

ЕРӨНХИЙ БОЛОВСРОЛЫН СУРГУУЛИЙН
АХЛАХ АНГИЙН СУРАГЧДЫН

“ЭЛЕКТРОНИКИЙН АНХДУГААР ОЛИМПИАД”

“Мини - Цаг уурын станц”

Нийслэлийн Ерөнхий Боловсролын Сант сургуулийн баг

Удирдсан багш:

З. Лхамжав

Багийн гишүүд:

Г. Төгөлдөр

Э. Ариунбаяр

Г. Чойдэлгэр

Улаанбаатар 2026 он

Төслийн хураангуй

Энэхүү төсөл нь ерөнхий боловсролын сургуулийн ахлах ангийн сурагчдын Электроникийн анхдугаар олимпиадын даалгаврын хүрээнд Ардуйнод суурилсан мини цаг уурын станцын загварыг боловсруулах зорилготой. Уг олимпиадын удирдамжийн дагуу, салхины хурд, чиглэл, температур, чийгшил, атмосферийн даралтыг хэмжих мэдрэгч бүхий загварыг зохион бүтээж, хэмжилтийн өгөгдлийг дэлгэцэд харуулахын зэрэгцээ SD картанд хадгалах шийдэл боловсруулав. Даалгаврын дагуу хоёр микро орчинд туршилтын хэмжилт хийж, цуглувансан өгөгдөл дүн шинжилгээ хийн системийн ажиллагааг туршин баталгаажуулсан.

Агуулга

Төслийн хураангуй	i
Агуулга	ii
Зургийн жагсаалт	iii
Хүснэгтийн жагсаалт	iii
1. Танилцуулга	1
1.1 Төслийн зорилго	1
1.2 Төслийн зорилт	1
1.3 Судалгааны үе шат	1
1.4 Станцын бүтэц	2
2. Хөгжүүлэлт	3
2.1 Электрон эд анги	3
2.2.1 Микроконтроллёр- Arduino Nano 33 BLE Sense	3
2.2.2 Мэдрэгчид	3
2.2.3 Бусад төхөөрөмж	4
2.4. Механик эд анги	4
3 Системийн дизайн	6
3.1 Техник хангамж	6
3.2 Ажиллагаа	10
4 Туршилт	12
4.1 Туршилтын өгөгдөл цуглуулалт	12
4.1.1 Туршилтын 1-р цэг	12
4.1.2 Туршилтын 2-р цэг	12
4.2 Туршилтын үр дүн	12
5 Станцын ажиллах горимын хязгаарлалтууд	20
6 Зардал	21
7 Дүгнэлт	23
8 Ашигласан материал	24
9 Ашигласан томьёо	25
10 Хавсралтууд	25

Зургийн жагсаалт

Зураг 1 Мини-цаг уурын станцыг турших үеийн зураг.....	2
Зураг 2.Электрон холболтын схем зураг	6
Зураг 3 Удирдлагын хэсгийг суурилуулсан байдал Програм хангамж	7
Зураг 4 Дэлгэцэнд гарах мэдээлэл.....	11
Зураг 5 Туршилтын 1-р цэгийн температурын хэмжилтийн үр дүн	13
Зураг 6 Туршилтын 2-р цэгийн температурын хэмжилтийн үр дүн	13
Зураг 7 Туршилтын 1-р цэгийн агаарын чийгшлийн хэмжилтийн үр дүн	14
Зураг 8 Туршилтын 2-р цэгийн агаарын чийгшлийн хэмжилтийн үр дүн	14
Зураг 9 Туршилтын 1-р цэгийн Атмосферын даралтын хэмжилтийн үр дүн	15
Зураг 10 Туршилтын 2-р цэгийн Атмосферын даралтын хэмжилтийн үр дүн	15
Зураг 11 Туршилтын 1-р цэгт хэмжсэн салхины чиглэлийн график	17
Зураг 12 Туршилтын 2-р цэгт хэмжсэн салхины чиглэлийн график	18

Хүснэгтийн жагсаалт

Хүснэгт 1 Хадгалсан өгөгдлийн жишээ.....	11
Хүснэгт 2 Электроникийн эд ангийн зардлын тооцоолол	21
Хүснэгт 3 Механик хийц болон тэжээлийн зардлын тооцоолол.....	22
Хүснэгт 4 Нийт зардлын тооцоолол.....	22
Хүснэгт 5 Ашигласан томьёоны жагсаалт.....	25

1. Танилцуулга

Монголын Электроникийн Олимпиадын Хорооноос ЕБС-ын ахлах ангийн сурагчдын дунд зарласан “Электроникийн анхдугаар олимпиад”-д “Сант” сургуулийн 11 ангийн сурагчдаас бүрдсэн баг “Мини-Цаг уурын станцын модель” бүтээлээр оролцож байна.

Эрс тэс уур амьсгалтай манай улсад цаг уурын мэдээлэл цуглувалж, дүн шинжилгээ хийх нь эдийн засаг, нийгмийн өндөр ач холбогдолтой. Улаанбаатар хотын микро орчны судалгаа нь уур амьсгал, агаарын бохирдол, салхины тархалтын судалгаанд чухал нөлөөтэй юм.

