



MAANTEEAMET

 Teede
Tehnokeskus

RIIGITEE NR 2 TALLINN-TARTU-VÕRU- LUHAMAA KM 6 - 178 TERMOKAARDISTAMINE

Töö on koostatud taristu korraldamise osakonna tellimusel

Tallinn

2021

Töös osalesid:

Tanel Jairus, AS Teede Tehnokeskus

Stanislav Metlitski, AS Teede Tehnokeskus

Märt Puust, AS Teede Tehnokeskus

© Transpordiamet, 2021

2021-8

Töö tellija on Transpordiamet, kuid töö tulemus ei pea olema kooskõlas Transpordiameti seisukohaga ega väljenda Transpordiameti poolt heakskiidetud arvamusi. Vastutus antud dokumendis toodud informatsiooni ja esitatud arvamuste eest lasub täies mahus töö teostajal. Tööd võib vabalt tervikuna tasuta kasutamiseks välja anda või tsiteerida allikale viidates.

Sisukord

Sisukord	3
Sissejuhatus	4
Välisriikide kogemused.....	4
Alusandmed.....	5
Infrapuna termomeetrite katsetamine	7
Termomõõteseadmete parandustegurite leidmine.....	8
Temperatuuriprofiilide koostamine	10
Mudeli visualiseerimine	10
Mudeli täiendamine	12
Mudeli täpsus.....	16
Ühtlase soojusomadustega teelõigud	17
Ekstreemsed kohad	25
Ettepanekud valikulisteks libedusevastasteks strateegiateks.....	27
Kokkuvõte.....	28
Allikad	29

Lisa 1 - Iseloomulikud termoprofiilid pilves ja selge ilmaga

Sissejuhatus

Maanteeameti hooldevaldkonna tegevusprogrammis aastateks 2019-2021 on püstitatud eesmärgiks selgitada välja riigiteede korrashoiu ülesehituse võimalused tulevikus, hangete korraldamise ja hoolde eest tasustamise põhimõtted, seisundinõuete rakendamise põhimõtete täpsustamine, järelevalve tegemise võimalikud viisid, teehoolde IT rakenduste võimalikud arendused, liiklejatele sõiduoludest teavitamine jne. Käesoleva töö eesmärgiks on põhimaantee nr 2 kilomeetrite 6 – 178 termokaardi koostamine koos kaardistatava tee kliimaatilistelt homogeenseteks lõikudeks jagamisega ja potentsiaalsete ohtlike kohtade tuvastamisega.

Töö esimeses etapis koguti ja teises etapis analüüsiti vaadeldaval lõigul aastate jooksul optiliste teesensorite ja statsionaarsete teeilmajaamadega tehtud mõõtmisi ja koostati talvise tee dünaamiline termoprofiil tee temperatuurivahemiku +5 kuni -5 jaoks. Termoprofiili vaatlemiseks loodi spetsiaalne veebikeskkond, kus profiili andmeid on võimalik vaadata kaardil ja graafikul. Töö kolmandas etapis toimus termoprofiili toimivuse analüüs talvetingimustes ja mudeli parandamine. Maantee Kose-Võõbu lõigule mudeli kohandamiseks koguti andmeid paralleelselt mudeli testimisega muudes lõikudes.

Välisriikide kogemused

Mudelisse kaasatavate andmete määramiseks ja ilmaolude klassifitseerimiseks lähtuti teistest samalaadsetest uuringutest. Kuna teeilmajaamades mõõdetakse sama piirkonna täpseid ilmastikunähtuste väärtuseid, on mitmes eri paigas proovitud leida optimaalseid lahendusi sama andmestiku laiendamiseks teelõikudele. Nende uuringute raames on kasutatud erinevaid metoodikaid, paljuskki seetõttu, et mõõtmistegevus on töömahukas ja seetõttu suhteliselt kulukas. Nii on objektiivse pildi saamiseks püütud mõõtmistingimusi standardiseerida, seades ilmastiku parameetritele ette kitsendavaid tingimusi.

Varasem uuring Itaalias [4] seadis mõõtmisteks ette järgmised tingimused:

- Tuule kiirus 2 m/s või vähem;
- Pilvisus 1/8 või vähem;
- Keskmine teepinna temperatuur alla 0°C.

Sellisel kirjeldatud tingimused on määratletud ekstreemsena ja neid vaadeldi öisel ajal.

Ka Ühendkuningriigis teostatud uuringud [5][6][7] näitavad oluliste parameetritena tuule kiirust ja pilvisust. Mõõtmiste ajad on pärast 02:30 ja enne päikesetõusu. Termiliselt homogeenne lõigu pikkus on 300-2950 meetrit [7].

Pilvede klassid on järgmised [10]:

- ülemised pilved 6-12 km;
- keskmised pilved 2-6 km;
- alumised pilved – maapind-2 km;
- konvektsioonipilved – aluse kõrgus alla 2 km.

Ilmaolud on klassifitseeritud kui äärmuslik (*Extreme*), keskmine (*Intermediate*) ja niiske (*Damped*). Äärmuslikuks loetakse selget tuulevaikset ilma, niiske on madalpilvine ja keskmine on selge ja tuuline või vaikne ja keskpilvine. Veekihi paksus mõjutab temperatuurinäitude variatsiooni ulatust [7].

Võrdlusuuring Leedus ja Tšehhis [9] tõi välja, et mägedes on erinevused oluliselt selgemad kui tasandikel. Tasasel alal – nagu Eestis valdavalt – on temperatuuriprofiilid ebaühtlasemad. Samas ei ole ka kõrguste erinevus absoluutse mõjuga. Ehkki reeglina on orud ja nõod jahedamad, on ka temperatuuri juhuslikud kõikumised suuremad. Sellest tulenevalt tuleb kasutuskõlbliku ennustusmudeli saamiseks kasutada oluliselt suuremat alusandmestikku.

Selle põhjal on uute mudelite loomisel kaks võimalust. Kas kirjeldada võimalikult täpselt temperatuurierinevuste toimemehhanismi ning sedakaudu luua universaalne mudel kõigi teede kohta või tekitada puhtalt empiiriline mudel suurandmete põhjal. Kuna suurandmeid pole varasemalt selliste tööde juures olnud võimalik kasutada, on üritatud luua esimest varianti. Seni edutult, kuna mõjutavaid parameetreid on palju ja nende täpne määramine on samuti väga tömahukas. Nagu järgnevalt kirjeldatud, on käesoleva töö puhul suurandmed olemas, mistõttu on empiirilise mudeli loomine teostatav.

Alusandmed

Töösse kaasati andmed mida koguti ajavahemikus 16.02.2016 kuni 01.06.2021. Mõõdetavaks põhiparameetriks oli teepinna temperatuur, mida fikseeriti sõidukitele paigaldatud infrapuna termomeetrite (edaspidi termomõõteseadmete) abil. Järgnevatel joonistel on toodud teeseisundi mõõteseadme komplekt, mille koosseisu kuulub termomõõteseadme ja sama komplekt paigaldatuna sõidukile.



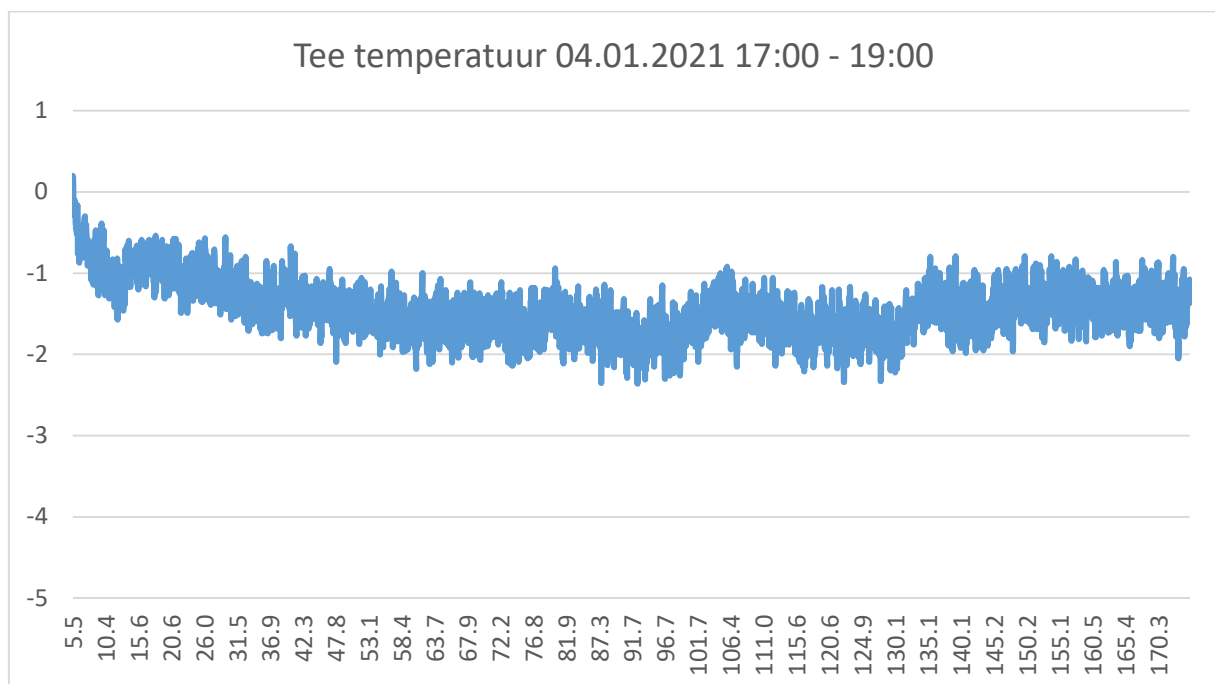
Joonis 1. Teeseisundi mõõteseadme komplekt



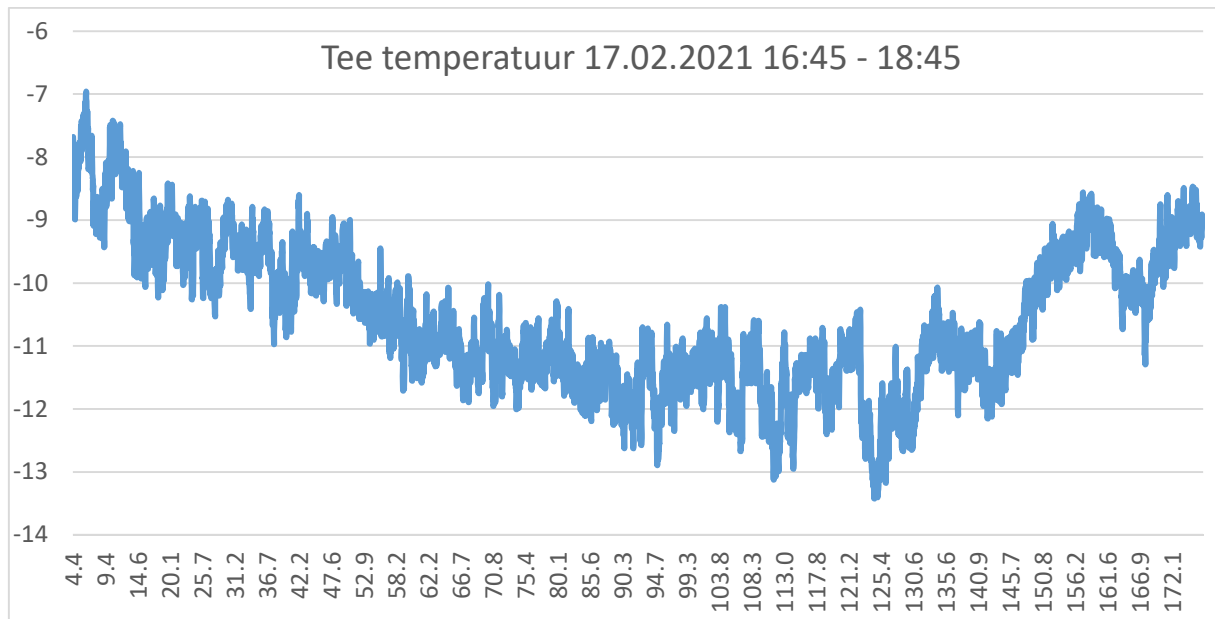
Joonis 2. Teeseisundi mõõteseade sõidukile paigaldatuna

Teepinna temperatuur registreeriti asukohapõhiselt sagedusega üks kord sekundis (1 Hz) ja edastati serverisse. Vastav tehnoloogia on tõestanud ennast usaldusväärse ja töökindla lahendusena [8].

Paari konkreetse sõidu andmed on toodud järgmistel joonistel.



Joonis 3. Teepinna temperatuuride jaotus riigitee nr 2 Tartu – Tallinn – Võru – Luhamaa, Tartu – Tallinn lõigul pilves ilmaga



Joonis 4. Teepinna temperatuuride jaotus riigitee nr 2 Tartu – Tallinn – Võru – Luhamaa, Tartu – Tallinn lõigul selge ilmaga

Kogutud mõõtmisandmed laeti alla CSV formaadis ja koondati ühte andmebaasi. Iga kirje tähistab üht mõõtmist. Esimeses töötamise etapis arvutati igale kirjele vastav päikese asimuut ja tõusunurk. Selleks kasutati meetodikat [1], mille sisendiks on asukoha geograafilised koordinaadid, kellaaeg ja kõrgus geoidi pinnast. Järgmisena lisati pilvisuse andmed. Riigi Ilmateenistuse andmetest [2] kaasati geograafiliselt lähima mõõtepunkti lähima täistunni mõõtmise neljast pilvekihist suurima katvusega väärtus. Pilvede kõrgust ei arvestatud. Seejärel lisati lähima teeilmajaama mõõteandmed [3] interpoleerides õhu ja teepinna temperatuurid lineaarselt eelmise ja järgmise mõõtetulemuse põhjal. Samuti märgiti kaugus teeilmajaamast.

