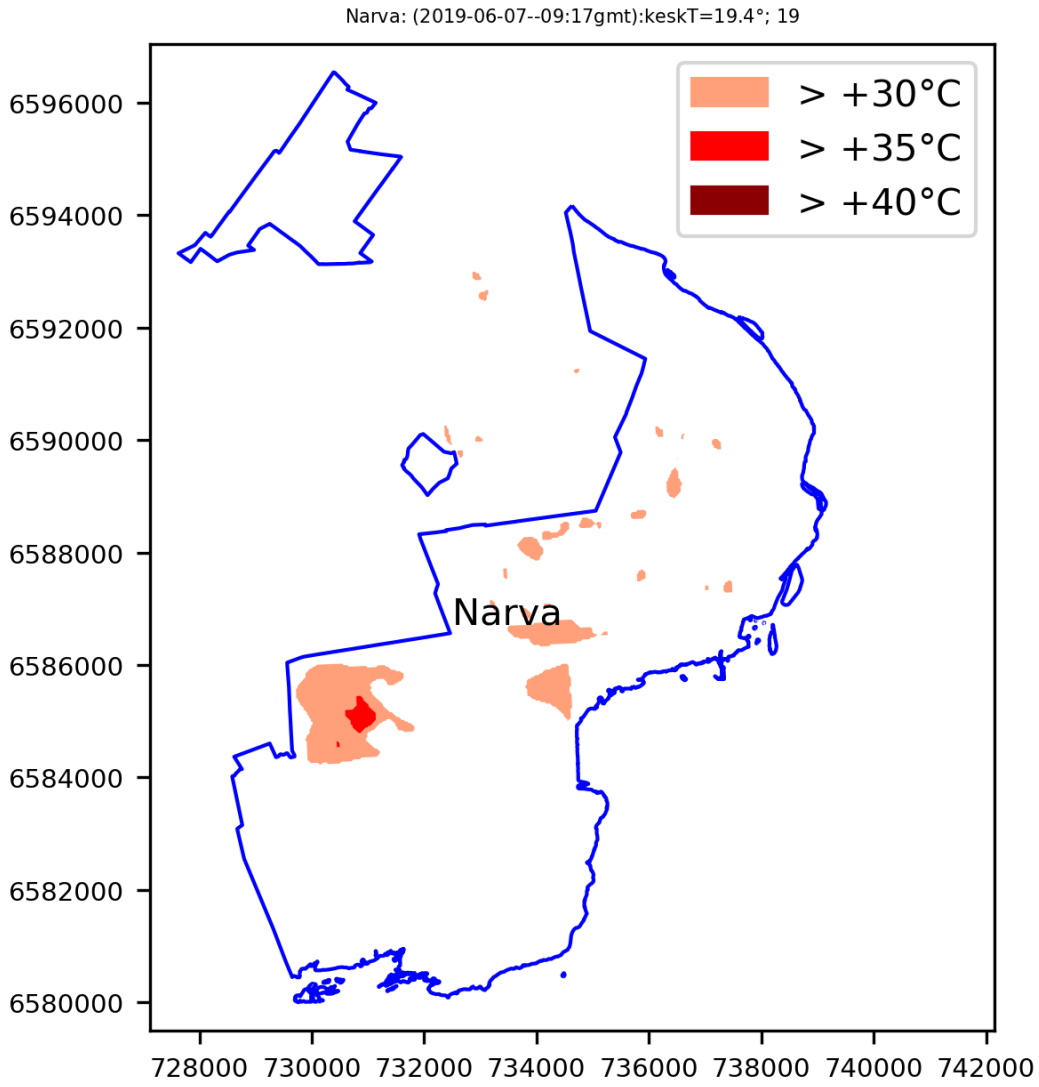
Joonis 55: Soojussaared: Tartu 7. juuni 2019



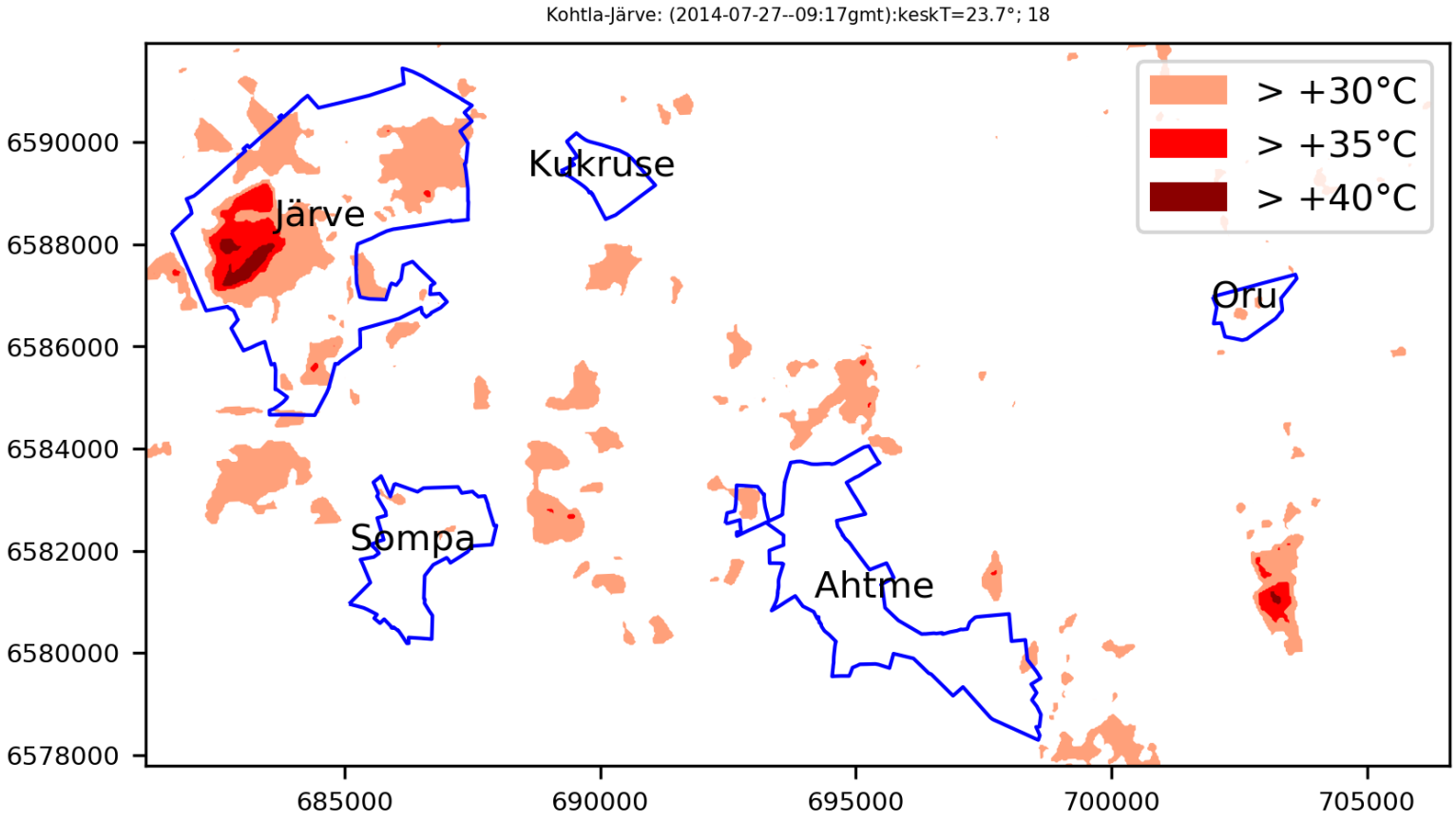
Joonis 56: Soojussaared: Pärnu 25. juuli 2014