Багийн гишүүд өмнө нь Улаанбаатар хотын агаарын бохирдлыг судлах мини станц угсарч, микро орчинд өгөгдөл цуглувалж байсан туршлагадаа үндэслэн олимпиадын хүрээнд мини-цаг уурын загварыг боловсруулахаар сонгосон.

1.1 Төслийн зорилго

Бид Ардуйно төрлийн микроконтроллёр ашиглан найдвартай ажиллагаатай цаг уурын станцыг аль болох бага өртгөөр босгох зорилт тавьсан. Төслийн судалгаа, хэрэгжүүлэлт, туршилт, дүгнэлтийн үе шатыг энэ тайландаа тусгав.

1.2 Төслийн зорилт

Энэхүү төслийн хүрээнд Ардуйно суурьтай микроконтроллёр ашиглан мини цаг уурын станцын бүтэц, ажиллах зарчмыг тодорхойлох, температур, чийгшил, агаарын даралт, салхины хурд болон чиглэлийг хэмжих тохирох мэдрэгчүүдийг сонгон авч системд нэгтгэх зорилт тавив. Мэдрэгчүүдээс ирсэн өгөгдлийг боловсруулж, дэлгэцэнд харуулах болон санах ойд хадгалах программ хангамж боловсруулах, салхины хэмжилтийн найдвартай байдлыг хангахын тулд калибрацын аргачлал хэрэгжүүлэхийг зорилоо. Үүнээс гадна станцын механик хийц, угсралтыг боломжит хамгийн бага өртгөөр шийдэх, туршилтын хэмжилт хийж системийн ажиллагаа болон авсан өгөгдлийн үр дүнг шинжилж дүгнэх зорилтуудыг хэрэгжүүлэв.

1.3 Судалгааны үе шат

Мини цаг уурын станцын загварыг боловсруулахдаа интернетийн төрөл бүрийн эх сурвалжийг ашигласан. Электроник сонирхогчдын бие даан хийсэн төрөл бүрийн цаг уурын станцуудын видео танилцуулгыг (Instructables, Youtube) үзэж, 3D загвар боловсруулах

(TinkerCad), схем зурах (EasyEda), өгөгдөл боловсруулах (WRPLOT) үнэгүй системүүд болон сонгосон элементүүдэд зориулсан ардуйногийн санг судаллаа.

1.4 Станцын бүтэц

Энэ цаг уурын станц салхины хурд, чиглэл хэмжигч анемометр, агаарын даралт, чийгшил, температур хэмжих хэсэг, өгөгдөл боловсруулж хадгалах үндсэн хэсэг, баттерэй тэжээлийн хэсгээс бүтнэ. Мөн төслийн явцад электроникийн угсралт, тэжээлээс гадна механик эд анги, хийцийн асуудлыг хямд төсөрт аргаар шийдсэн.



Зураг 1 Мини-цаг уурын станцыг түвших үсийн зураг.

2. Хөгжүүлэлт

2.1 Электрон эд анги

2.2.1 Микроконтроллёр- Arduino Nano 33 BLE Sense



Цаг уурын станцын үндсэн удирдлагын нэгжээр Arduino Nano 33 BLE Sense микроконтроллёрын модулийг сонгож ашигласан. Энэ нь nRF52840 микроконтроллёрт суурилсан, 3.3 V логик түвшинд ажилладаг, Bluetooth холболт дэмждэг, sleep горимтой тэжээлд хэмнэлттэй. Өртөг бага загвар бүтээх зорилготой тул өмнө ашиглаж байсан 2019 оны загварыг ашиглахаар сонгосон. (Arduino, 2026)

2.2.2 Мэдрэгчид

SHT31

Температур, чийгшил мэдрэгч - SHT31 нь орчны агаарын нехцэл байдлыг мэдрэч хэмжих зориулалттай өндөр нарийвчлалтай мэдрэгч юм. Цаг уурын хэмжилтийн төхөөрөмжүүдэд өргөнөөр ашиглагддаг. (Sensirion, 2022)

BMP280

Агаарын дараалт хэмжихэд BMP280 мэдрэгчийг ашигласан. Энэ мэдрэгчийн тусламжтайгаар өгөгдөл цуглуулах явцад агаарын даралтыг ажиглаж, өндрийн хувьд ялгаатай байрлалд агаарын дараалт ялгаатай байгааг тодорхойлсон. (Bosch, 2015)

GY-273/HMC5883L

Салхины чиглэлийг тодорхойлохдоо GY-273/HMC5883L соронзон орон хэмжигч модуль ашигласан. Мэдрэгч нь дэлхийн соронзон орныг гурван хэмжээсээр хэмждэг, I²C портоор өгөгдөл дамжуулдаг. Салхин сумны голд байрлуулсан соронзын туйл өөрчлөгдөхийг мэдэрснээр дэлхийн хойд туйлтай харьцангуй сумны чиглэлээр салхины чиглэлийг тооцоолох боломжтой. (Honeywell, 2013)