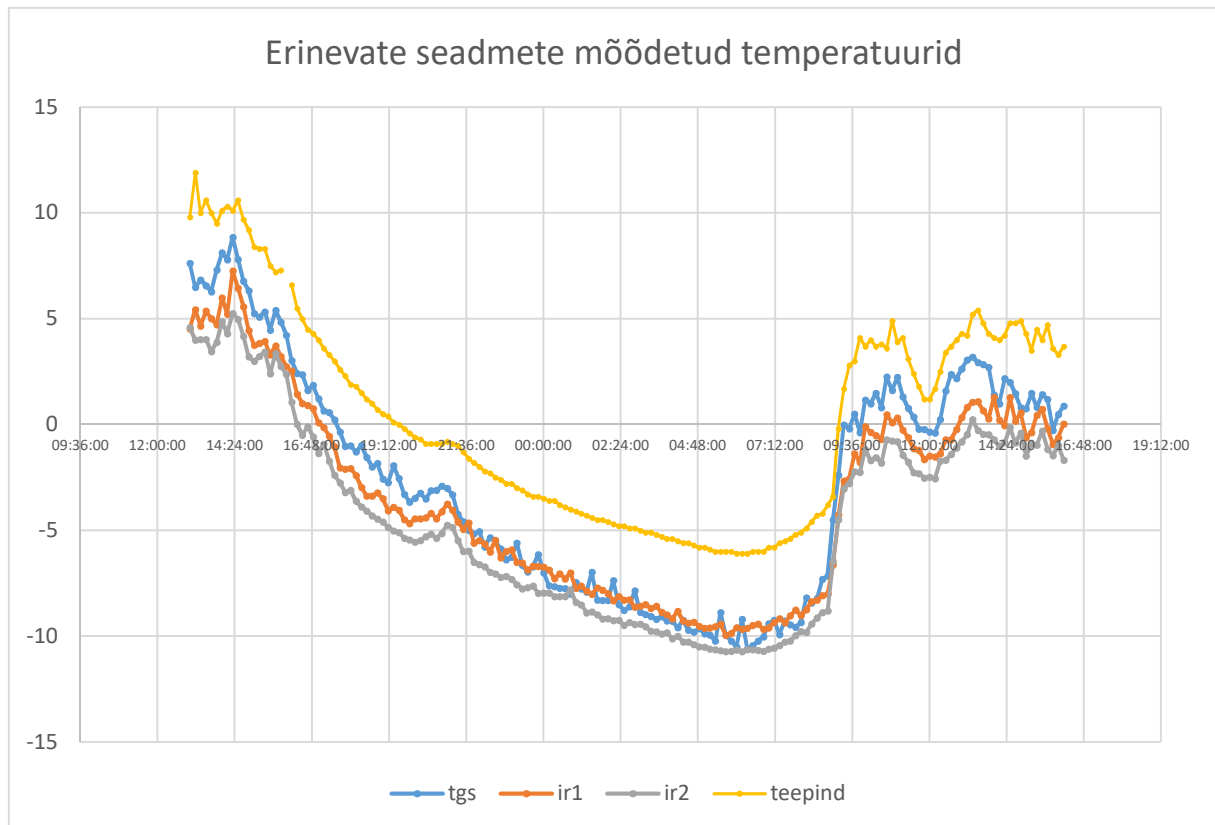
Mõõtmisandmetes sisalduva müra eemaldamiseks on soovitat kasutada filtrit, nt madalpääsfiltrit [4]. Küsimus on antud juhul selles, milline valida filtri aken. Liiga väikese akna puhul jäävad suuremad anomaaliad alles, liiga suure puhul võib minna tegelikult ekstreemsete kohtade info kaduma. Loodud mudelis mõõtmistulemused keskmistati 100 meetri pikkustele lõikudele.

Infrapuna termomeetrite katsetamine

Kontrollimaks, kuidas infrapuna termomeetrite mõõtmistulemused ühilduvad teeilmajaamadest tulevate andmetega, kontrolliti nende vastavust Kangru teeilmajaamas. Selleks paigaldati lisaks olemasolevale DRS511 teeandurile järgmised seadmed:

- Infrapuna termomeetrid IR1, IR2 (termomõõteseadmele analoogsed seadmed)
- Termokaamera TGS (kasutatakse tee-ehitusel laoturist väljuva materjali temperatuuri määramiseks)

Kõik seadmed paigaldati nii, et nad kirjeldaksid sama punkti teepinnal. Täiendavat kalibreerimist ei ole tehtud, mistõttu esinesid erinevused absoluutväärtustes. Joonisel 4. on toodud mõõtetulemuste dünaamika.



Joonis 4. Erinevate seadmete mõõtmistulemuste dünaamika

Kuna erinevad seadmed mõõdavad ja edastavad andmeid erineva intervalliga, siis lähtuti andmete sidumisel kõige tihedama andmeedastusega seadmeist ning lisati esimese sammuna lineaarselt interpoleeritud teiste seadmete andmed.

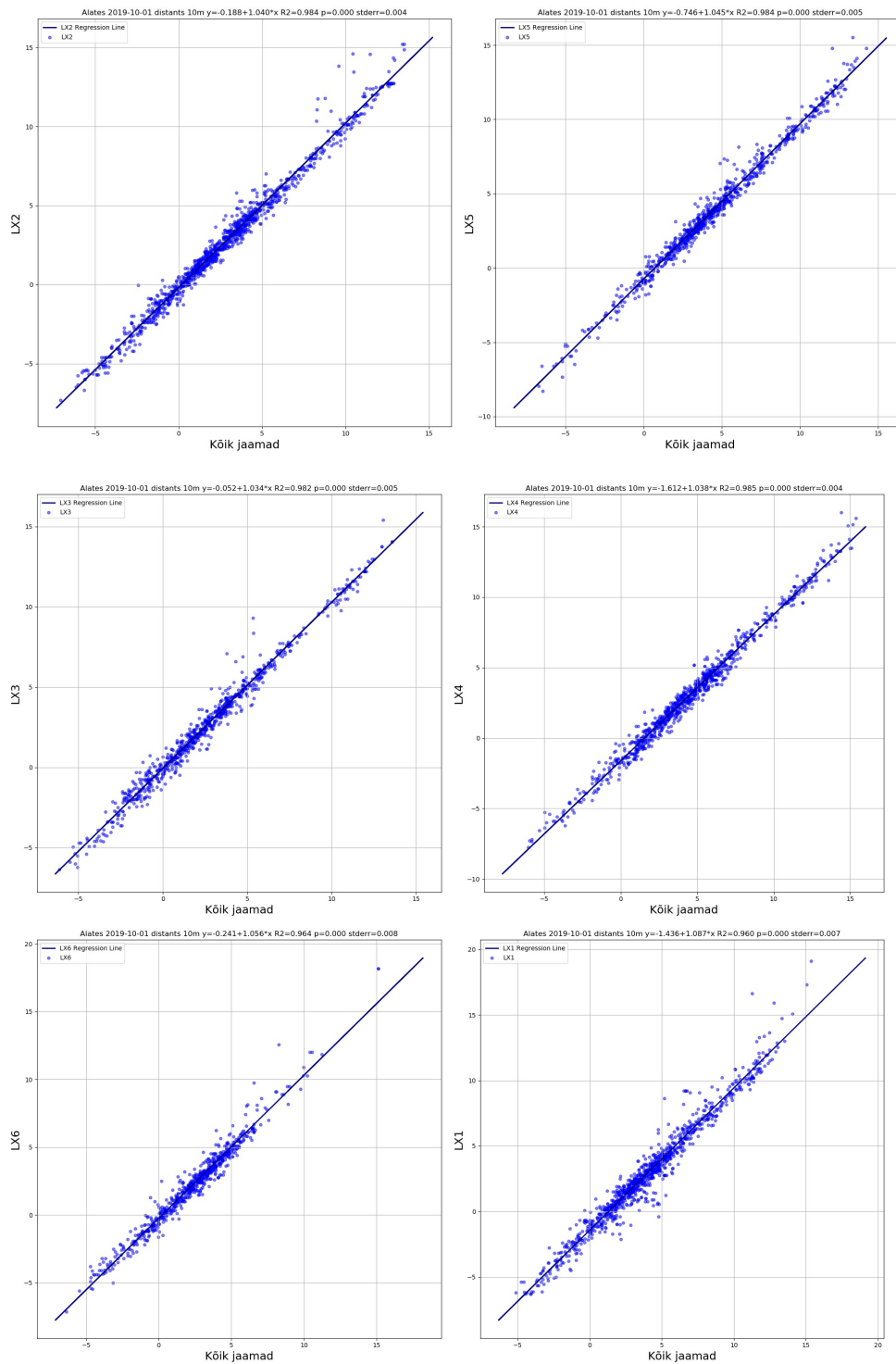
Andmeedastuse sagedus oli järgmine:

- TGS – 1 kord sekundis (600 kirjet 10 min jooksul)
- IR – 1 kord minutis (10 kirjet 10 min jooksul)
- Vaisala DRS511 teeandur – 1 kord 10 minuti jooksul (1 kirje 10 min jooksul)

Katsetuste käigus ilmnas, et temperatuuri muutus 1-sekundilise intervalliga mõõdetuna ei olnud täielikult lineaarne, kuid keskmistatuna Vaisala DRS511 teeanduri sagedusele langes dünaamika seadmete vahel kokku. Katsetuste tulemusena järeldati, et infrapuna termomeetrite kasutamine on põhjendatud, eeldusel, et seadmetele on leitud parandid.

Termomõõteseadmete parandustegurite leidmine

Vähendamaks termomõõteseadmete paigalduse erinevustest ja sõidukite omadustest tingitud andmete hajumist, kontrolliti nende mõõtetulemusi Maanteeameti teeilmajaamade näitude suhtes. Selleks leiti kirjed, kus kaugus lähimast teeilmajaamast ei olnud üle 10 meetri. Nende kirjete põhjal kontrolliti korrelatsiooni mõõdetud teepinna temperatuuride vahel. Teeilmajaamast vastavalt kauguselt möödunud anduriga varustatud sõidukeid oli kokku kuus. Vastavate termomõõteseadmete tulemuste korrelatsiooni teeilmajaamadega iseloomustavad järgmised graafikud:



Joonis 5. Termomõõteseadmete tulemuste korrelatsioon teilmajaamadega

Iga seadme kohta arvutati parandustegur nende kirjete järgi, kus teilmajaama ja seadme vahekaugus oli 20 meetrit või vähem.

Temperatuuriprofiilide koostamine

Uuritav riigitee nr 2 teelõik jagati omakorda 10 meetrilisteks lõikudeks. Igale lõigule määrati algus ja lõpp ning arvutati tee suund kraadides. Viimast on vaja selleks, et eristada möötmised sõidusuuna kaupa.

Iga lõigu kohta leiti neil asunud temperatuuri möötmised, mis seoti kõigi uuritava teelõigul olevate teeilmajaamade samal ajal toimunud möötmistega. Möötmise viidi vastavusse ajaliselt lähima teeilmajaama teepinna temperatuuri näiduga. Iga teeilmajaama näitude võrdlemiseks koostati lineaarne regressioonanalüüs, kus määrati muutujaliige a ja vabaliige b . Mudelisse võeti kõrgeima korrelatsioonikordajaga teeilmajaama vastavad väärtused. Mudel loodi eraldi pilves ja selge ilmaga andmete põhjal. Pilves ilma tuvastamiseks loodi arvutusalgorithm, mis vastab 95% ulatuses Vaisala teeilmajaamade indikatsioonidele.

Nende lõikude põhjal, mis asusid teeilmajaama vahetus läheduses, arvutati parandid viimaks termomööteseadme tulemusi üle teeilmajaama möötmistulemusteks.

Temperatuuriprofiili arvutamiseks võeti iga lõigu kõrgeima korrelatsiooniga regressiooni vabaliige (kui temperatuur on 0, siis muutujaliikme avaldis on alati 0), millest lahutati vastava jaama temperatuuri parand. Lõpliku mudeli jaoks filtreeriti müra 100-meetrise aknaga.

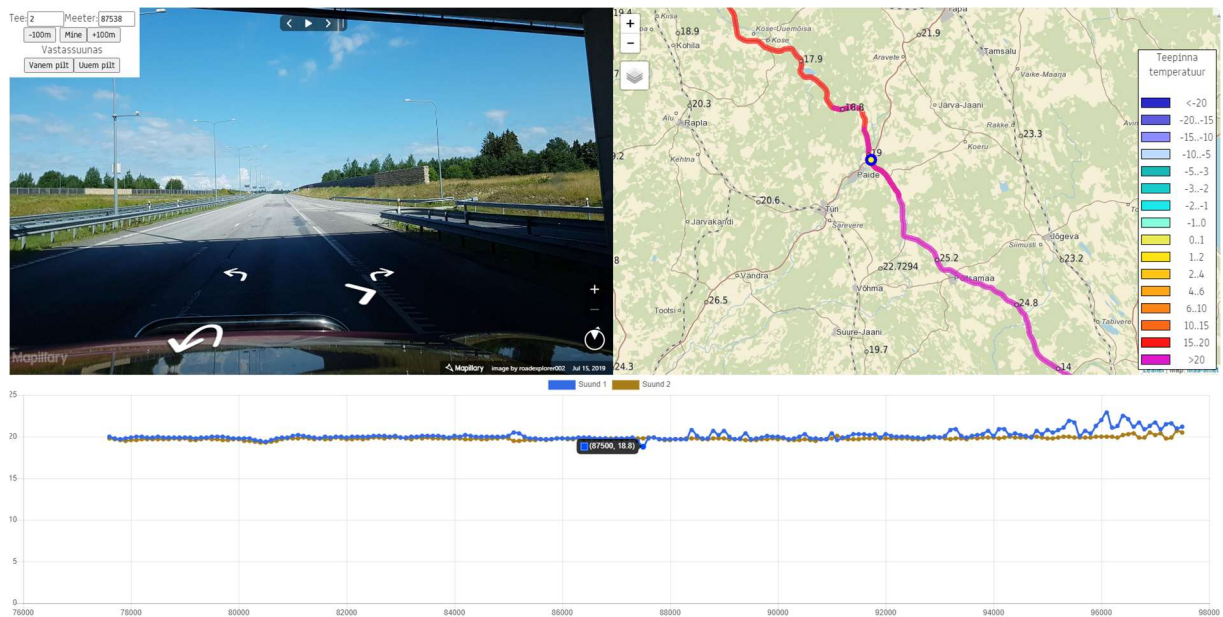
Mudeli visualiseerimine

Mudel on visualiseeritud veebiaadressil <https://deemon.teeilm.ee/termokaart.php>

Temperatuuriprofiilide uuendamine toimub iga 10 minuti tagant, mis vastab teeilmajaamade andmeedastamise intervallile.