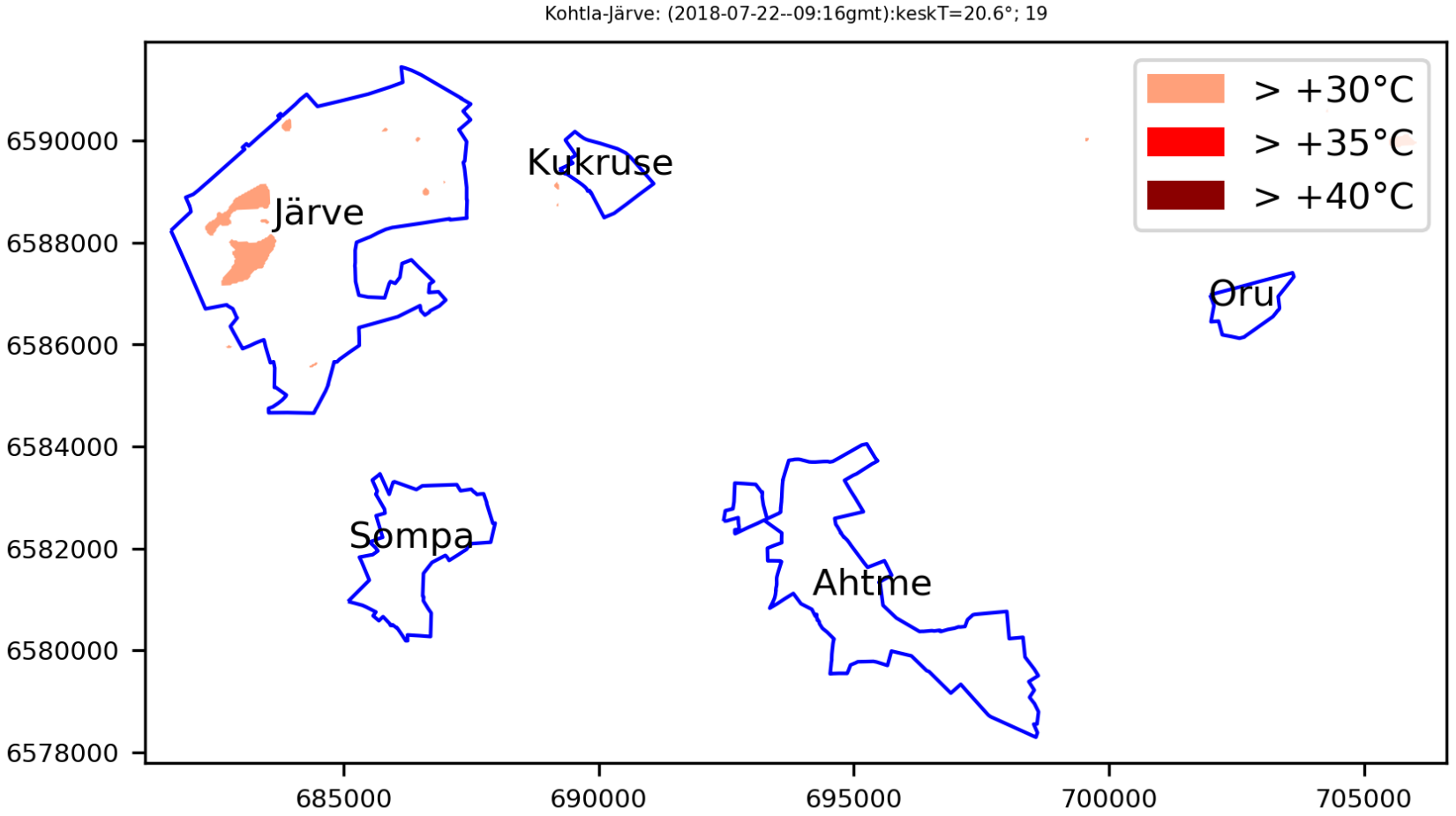
Joonis 57: Soojussaared: Narva 27. juuli 2014



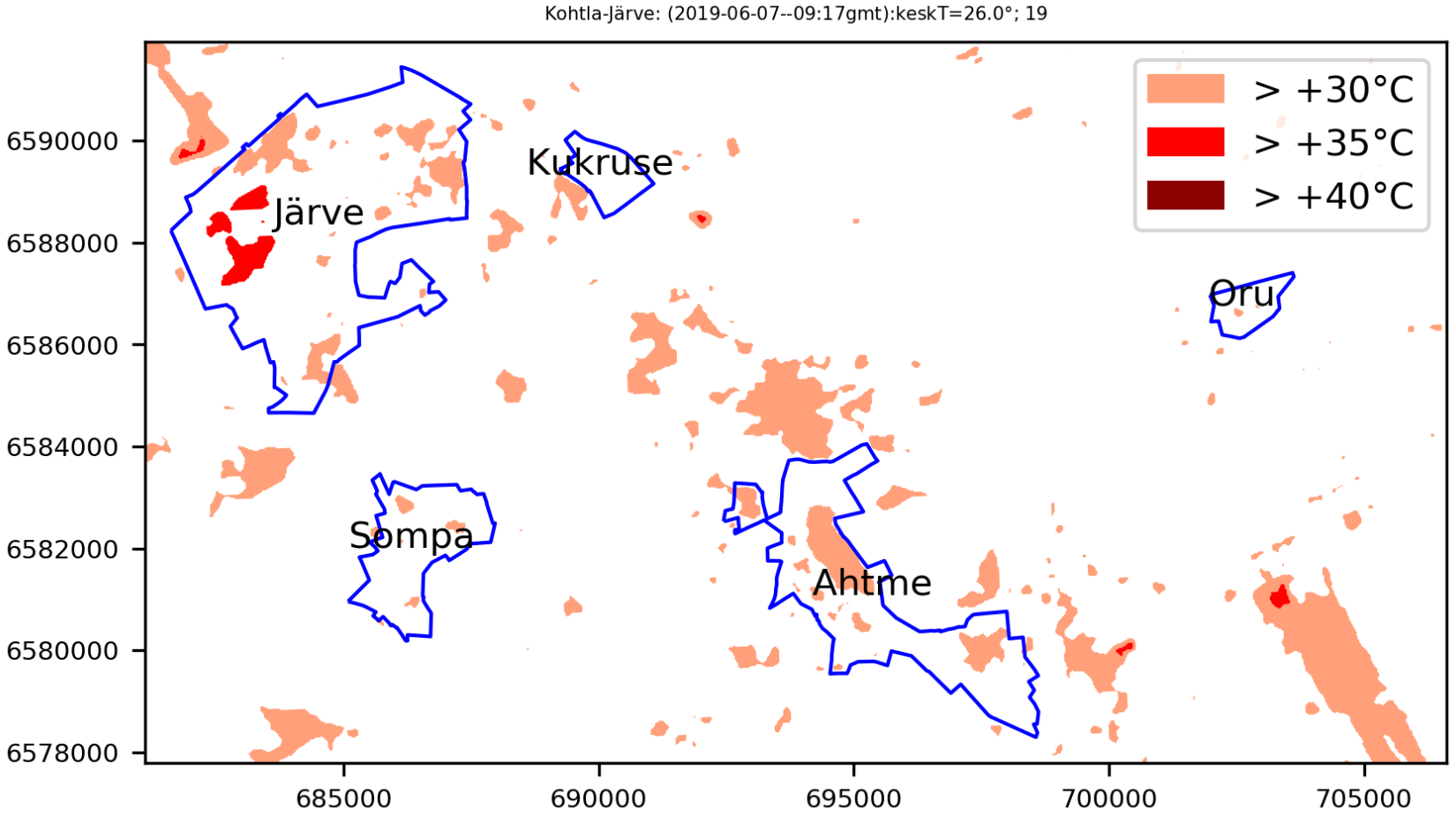
Joonis 58: Soojussaared: Narva 7. juuni 2019