A3144

Салхины хурд хэмжих аяган анемометрт холл эфект сенсор байрлуулсан. Салхины хүч аяганда үйлчилж эргэхэд, голд байрлуулсан соронзны эргэлтийг холл эфект сенсор мэдрэч тоон пульс илгээнэ. Энэ тоон пульсийг тоолж, тохируулга хийснээр салхины хурдыг тооцоолох боломжтой болсон. Тоон пульс хэмжих нь илүү найдвартай гэж үзсэн тул энэ аргыг сонгосон. (Allegro, 1999)

2.2.3 Бусад төхөөрөмж 0.91 Inch OLED Display

Цаг уурын өгөгдлийг бодит цагийн горимд харуулахад 0.91-инч хэмжээтэй OLED дэлгэц ашигласан. Энэ дэлгэц мөн I²C протокол ашигладаг, тэжээл ашиглалт багатай. (Visnay, 2017)

DS3231

Хэмжилт хийх, өгөгдөл цуглуулж хадгалахад цаг хугацааны үзүүлэлт чухал бөгөөд энэ зориулалтаар DS3231 RTC модулийг ашиглаж, туршилт, хэмжилтийг бодит цагийн өгөгдөлтэйгөөр хийж, хадгалах боломжтой болсон. (Dallas Semiconductor, 2005)

Wemos SD Card Modul

Өгөгдөл хадгалах SD карт уншигчаар Wemos D1 Mini SD Card Shield модулийг ашигласан. Үүний тусламжтайгаар хэмжилтийн өгөгдлөө хадгалж, цуглуулсан. (Wemos, 2022)

Баттерэй, удирдлагын модуль

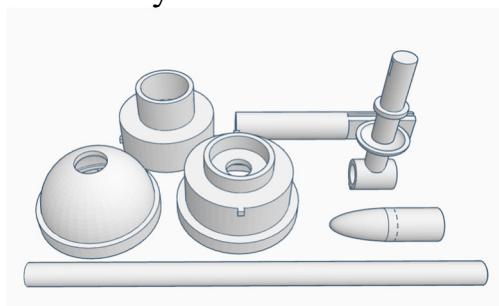
Станцыг гадаа орчинд ажиллуулахад баттерэй ашиглах шаардлагатай. Энэ шаардлагыг 3.7В, 2200mA үзүүлэлттэй 3 баттерэйг зэрэгцээ холбож, баттерэй удирдлагын модуль ашиглан шийдсэн. Мөн цахилгаан хангамжгүй нөхцөлд удаан ажиллахад бие даасан эх үүсвэрээр хангах зориулалтаар 5V гаралттай нарны хавтан ашиглаж болно.

Эх хавтан, кабель

Станцын электрон угсралтыг протобоард ашиглан хийсэн. Ойр байрлах элементүүдийг Дюопонт кабелиар холбож, алслагдсан мэдрэгчдийг гаднын нөлөөллөөс сэргийлэх зорилгоор эрчлээстэй UTP кабелиар холбож шийдсэн.

2.4. Механик эд анги

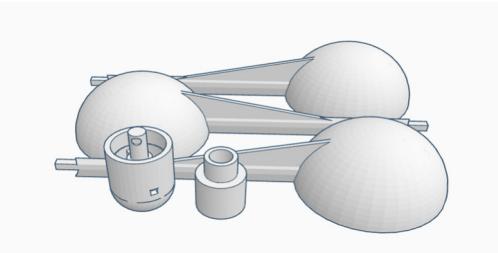
Салхин сум



Салхин сумын загварыг TinkerCad программ ашиглан гаргасан. Загвар нь сум, сум болон соронзонг тогтоох гол, голтой холбох холхивчийг тогтоох суурь, мэдрэгчийн гэр, хоолойд холбох хэсгүүдээс тогтоно.

Аяган анемометр

Аяган анемометрийн загварыг мөн TinkerCad программ ашиглан хийсэн. Энэ



Стивенсон скрийн



Удирдлагын хайрцаг



нь хоорондоо 120 хэм өнцөг үүсгэх гурван аяган сэнс, сэнсний гол, гол дээр байрлах соронз, хоолойд холбох суурь болон холхивчоос тогтоно.