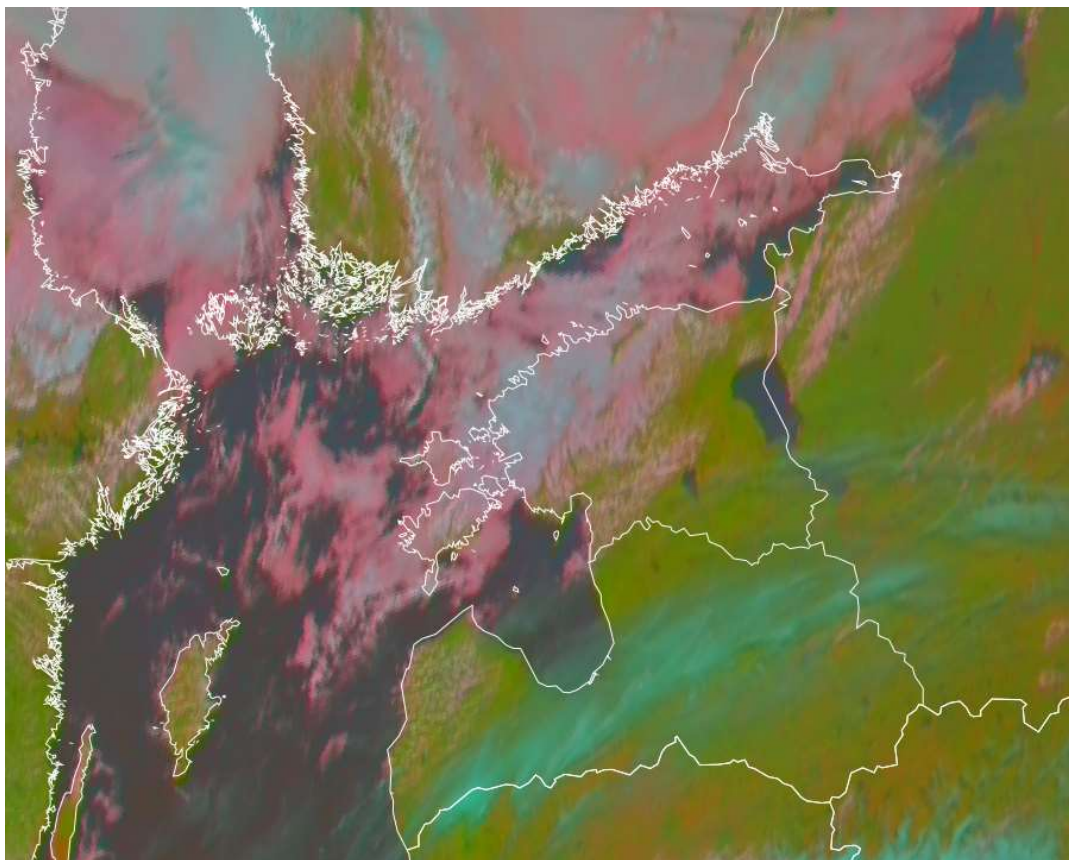
Veebirakenduses on kolm alamosa:

- Mapillary pilt, mis kirjeldab konkreetset asukohta. Pildi nurgas on ka tee asukoha valimise aken.
- Kaart, kus on kuvatud modelleeritud temperatuuriprofiilid ja teeilmajaamade möödetud tee temperatuuri andmed. Aluskaardina saab kasutada Maa-ameti kaarti, ortofotot ja OpenStreetMap kaarti.
- Graafik, kus on kujutatud modelleeritud tee temperatuurid. X-telg tähistab tee meetreid ja Y-telg temperatuure.



Joonis 6. Termoprofiilid kaardil ja graafikul 30.09.2020 kell 15:00

Joonisel 6 toodud kaardil on näha selge temperatuuride erinevus (joone värv) Põhja- ja Lõuna-Eestis, mis on seletatav erinevate pilveoludega. Seda kinnitab ka järgmisel joonisel toodud satelliidipilt samast ajast.

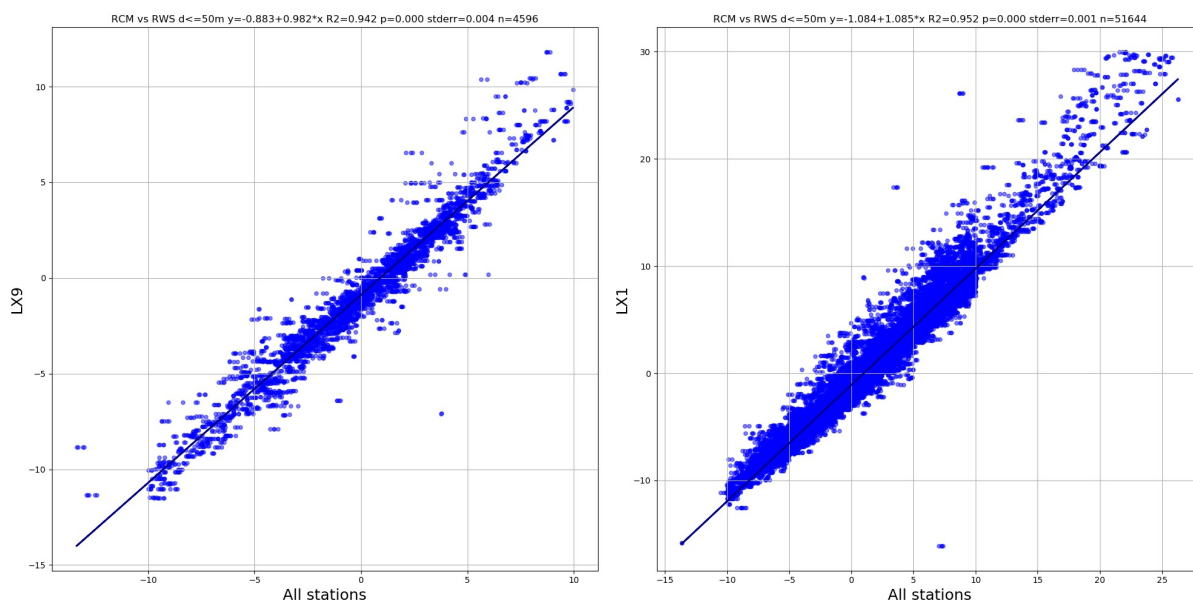


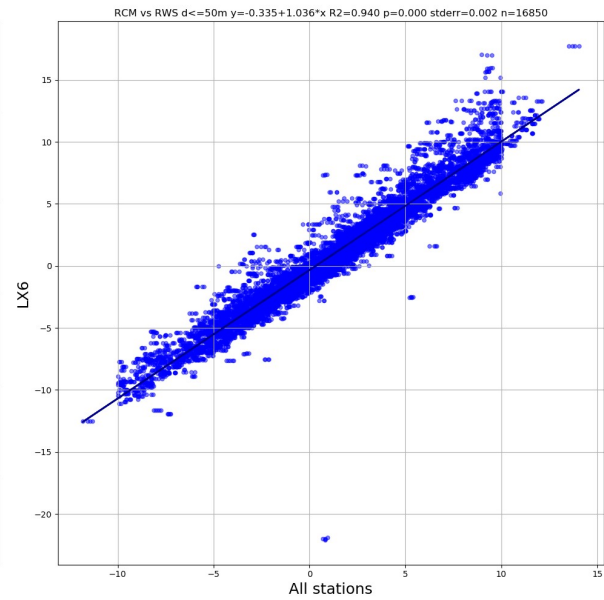
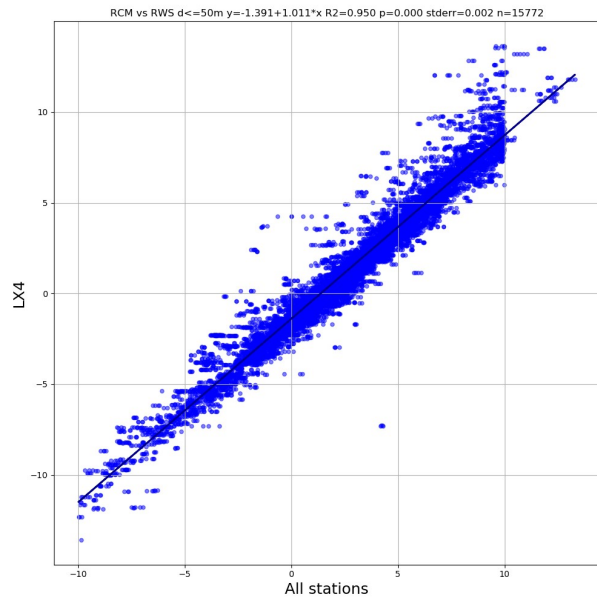
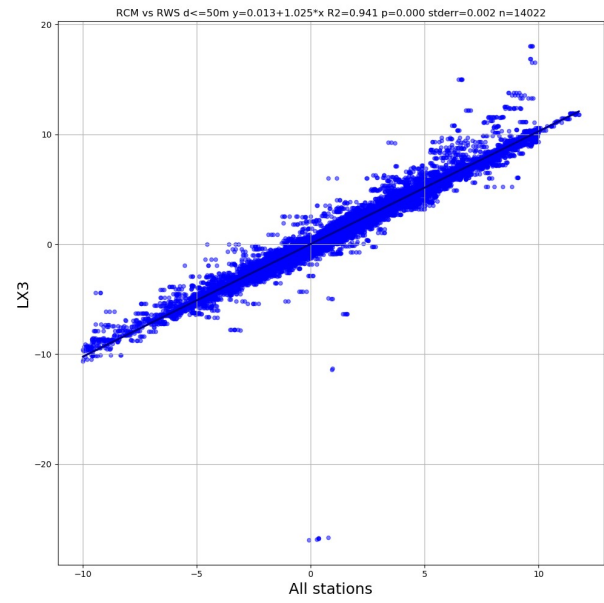
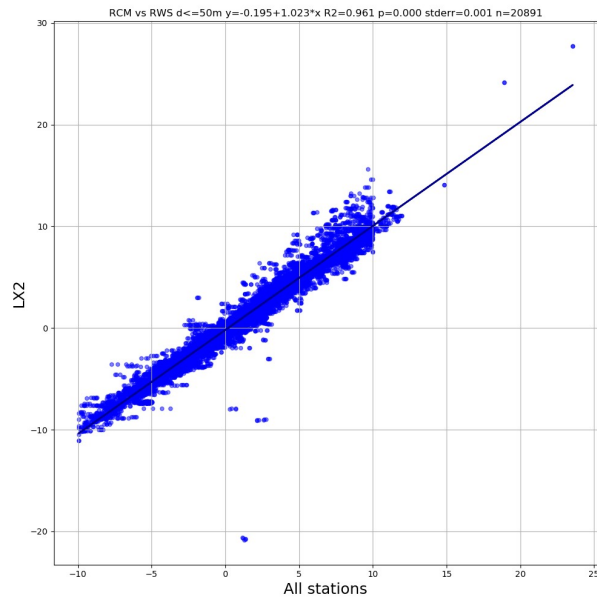
Joonis 7. Pilveolud Eesti kohal 30.09.2020 kell 15:00

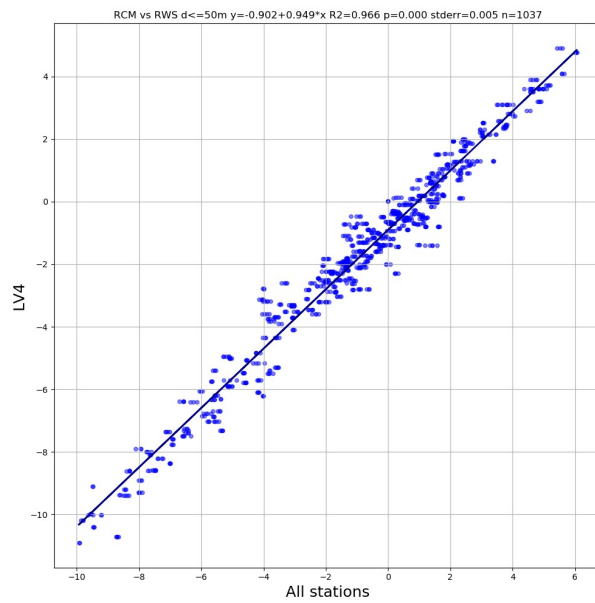
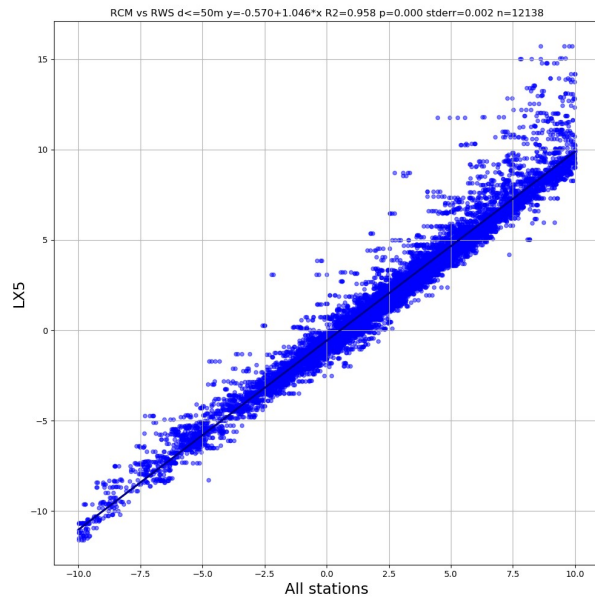
Mudeli täiendamine

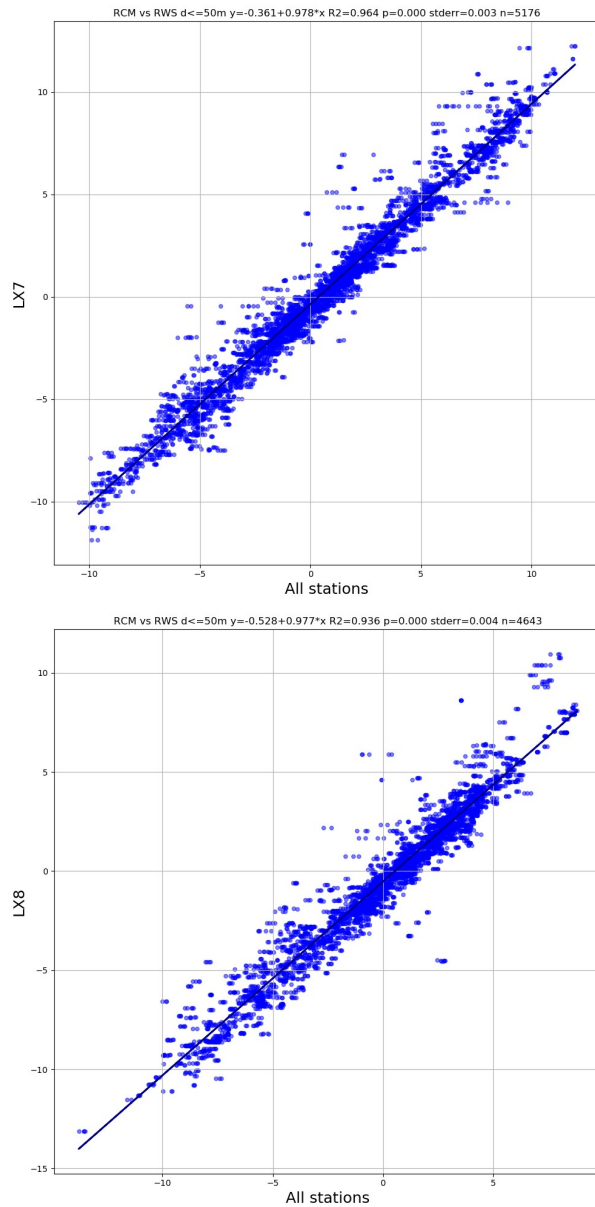
Esialgse mudeli koostamisel selgus, et lisaks pilves/selge jaotusele tuleb eristada ka ööpäevast tsüklit. Päeva pikkuse määramise aluseks võeti päikese tõusunurk konkreetses asukohas ja kellaajal. Tagamaks jaotuste piisavat kaetust andmetega ei eristatud mudelis hämariku astmeid. Kirjed, mille puhul tõusunurk oli positiivne, loeti päevasteks ja ülejäänud öisteks.

