

Хил хамгаалах ерөнхий газар



**Хилийн аюулгүй байдлыг хангахад дрон
ашиглаж буй туршлага, Монгол орны
онцлогийг харгалзан үзэх нь**

Дэслэгч М.Төрболд

Улаанбаатар хот
2023 он

Оршил



Сүүлийн жилүүдэд Нисгэгчгүй нисэх төхөөрөмж (ННТ) ашиглан агаараас зураглал хийж түүн дээр үндэслэн орто зураг болон гадаргуугийн тоон загвар үүсгэн төрөл бүрийн хэмжилт тооцооллуудыг хийх цаг хугацаа, эдийн засаг гарах үр дүнгийн хувьд дэвшилтэт технологи болоод байгаа юм. ННТ -үүдийн техникийн хүчин чадал маш хурдацтайгаар сайжирч байгаа ба үүнийг даган дэлхий дахин болон манай улсад түүний хэрэглээ маш их болсон. Үүний жишгээр Хил хамгаалах байгууллага 2021 оноос эхлэн улсын хил хамгаалалтад дрон ашиглаж эхэлсэн байдаг. Дроныг зөвхөн агаараас хяналт зохиох, эрэл хайгуулын ажиллагаанд бус дроны үндсэн боломжуудыг Газарзүйн мэдээллийн систем, Зайнаас тандан судлал, Тоон фотограмметрыг шинжлэх ухаануудтай хослуулан ашиглахаар зорьж байна.

Нисдэг төхөөрөмж (ДРОН)



Дроны ийн үүсэл нь XIX зууны дунд үеэс XX зууны эхэн үеийг хамрах ба агаараас цэрэг дайны зориулалттай зураг авч мэдээлэл цуглуулах, тэсрэх бөмбөгийг тээвэрлэхэд ашиглаж байжээ. Тухайлбал, Австри улс 1849 онд Италийн Венец хотын эсрэг тулаанд тэсрэх бөмбөг байршуулсан агаарын бөмбөлгийг ашигласан нь анхны ННТ /Австрийн бөмбөлөг/ ашигласан тохиолдол болон түүхэнд тэмдэглэгдсэн. Энэхүү үеэс эхлэн одоог хүртэл ННТ -г хөгжлийн 5 үе шатанд хуваан авч үздэг ба одоогоор зураглал, хэмжилт, батлан хамгаалах гэх мэт төрөл бүрийн салбаруудад 5 -р үеийн ННТ -үүдийг ашиглаж байна. Манай улсын хувьд 2012 оноос эхлэн ННТ -г төрөл бүрийн зориулалтаар ашиглах болсон байдаг.



“Ел-2” Нисгэгчгүй нисэх төхөөрөмж



Судалгааны талбай

Монгол улсын хилийн нийт урт 8252 км. Үүнд хамаарагдах хилийн хэсгийн газар нутгуудыг ой тайга, тал хээр, говь цөл, уулын хэмээх 4 бүсэд хувааж авч үздэг.

Монгол улсын хил орчмын нутаг дэвсгэрүүд ихэвчлэн хүний хөл бага хүрэх, хүрч очиход хүндрэлтэй байдаг. Гэвч хилийн боомт орчмын бүс нутгууд үүнтэй харьцуулбал хүн ам төвлөрсөн байх нь олонтаа. Иймд энэхүү онцлогийг харгалзан үзэж судалгааны ажлын эхлэлийг төв суурин газрыг сонгон авч ажилласан.

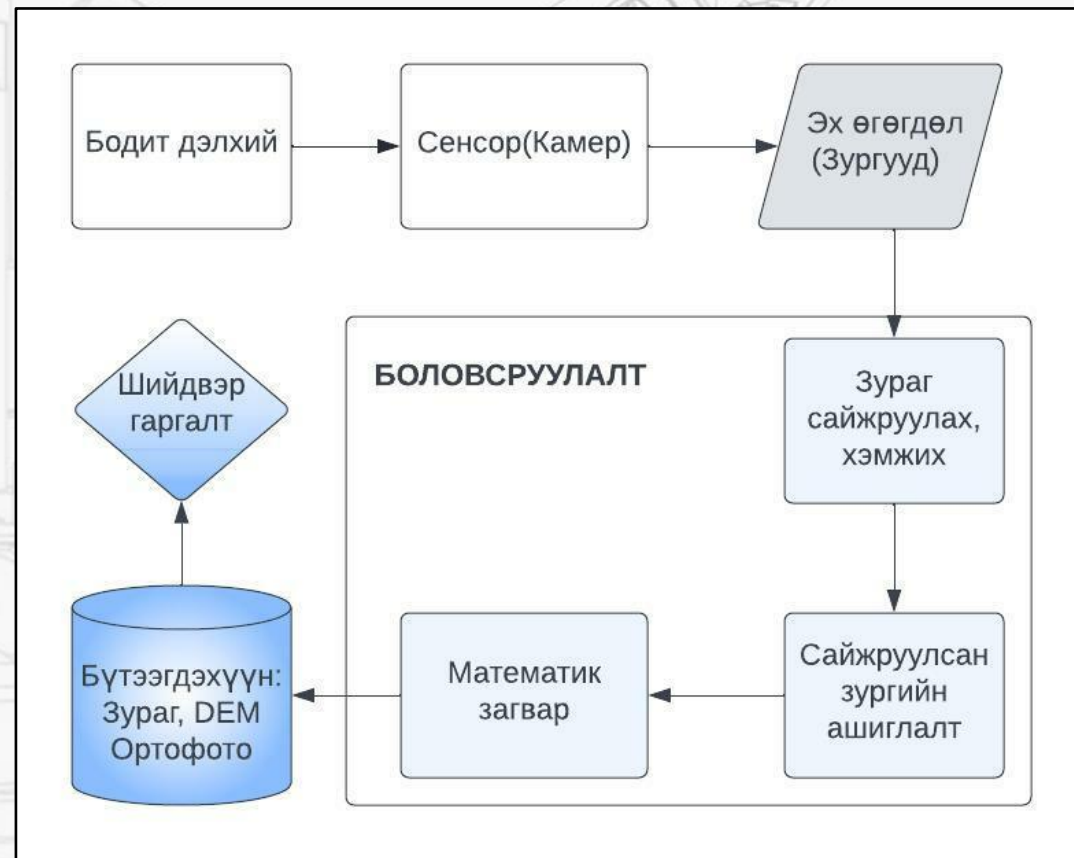


Онол арга зүй



“Тоон фотограмметр”

Тоон зураг ашиглах ба аналитик шийдлүүдийг компьютерийн тусламжтайгаар гүйцэтгэх өөрөөр хэлбэл тоон зураг боловсруулах техник, компьютерийн програм хангамж ашиглан үр дүнг гаргаж авдаг. Сүүлийн жилүүдэд тоон фотограмметр нь түлхүү ашиглагдах болсон ба боловсруулалтын үр дүнд план зураг, байр зүйн зураг, 3 хэмжээст цэгэн мэдээлэл, орто зураг, өндрийн тоон загвар, гадаргуугийн тоон загвар гэх мэт үр дүнгүүдийг тоон фотограмметрийн боловсруулалтын тусламжтайгаар үүсгэх боломжтой байгаа билээ.



Фотограмметрийн ажлын ерөнхий урсгал

Онол арга зүй



“Стерео фотограмметр”

Стереофотограмметр нь объект дээрх цэгүүдийн координатыг 3 хэмжээст байдлаар тооцоолох, өөр өөр байрлалаас авсан хоёр ба түүнээс дээш гэрэл зургийн зураг дээр үндэслэн хэмжилт хийх зорилготой. Стереоскопийн зарчимд суурилсан стереофотограмметр нь тусгай дуран, нүдний шилний тусламжтайгаар зургаас нүдэнд үзэгдэх хуурмаг байдал бий болгодог. Стереоскопийн зургийг үүсгэхийн тулд туйлшрал, анаглиф, хромын гүн гэх мэт янз бүрийн арга байдаг ба хамгийн түгээмэл ашиглагддаг арга нь “стереоскопын аргачлал” юм.



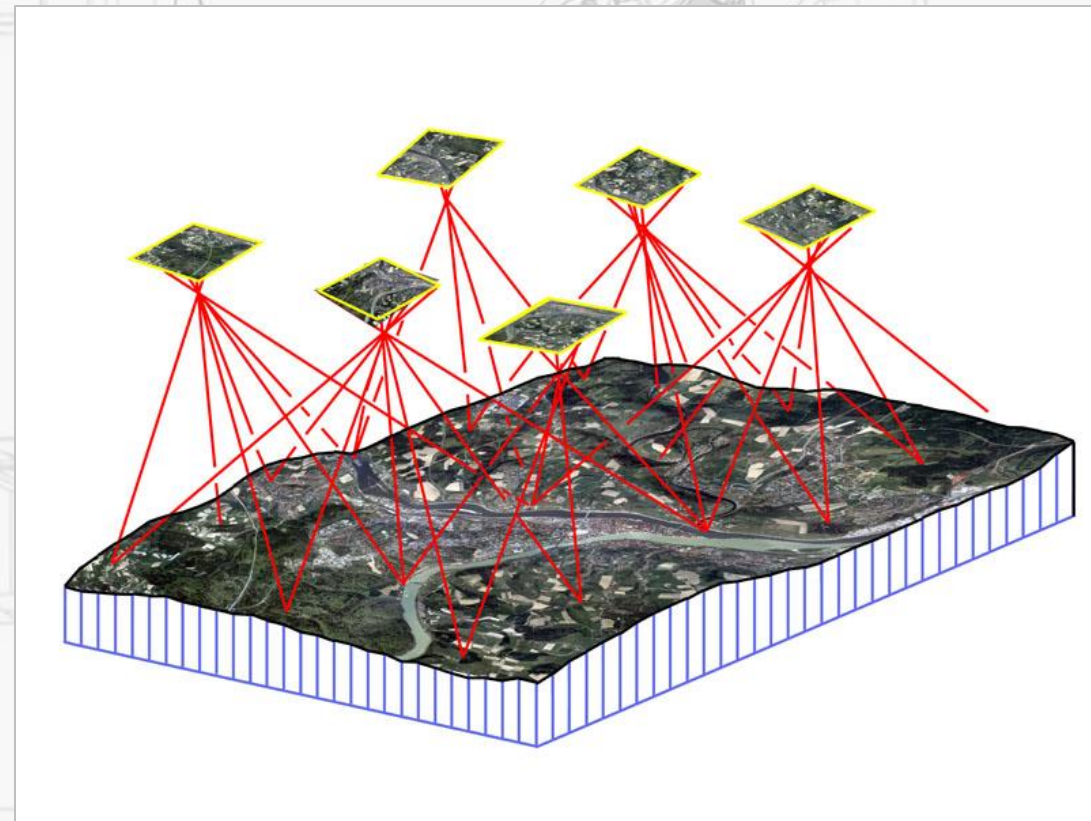
Стерео зургийн харагдах байдал



Онол арга зүй

“Агаарын триангуляци”

Агаарын триангуляц нь объект ба газрын гадаргуугийн агаараас авсан фото зургуудын тусламжтайгаар тэдгээрийн 3 хэмжээст загварыг газрын солбицлын системд үүсгэх математик тооцооллыг хэлэх юм.