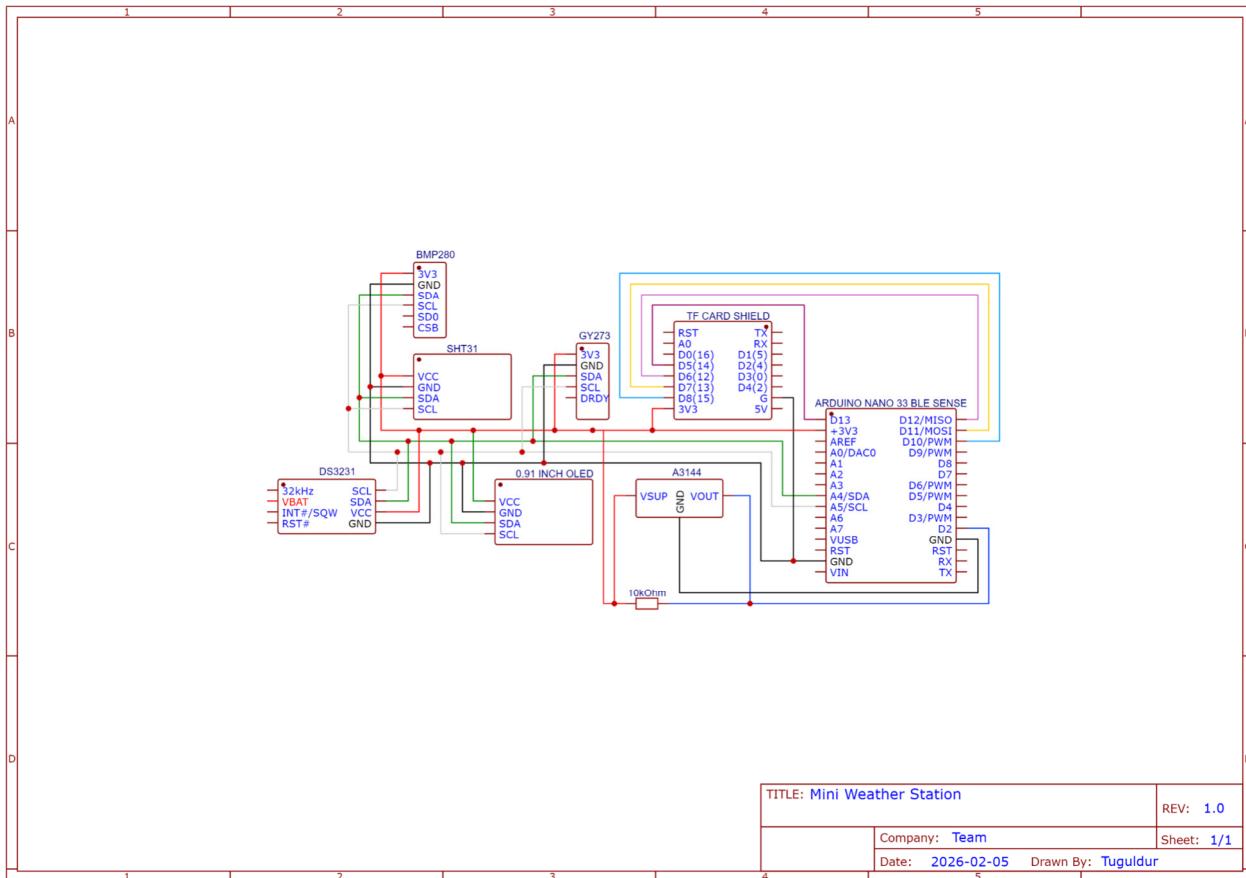
Агаарын даралт, температур хэмжигчийг гадны нөлөөллөөс хамгаалахад Стивенсон скрийн дотор байршуулах шаардлагатай. Төслийг өртөг багатай босгох зорилгыг хангахын тулд хямд өртөгтэй скрийн ашиглаж хоёр мэдрэгчийг дотор нь байршуулсан.

Удирдлага болох Ардуйно контроллёрыг байрлуулахдаа IP65 стандартыг хангасан, жижиг оврын, хямд өртөгтэй цахилгааны хайрцаг ашигласан. Уг хайрцагт контроллёр, дэлгэц, SD карт уншигч, тэжээлийг хамт байршуулав. Дотор угсралтын тулгуур, бэхэлгээг лего блок ашиглан хийсэн.

3 Системийн дизайн

3.1 Техник хангамж

Станцын үндсэн удирдлагын хэсгийн схемийг EasyEda програм ашиглан боловсруулсан.

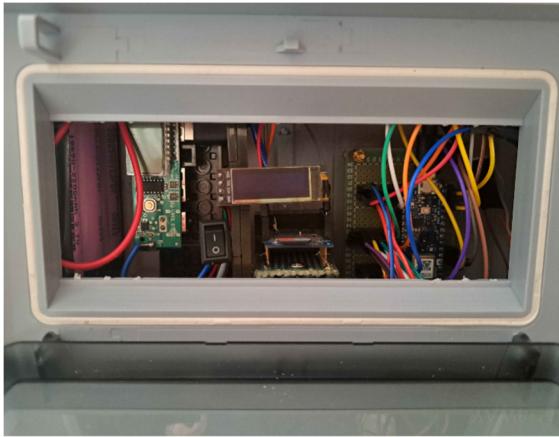


Зураг 2. Электрон холболтын схем зураг

Угсралтыг брэдбоард дээр туршсаны дараа, протобоард дээр хөл гагнаж электрон элементүүдээ суулгасан.

Салхины зүг тодорхойлох Gy-273 соронзон орон хэмжигч, хурд хэмжих A3144 холл эфект мэдрэгчүүдийг 3D принтерээр хэвлэсэн сууринд суурилуулсан. Суурийг агааржуулалтын PVC хоолойд тогтоож, хоолойг 50мм диаметртэй сантехникийн хоолойд хөндлөн суурилуулсан.

Анемометр, мэдрэгч агуулах стивенсон скрийн, удирдлагын хайрцгийг хамтад нь modoор хийсэн суурь дээр бэхэлсэн.