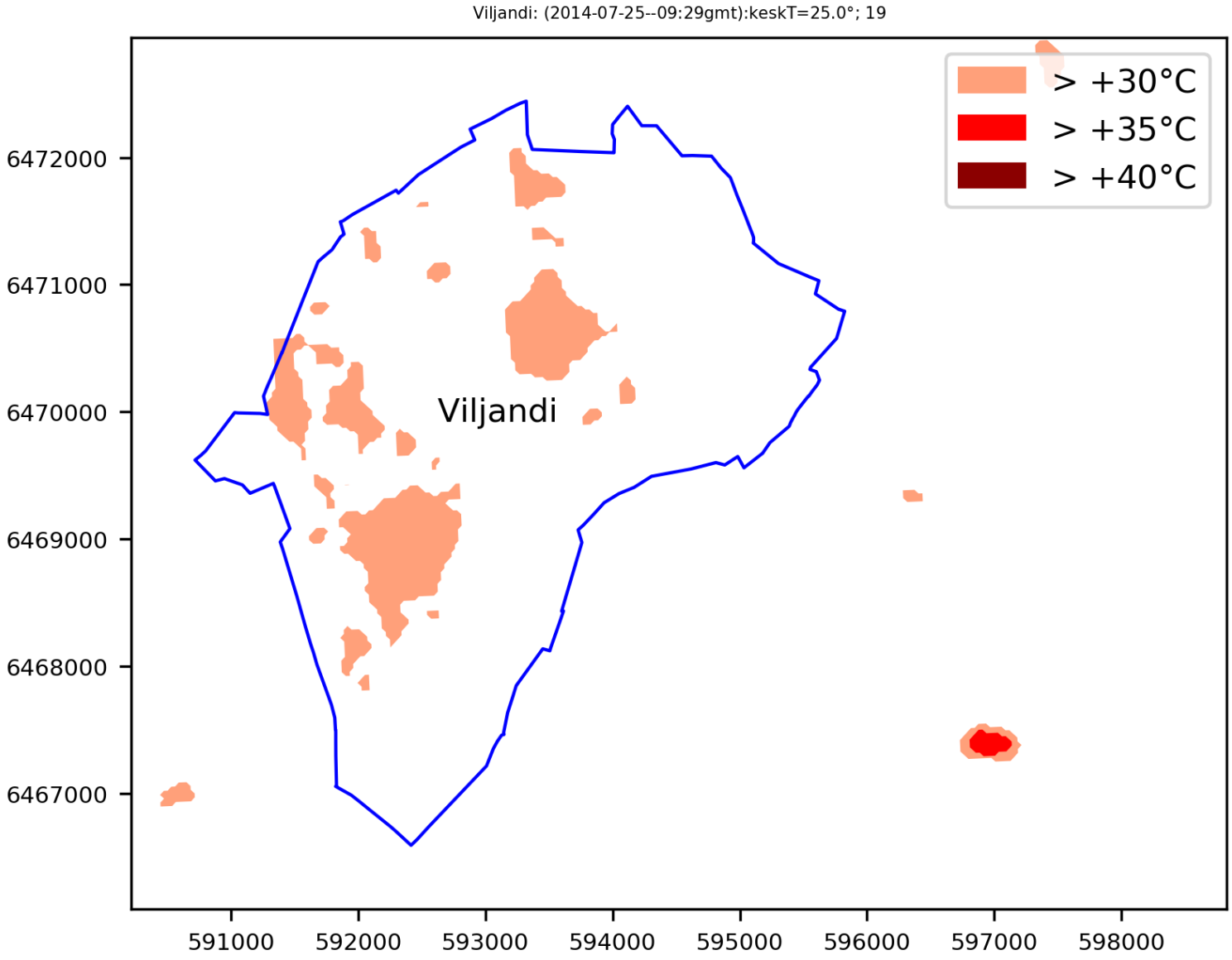
Joonis 59: Soojussaared: Kohtla-Järve 27. juuli 2014



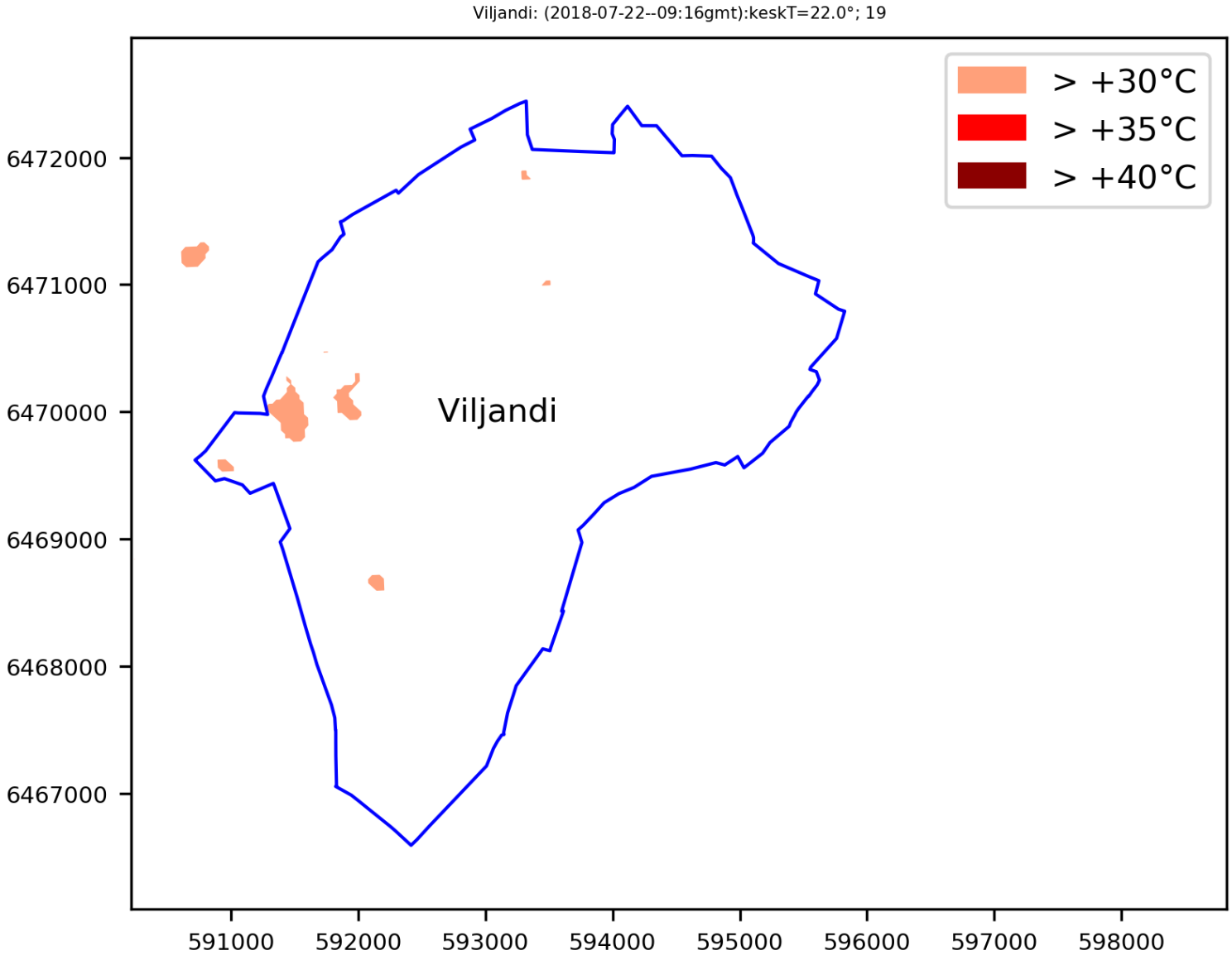
Joonis 60: Soojussaared: Kohtla-Järve 22. juuli 2018