Агаарын триангуляц



Онол арга зүй

“Дулааны тандан судал”

Дулааны хэт улаан туяаны (TIR) өгөгдлийг газар, агаар, сансрын гурван төвшнөс зайнаас тандан судлах төрөл бүрийн төхөөрөмжүүдийг ашиглан олж авдаг. Дулааны тандан судлалд цахилгаан соронзон спектрийн дулааны муж, Планк, Стефан-Больцманн, Виен, Кирхгофын хуулиуд, түүнчлэн кинетик ба цацрагийн температур, ялгаруулах чадвар, дулааны инерц зэрэг параметруудийг ашиглан зураглал тайлал хийдэг. Үнэмлэхүй 0°K буюу -273°C дээш температуртай бүх объект цахилгаан соронзон цацраг ялгаруулдаг. Манай дэлхий дунджаар 300°K орчим температуртай.. Энэхүү TIR цацрагийг төрөл бүрийн дулааны мэдрэгчүүд бүртгэдэг. Ингэснээр TIR мэдрэгч нь дэлхийн гадаргуу дээрх объектуудын дулааны цацрагийн дүрсийг гаргах боломжийг олгодог. Ийм зураг нь тухайн мэдрэгчийн нягтралаар объектын кинетик температурыг харуулж чаддаг.



Онол арга зүй

“Дулааны тандан судал”

Цацруулагчийн дулааны өдөөлтөөс болж үүсэх түүний цахилгаан соронзон цацралыг дулаан цацрал гэдэг. Объектын дулааны хэт улаан туяаны спектрийн ялгаруулалтын M_λ нь Планкийн ялгаруулалтын хуулиар үнэмлэхүй температур ба долгионы уртын функцээр тодорхойлогддог:

$$M_\lambda \left[\frac{W}{10^{-10} * m} \right] = \frac{c_1}{\lambda^5} \frac{1}{\exp\left(\frac{c_2}{\lambda * T}\right) - 1}$$

Энд:

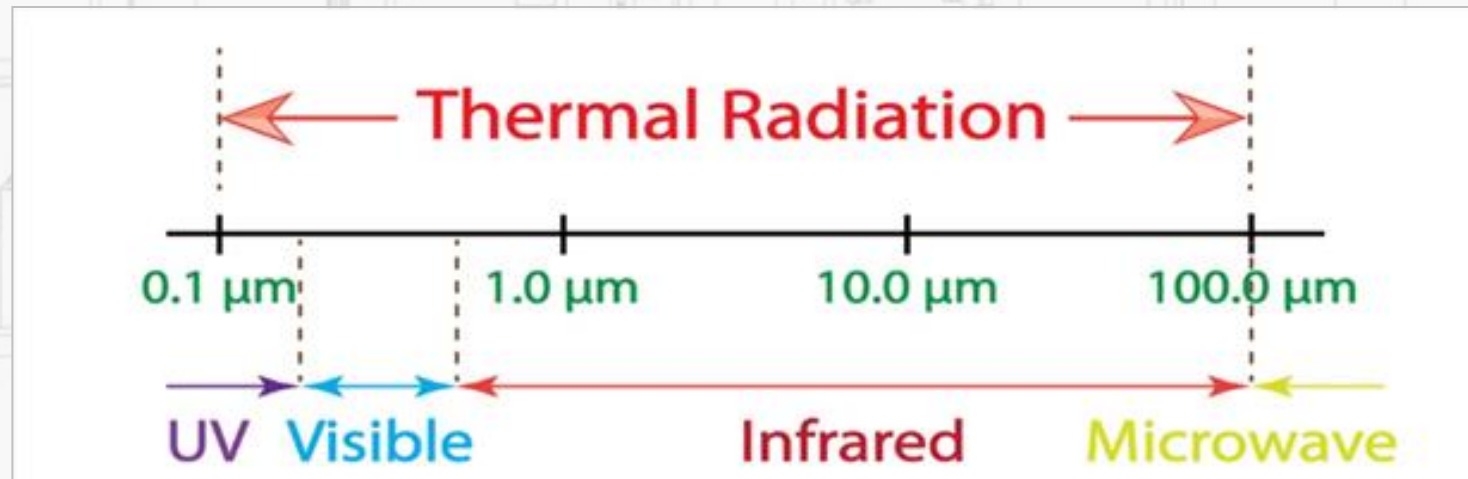
- $c_1=3.7418*10^{-16} \text{ W*m}^2$ цацаргалтын тогтмол,
- $c_2=1,4388*10^{-2} \text{ K*m}^2$ цацаргалтын тогтмол,
- T: үнэмлэхүй температур [K]
- λ : долгионы урт [μm]



Онол арга зүй

“Дулааны тандан судал”

Уламжлалт дулаан дүрслэлийн тоног төхөөрөмж нь цацраг туяаны хэт улаан туяаны энергийг цахилгаан дохио болгон хувиргадаг бол орчин үеийн загваруудад тусгай мэдрэгчийг ашиглаж байна. Дулааны камер нь ихэвчлэн цахилгаан соронзон спектрийн хэт улаан туяаны мужид (ойролцоогоор 3,000-14,000 нанометр буюу 3-14 μm) объектоос цацарсан долгионыг ашигладаг. Мөн цахилгаан соронзон долгионы уртад дулааны цацаргалт нь 3.0-100.0 μm хооронд хамаарагддаг.



Долгионы урт дахь дулааны цацралын муж

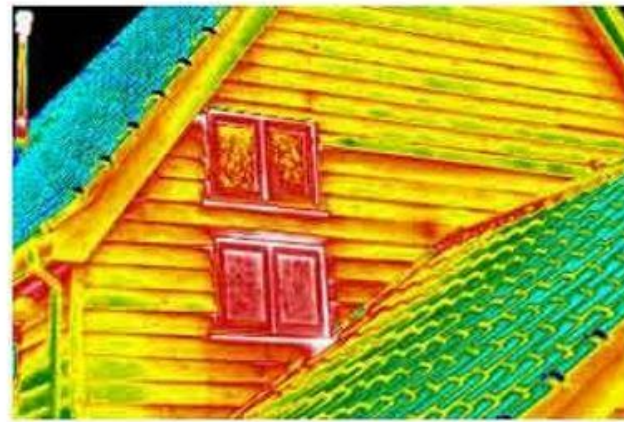
Онол арга зүй

“Дулааны тандан судал”

Дулааны камер нь жижиг хэмжээтэй нимгэн хальсан термистор бүхий матриц элементийг ашиглан зураглал хийдэг. Зураг авалтын явцад линз нь хэт улаан туяаны цацрагийг олж, матрицан хавтан дээр түүний эрчмийг цуглуулан зураглаж буй объектын температурын дагуу матрицан элементийг халаахад хүргэдэг. Энэ үйл явцын үр дүн нь дэлгэц дээр гарч байгаа термограф хэлбэрийн өнгөт зураг юм. Камерүүдийн хувьд PPI (pixels per inch буюу Нэг инчид хамаарагдах пиксел) нь дижитал файлд нэг инчид агуулагдах пикселийн хэмжээ юм. PPI нь камерынхаа бүтцээс болоод өөр өөр байдаг. Орчин үеийн дулааны массив мэдрэгчүүд нь 320x240, 640x320, 1280x960 пиксел хүртэл авах боломжтой. Мэдрэгчийн хэмжээ нь 20-30 мм.



Үзэгдэх гэрэлд



Дулааны зурагт





Хээрийн хэмжилт 1

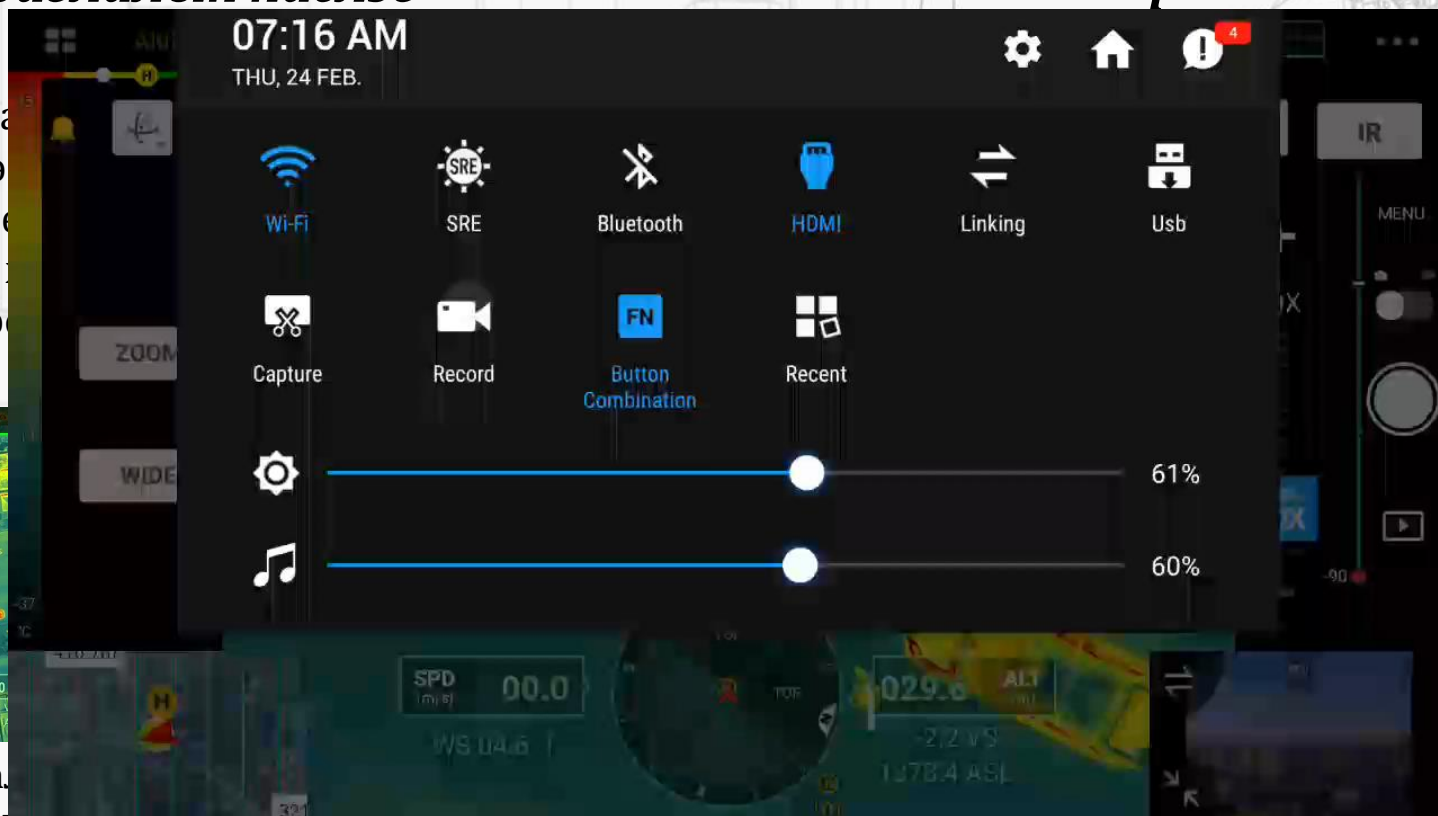
“Дулааны зураглалын нислэг”

“2022 оны 2 сарын 24 –ний өдрийн цаг

Дулааны зураглалыг эрчимжилээс өөрчлөх хөндлөнгийн нөхцөлөөгөөр 7 цагт байхаар төлөвлөж авсан.