Зураг 3 Удирдлагын хэсгийг суурилуулсан байдал *Програм хангамж*

Цаг уурын станцын тэжээлийн эх үүсвэр болгон 3 ширхэг 2200 mAh багтаамжтай литий-ионы (Li-ion) зайнг параллель холболтоор ашигласан. Нэг зайн нэрлэсэн хүчдэл 3.7 V гэж үзвэл нийт системийн багтаамж 6600 mAh болж, энергийн нөөц ойролцоогоор 24.4 Wh ($3.7 \text{ V} \times 6.6 \text{ Ah}$) байна.

Энэхүү төсөлд дараах Ардуино санг ашигласан.

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#include <Adafruit_BMP280.h>
#include <Adafruit_HMC5883_U.h>
#include <ArduinoBLE.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <RTCLib.h>
```

Станцыг асаахад код ажиллах ба эхний зургаан секундэд GY-273 соронзон орон хэмжигч Хойд туйлын чиглэлийг тодорхойлно. Үүний дараа систем бүх мэдрэгчийн өгөгдлийг уншиж эхэлнэ. Станцыг бүрэн асааж дуусахын өмнө соронзон интерференц үүсгэхгүйн тулд салхин сумыг авсан байна. Тохируулгын хугацаа дуусахад салхин сумыг буцааж суулгана.

Хойд туйлын мэдээллийг микроконтроллёрын EEPROM буюу санах ойд бичих боломжгүй. Учир нь станц нь зөөврийн ажиллагаатай тул, хойд туйлтай харьцангуй байрлал тухай бүр өөр байна. Ийм учраас системийг асаах бүрд салхины чиглэлийг зөв тодорхойлох зорилгоор тохируулах шаардлагатай.

```
// wind direction
```

```

float declinationAngle = 0.0;
float directionOffset = 0.0;

// magnetometer initial offsets
float magOffsetX = 0.0;
float magOffsetY = 0.0;
float magScaleX = 1.0;
float magScaleY = 1.0;

// north
bool calibratingNorth = true;
unsigned long northCalStart = 0;
float headingSum = 0.0;
int headingSamples = 0;

float headingDegrees = NAN;

String directionName(float deg) {
    if (deg >= 337.5 || deg < 22.5) return "N";
    if (deg < 67.5) return "NW";
    if (deg < 112.5) return "W";
    if (deg < 157.5) return "SW";
    if (deg < 202.5) return "S";
    if (deg < 247.5) return "SE";
    if (deg < 292.5) return "E";
    return "NE";
}

void computeWind() {
    sensors_event_t event;
    mag.getEvent(&event);

    float mx = -(event.magnetic.y - magOffsetY) * magScaleY;
    float my = (event.magnetic.x - magOffsetX) * magScaleX;

    if (abs(mx) > 0.01 || abs(my) > 0.01) {
        float heading = atan2(my, mx);
        heading += declinationAngle;
    }
}

```

```

if (heading < 0) heading += 2 * PI;
if (heading >= 2 * PI) heading -= 2 * PI;

float rawHeadingDeg = heading * 180.0 / PI;

if (calibratingNorth) {
    headingSum += rawHeadingDeg;
    headingSamples++;

    if (millis() - northCalStart >= 6000) {
        float avgHeading = headingSum / headingSamples;
        directionOffset = 360.0 - avgHeading;
        if (directionOffset >= 360) directionOffset -= 360;

        calibratingNorth = false;

        Serial.print("North calibrated. Offset = ");
        Serial.println(directionOffset, 1);
    }
}

headingDegrees = rawHeadingDeg + directionOffset;
if (headingDegrees >= 360) headingDegrees -= 360;
}
}

```

Мөн станц нь 5 секунд тутам өгөгдлийг хэмжиж, хадгална. Салхины хурдыг 5 секундын хугацаанд хэмжсэн хэмжилтийн дунджаар тооцоолж гаргана. Анемометрт холл эфект мэдрэгч ашигласан тул уг мэдрэгчийн пульс бүр нь анемометр нэг бүтэн эргэснийг илэрхийлнэ.

```

// wind speed
volatile unsigned long pulseCount = 0;
volatile unsigned long lastPulseTime = 0;
const int magnets = 1;
const float radius = 0.175;          // meters (axis -> cup center)
const float calibration = 7.81;     // anemometer factor = (known wind
speed / pulse frequency) [ k = v / f ]
const unsigned long POST_INTERVAL = 5000; // 5 seconds

```