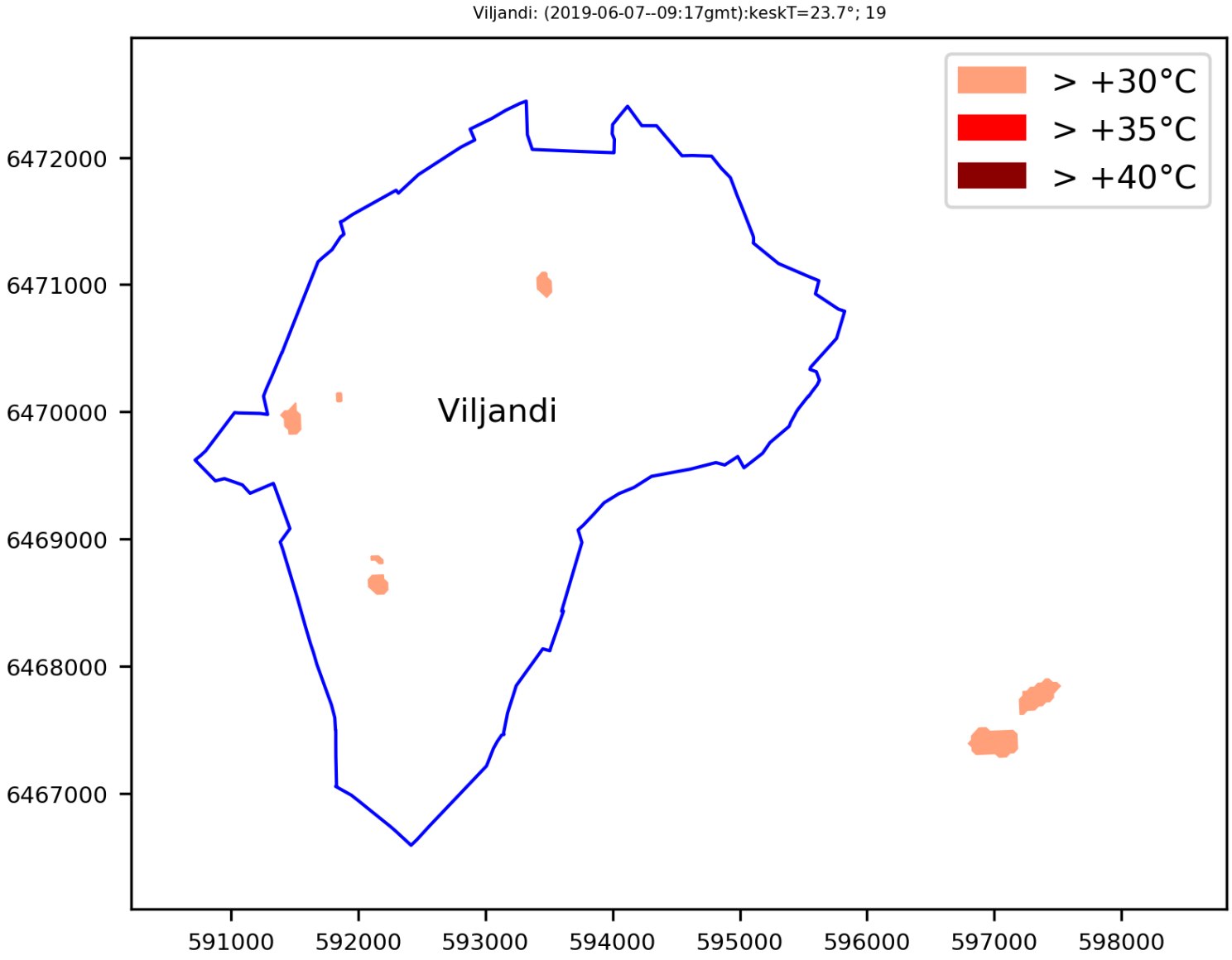
Joonis 61: Soojussaared: Kohtla-Järve 7. juuni 2019



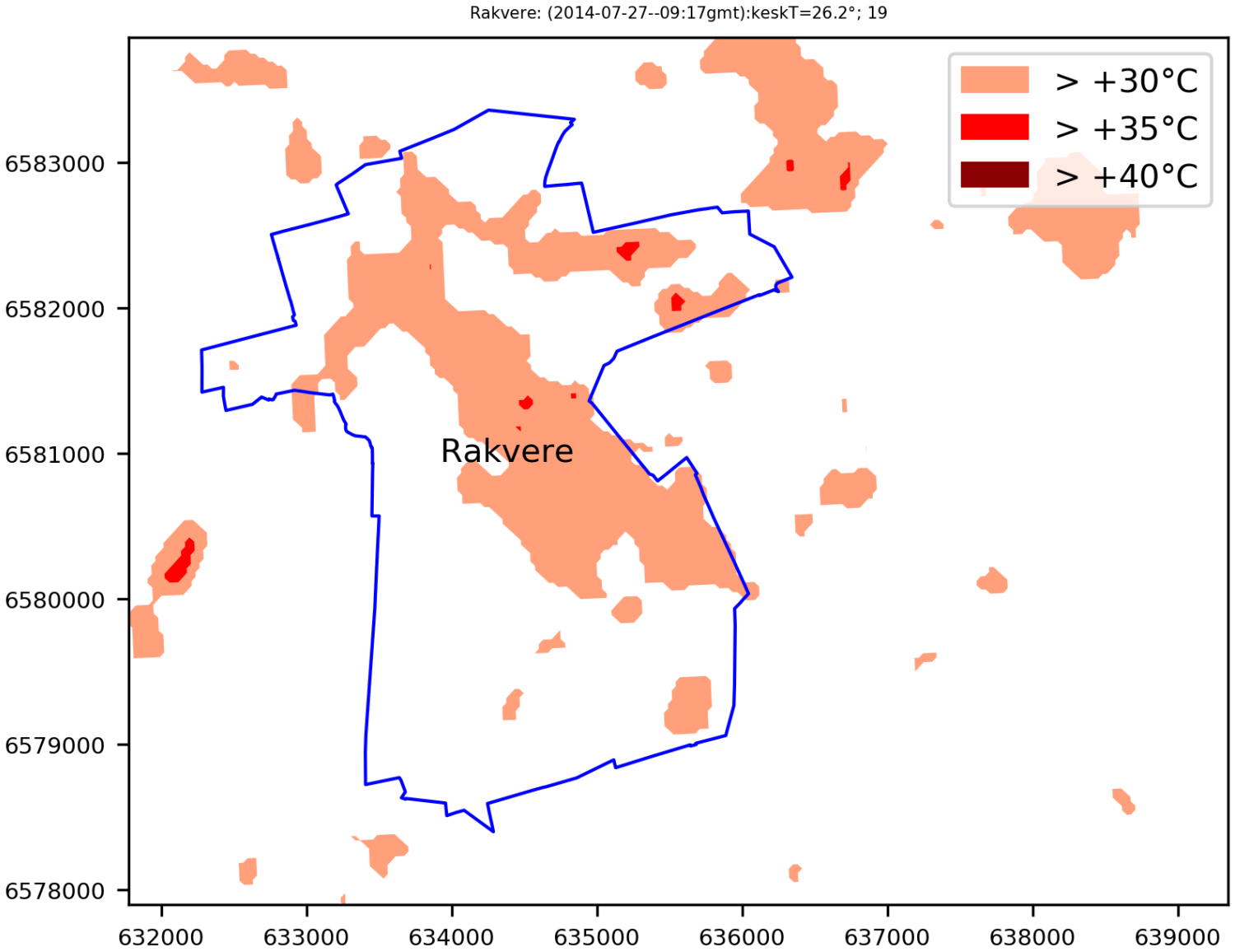
Joonis 62: Soojussaared: Viljandi 25. juuli 2014



Joonis 63: Soojussaared: Viljandi 22. juuli 2018



Joonis 64: Soojussaared: Viljandi 7.juuni 2019

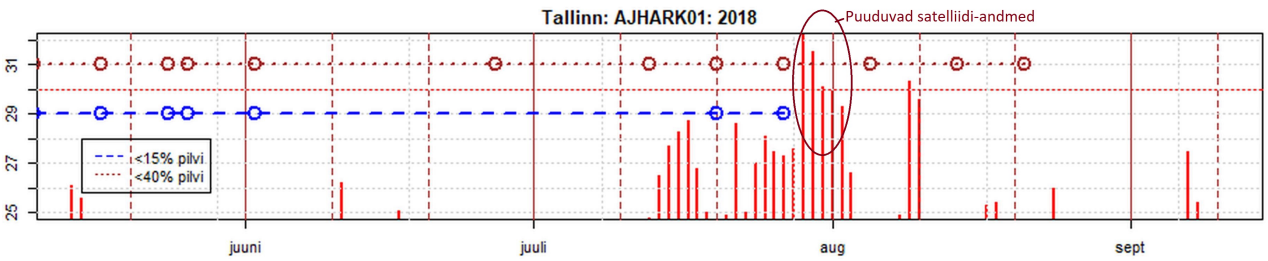


Joonis 65: Soojussaared: Rakvere 27. juuli 2014

5 Kokkuvõtteks

On loodud tarkvara (Pythoni skriptina) Landsat-8 satelliidipiltide allalaadimiseks, nendelt maapinna temperatuuri hinnangu arvutamiseks, temperatuuri punktide ümberarvutamiseks Eesti koordinaatsüsteemi (*epsg: 3301*) ning soojussaarte eraldamiseks ning koostatud antud aruanne.