Дулааны зураглал хөөрхөд бэлтгэсэн байдал, зураглал үйлдэж буй явц удирдлага дээрээс)



Үзүүлэлт
-23 °C
Өнгөн агаар
2м/сек
100 %
86 %
тунадас байхгүй
2022 оны 2-р сарын 24, Пүрэв гариг)



Дулааны зураглалд ГТЗ үүсгэхэд ашигласан техник хангамж

*“DJI Matrice 300” нисгэгчгүй нисэх
төхөөрөмж*



*“DJI Zenmuse H20T” дулааны
зураглалын камер*





Дулааны зураглалд ашигласан техник хангамж

“DJI Matrice 300” нисгэгчгүй нисэх төхөөрөмжийн хүчин чадал

- Өндөрт: 7000 м
- Салхи сөрөх чадвар: 15 м/с
- Нислэг үргэлжлэх хугацаа: 55’
- Жин: 3.6 кг
- Өсөх хурд: 6 м/с
- Буурах хурд: 5 м/с
- Дээд хурд: 23 м/с

“DJI Zenmuse H20T” дулааны зураглалын камер

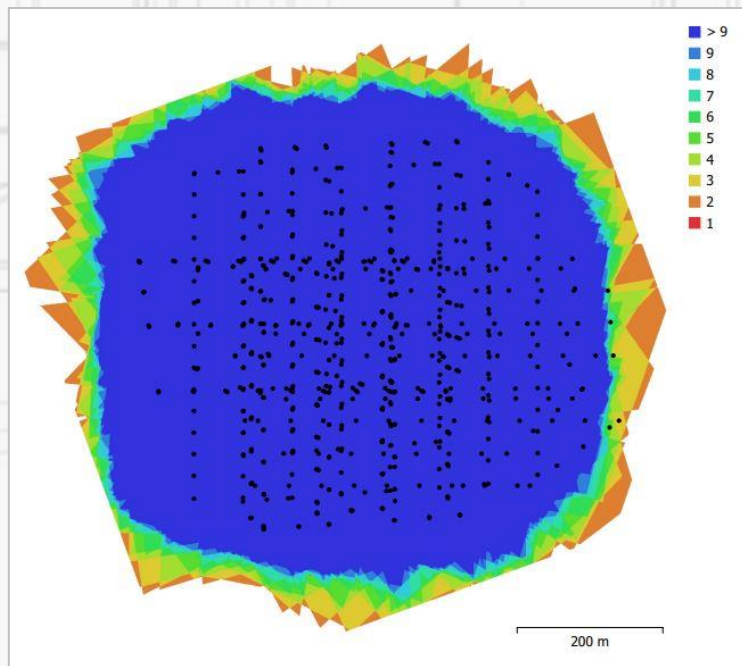
Дулааны камер (Zenmuse H20T)	Үзүүлэлт
Мэдрэгч	Uncooled VOx Microbolometer
Линз	DFOV: 40.6° Фокусын урт: 13.5 мм (58 мм -тэй тэнцүү) Аператур: f/1.0 Фокус: 5 м to ∞
Дижитал өсгөлт	1x, 2x, 4x, 8x
Бичлэгийн нягтаршил	640×512 @ 30 Hz
Бичлэгийн формат	MP4
Зургийн нягтаршил	640×512
Зургийн формат	R-JPEG (16 bit)
Пикслийн давтамж	12 μm
Спектрийн муж	8-14 μm
Температур хэмжих аргачлал	Цэг дээр хэмжих, Талбайгаар хэмжих
Зураглах хүрээ	-40 °C to 150 °C (Ихдээ) -40 °C to 550 °C (Багадаа)
Температурын дохио	Дэмжинэ
FFC	Авто/ Гараар
Өнгөний утгууд	White hot/Fulgurite/Iron Red/Hot Iron/Medical/Arctic/Rainbow1/ Rainbow2/Tint/Black Hot

Эх сурвалж: DJI.com



Хээрийн хэмжилт 2

Хоёр дахь нислэг нь термограмд шаардлагатай нарийвчлал сайтай 3 хэмжээст загвар үүсгэхийн тулд 3 хэмжээст ташуу хараалагч камераар тоноглогдсон ННТ-өөр төлөвлөгөөт нислэг хийж агаарын зураглал үйлдсэн. Тус нислэгийг дулааны зураглал хийснээс 2 өдрийн дараа буюу 2022 оны 2 сарын 26 -ны өдөр үйлдсэн ба өдрийн 2:11-2:38 цагт хийгдсэн. Нислэгийн дулааны зураглал хийсэн цэг дээрээс эхлүүлсэн.

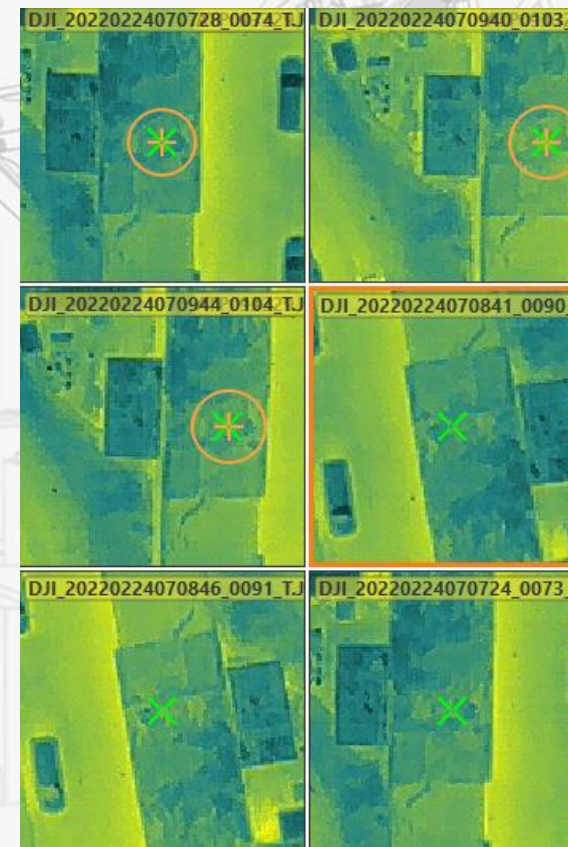
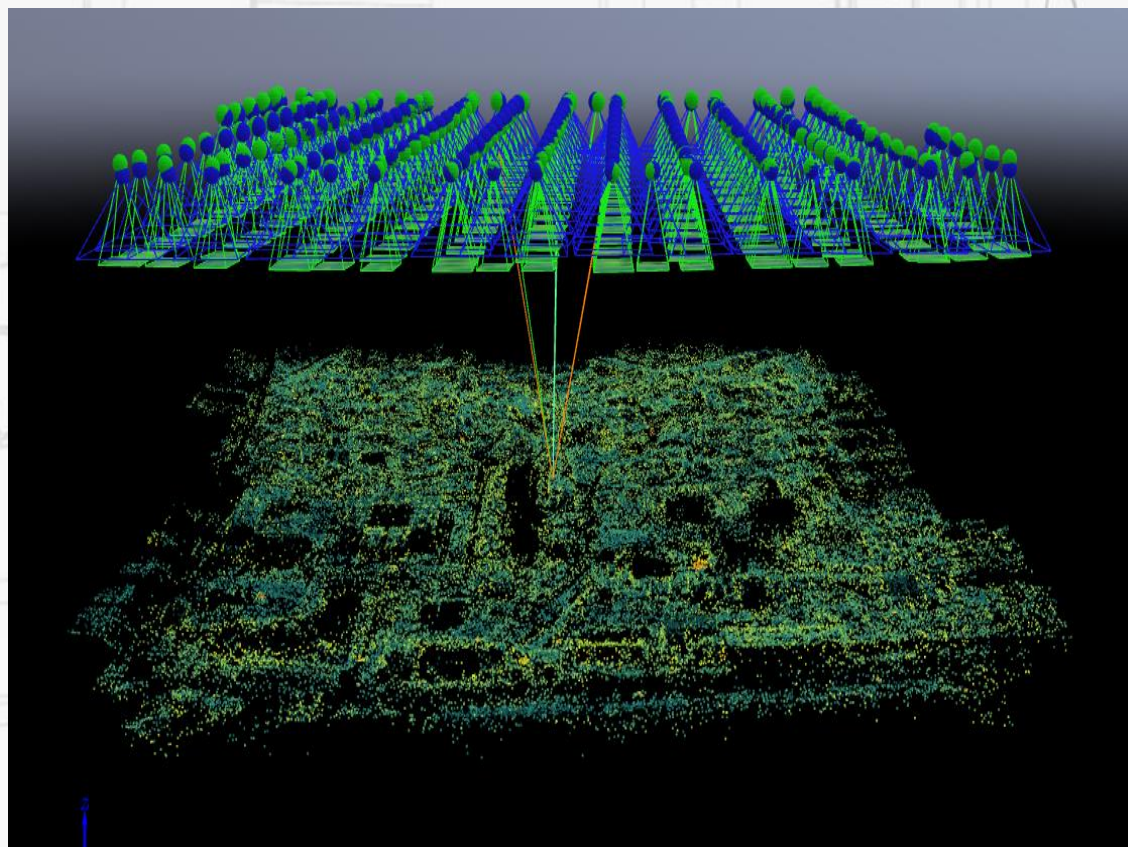


Зургийн тоо	Нислэгийн өндөр	Орон зайн нарийвчлал	Зурагласан талбай	Камерын байрлал	Тулгуур цэгүүд
694	150м	4.5 см/пикс	0.519 км ²	649	375 154



Үр дүн: Агаарын триангуляц

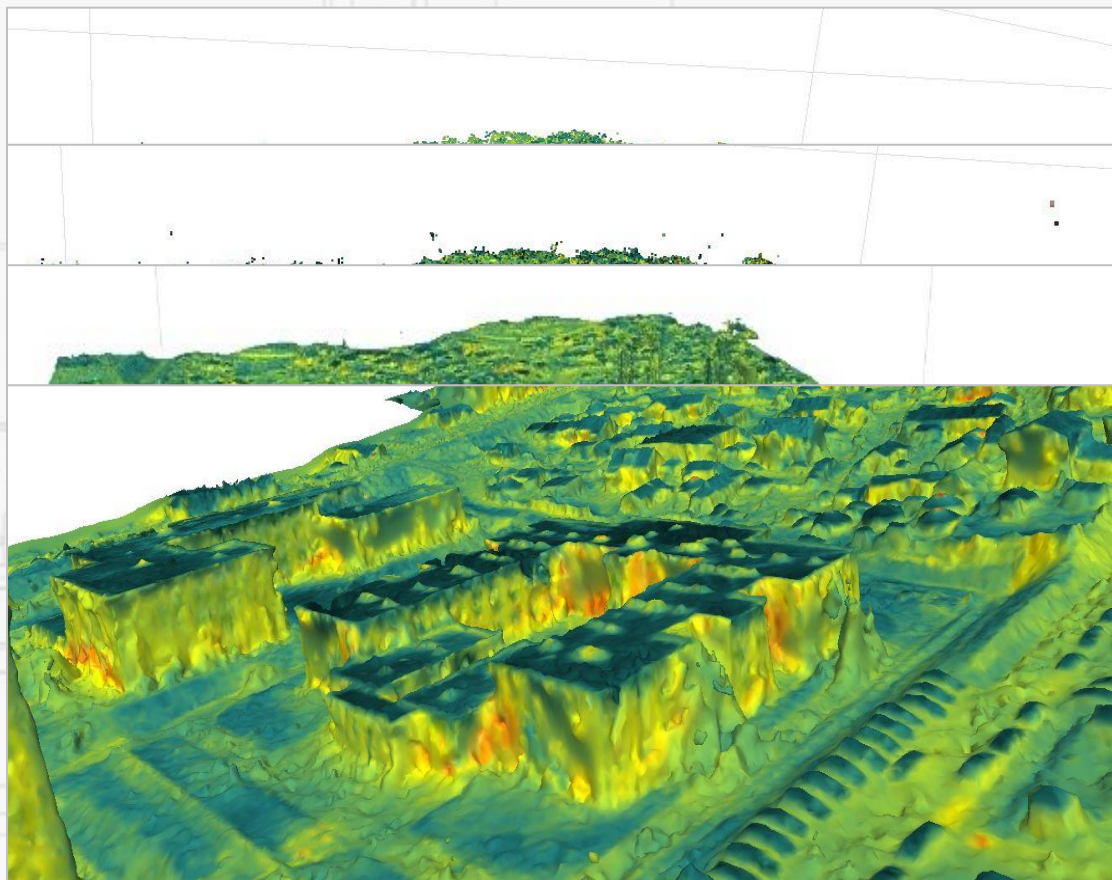
“Агаарын триангуляц”