Töö teostamise ajal jätkusid mõõtmised. Samas toimus oluline muudatus teedevõrgus. Seoses Kose – Võõbu lõigu avamisega 12. augustil 2020 muutus nii uuritava põhimaantee trass kui aadress-süsteem. Seetõttu ühendati mudeli täiendused täieliku ümberarvutusega, mille raames korregeeriti ka mõõteseadmete tasandusparameetreid. Iga seadme jaoks arvutati uued parandid vastavalt nendele mõõtmistele, mis jäid teilmajaamast kuni 50 meetri kaugusele. Nende parandite alusel viidi kõik mõõtmised teilmajaamade mõõtkavasse. Välja jäeti sellised kirjed, mille väärtused ei vastanud ilmaoludele – näiteks temperatuuri väärtused asusid -50 °C juures. Lõplik valim koosnes 6 529 084 kirjest. Kirjete jaotumine seadmete vahel koos korrelatsioonidega on toodud joonistel.



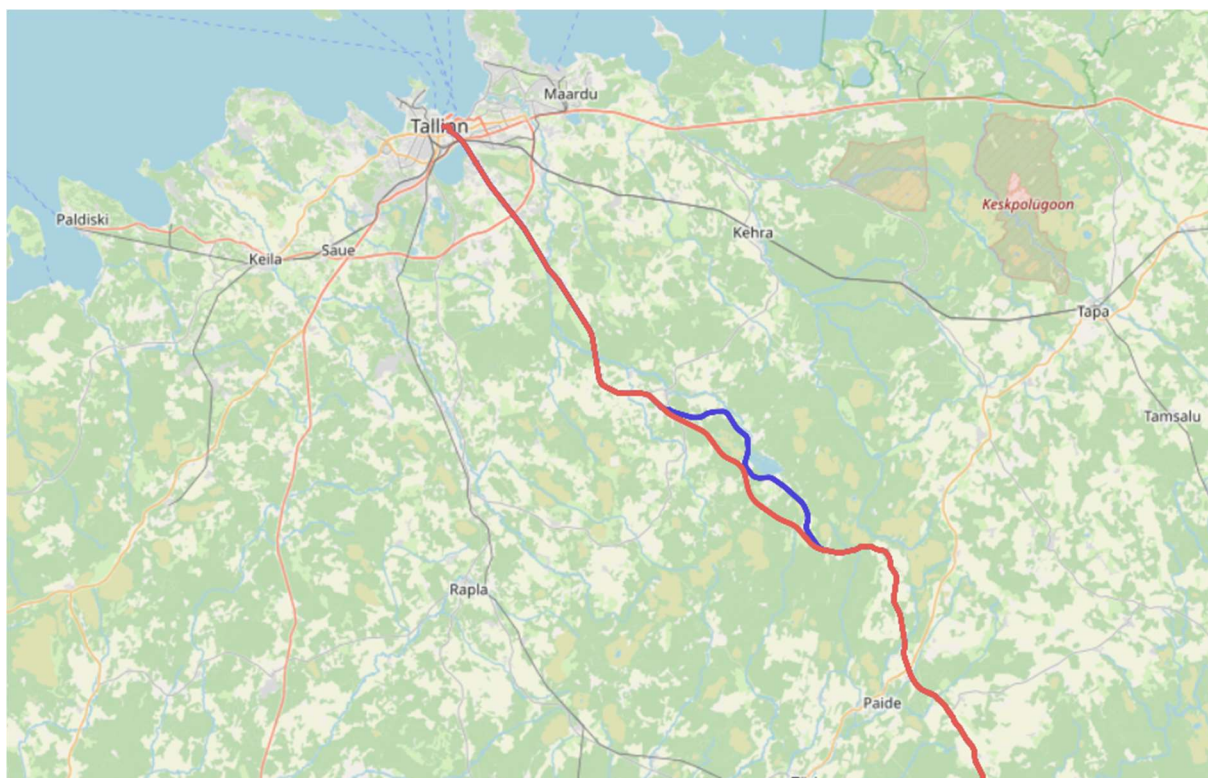






Joonis 8. Termomõõteseadmete tulemuste korrelatsioon teeilmajaamadega

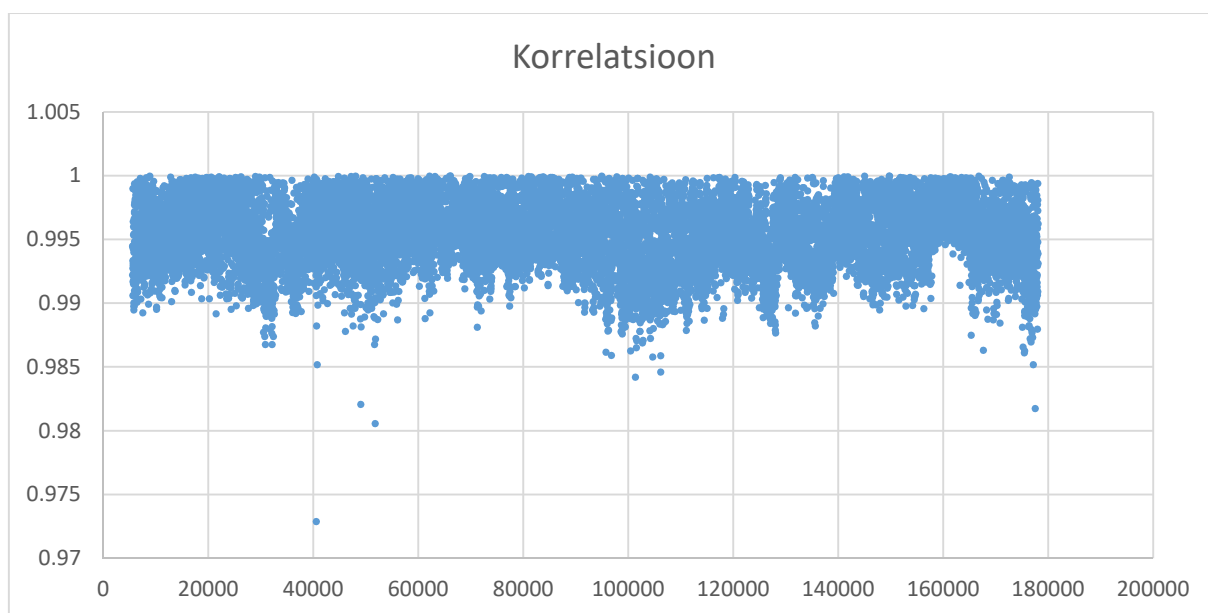
Töö käigus muutus kirjete koosseis võrreldes algse mudeliga, kuna varasemalt põhimaantee nr 2 Tallinn – Tartu – Võru – Luhamaa koosseisu kuulunud lõigud on nüüdseks osad tugimaanteest nr 14 Kose – Purila ja kõrvalmaanteest 11720 Kose – Ardu. Uue ja vana trassi kulgemine on toodud kaardil.



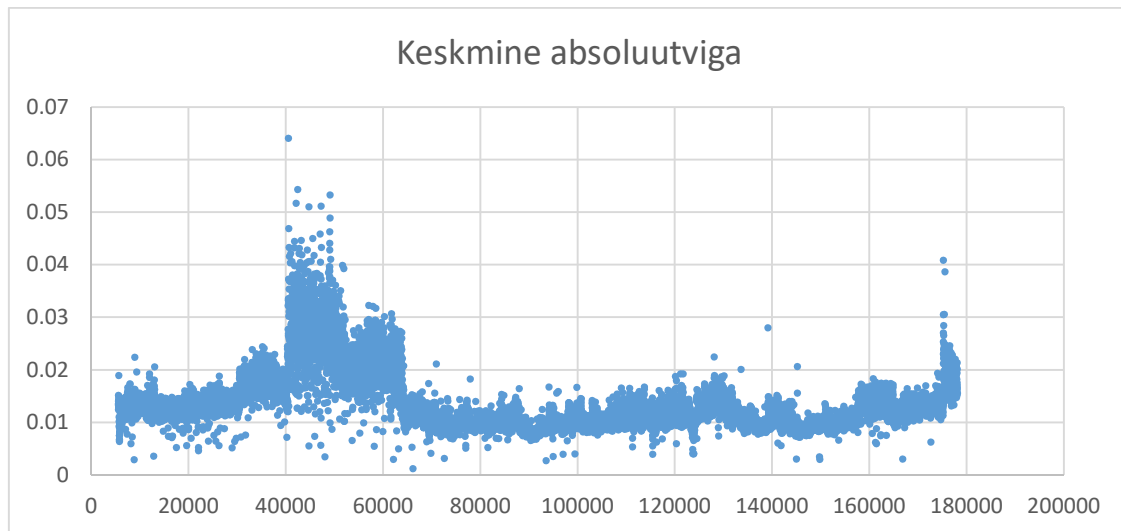
Joonis 9. Põhimaantee nr 2 trass enne (sinisega) ja pärast 2020. aastat

Mudeli täpsus

Mudeli täpsuse aluseks on alusandmete hulk ja kvaliteet. Koostamise käigus hinnati mudeli omadusi kahe parameetri alusel. Nendeks on korrelatsioonikordaja ja keskmine absoluutviga. Vastavate parameetrite väärtused tee lõikes on toodud joonistel.



Korrelatsioonikordaja on ühtlaselt kõrge kogu tee ulatuses. Tavapäraselt loetakse tugevaks korrelatsiooniks 0.9 või suuremat. Käesoleval juhul on korrelatsioon kõikjal vähemalt 0.98.



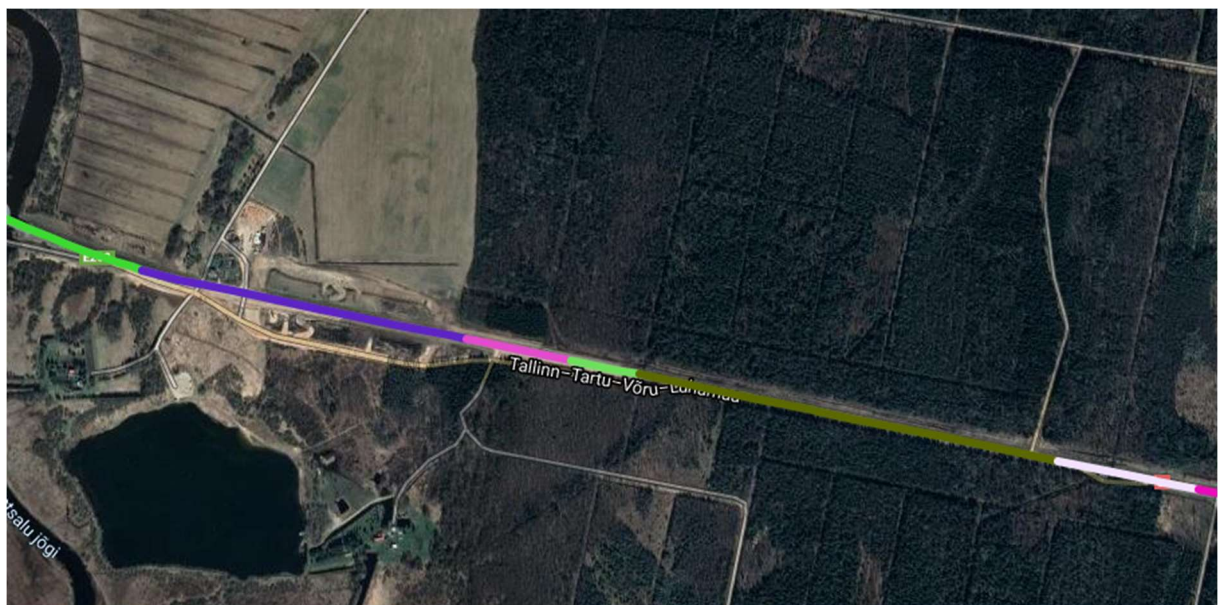
Keskmine absoluutviga on muutlikum. Kõige suurem on see kilomeetritel 40-60, mis on seletatav väiksema hulga alusandmetega. Nendel kilomeetritel oli võimalik kasutada ainult pärast uue teelõigu rajamist tehtud mõõtmisi. Mujal on keskmine absoluutviga ühtlasel tasemel. Kuna korrelatsioon on kõikjal kõrge, saab järeldada, et paigaldatud teeilmajaamadega on võimalik hästi kirjeldada kogu trassi, st antud teel on teeilmajaamade arv piisav ja paigutus optimaalne.

Ühtlase soojusomadustega teelõigud

Ühtlasteks lõikudeks loeti lõigud, mis vastasid järgmistele tunnustele:

- Lõigu ulatuses oli tee temperatuuri erinevus pool kraadi või vähem kõigi nelja alammudeli (päev/öö, pilves/selge) korral;
- Lõigu pikkus on minimaalselt 100 meetrit.

Kokku moodustus 307 lõiku keskmise pikkusega 535 meetrit. Lõigud langesid peamiselt kokku reljeefi ja teeäärse maakasutuse muutustega. Näide on toodud joonisel.