```

unsigned long lastPostTime = 0;

float wind_ms = NAN;
float wind_kmh = NAN;

void computeWindSpeed() {
    noInterrupts();
    unsigned long pulses = pulseCount;
    pulseCount = 0;
    interrupts();

    float frequency = pulses / (5.0 * magnets);

    wind_ms = frequency * calibration;
    wind_kmh = wind_ms * 3.6;

    if (pulses == 0) {
        wind_ms = 0.0;
        wind_kmh = 0.0;
    }
}

```

3.2 Ажиллагаа

Станц нь 5 секунд тоолсны дараа агаарын хэм, чийгшил, даралтын мэдээллийг дэлгэцэд шинэчилж, SD картад цаг, хугацаатай хадгална. Arduino Nano 33 BLE Sense микроконтроллёр нь Bluethooth холболтын боломжтой тул мөн nRF Connect аппликашн ашиглан дан өгөгдлийг гар утас руу дамжуулах боломжтой.

Мини-цаг уурын станц нь цаг агаарын үзүүлэлтийг дэлгэцэд харуулахын зэрэгцээ SD картад хадгалж Өгөгдлийг дээр дурдсанчлан 5 секунд тутам бодит цагийн мэдээллийн хамтаар хадгална. Өгөгдлийг csv форматаар 5 секунд тутам хадгална. Хэмжилтийн үеийн дэлгэцийн мэдээлэл болон өгөгдлийн хүснэгтийн жишээг доор үзүүлэв.



Зураг 4 Дэлгээнд гарах мэдээлэл

Date	Time	Temp (C)	Hum (%)	Pressure (hPa)	Wind Direction	Cardinal Direction	Wind Speed (m/s)
2026-2-8	12:14:13	-13.3	46.6	870.8	327.1	NE	12.5
2026-2-8	12:14:18	-13.2	46.7	870.7	0	N	9.37
2026-2-8	12:14:23	-13.3	46.6	870.5	20.1	N	15.62
2026-2-8	12:14:28	-13.2	46.5	870.8	349.6	N	15.62
2026-2-8	12:14:33	-13.2	46.4	870.8	351	N	18.74
2026-2-8	12:14:38	-13.2	46.3	870.8	334.4	NE	14.06

Хүснэгт 1 Хадгалсан өгөгдлийн жишиэ

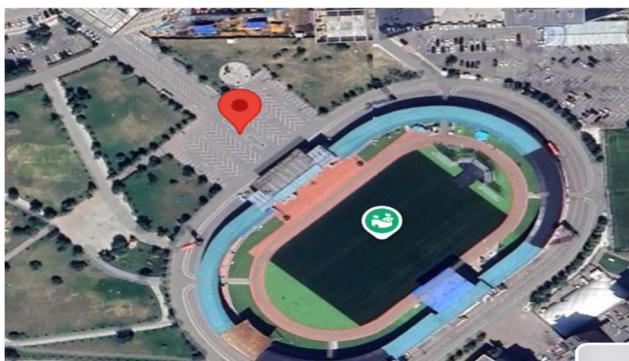
4 Туршилт

4.1 Туршилтын өгөгдөл цуглуулалт