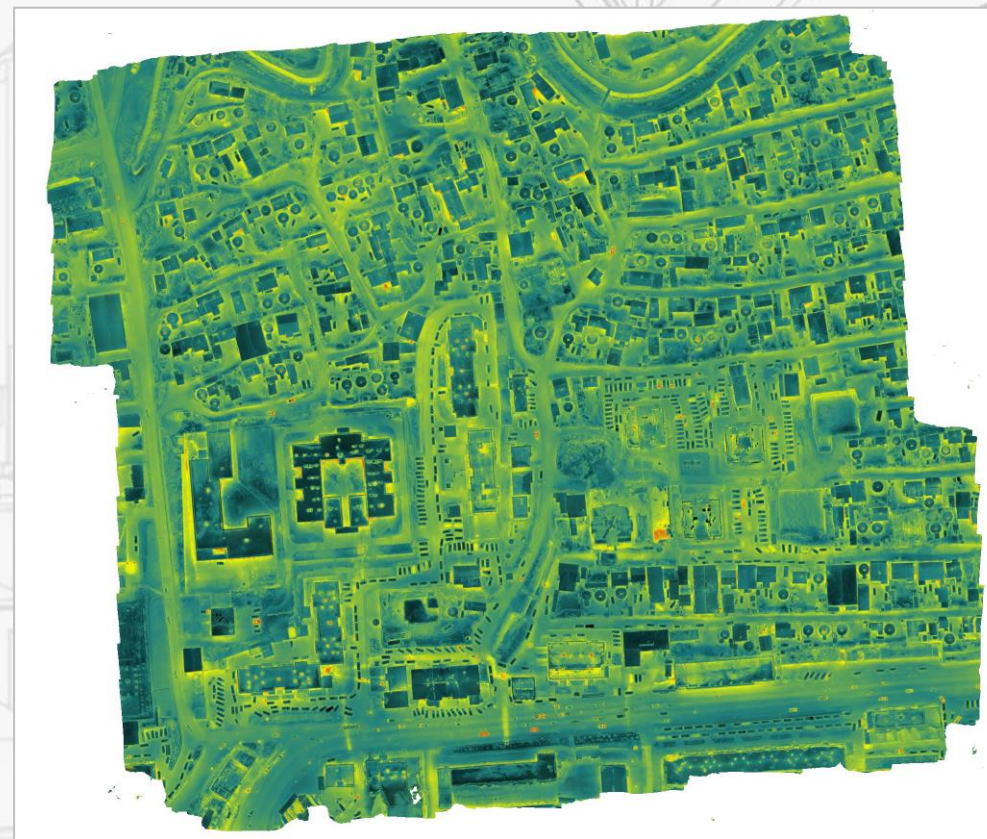
Рix4D Mapper програм дээр агаарын триангуляци үүссэн байдал



Үр дүн: Дулааны зураглал



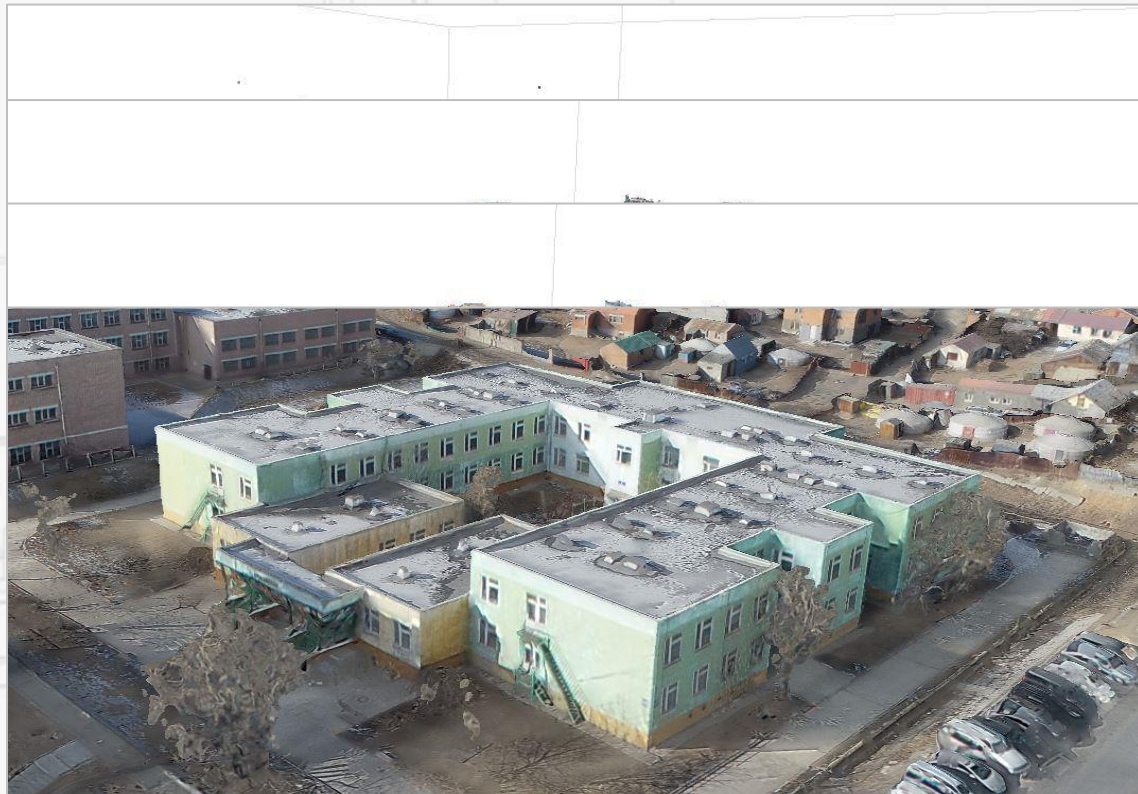
Agisoft Metashape програм дээр үүссэн 3 хэмжээст загвар



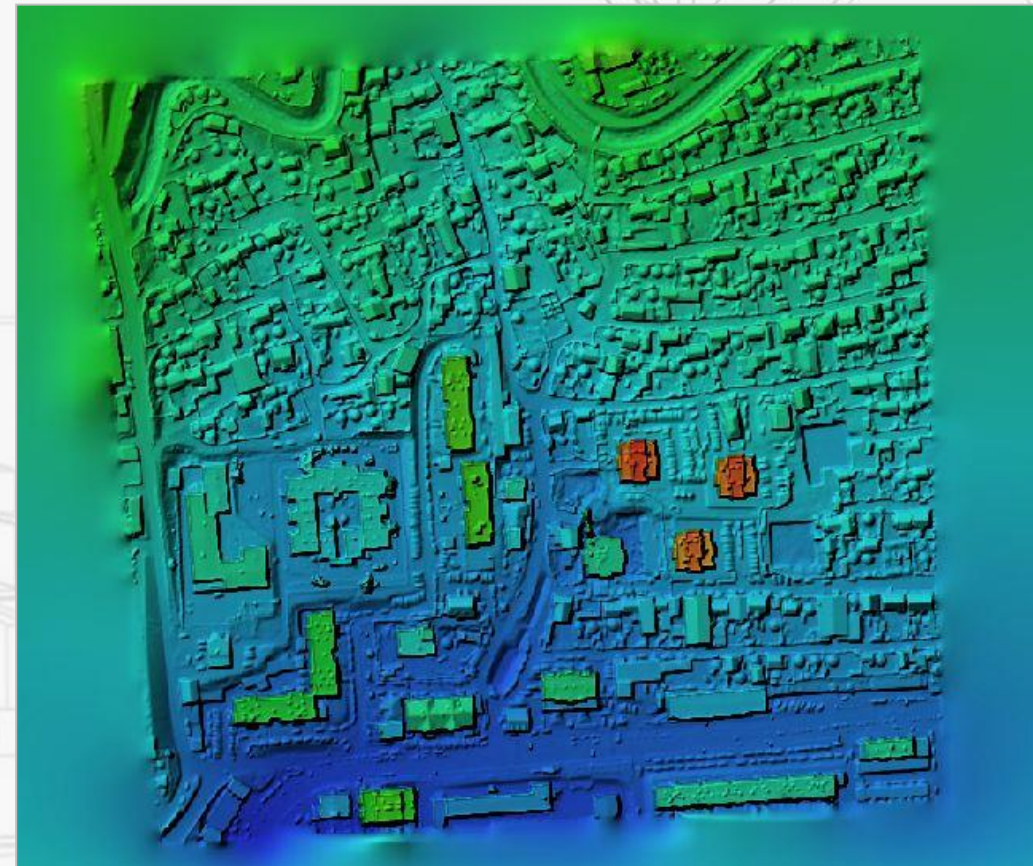
Дулааны зураглал бүхий орто зураг
- Орон зайн нарийвчлал: 13.3 см
- 200 -ын масштабтай байгаа нь техникийн зураглалд шаардлагатай масштабын үзүүлэлтийг хангана



Үр дүн: “ГТЗ” үүсгэх бодолт



Agisoft Metashape програм дээр үүссэн 3 хэмжээст загвар

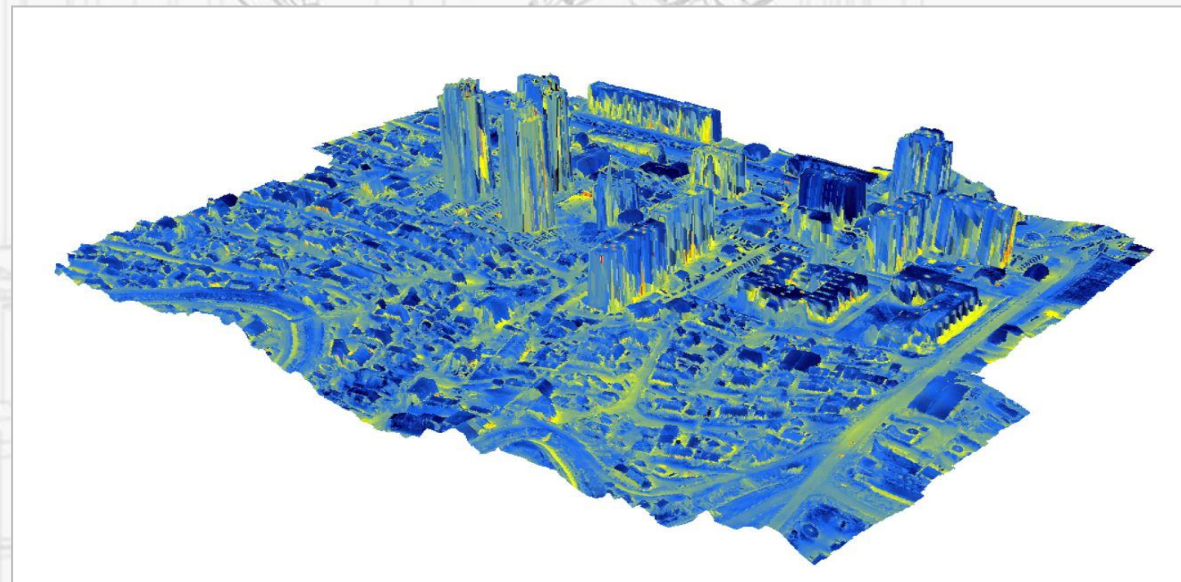
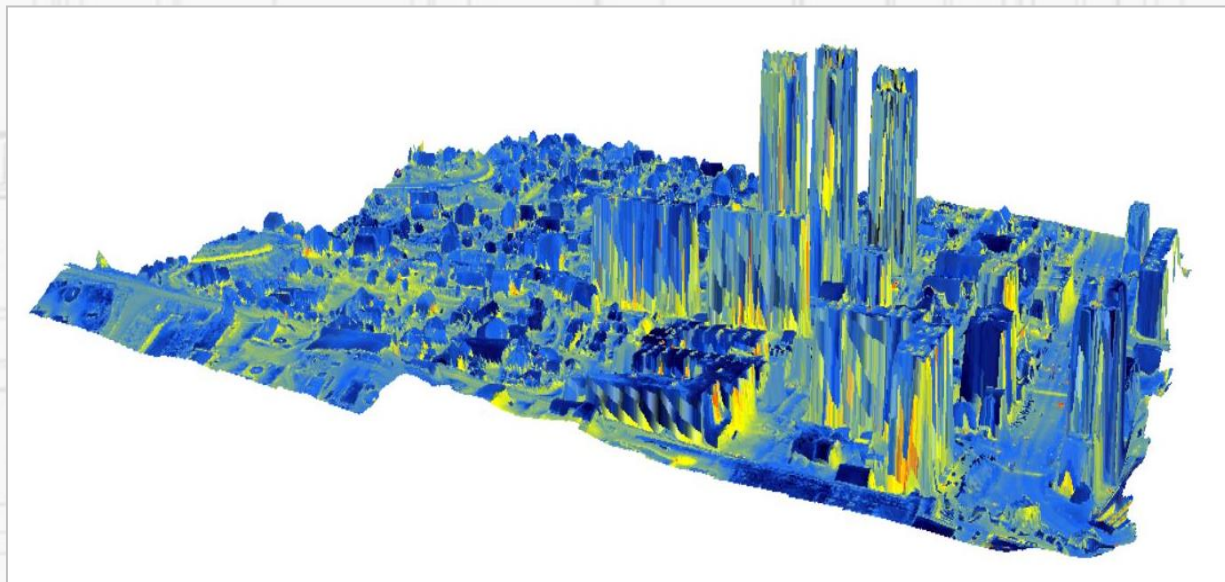