Joonis 10. Homogeensete lõikude vaheldumine metsa ja rohumaa vahel

tee	Lõigu alguse meeter	Lõigu lõpu meeter	Lõigu pikkus	Iseloomustav jaam
2	5500	7380	1880	Jüri
2	7380	9170	1790	Ussisoo
2	9170	9360	190	Jüri
2	9360	9610	250	Jüri
2	9610	11540	1930	Jüri
2	11540	12580	1040	Jüri
2	12580	12990	410	Paunküla
2	12990	13200	210	Jüri
2	13200	13910	710	Jüri
2	13910	14290	380	Jüri
2	14290	17840	3550	Paunküla
2	17840	20180	2340	Saverna
2	20180	23070	2890	Paunküla
2	23070	23900	830	Adavere
2	23900	25090	1190	Ussisoo
2	25090	25220	130	Paunküla
2	25220	27750	2530	Paunküla
2	27750	28060	310	Jüri
2	28060	28430	370	Jüri
2	28430	29570	1140	Mäo 1
2	29570	29750	180	Peetrimõisa
2	29750	29890	140	Jüri
2	29890	30240	350	Mäo 1
2	30240	30410	170	Jüri
2	30410	31090	680	Peetrimõisa
2	31090	31280	190	Jüri
2	31280	33450	2170	Paunküla
2	33450	33740	290	Ussisoo
2	33740	34280	540	Kärevere
2	34280	34460	180	Saverna
2	34460	34720	260	Ussisoo
2	34720	35000	280	Mäo 1
2	35000	35990	990	Mäo 1
2	35990	36720	730	Paunküla
2	36720	37700	980	Saverna
2	37700	38280	580	Tatra
2	38280	40980	2700	Saverna
2	40980	41540	560	Ussisoo
2	41540	41860	320	Paunküla
2	41860	42230	370	Adavere
2	42230	42450	220	Jüri
2	42450	42980	530	Adavere
2	42980	43260	280	Ussisoo

2	43260	43600	340	Mão 1
2	43600	43880	280	Tatra
2	43880	45080	1200	Mão 1
2	45080	45260	180	Paunküla
2	45260	45560	300	Mão 1
2	45560	46420	860	Ussisoo
2	46420	46870	450	Mão 1
2	46870	47180	310	Kärevere
2	47180	47680	500	Paunküla
2	47680	48080	400	Pikknurme
2	48080	49040	960	Ussisoo
2	49040	49830	790	Adavere
2	49830	50170	340	Mão 1
2	50170	50430	260	Ussisoo
2	50430	51060	630	Paunküla
2	51060	51470	410	Ussisoo
2	51470	51670	200	Ussisoo
2	51670	52810	1140	Paunküla
2	52810	53160	350	Ussisoo
2	53160	54250	1090	Ussisoo
2	54250	54390	140	Ussisoo
2	54390	54660	270	Ussisoo
2	54660	55080	420	Mão 1
2	55080	55410	330	Adavere
2	55410	55780	370	Adavere
2	55780	56190	410	Ussisoo
2	56190	57030	840	Paunküla
2	57030	57210	180	Ussisoo
2	57210	57650	440	Ussisoo
2	57650	57980	330	Ussisoo
2	57980	58150	170	Jüri
2	58150	58860	710	Ussisoo
2	58860	59210	350	Adavere
2	59210	59410	200	Ussisoo
2	59410	59730	320	Jüri
2	59730	60180	450	Jüri
2	60180	60580	400	Ussisoo
2	60580	61130	550	Ussisoo
2	61130	62450	1320	Tatra
2	62450	62620	170	Ussisoo
2	62620	62740	120	Ussisoo
2	62740	63250	510	Saverna
2	63250	63440	190	Ussisoo
2	63440	64170	730	Ussisoo
2	64170	65200	1030	Ussisoo

2	65200	65510	310	Ussisoo
2	65510	66040	530	Peetrimõisa
2	66040	66230	190	Peetrimõisa
2	66230	66410	180	Ussisoo
2	66410	66840	430	Ussisoo
2	66840	67400	560	Ussisoo
2	67400	67640	240	Ussisoo
2	67640	69210	1570	Kärevere
2	69210	69720	510	Saverna
2	69720	69950	230	Ussisoo
2	69950	70410	460	Ussisoo
2	70410	71070	660	Ussisoo
2	71070	71300	230	Ussisoo
2	71300	71540	240	Ussisoo
2	71540	71790	250	Ussisoo
2	71790	72140	350	Ussisoo
2	72140	72390	250	Ussisoo
2	72390	74250	1860	Paunküla
2	74250	74750	500	Ussisoo
2	74750	75740	990	Paunküla
2	75740	76260	520	Paunküla
2	76260	76600	340	Ussisoo
2	76600	78080	1480	Ussisoo
2	78080	78460	380	Mão 1
2	78460	79000	540	Mão 1
2	79000	79570	570	Mão 1
2	79570	79900	330	Ussisoo
2	79900	80560	660	Ussisoo
2	80560	80680	120	Mão 1
2	80680	81420	740	Adavere
2	81420	81620	200	Mão 1
2	81620	82270	650	Mão 1
2	82270	82740	470	Mão 1
2	82740	83470	730	Mão 1
2	83470	84920	1450	Ussisoo
2	84920	86650	1730	Peetrimõisa
2	86650	87430	780	Ussisoo
2	87430	87630	200	Mão 1
2	87630	89380	1750	Mão 1
2	89380	90300	920	Mão 1
2	90300	91390	1090	Mão 1
2	91390	91740	350	Mão 1
2	91740	91870	130	Mão 1
2	91870	95270	3400	Peetrimõisa
2	95270	95570	300	Mão 1

2	95570	95720	150	Mão 1
2	95720	95920	200	Mão 1
2	95920	96120	200	Mão 1
2	96120	96410	290	Mão 1
2	96410	98390	1980	Adavere
2	98390	98790	400	Mão 1
2	98790	99010	220	Adavere
2	99010	99550	540	Adavere
2	99550	99780	230	Mão 1
2	99780	100050	270	Mão 1
2	100050	100180	130	Mão 1
2	100180	100700	520	Mão 1
2	100700	100930	230	Mão 1
2	100930	101290	360	Mão 1
2	101290	101680	390	Mão 1
2	101680	101830	150	Pikknurme
2	101830	102110	280	Mão 1
2	102110	102400	290	Mão 1
2	102400	102790	390	Mão 1
2	102790	103000	210	Mão 1
2	103000	103220	220	Mão 1
2	103220	103450	230	Mão 1
2	103450	103610	160	Mão 1
2	103610	103840	230	Mão 1
2	103840	104020	180	Mão 1
2	104020	104140	120	Pikknurme
2	104140	105120	980	Mão 1
2	105120	105450	330	Mão 1
2	105450	105630	180	Mão 1
2	105630	106070	440	Mão 1
2	106070	106660	590	Mão 1
2	106660	107520	860	Adavere
2	107520	108210	690	Adavere
2	108210	108820	610	Adavere
2	108820	109000	180	Adavere
2	109000	109170	170	Adavere
2	109170	109500	330	Pikknurme
2	109500	109720	220	Adavere
2	109720	110220	500	Adavere
2	110220	110590	370	Adavere
2	110590	110720	130	Adavere
2	110720	110860	140	Adavere
2	110860	111260	400	Adavere
2	111260	111410	150	Adavere
2	111410	111540	130	Adavere

2	111540	112360	820	Adavere
2	112360	112510	150	Adavere
2	112510	112690	180	Adavere
2	112690	113310	620	Adavere
2	113310	113560	250	Adavere
2	113560	113680	120	Adavere
2	113680	114110	430	Adavere
2	114110	114220	110	Adavere
2	114220	114380	160	Adavere
2	114380	114520	140	Adavere
2	114520	114940	420	Adavere
2	114940	116710	1770	Mäo 1
2	116710	116980	270	Adavere
2	116980	117110	130	Adavere
2	117110	117500	390	Adavere
2	117500	118650	1150	Adavere
2	118650	119110	460	Adavere
2	119110	119990	880	Adavere
2	119990	120390	400	Kärevere
2	120390	120820	430	Adavere
2	120820	121280	460	Adavere
2	121280	121490	210	Adavere
2	121490	122010	520	Adavere
2	122010	122570	560	Pikknurme
2	122570	122790	220	Adavere
2	122790	123080	290	Pikknurme
2	123080	123260	180	Adavere
2	123260	123530	270	Pikknurme
2	123530	123660	130	Adavere
2	123660	123830	170	Pikknurme
2	123830	124140	310	Pikknurme
2	124140	124300	160	Pikknurme
2	124300	124480	180	Pikknurme
2	124480	124840	360	Pikknurme
2	124840	124990	150	Adavere
2	124990	126120	1130	Pikknurme
2	126120	127340	1220	Adavere
2	127340	127770	430	Pikknurme
2	127770	128080	310	Pikknurme
2	128080	129480	1400	Ussisoo
2	129480	130520	1040	Pikknurme
2	130520	130680	160	Pikknurme
2	130680	131100	420	Ussisoo
2	131100	131330	230	Pikknurme
2	131330	131650	320	Pikknurme

2	131650	132320	670	Mäo 1
2	132320	132710	390	Pikknurme
2	132710	132880	170	Pikknurme
2	132880	133090	210	Pikknurme
2	133090	133440	350	Pikknurme
2	133440	135220	1780	Pikknurme
2	135220	135750	530	Pikknurme
2	135750	136210	460	Pikknurme
2	136210	139170	2960	Pikknurme
2	139170	139500	330	Pikknurme
2	139500	139980	480	Ussisoo
2	139980	140510	530	Pikknurme
2	140510	141270	760	Saverna
2	141270	142900	1630	Adavere
2	142900	145270	2370	Saverna
2	145270	147560	2290	Pikknurme
2	147560	147870	310	Pikknurme
2	147870	148200	330	Pikknurme
2	148200	148820	620	Pikknurme
2	148820	149200	380	Pikknurme
2	149200	149740	540	Peetrimõisa
2	149740	150010	270	Pikknurme
2	150010	150200	190	Pikknurme
2	150200	151430	1230	Pikknurme
2	151430	151580	150	Pikknurme
2	151580	151850	270	Pikknurme
2	151850	152310	460	Peetrimõisa
2	152310	152440	130	Saverna
2	152440	152980	540	Adavere
2	152980	153430	450	Pikknurme
2	153430	153590	160	Pikknurme
2	153590	154050	460	Peetrimõisa
2	154050	154450	400	Pikknurme
2	154450	154790	340	Pikknurme
2	154790	155340	550	Pikknurme
2	155340	155610	270	Pikknurme
2	155610	155940	330	Pikknurme
2	155940	156460	520	Pikknurme
2	156460	156720	260	Pikknurme
2	156720	156960	240	Pikknurme
2	156960	157240	280	Pikknurme
2	157240	157620	380	Tatra
2	157620	157970	350	Pikknurme
2	157970	158190	220	Kärevere
2	158190	158520	330	Ussisoo

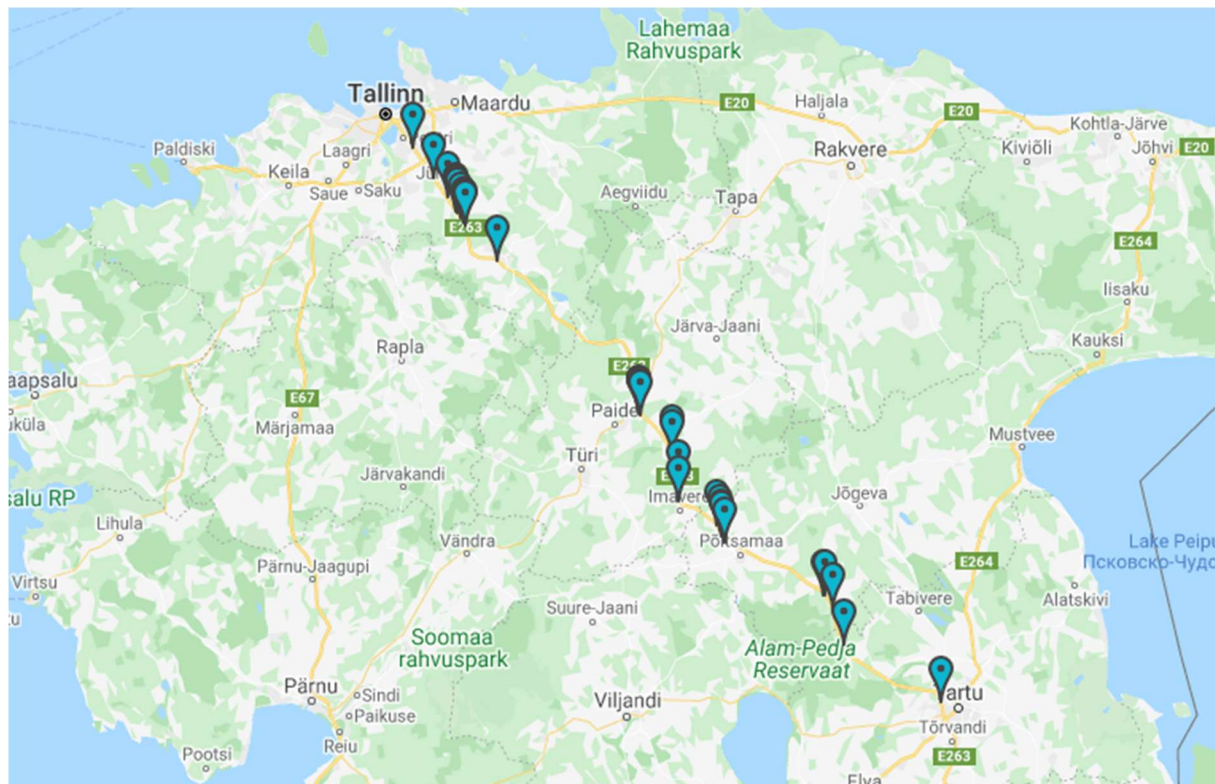
2	158520	158950	430	Pikknurme
2	158950	159330	380	Kärevere
2	159330	159470	140	Tatra
2	159470	160170	700	Tatra
2	160170	160290	120	Tatra
2	160290	160780	490	Tatra
2	160780	162390	1610	Saverna
2	162390	163510	1120	Vastseliina
2	163510	163690	180	Saverna
2	163690	164350	660	Peetrimõisa
2	164350	165250	900	Pikknurme
2	165250	165480	230	Pikknurme
2	165480	166370	890	Pikknurme
2	166370	167010	640	Mäo 1
2	167010	167630	620	Kärevere
2	167630	167830	200	Pikknurme
2	167830	167960	130	Pikknurme
2	167960	168760	800	Pikknurme
2	168760	169030	270	Pikknurme
2	169030	170180	1150	Pikknurme
2	170180	170410	230	Pikknurme
2	170410	170860	450	Pikknurme
2	170860	171050	190	Pikknurme
2	171050	171680	630	Saverna
2	171680	173270	1590	Peetrimõisa
2	173270	174010	740	Saverna
2	174010	174370	360	Saverna
2	174370	174780	410	Saverna
2	174780	175310	530	Saverna
2	175310	175960	650	Kärevere
2	175960	176230	270	Saverna
2	176230	176610	380	Saverna
2	176610	176960	350	Kärevere
2	176960	177170	210	Pikknurme
2	177170	177560	390	Pikknurme
2	177560	177910	350	Saverna
2	177910	178360	450	Saverna
2	178360	178630	270	Saverna
2	178630	179000	370	Saverna

Tabel 1. Homogeensed lõigud ja neid kõige paremini iseloomustavad teeilmajaamad

Ekstreemsed kohad

Erilist tähelepanu nõudvate kohtadena tuvastati sellised, mille temperatuur erines vähemalt ühe alammudeli järgi ümbritsevast lõigust keskmiselt 1 kraadi võrra või enam. Kõrgema temperatuuriga lõikudel on oodata libeduse teket esimesena temperatuuri tõusul üle 0 ning madalama temperatuuriga kohtades temperatuuri langusel alla 0 kraadi.

Kokku tuvastati 33 sellist punkti, mille paiknemine on toodud järgneval kaardil.