Мини-цаг уурын станцын өгөгдөл цуглуулах туршилтыг 2026 оны 2 дугаар сарын 8-ны өдөр хийж 12-13 цагийн хооронд хийж ажиллагааг шалгасан. Туршилтыг хоёр цэгт тус бүрд 17-18 минутын хугацаатайгаар хийсэн, станцыг тухайн байрлалд 1,4м өндөр хөл дээр суурилуулж гүйцэтгэсэн.

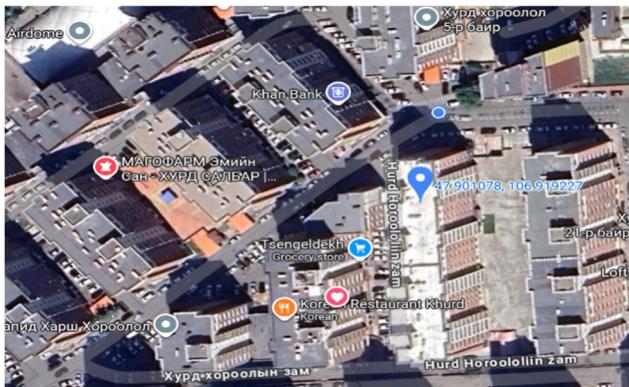
4.1.1 Туршилтын 1-р цэг

Байрлалын координат: 47°54'10.32" N, 106°54'54.77" E



Орчны тайлбар: Энэ цэг нь Төв цэнгэлдэх хүрээлэнгийн баруун хойд талд, машины зогсоолд байрлах бөгөөд эргэн тойрон 100-200 метрт томоохон барилга үгүй боловч, өндөр барилгуудын дунд байрлалтай. Хэмжилт хийх үед нарлаг, мэдрэгдэхүйц салхитай байв.

4.1.2 Туршилтын 2-р цэг



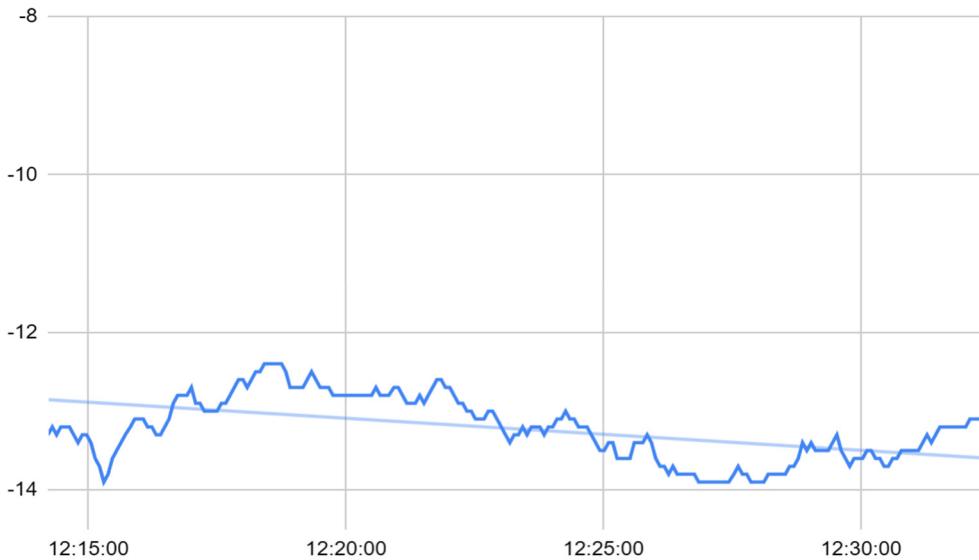
Байрлалын координат: 47°54'03.6"N
106°55'09.9"E

Орчны тайлбар: Туршилтын хоёрдугаар цэгээр орон сууцны 9 давхар байрны дээвэр, хөрснөөс ойролцоогоор 28 м өндөрт сонгов. Салхины хурд, чигийг аль болох өндөрт хэмжих зорилгоор энэ цэгийг сонголоо.

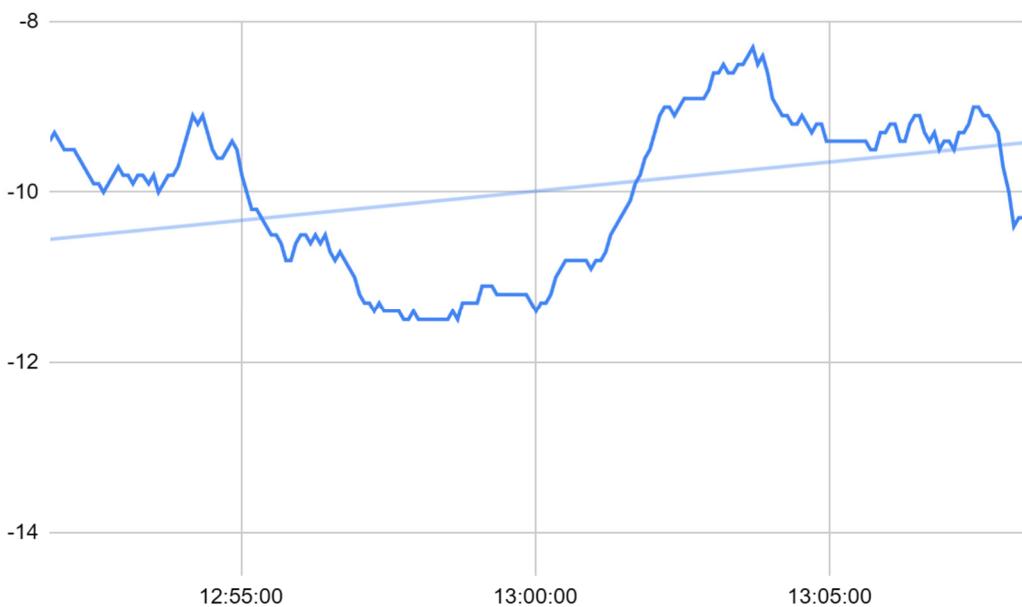
4.2 Туршилтын үр дүн

Газар дээрх температурын хэмжилт ойролцоогоор 18 минут үргэлжилсэн бөгөөд -12.4 °C-aas -13.9 °C хооронд хэлбэлзсэн байна. Статистик боловсруулалтын дүнд температурын дундаж -13.23 °C, медиан -13.2 °C, стандарт хазайлт 0.40 °C гарсан нь богино хугацаанд температур харьцангуй тогтвортой байсныг илтгэнэ. Хэлбэлзлийн хэмжээ бага, ерөнхий чиг хандлага аажмаар буурах байв. Харин дээврийн түвшинд хийсэн хэмжилт ойролцоогоор 17 минут үргэлжилж, температур -11.5 °C-aas -8.3 °C хооронд өөрчлөгдсөн. Дээврийн