Agisoft Metashape програм дээр үүссэн ГТЗ
- Орон зайн нарийвчлал: 8.99 см



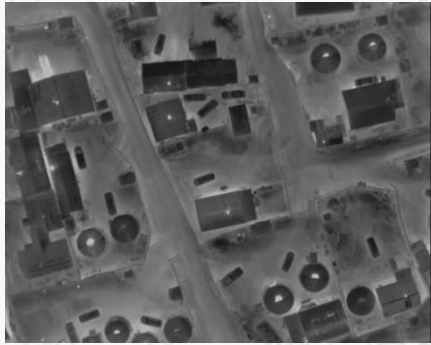
Үр дүн: Термограм

Термограм хэмээх ойлголт нь термограф буюу дулааны зургаас үүссэн төрөл бүрийн үр дүнг хэлэх бөгөөд үүнд дулааны мэдээлэл агуулсан видео бичлэг, зүйвэр зураг гэх мэт ойлголтууд багтдаг.

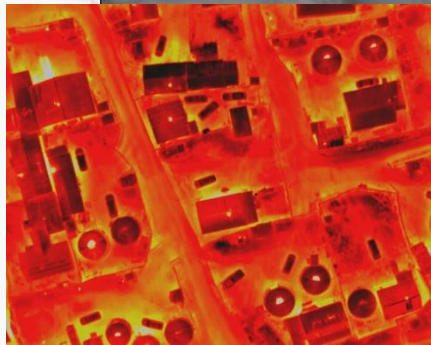


ArcScene 10.8.1 програм ашиглан Дулааны зураглал болон оптикийн зураглалын бодолтоос үүсгэсэн термограм

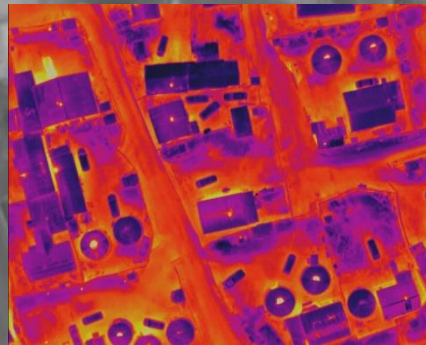
Дулааны зургийг харагдах байдлууд



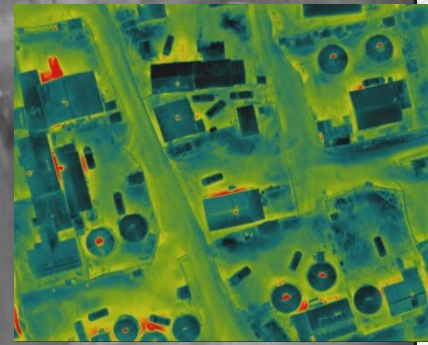
White Hot



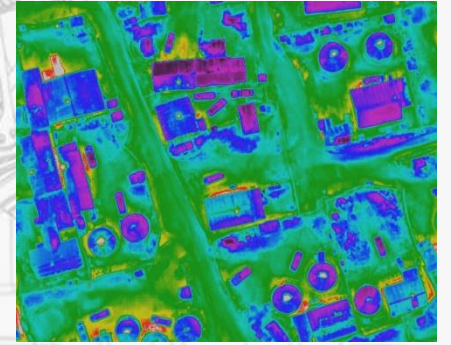
Fulgurite



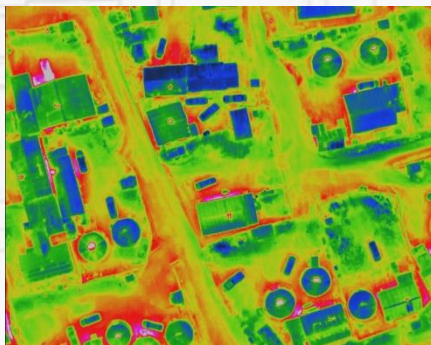
Iron Red



Hot Iron



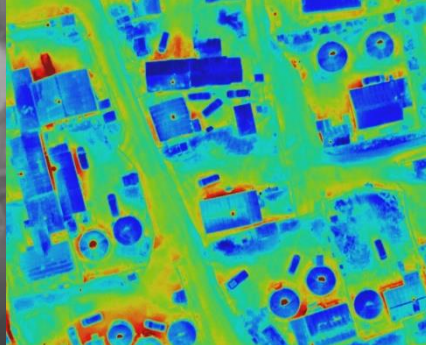
Medical



Arctic



Rainbow 1



Rainbow 2



Tint

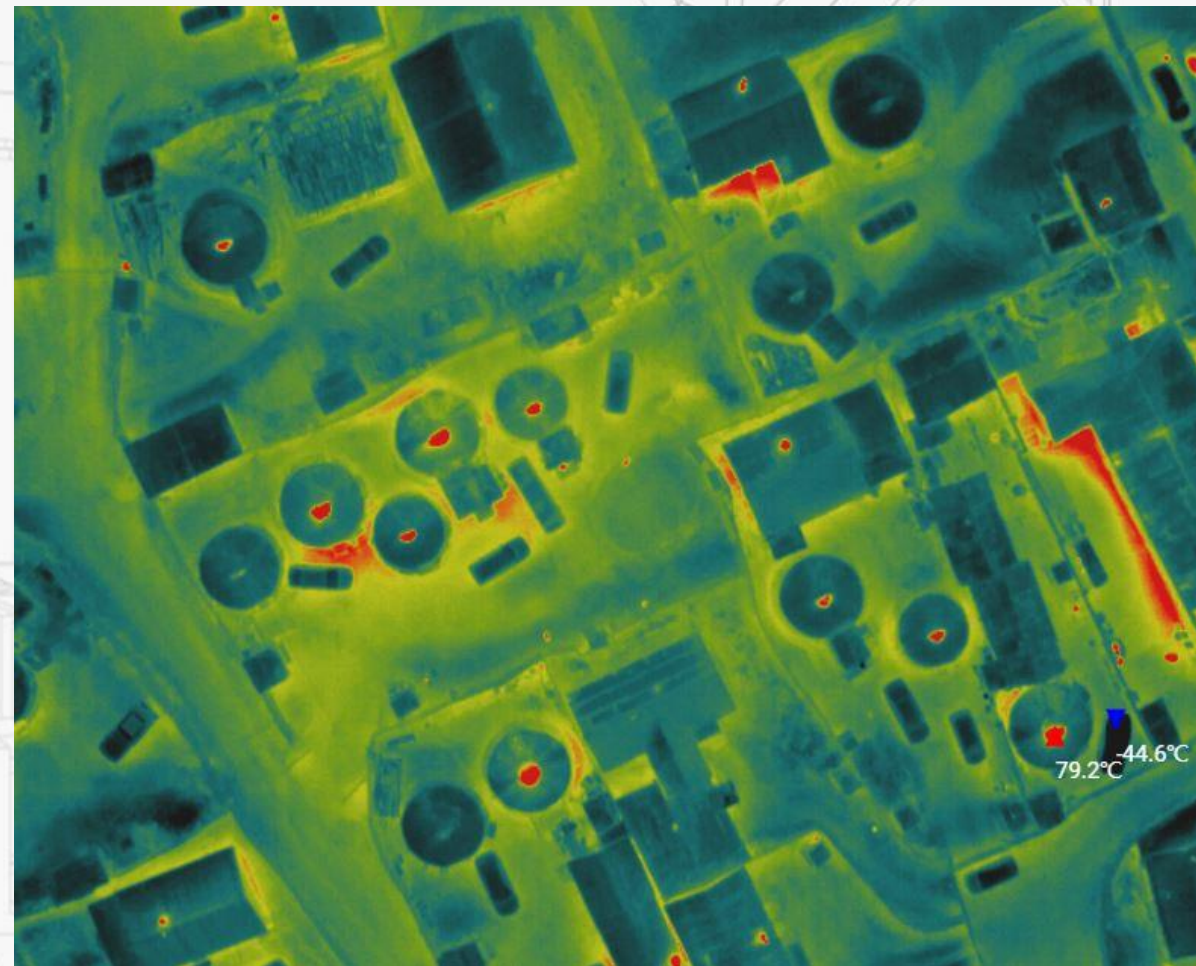
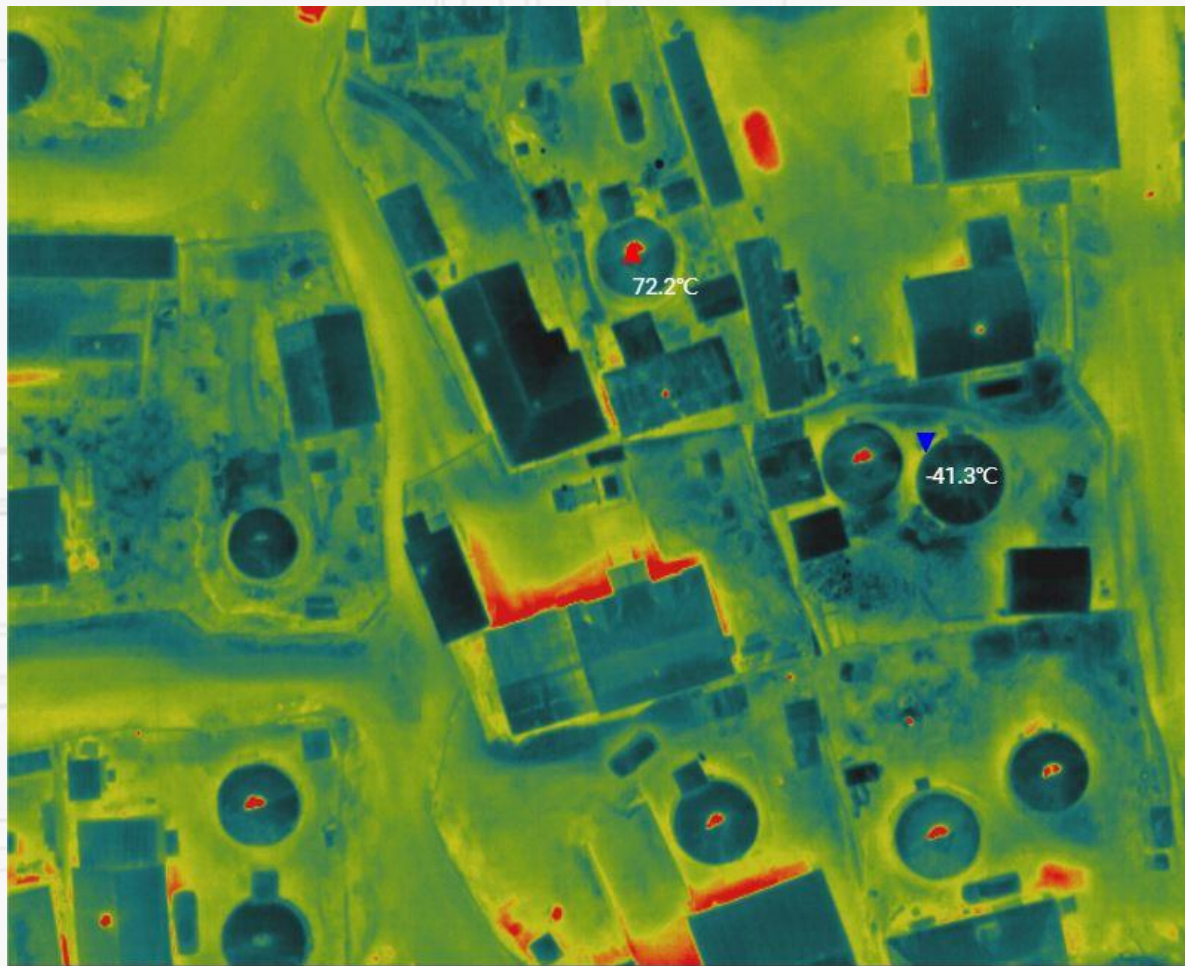