Analüüsi statistiline esinduslikkus on piiratud kasutatud Landsat-8 satelliitide ülelendude suure intervalliga (16 päeva). Joonisel 66 (väljavõte Lisa 1-st) on toodud näitena Tallinna-Harku kohta saadavad satelliidipildid (pilvisusega kuni 15% ja kuni 40%) ning õhutemperatuurid. Silmnähtav on antud näites satelliidiandmete puudumine 2018 a. juuli lõpus- augusti alguses, kuumalaine tipus.



Joonis 66: Puuduvad satelliidiandmed kuumalaines

Lisaks vähendab andmete saadavust võimalik pilvisus. Kuigi saadaval on näiteks ka Euroopa kosmoseagentuuri Sentinel-3 igapäevased kaugseire andmed, on viimaste eraldusvõime (ca 1km) mittesobiv soojussaarte leidmiseks.

Leitud võimalikud soojusaared võivad olla tehislikud, aga ka looduslikud pinnad - nt mustad põllud või turbaväljad.

Samuti on oluline arvestada, et satelliidipiltidelt hinnatakse maapinna temperatuuri, mis võib teatud määral erineda õhutemperatuurist.

Tänusõnad

Autorid tänavad kõiki tööle kaasa-aitajaid ja -mõtlejaid (mh Maris Arro, Agne Aruväli ja Svetlana Pudova) Keskkonnaagentuurist ning Keskkonnaministeeriumist nii töö valmimisele kaasaaitamise eest kui võimaluse eest antud põneva teemaga tegeleda.

Viited

[1] G. Jovanovska Kaplan, U. Avdan, and Z. Yigit Avdan, "Urban heat island analysis using the Landsat 8 satellite data: A case study in Skopje, Macedonia," 03 2018.

[2] V. Sagris and M. Sepp, "Landsat-8 TIRS data for assessing urban heat island effect and its impact on human health," *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 14, pp. 2385–2389, Dec 2017.

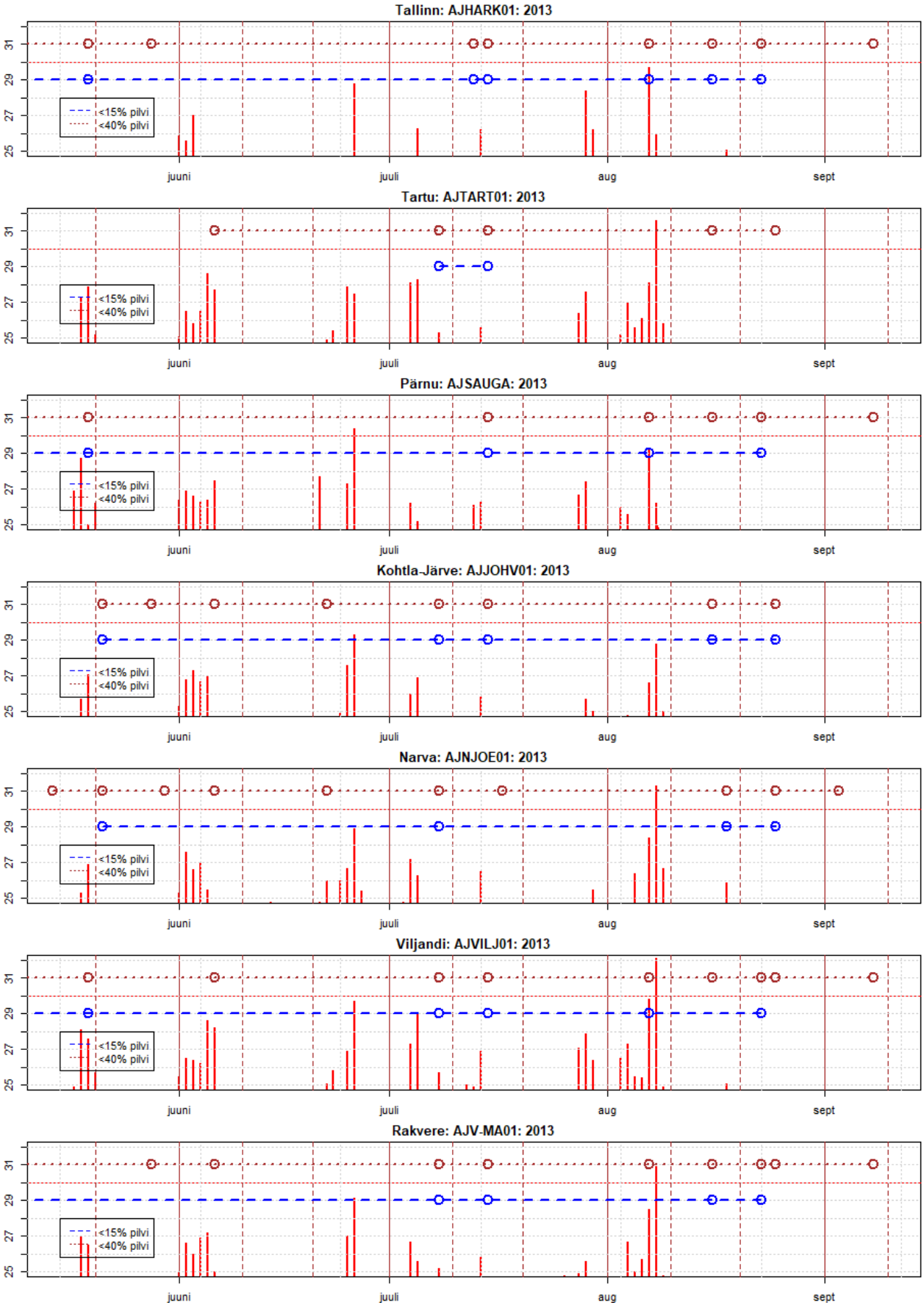
[3] Keskkonnaagentuur, "Hoiatuste kriteeriumid." `http://www.ilmateenistus.ee/ilmatarkus/kasulik-teada/hoiatuste-kriteeriumid/`, 2019. [Online; viimati vaadatud 15-veebruar-2020].

[4] USGS, "Landsat-8." `https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-8?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con`, 2019. [Online; viimati vaadatud 15-detsember-2019].