Joonis 11. Põhimaantee nr 2 ekstreemsed kohad kaardil

Tabel 2. Põhimaantee nr 2 ekstreemsed kohad tabelis

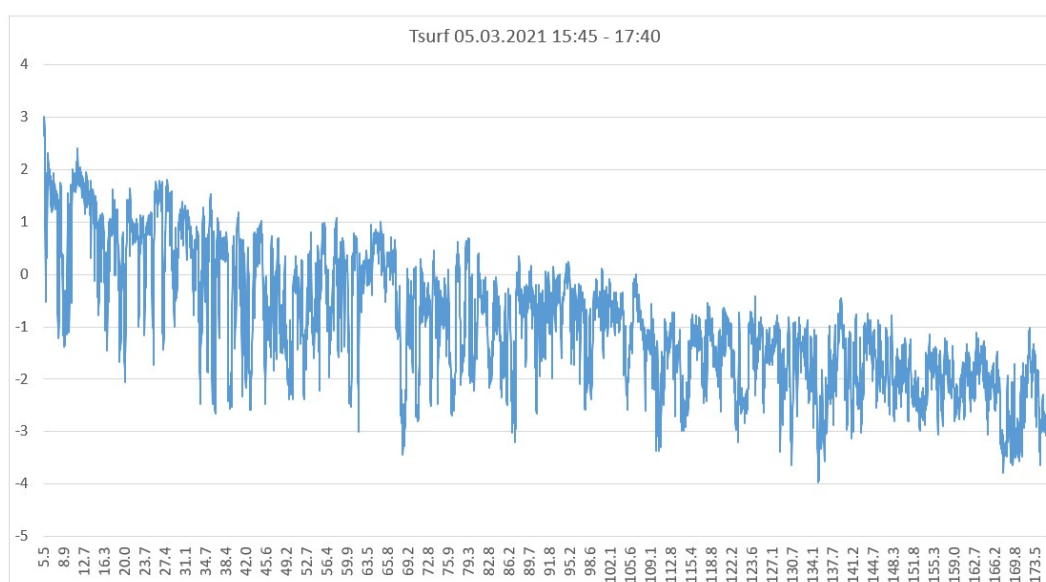
Tee	Meeter	Kõrgem/madalam
2	9000	kõrgem
2	16100	madalam
2	20800	madalam
2	23600	kõrgem
2	23900	madalam
2	24100	madalam
2	24600	kõrgem
2	25500	madalam
2	26700	kõrgem
2	26900	madalam
2	27200	madalam
2	27300	kõrgem

2	38600	kõrgem
2	84900	madalam
2	85100	madalam
2	85200	madalam
2	85400	kõrgem
2	85500	madalam
2	85800	madalam
2	95400	kõrgem
2	96600	madalam
2	102700	kõrgem
2	106000	kõrgem
2	115400	kõrgem
2	116500	kõrgem
2	117600	kõrgem
2	117800	kõrgem
2	119400	madalam
2	142500	kõrgem
2	142800	kõrgem
2	145900	kõrgem
2	153500	kõrgem
2	177800	madalam

Ettepanekud valikulisteks libedusevastasteks strateegiateks

Vaatamata statistilise andmeanalüüsiga tuvastatud ekstreemsetele lõikudele, kus teepinna temperatuur erineb kõrvalolevatest lõikudest keskmiselt rohkem kui ühe kraadi võrra, ei ole selline tee temperatuuri info piisav selleks, et rakendada igas olukorras tavapärasest erinevat libedusetõrjet selliste lõikude suhtes. Kuna põhimaantee nr 2 paikneb enamasti avatud ja suhteliselt tasasel maal, siis asukoha eripärad mängivad temperatuuri muutusele ja libeduse tekkimisel oluliselt väiksemat rolli kui ilmastiku muutusega kaasnevad mõjud. Lisaks tuleb silmas pidada seda, et andmeanalüüsiks valitud ilmastikuoludega – ühtlaselt selge ilm ja ühtlaselt pilves ilm ei kaasne reeglina lokaalselt iseloomulikku libeduse teket ja saadud tulemusi ei saa seetõttu kasutada üldistatult igasuguse ilmastiku korral. Teatavasti mängib tee temperatuuri muutuses kõige suuremat rolli pilvisus ning libeduse tekke üheks suuremaks mõjutajaks on sademed, mis on tasasel maal iga kord erineva iseloomu ja paiknemisega ning mille jälgimiseks on vaja rakendada lisaks traditsioonilistele teeilmajaamadele ka teisi abivahendeid.

Tee temperatuuri termoprofiil selge või poolpilves ilmaga võib kõikuda mitme kraadi võrra, sõltuvalt asukohast, päikese mõjust, pilvisusest, kuid ka liikluse mõjust ja sademete asukohast. Vaata näiteid talvistest selge ja pilves ilmaga mõõdetud termoprofiilidest Lisas 1.



Joonis 12. Luxexpressi bussi tee temperatuuri termoprofiil Tallinna-Tartu maanteelt selge ilmaga

Seetõttu on valikulisel libeduse ennetamisel vajalik täpsemalt jälgida teeilmastiku ja atmosfääri reaalaja andmeid ja ilmaprognoose, hankida täiendavat informatsiooni teeilmajaamade vahelt kas mobiilsete mõõtmiste või täiendavate IoT seadmetega või luues täiendavaid virtuaalsete mõõtmis- ja prognoospunktide võrgustikke. Samuti on vajalik koguda ja teada varasemate hooldetoimingute infot, et oleks ligilähedaselt teada jääksoola mõju ning valida sellest lähtuvalt konkreetsele olukorrale ja asukohale õiged hooldevõtted. Mida detailsemad ja täpsemad on andmed, seda täpsemaid otsuseid on võimalik langetada. Antud töö jätkuna alustas Teede Tehnokeskus omal initsiatiivil tähtsamate riigimaanteedele väiksemateks, ca 500 m pikkusteks lõikudeks jaotamist, igale sellisele lõigule virtuaalse teeilmajaama määramist ja igale sellisele jaamale nii mõõtmisandmete tuletamist kui ka teeolude prognoosi koostamist. Eelduslikult võiks selline pidev arvutus anda igale konkreetsele teelõigule täpsemaid teeolude hindamistulemusi ja paremaid sisendeid prognoosmudelisse, kui igas unikaalses olukorras ühesuguste pikaajaliste statistiliste keskmiste kasutamine.

Kokkuvõte

Maanteeameti hooldevaldkonna tegevusprogrammis aastateks 2019-2021 on püstitatud eesmärgiks selgitada välja riigiteede korrashoiu ülesehituse võimalused tulevikus, hangete korraldamise ja hoolde eest tasustamise põhimõtted, seisundinõuete rakendamise põhimõtete täpsustamine, järelevalve tegemise võimalikud viisid, teehoolde IT rakenduste võimalikud arendused, liiklejatele sõiduoludest teavitamine jne. Käesoleva töö eesmärgiks oli põhimaantee nr 2 kilomeetrite 6 – 178 termokaardi koostamine koos kaardistatava tee kliimaatiliselt homogeenseteks lõikudeks jagamisega ja potentsiaalsete ohtlike kohtade tuvastamisega.

Töö käigus kasutati bussidele paigaldatud temperatuurianduritega kogutud statistilist andmestikku, mis andis tee lõikes detailse temperatuuride jaotumise. Saadud andmestiku dünaamikat võrreldi teeilmajaamades samal ajal toimunuga ning selle põhjal kirjeldati kompleksne mudel, mis võimaldab vastavalt ilmaolude tüübile (päev/öö, pilves/selge) arvutada iga teelõigu temperatuuri teeilmajaama andmete põhjal. Mudeli loomisel leiti igale punktile vastav ilmajaam, mis seda kõige paremini kirjeldab. Ühtlaste temperatuuridega lõigud koondati, selgelt eristuvad punktid märgiti kui ekstreemsed.

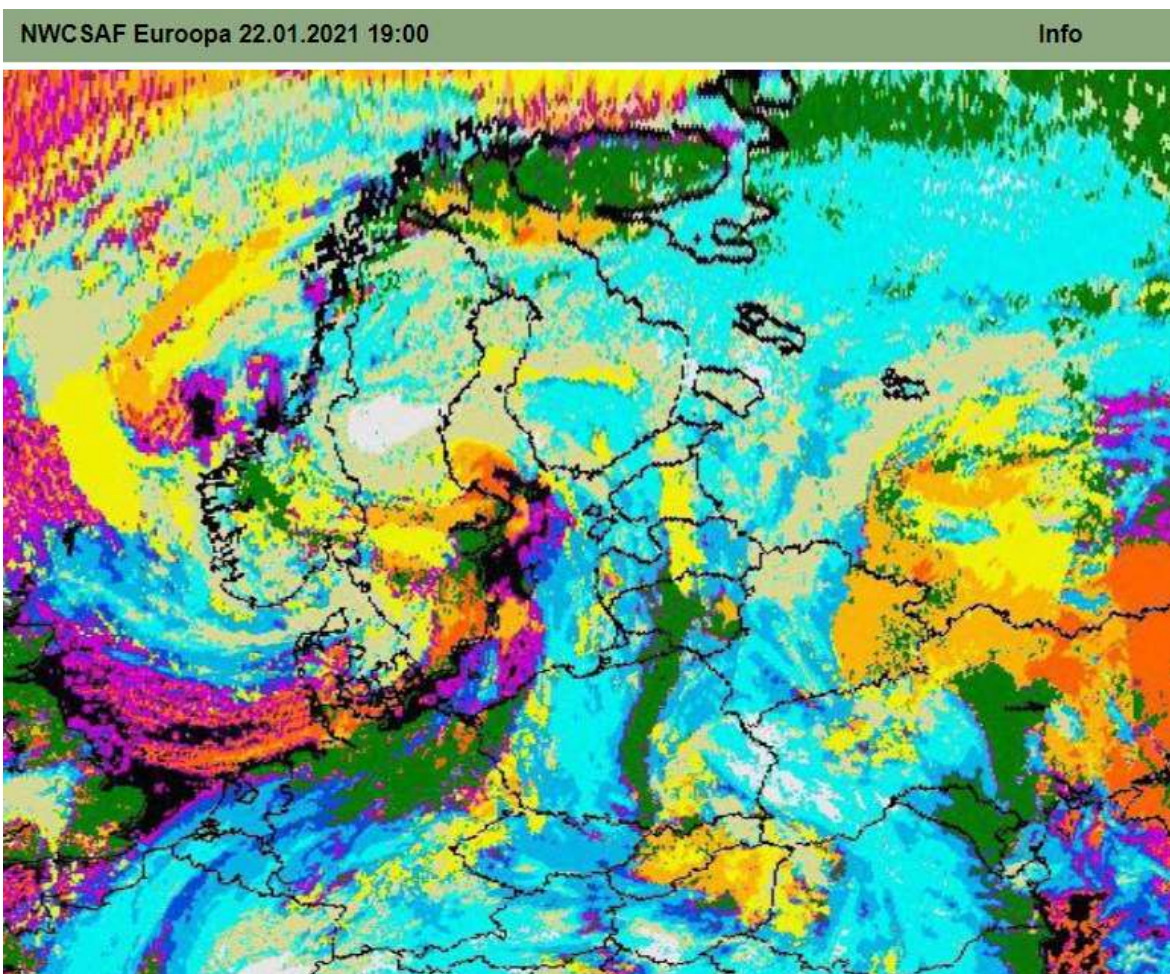
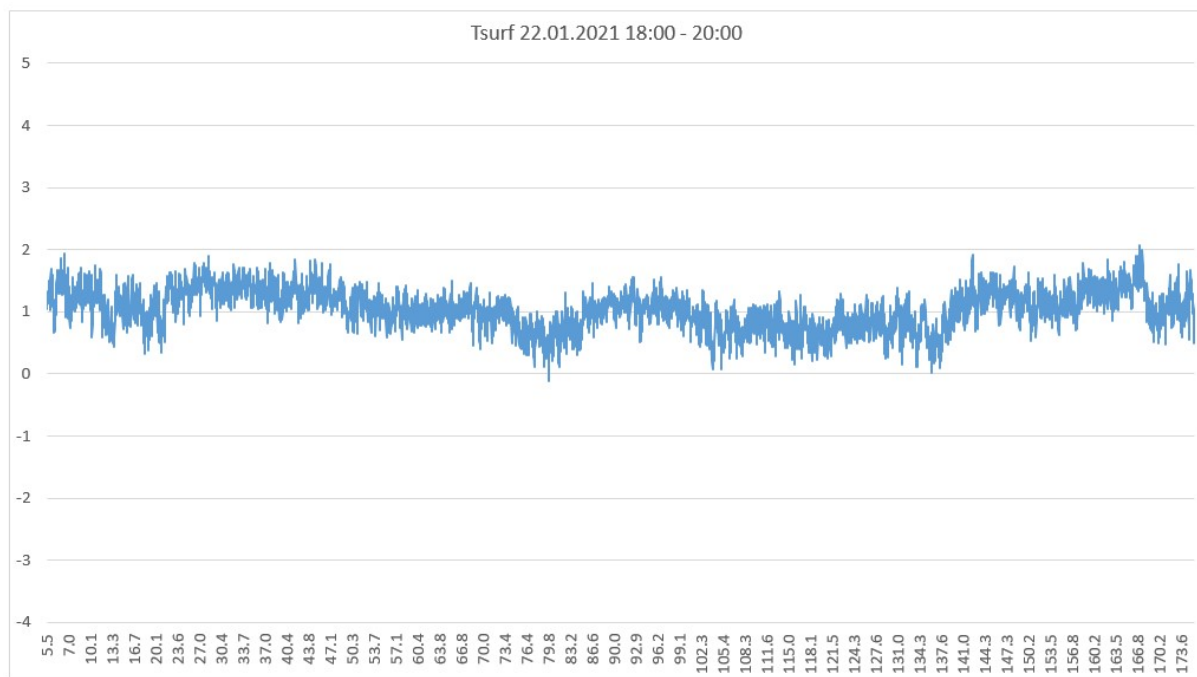
Saadud mudel integreeriti teeilmajaamade andmestikuga, mis võimaldab andmete laekumisel saada lähireaalajalise pildi teel toimuvast. Kaasates ka ennustuse andmeid, on võimalik näha ka tuleviku teeolusid. See andmestik kuvati vastaval veebilehel. Sama temperatuuriandmestikku on läbi WMS teenuse võimalik kuvada ka muudes kaardipõhistes rakendustes, testimisel näidati seda näiteks TIK veebikeskkonnas tik.teeilm.ee.