Black Hot



Боловсруулалтын үр дүнгээс ...

Дулааны ялгаруулалтын давуу чанаруудыг “Улсын хил хамгаалалтад ашиглах нь”



Хэмжилт: 1



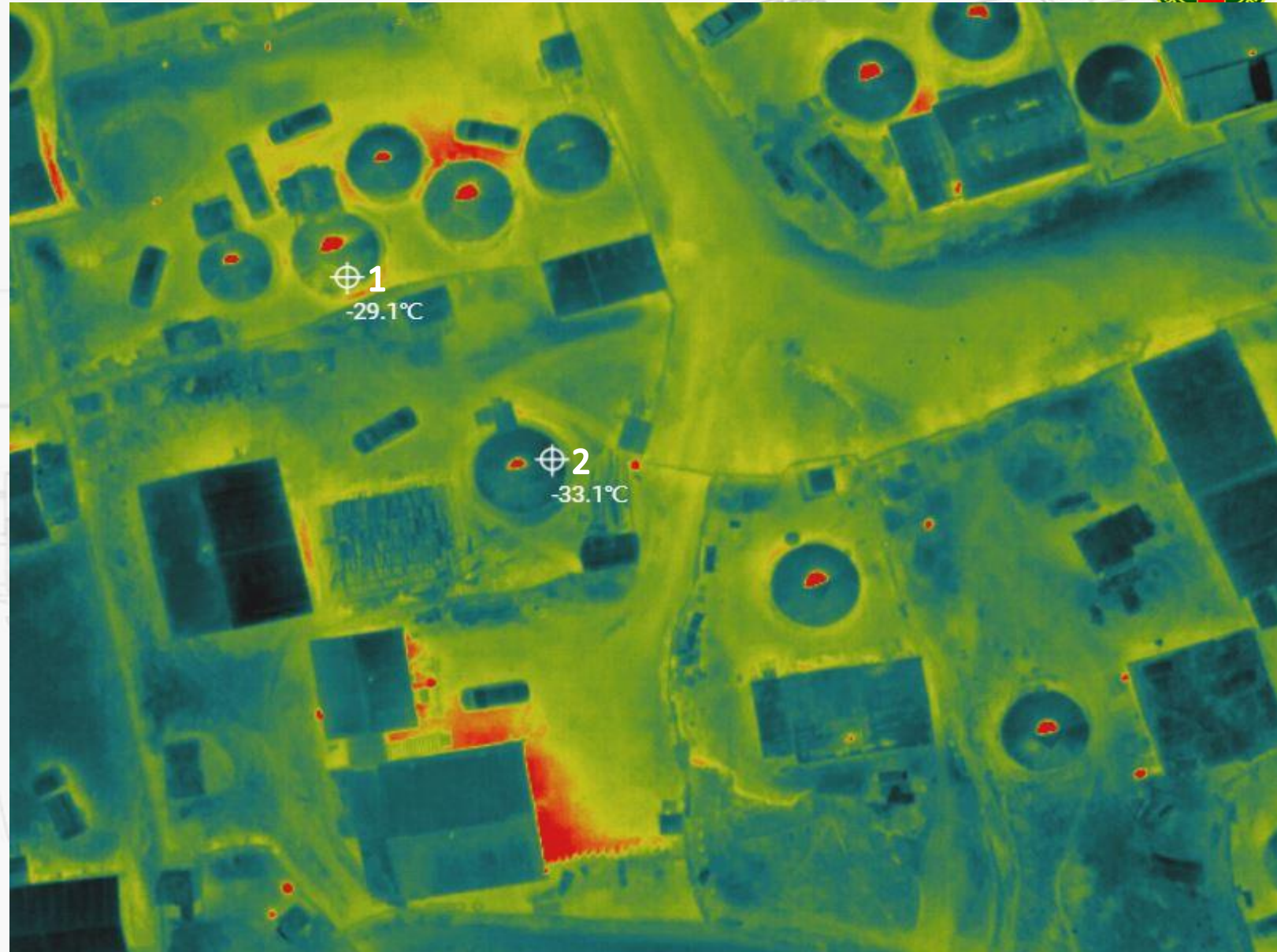
Температурын хэмжилт хийсэн цэг:

Цэг 1: -29.1°C

Цэг 2: -33.1°C

Цэгүүдийн температурын зөрүү:

Цэг 1 болон Цэг 2: -4°C



Хэмжилт: 2



Температурын хэмжилт хийсэн цэг:

Цэг 1: -27.1°C

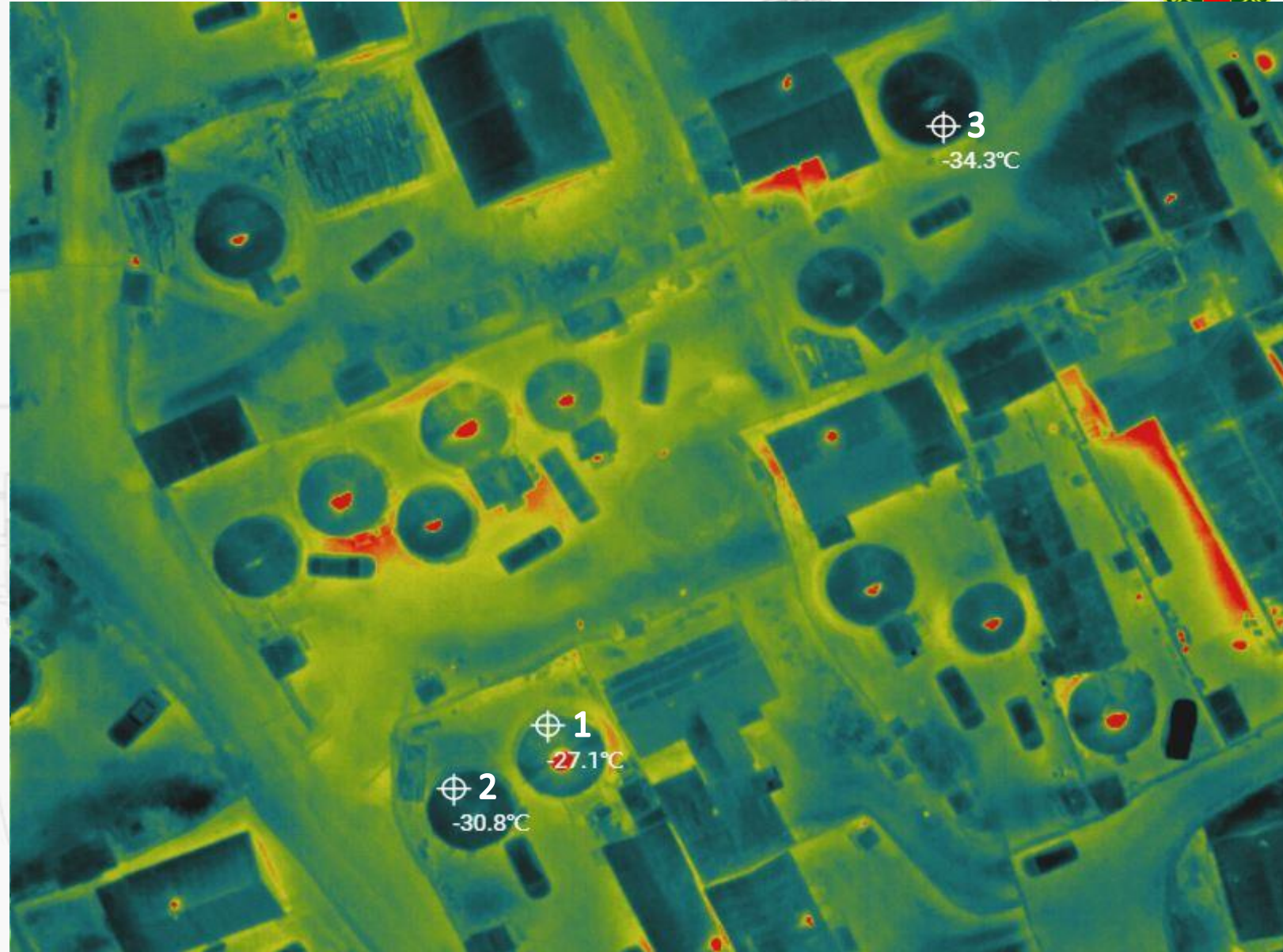
Цэг 2: -30.8°C

Цэг 3: -34.3°C

Цэгүүдийн температурын зөрүү:

Цэг 1 болон Цэг 2: -3.7°C

Цэг 1 болон Цэг 3: -7.2°C



Хэмжилт: 3

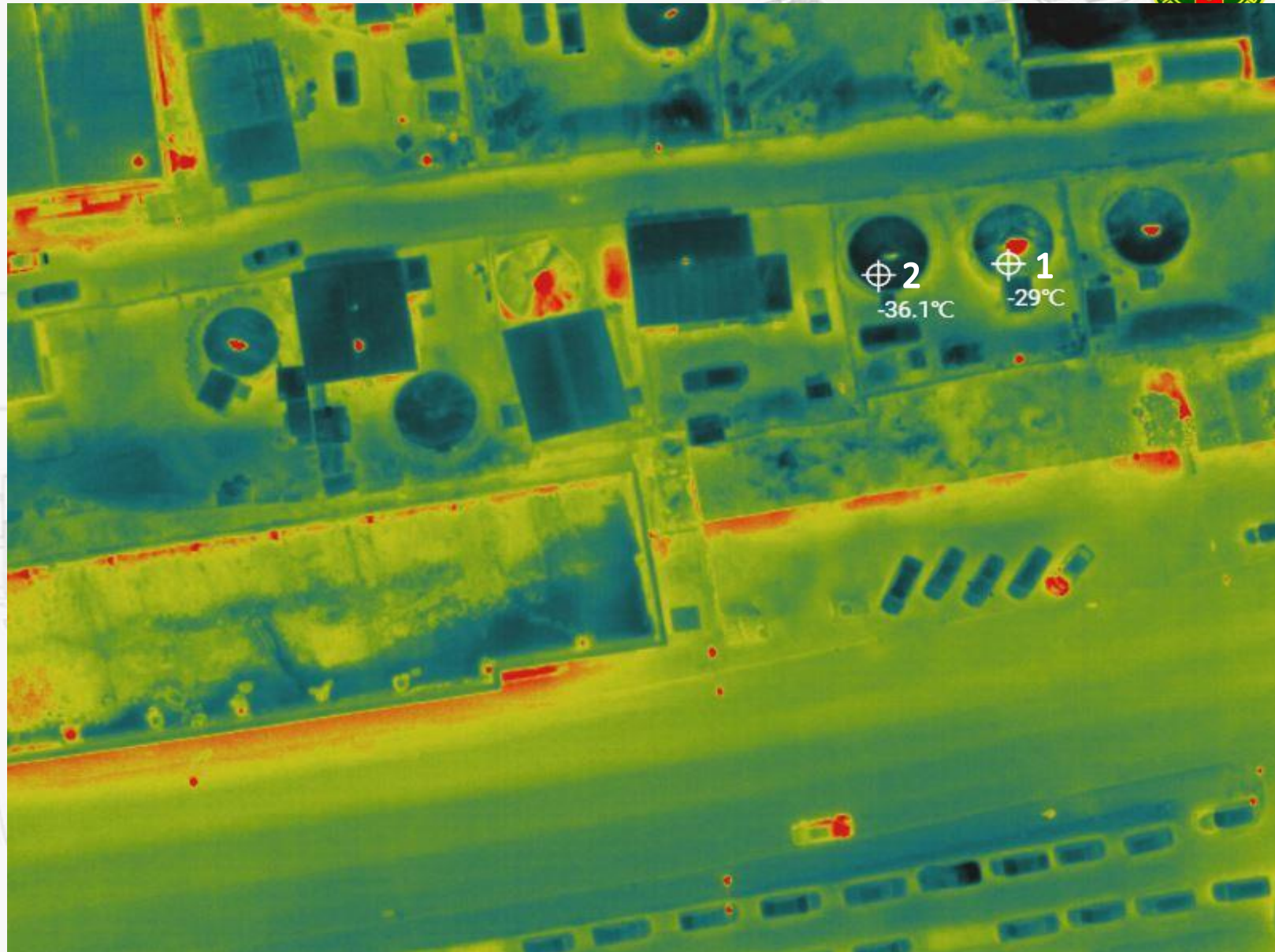


Температурын хэмжилт хийсэн цэг:

Цэг 1: -29°C
Цэг 2: -36.1°C

Цэгүүдийн температурын зөрүү:

Цэг 1 болон Цэг 2: -7.1°C



Хэмжилт: 4



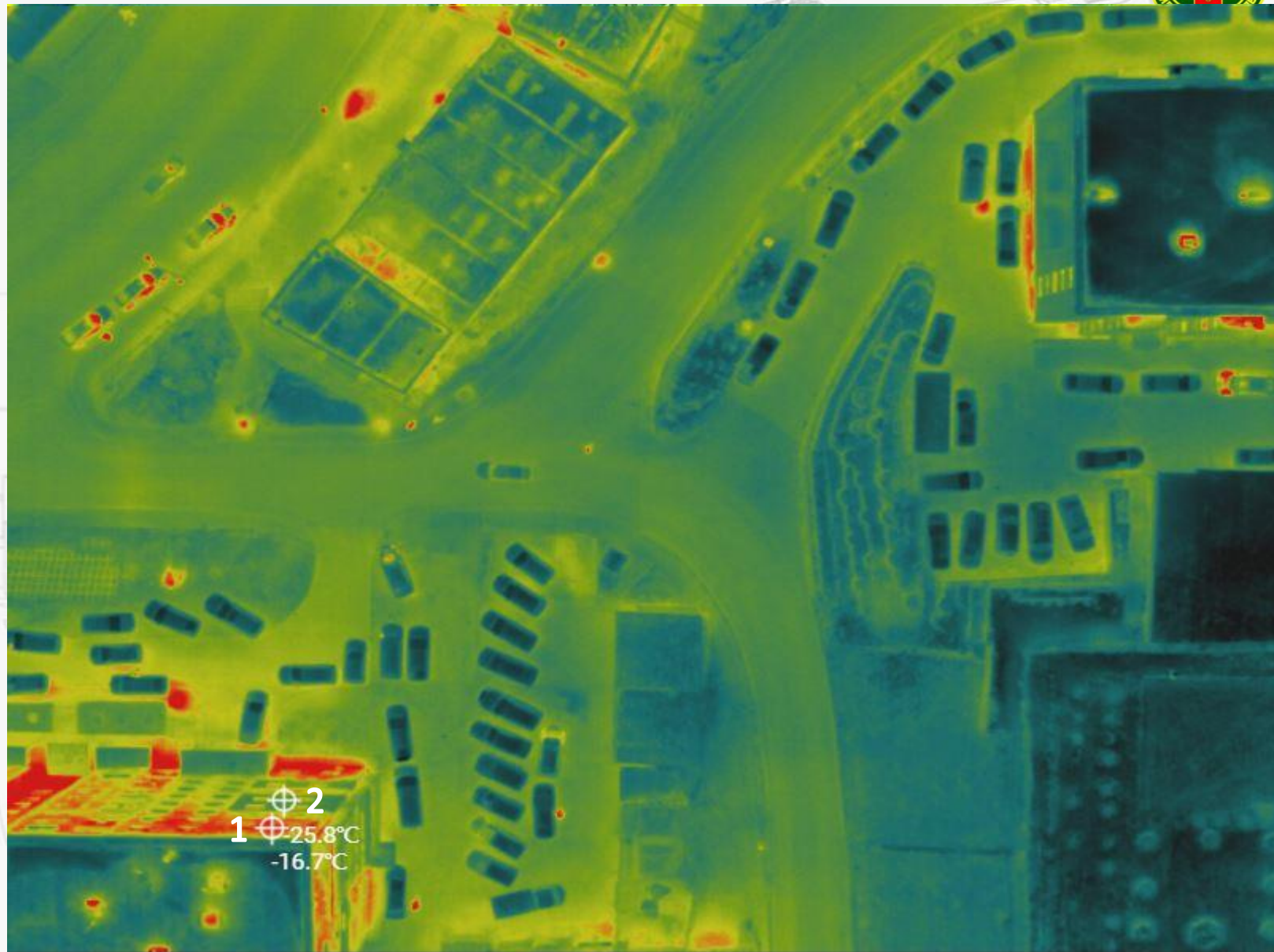
Температурын хэмжилт хийсэн цэг:

Цэг 1: - 25.8 °C

Цэг 2: - 16.7 °C

Цэгүүдийн температурын зөрүү:

Цэг 1 болон Цэг 2: -9.1°C



Хэмжилт: 5



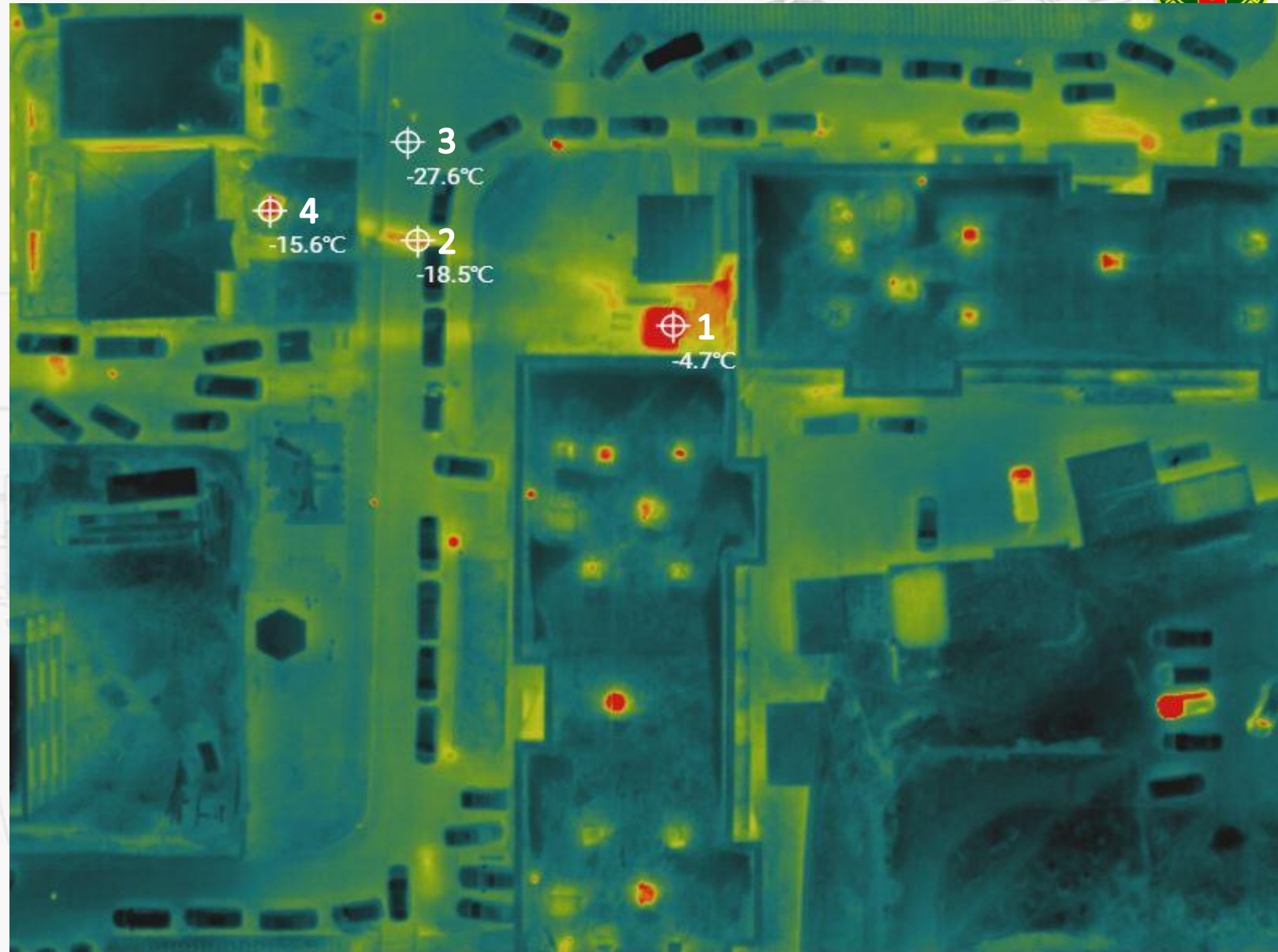
Температурын хэмжилт хийсэн цэг:

Цэг 1: -4.7°C

Цэг 2: -18.5°C

Цэг 3: -27.6°C

Цэг 4: -15.6°C



Хэмжилт: 6



Температурын хэмжилт хийсэн цэг:

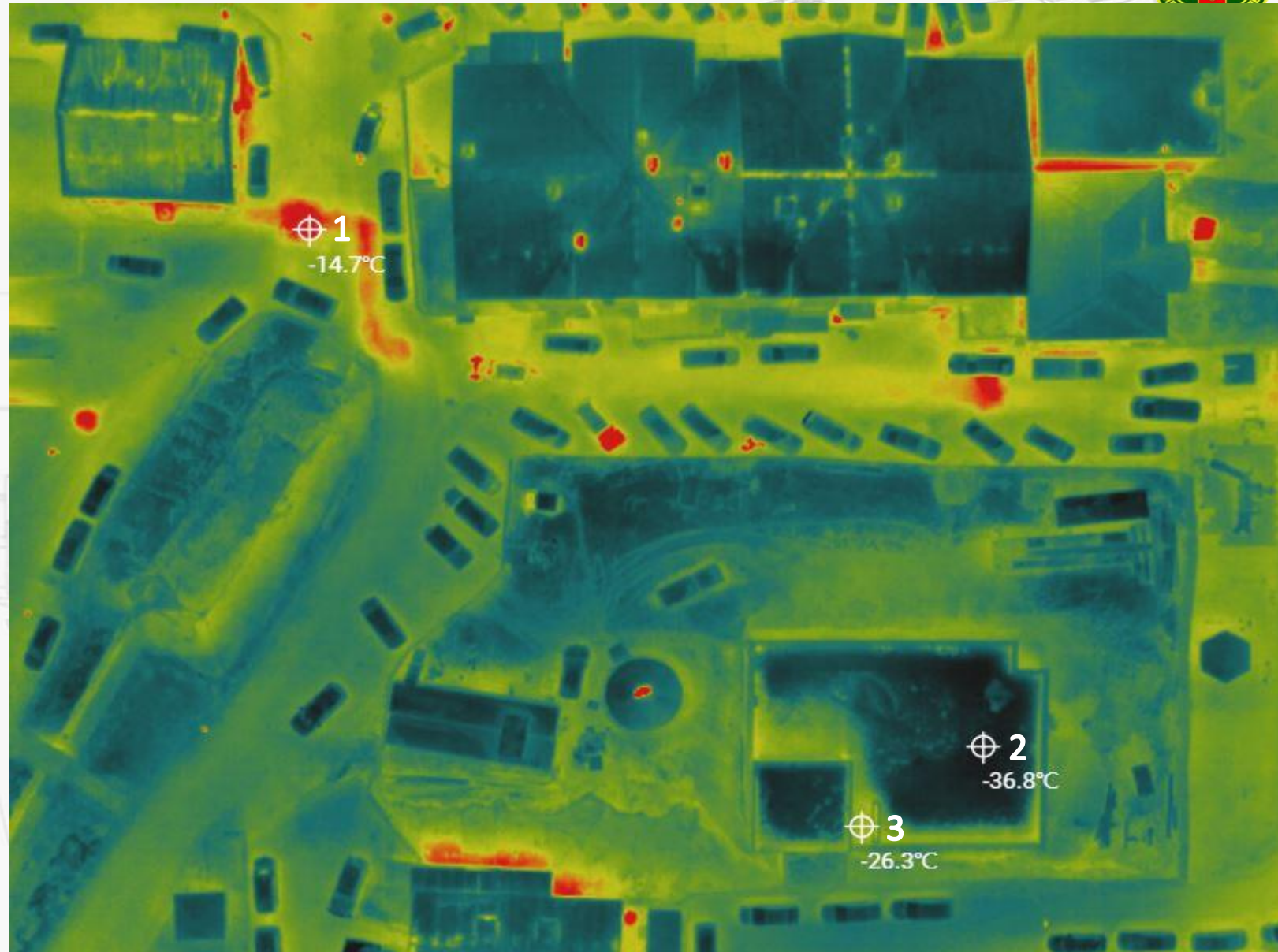
Цэг 1: -14.7°C

Цэг 2: -36.8°C

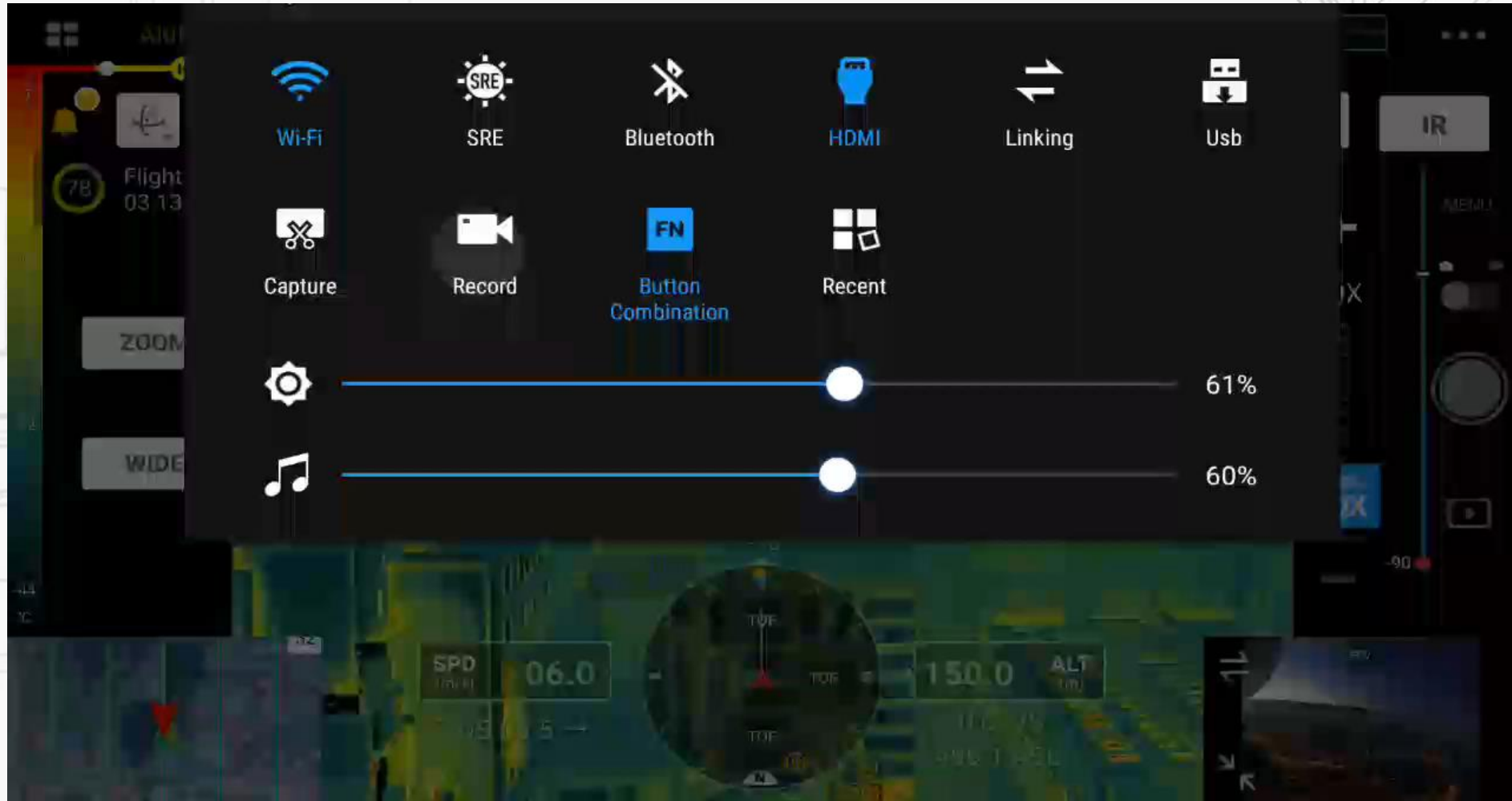
Цэг 3: -26.3°C

Цэгүүдийн температурын зөрүү:

Цэг 2 болон Цэг 3: -10.5°C



Дулааны видео зураглал





Дүгнэлт 1: Дулааны зураглал

- Дулааны камер нь биетээс ялгарч буй дулааны энергийг мэдэрсний үндсэн дээр зураглалыг хийдэг ба тухайн биет ямар нэгэн байдлаар халхлагдсан байсан ч биет зураглагдах боломжтой ба энэ давуу талыг илрүүлэх, мөрдөх гэх мэт онц чухал үйл ажиллагаанд ашиглах боломжтой.
- Дулааны зургийн нягтаршил бага байснаас хамааран бодолт, боловсруулалтын ажлууд богино хугацаанд хийгдсэн.
- Зарим тохиолдолд оптикийн зураг болон 3 хэмжээст мэдээлэл байхгүй байсан ч дулааны зургаас термограм үүсгэх боломжтой.
- Дулааны зургаас үүссэн зүйвэр зургаас температурыг тооцоолох боломжийг эрэн судлан шаардлагатай.



Дүгнэлт 2: “ГТЗ” үүсгэх боловсруулалт

- Зураглалын явцад өндөр чадавхтай үзэгдэх гэрлийн камерыг ашигласан нь бусад коптер төрлийн дрон ашиглан үүсгэсэн ГТЗ –аас газарзүйн нарийвчлал, газарзүй болон түүн дээрх объектыг бодит байдалтай нь адил байх талууд дээр өндөр давуу талуудыг үзүүлж байв.
- Өндөр чадавх бүхий камер ашигласан нь хэдий нислэгийн зураг авалтын үр дүнг илүү чанаржуулах ч зургуудийг боловсруулах үед компьютерын шуурхай санах ойд хэт өндөр ачаалал өгч байсан бөгөөд бодолт хийгдэх хугацааг хэт удаашруулж байсан учир цаашид энэ төрлийн боловсруулалт хийж буй тохиолдолд компьютер, болон бусад техник хангамжуудын хүчин чадлыг анхаарах нь чухал.
- Боловсруулалтаас өндөр чанар, нарийвчлал бүхий 3 хэмжээст загварыг үүсгэж байгаа тул энэ талаар тусад нь анхааран авч судалгааны талбайг илүү өргөн хүрээнд сонгон авах (хилийн ангиудын хариуцсан хэсэг) тал дээр тусгайлан судалгааны ажил хийх шаардлагатай.

Ерөнхий дүгнэлт



Цаашид хил орчмын нутаг дэвсгэрүүдэд дрон болон түүний дулааны зураглал болон үзэгдэх гэрлийн зураглалуудыг хослуулан ашигласнаар хилийн болон хил орчмын дэглэмийн зөрчлүүдээс урьдчилан сэргийлэх, цаг алдалгүй зөрчлүүдийг илрүүлэх, хилийн хэсгүүдийг илүү өргөн хүрээнд халхлахад өндөр нөлөө үзүүлэхүйц байна хэмээн харж байна.

Бусад орнуудын сансрын хиймэл дагуулаас зайнаас тандсан мэдээллийг Монгол улсын хилийн аюулгүй байдлыг хангахад ашиглах бус дээрх шаардлагатай мэдээллүүдийг илүү өндөр нарийвчлалтайгаар, практикт үндэслэсэн аргачлалыг ашиглан өөрсдийн мэдээллийн санг бүрдүүлж ашиглах боломжтой байгаа бөгөөд үүнийг даган ашиглаж буй техник технологийг сайжруулж, мэдээллүүдтэй харьцах чадавх бүхий албан хаагчдыг бий болгох шаардлагатай байна.

Цаашид хилийн аюулгүй байдалд дрон ашиглах тал дээр туршлага, судалгааг улам гүнзгийрүүлснээр Монгол орны хил орчим дахь хүний хүчээр хүрэхэд бэрх газар нутгуудад дрон ашиглан хяналт зохиож хүндрэлтэй хэсгүүдэд цаг алдалгүй хяналт зохиож гарч буй төрөл бүрийн эрсдэл, зөрчлүүдээс урьдчилан сэргийлэх боломж бүрдэнэ хэмээн харж байна.



Анхаарал хандуулсан таньд баярлалаа.