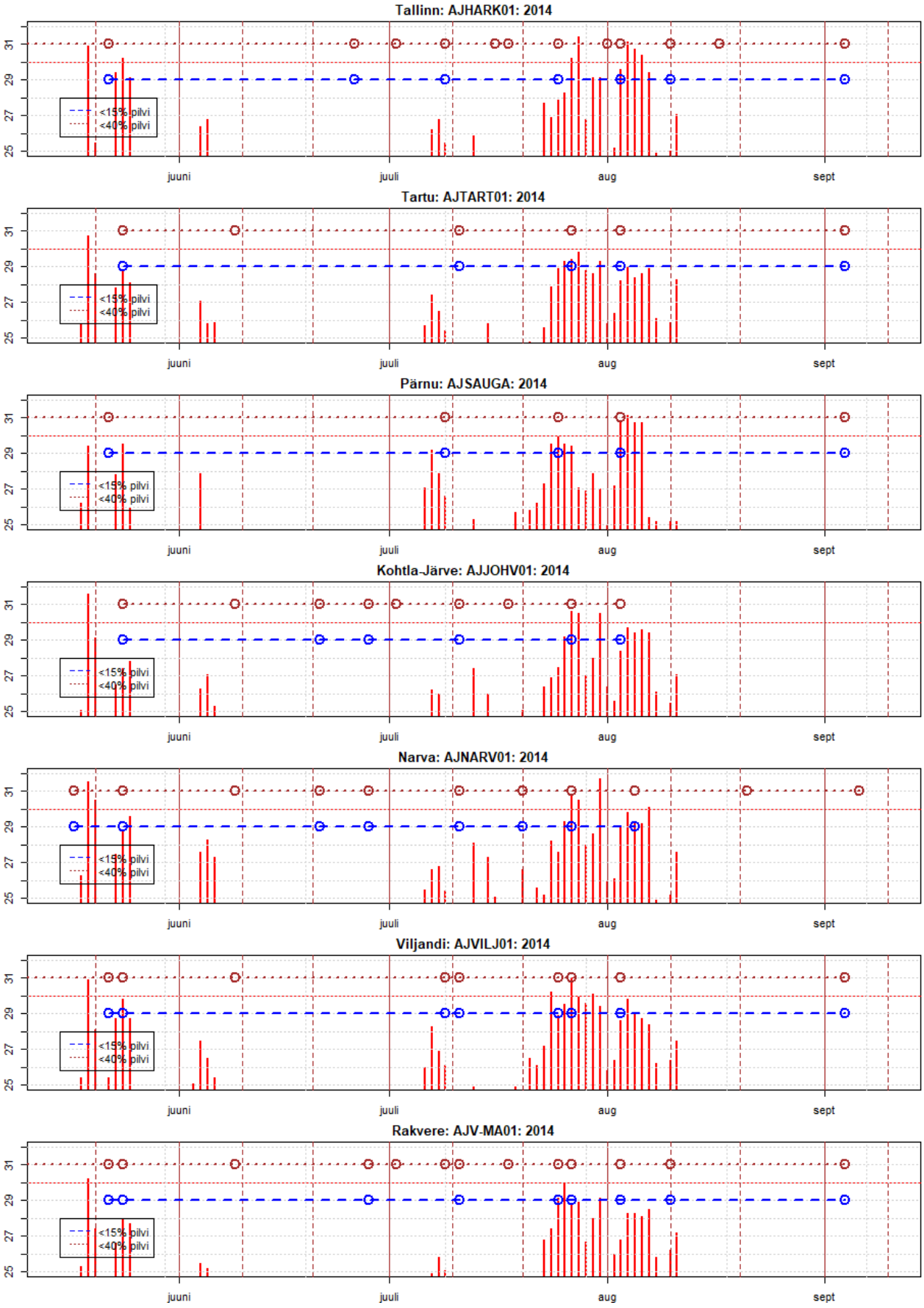
[5] A.Roose et al, "Kliimamuutuste mõjude hindamine ja kohanemismeetmete väljatöötamine planeeringute, maakasutuse, inimtervise ja päästevõimekuse teemas (KATI). Lõpparuanne," tech. rep., Tartu Ülikool, Keskkonnaministeerium, 2016.

Lisa 1.
Kuumalainete esinemine ja Landsat-8 andmete saadavus

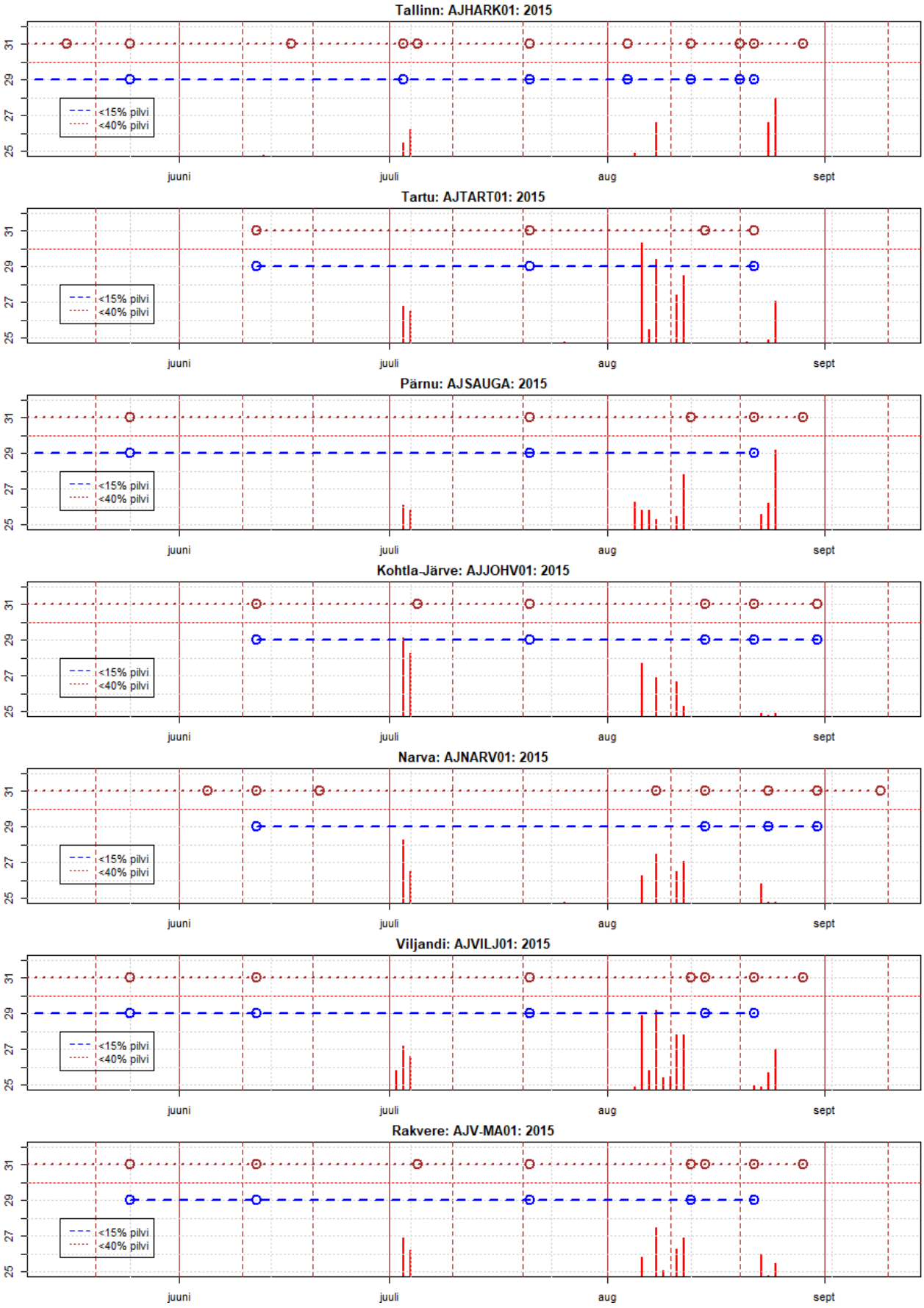
Järgnevalt on iga aasta kohta (2014-2019, taustaks ka 2013 osas) toodud graafikud õhu temperatuuridest (punased vertikaalribad, °C, referentsiks ka punane +30 °C horisontaalne pidevjoon) - mõõdetuna vastavate linnade lähimatest ilmajaamadest (Harku, Tartu või Tõravere, Pärnu/Sauga, Narva, Jõhvi, Viljandi ja Väike-Maarja) ning Landsat-8 ülelendude andmete saadavus (pilvisus kuni 15%- sinised ringikesed ning pilvisus kuni 40%- pruunid ringikesed). Need graafikud on olnud aluseks võimalike satelliidi andmeseeriate valikul.