Allikad

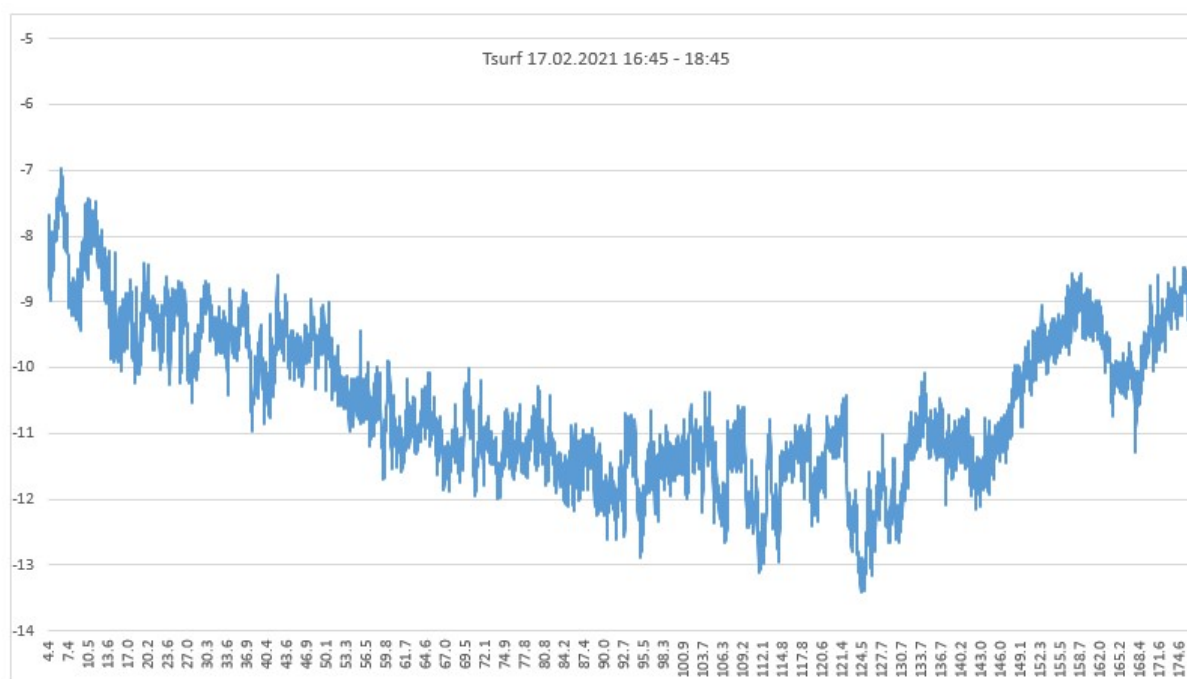
- [1] Ibrahim Reda, Afshin Andreas, Solar position algorithm for solar radiation applications, Solar Energy, Volume 76, Issue 5, 2004, Pages 577-589, ISSN 0038-092X, <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2003.12.003>. Keywords: Global solar irradiance; Solar zenith angle; Solar azimuth angle; VSOP87 theory; Universal time; $\Delta UT1$
- [2] <http://www.ilmateenistus.ee/ilm/ilmavaatlused/vaatlusandmed/pilved/>
- [3] <http://teeilm.teeinfo.ee/uus/>
- [4] Ilaria Todeschini, Claudia Di Napoli, Ilaria Pretto, Giacomo Merler, Roberto Cavaliere, Roberto Apolloni, Gianluca Antonacci, Andrea Piazza, and Guido Benedetti "Thermal mapping as a valuable tool for road weather forecast and winter road maintenance: an example from the Italian Alps", Proc. SPIE 9688, Fourth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2016), 96880H (12 August 2016); <https://doi.org/10.1117/12.2240484>
- [5] Shao, J., 2000: Fuzzy Categorization of Weather Conditions for Thermal Mapping. J. Appl. Meteor., 39, 1784–1790, <https://doi.org/10.1175/1520-0450-39.10.1784>
- [6] Meteorol. Appl. 8, 421–436 (2001) Modelling of road surface temperature from a geographical parameter database. Part 2: Numerical Lee Chapman, John E Thornes and Andrew V Bradley, Climate & Atmospheric Research Group, School of Geography and Environmental Sciences, University of Birmingham, Birmingham B15 2TT, UK
- [7] Shao, J., Lister, P. J., Hart, G. D., & Pearson, H. B. (2007). Thermal mapping: Reliability and repeatability. Meteorological Applications, 3(4), 325–330. doi:10.1002/met.5060030405
- [8] Mobiilne teeseisundi seire. Teadus- ja arendustöö.
- [9] Šidlauskaitė, L., Bogren, J. (2018) Thermal mapping in flat lowlands and undulating uplands – a comparison of results.
- [10] <http://www.ilmateenistus.ee/ilmatarkus/kasulik-teada/pilved/>