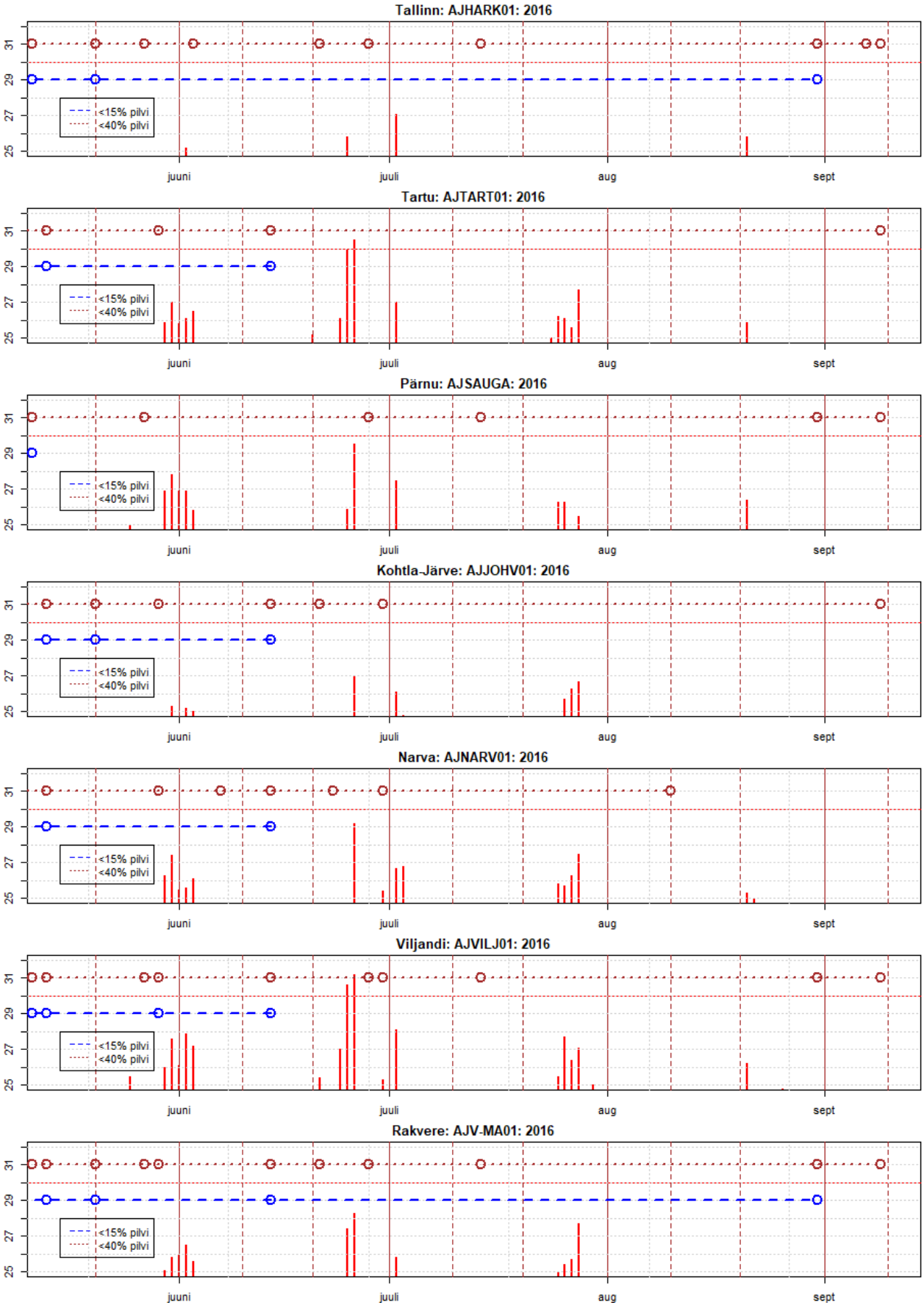
Joonis 67: Kuumalained ja Landsat-8 info saadavus: 2013



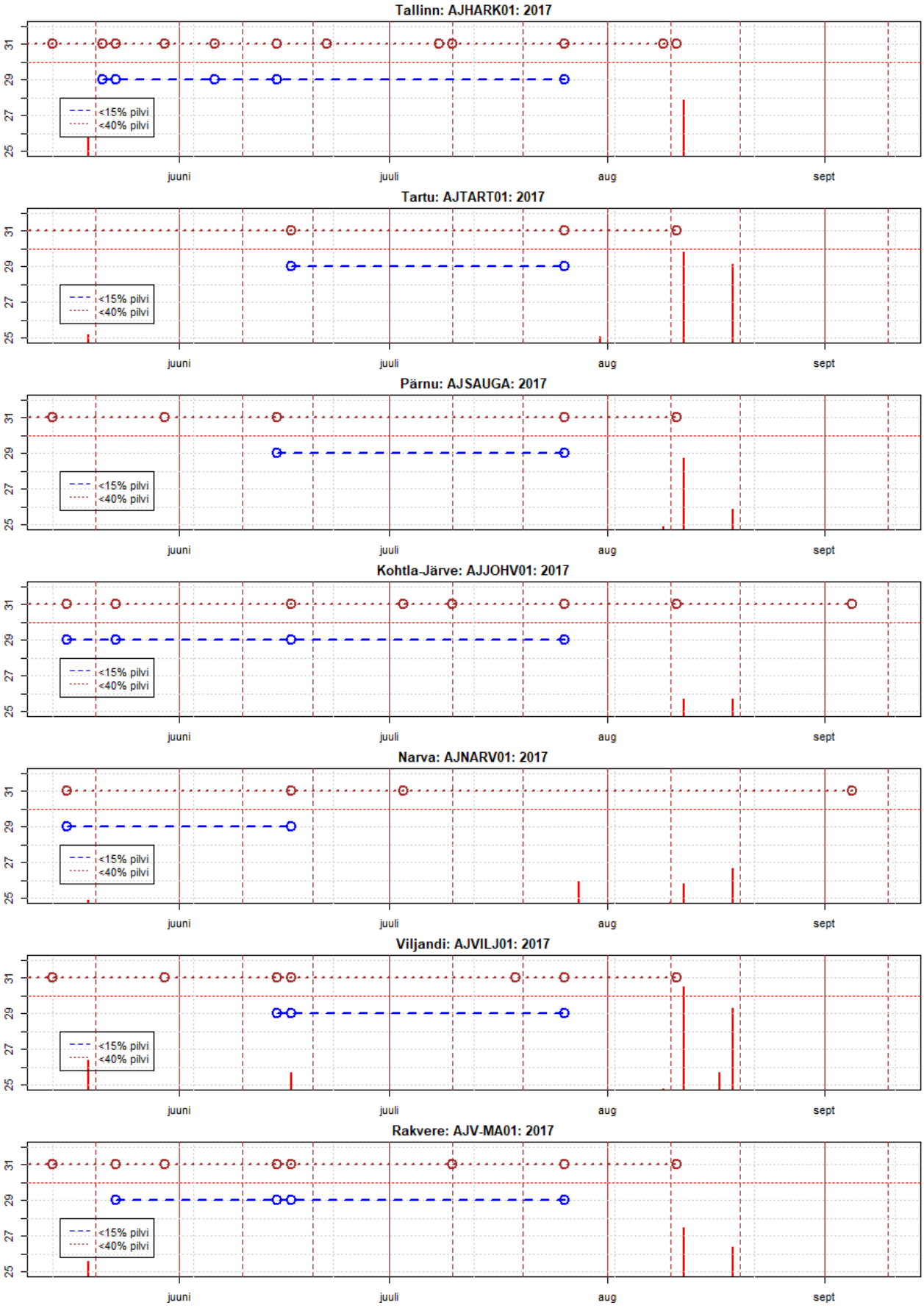
Joonis 68: Kuumalained ja Landsat-8 info saadavus: 2014



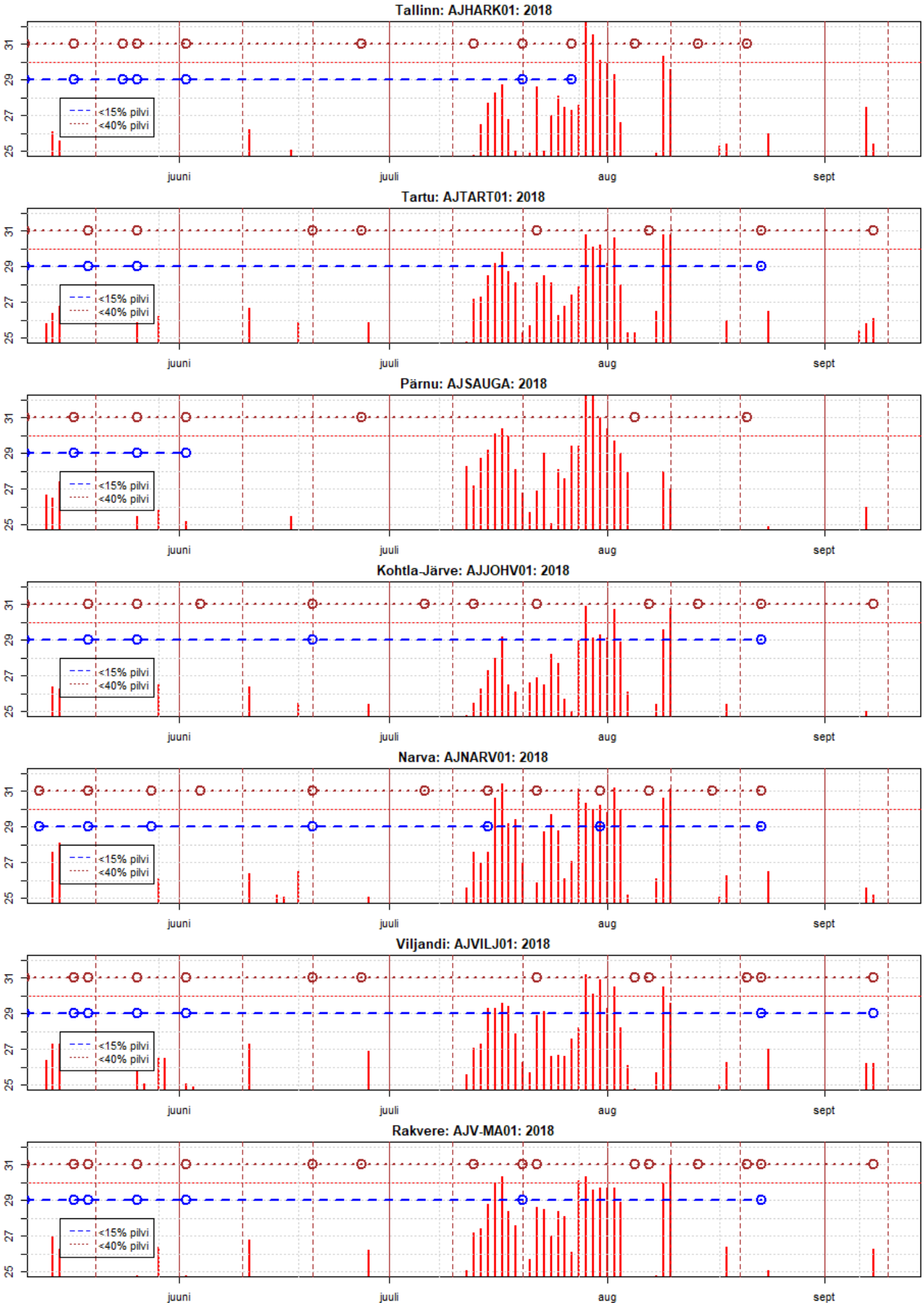
Joonis 69: Kuumalained ja Landsat-8 info saadavus: 2015



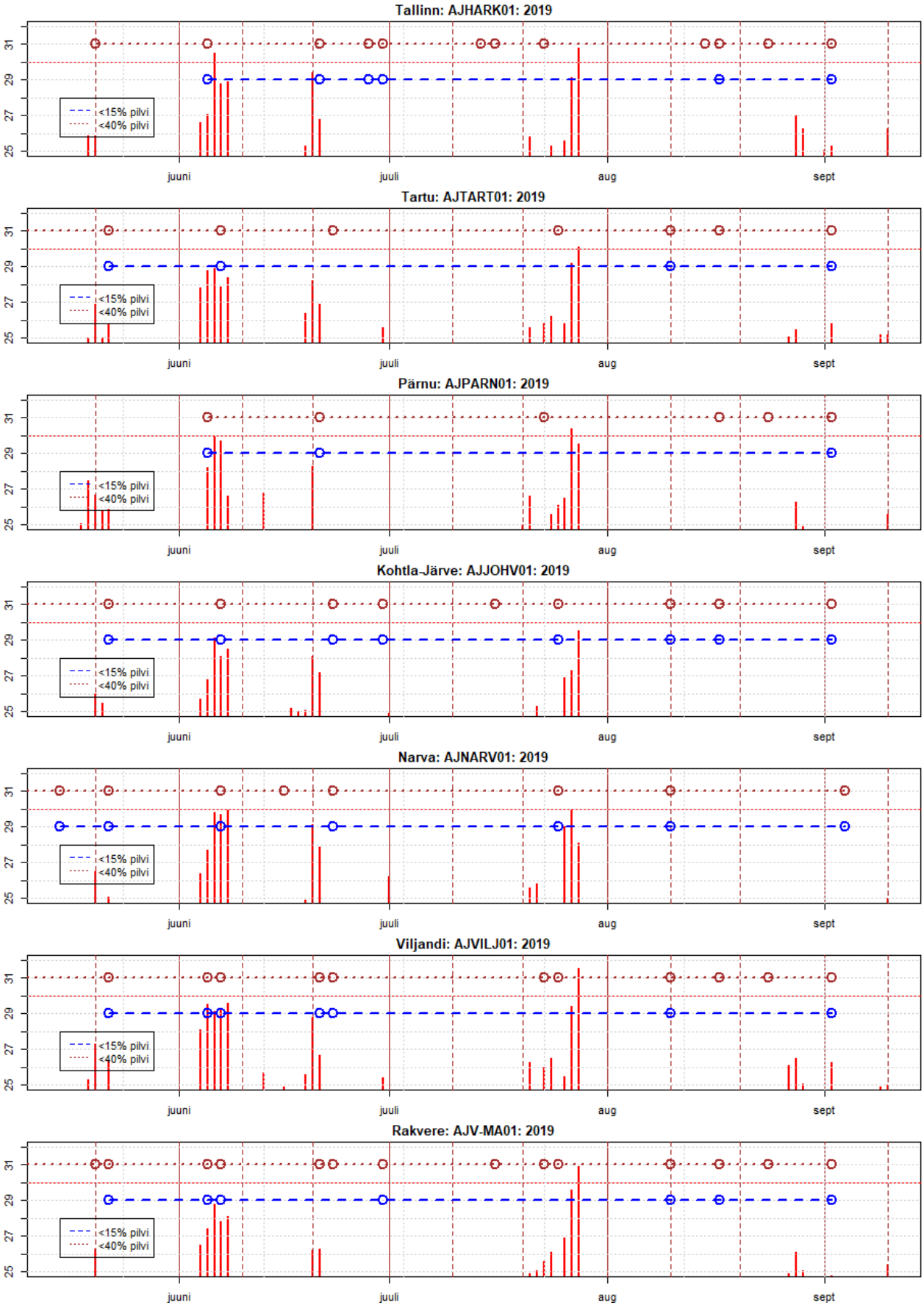
Joonis 70: Kuumalained ja Landsat-8 info saadavus: 2016



Joonis 71: Kuumalained ja Landsat-8 info saadavus: 2017



Joonis 72: Kuumalained ja Landsat-8 info saadavus: 2018



Joonis 73: Kuumalained ja Landsat-8 info saadavus: 2019