Iseloomulikud termoprofiilid pilves ja selge ilmaga

1. Tallinn-Tartu, pilves ilm, 22.01.2021

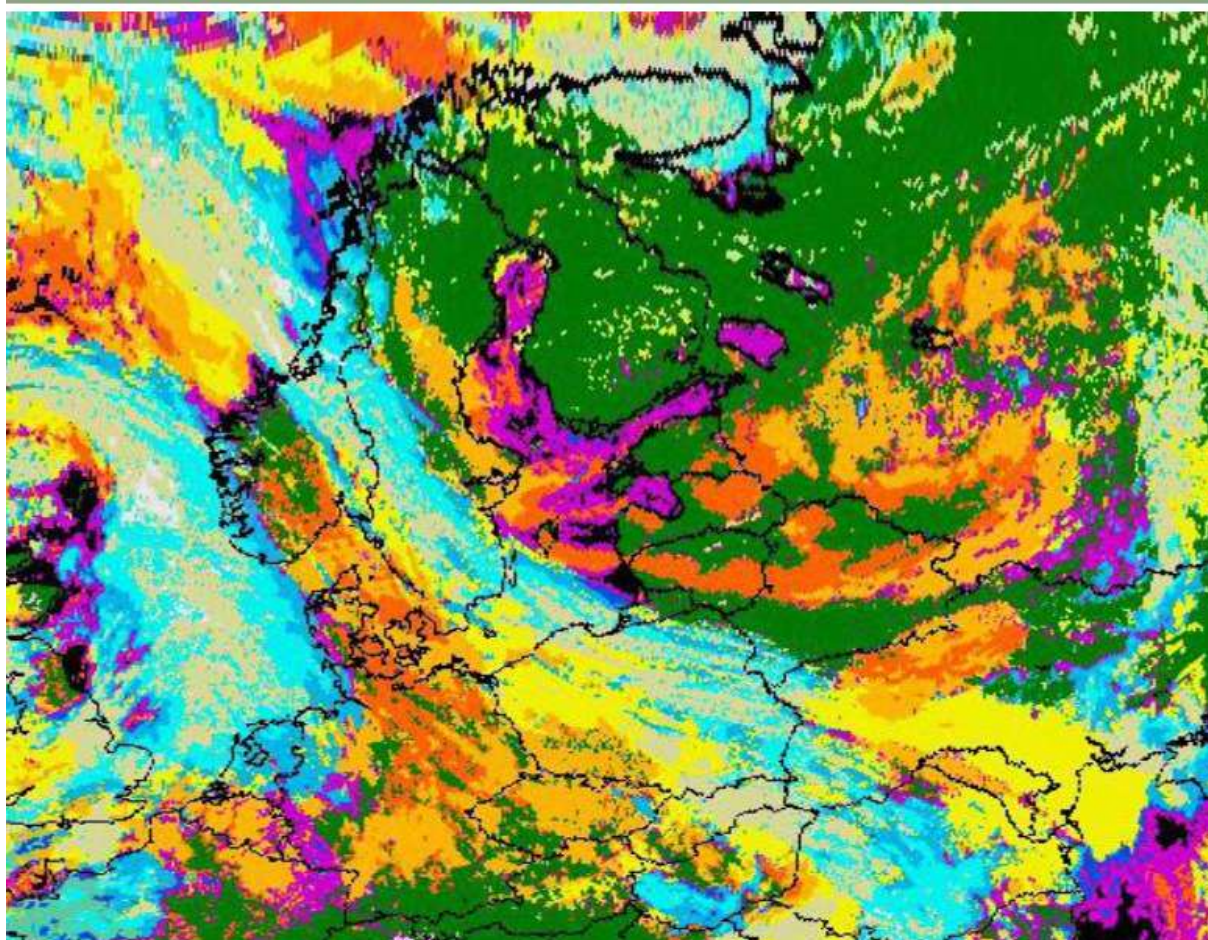


2. Tallinn-Tartu, selge ilm, 17.02.2021

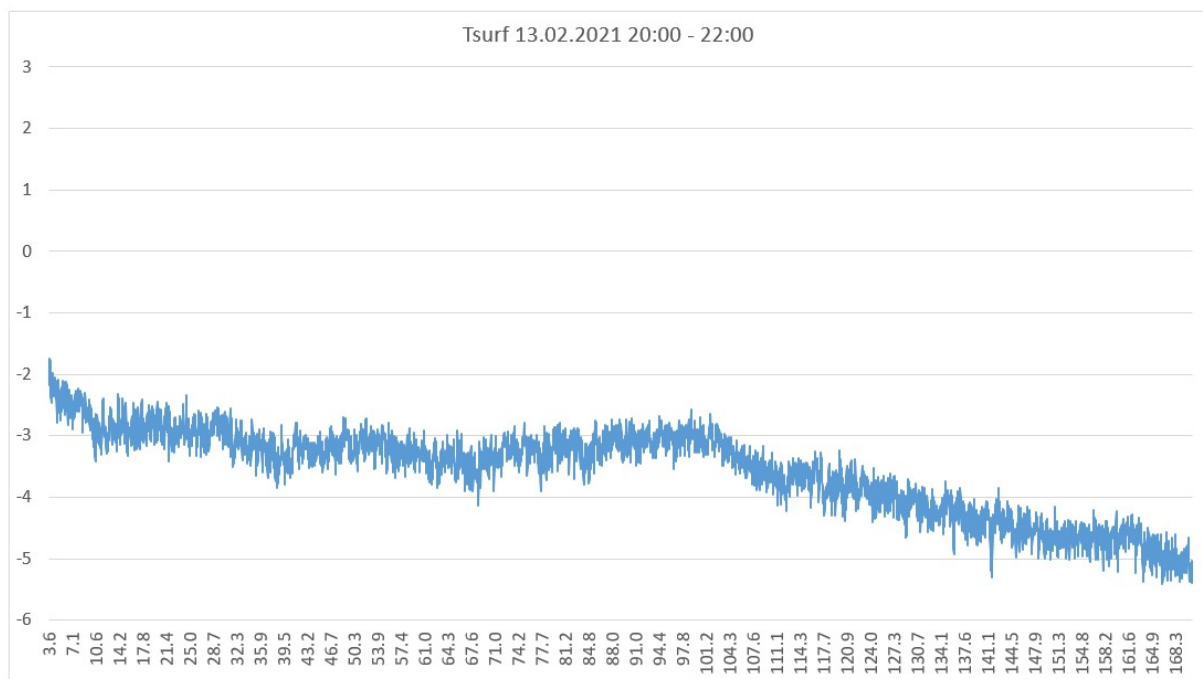


NWCSAF Euroopa 17.02.2021 18:00

Info

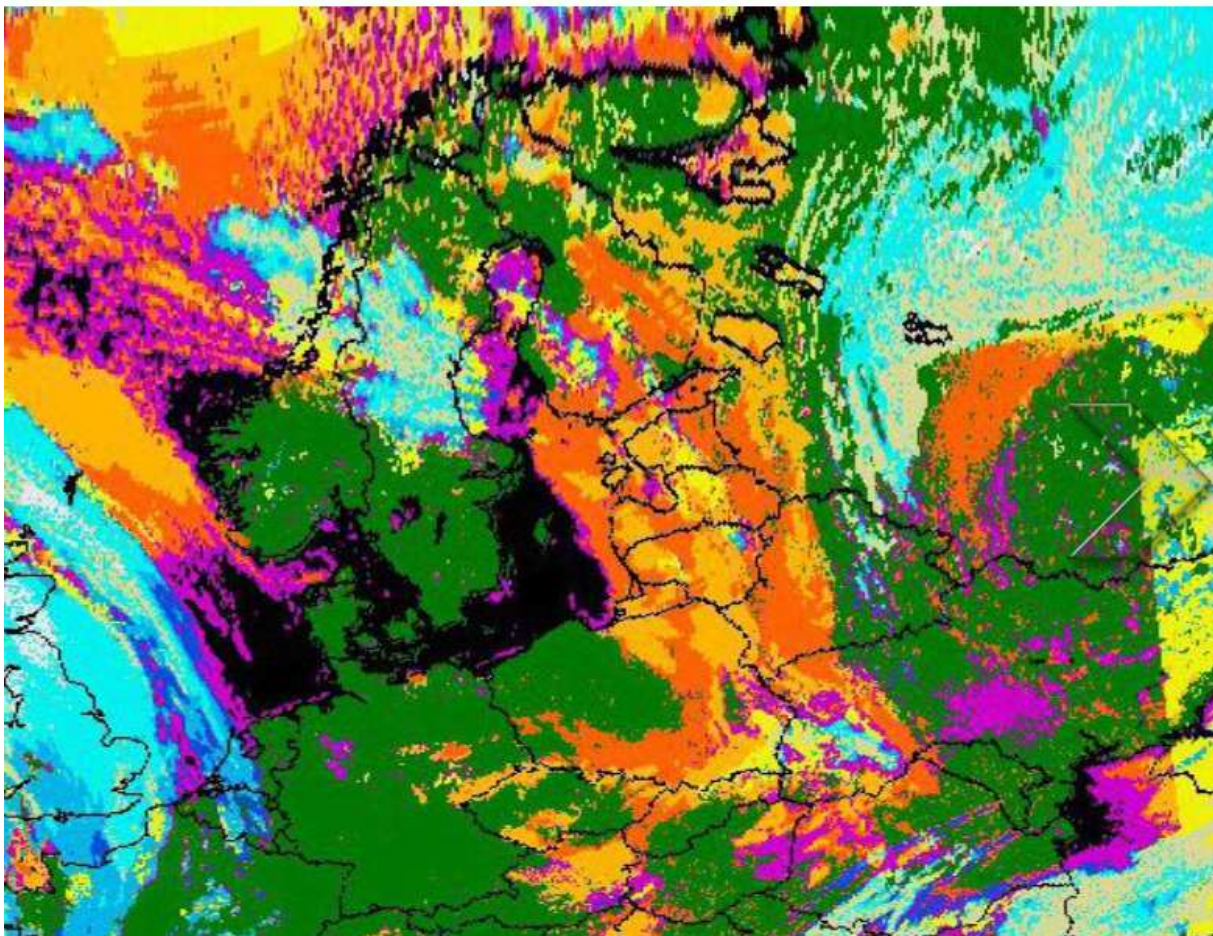


3. Tallinn-Tartu, pilves ilm, 13.02.2021

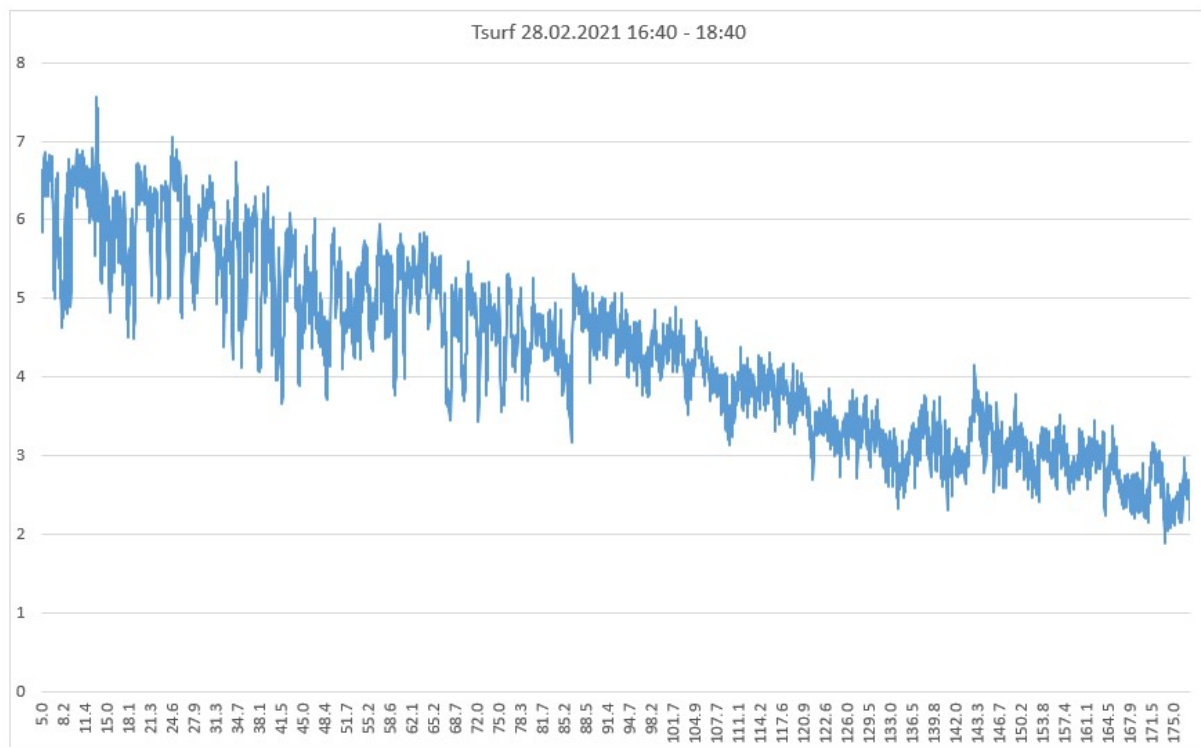


NWCSAF Euroopa 13.02.2021 21:00

Info

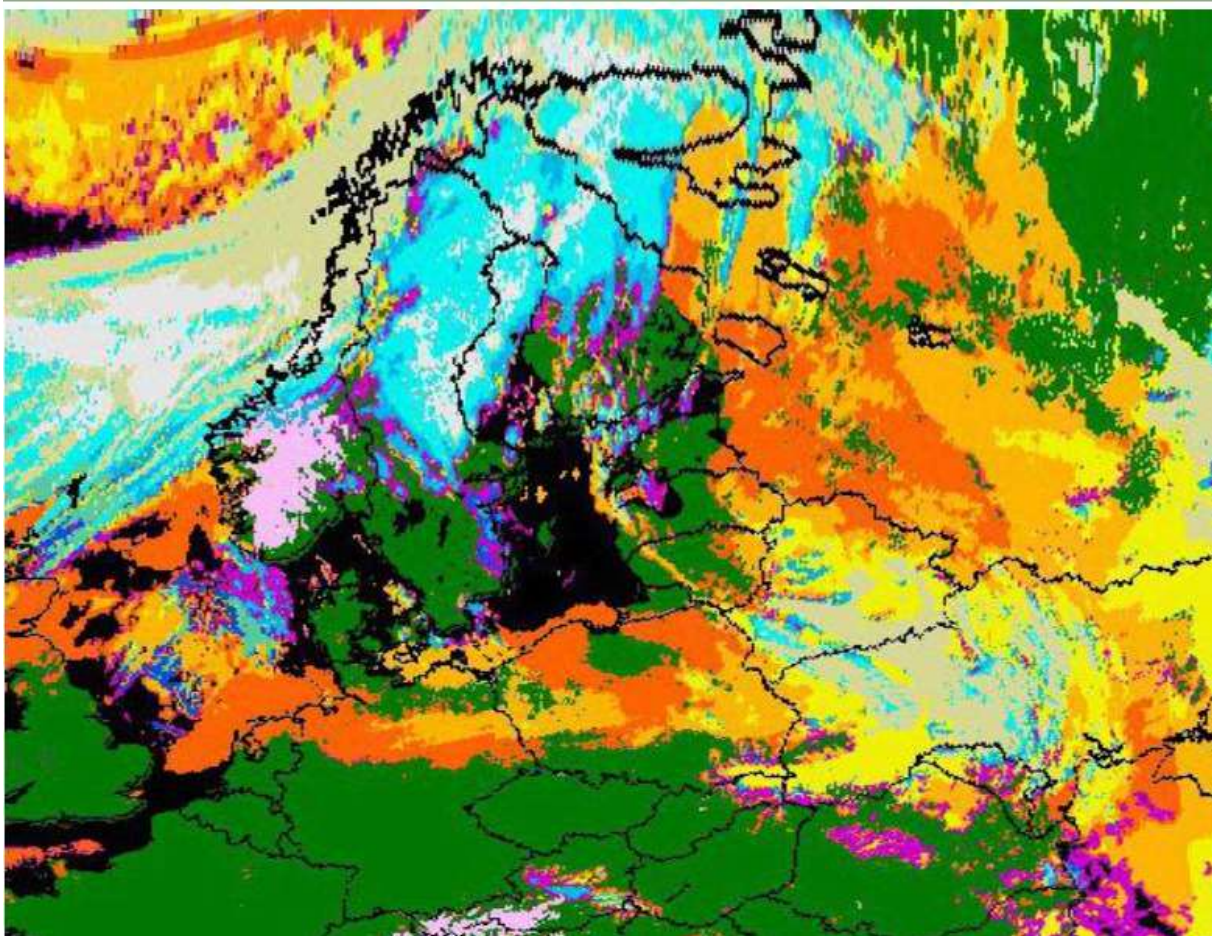


4. Tallinn-Tartu, selge ilm, 28.02.2021

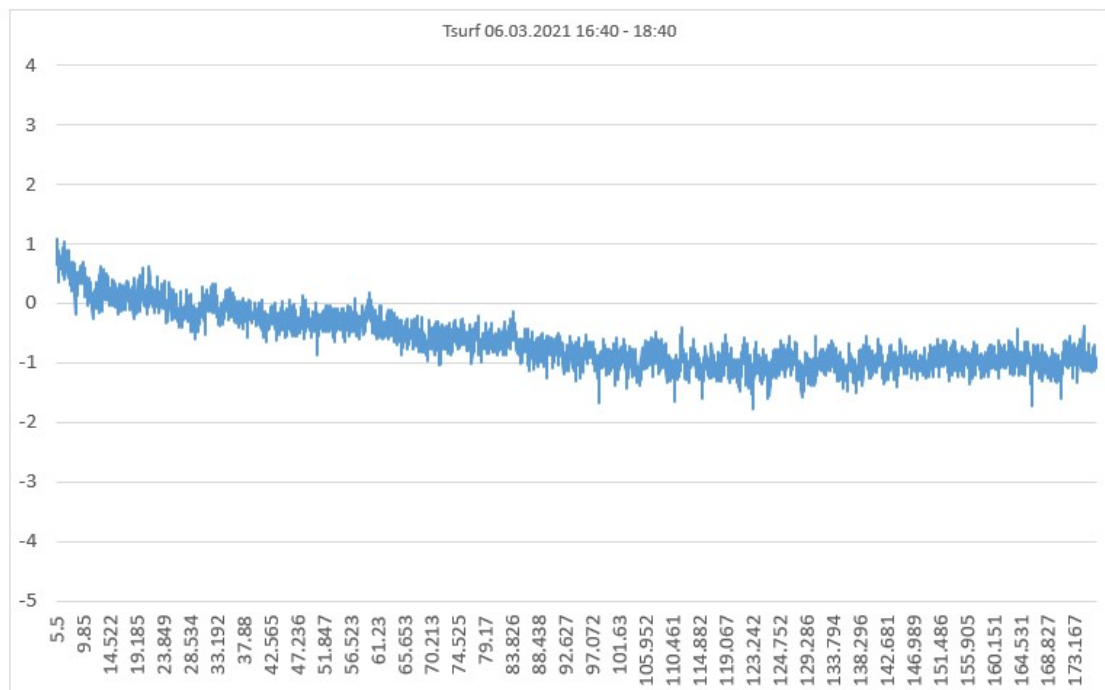


NWCSAF Euroopa 28.02.2021 17:30

Info

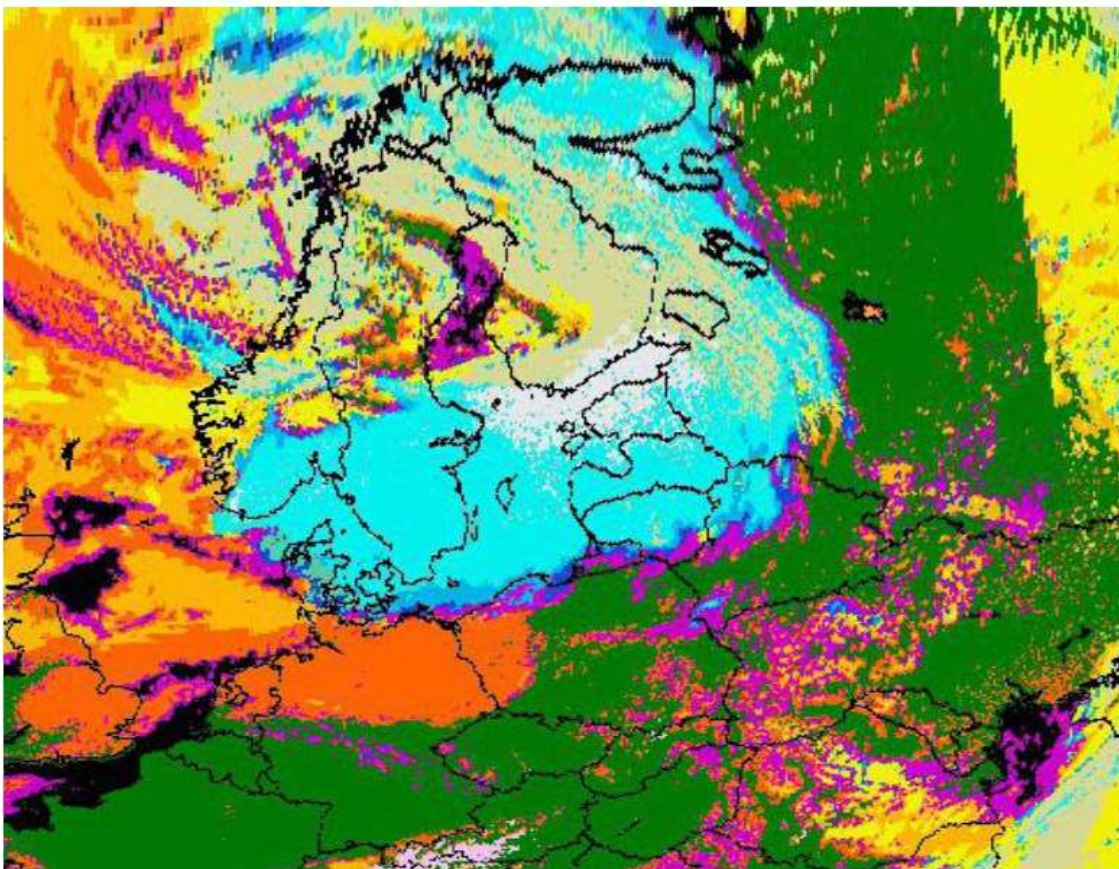


5. Tallinn-Tartu, pilves ilm, 06.03.2021

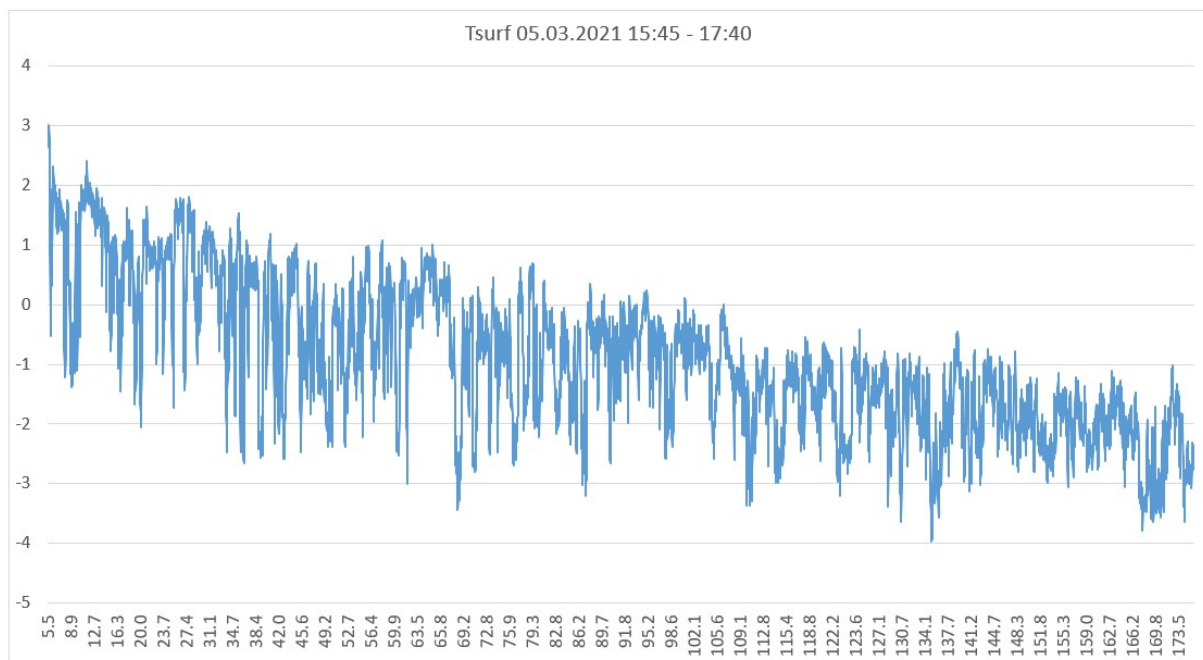


NWCSAF Euroopa 06.03.2021 17:30

Info



6. Tallinn-Tartu, selge ilm, 05.03.2021



NWCSAF Euroopa 05.03.2021 17:00

Info