температурын дундаж -9.99°C , медиан -9.8°C , стандарт хазайлт 0.90°C байсан нь газар дээрх хэмжилттэй харьцуулахад илүү их хэлбэлзэлтэй, тогтвржилт сул байсныг харуулж байна. Үүний үр дүнд дээврийн температур газар дээрхээс дунджаар ойролцоогоор 3°C -аар өндөр байжээ.



Зураг 5 Түршилтын 1-р цэгийн температурын хэмжилтийн үр дүн



Зураг 6 Түршилтын 2-р цэгийн температурын хэмжилтийн үр дүн

Чийгшлийн хувьд газар дээрх хэмжилтийн дундаж 46.29 %, медиан 46.1 %, стандарт хазайлт 1.10 % байсан бөгөөд 44.7–47.3 %-ийн хүрээнд тогтвортой хэлбэлзсэн байна. Эдгээр утгад үндэслэн тооцоолсон шүүдрийн цэг (dew point) дунджаар -22.3°C орчим гарсан. Харин дээврийн түвшинд чийгшлийн дундаж 44.09 %, медиан 43.8 %, стандарт хазайлт 1.50 % байсан ба 41.3–46.8 %-ийн хооронд илүү их, хурдан хэлбэлзэл ажиглагдсан. Дээврийн шүүдрийн цэг дунджаар -19.9°C орчим байсан нь агаарын температур өндөр байсантай холбоотой. Үүгээр газар дээр чийгшил харьцангуй өндөр, тогтвортой, харин дээвэр дээр чийгшил бага боловч илүү тогтвортой байв.

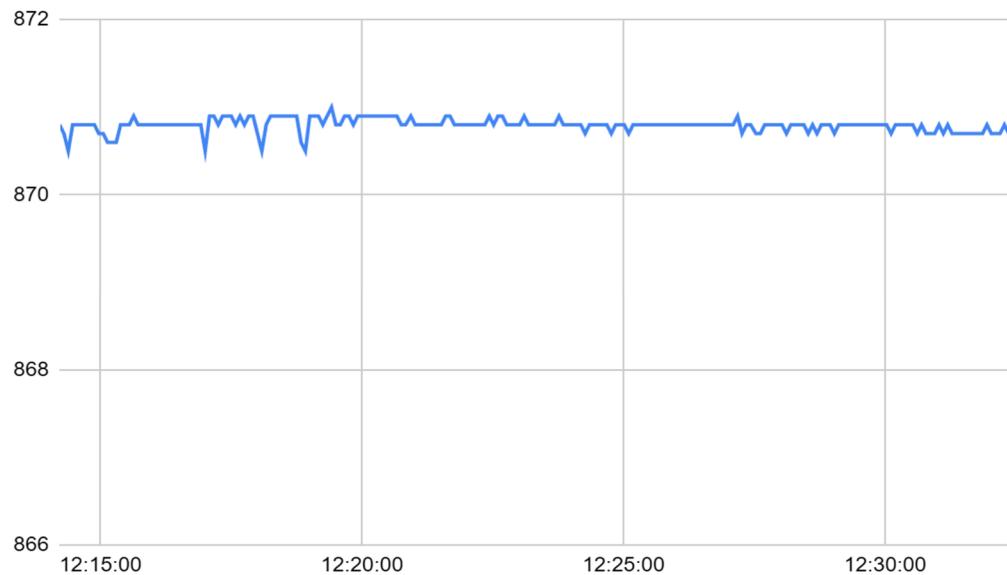


Зураг 7 Түршилтын 1-р цэгийн агаарын чийгшилийн хэмжилтийн үр дүн

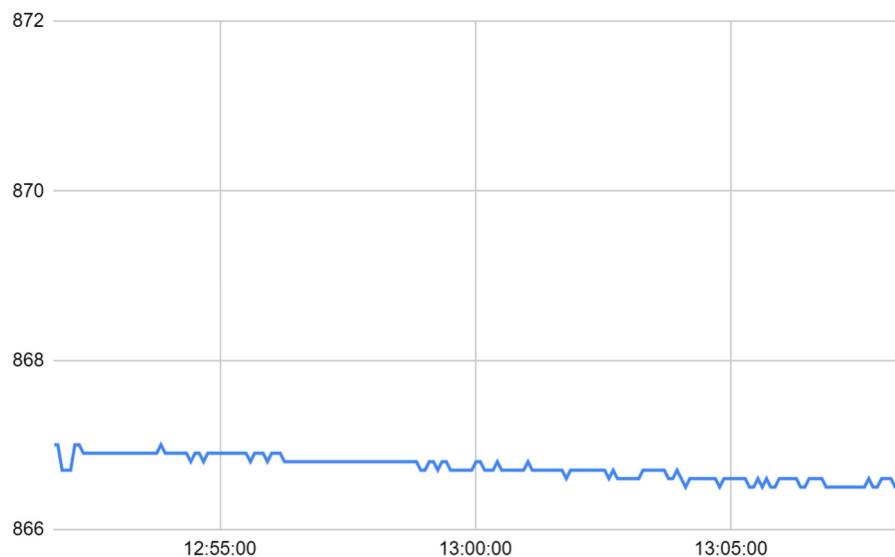


Зураг 8 Түршилтын 2-р цэгийн агаарын чийгшилийн хэмжилтийн үр дүн

Атмосферын даралтын хэмжилтэд газар дээр даралтын дундаж 870.80 hPa, медиан 870.8 hPa, стандарт хазайлт 0.08 hPa байсан бол дээврийн түвшинд дундаж 866.73 hPa, медиан 866.7 hPa, стандарт хазайлт 0.14 hPa тус гарсан. Богино хугацааны хэлбэлзэл хоёр түвшинд бараг ялгаагүй байсан бөгөөд нийт даралтын зөрүү нь үндсэндээ хэмжилтийн өндрийн ялгаатай байдалтай холбоотой байна.



Зураг 9 Түршилтын 1-р цэгийн Атмосфераын даралтын хэмжилтийн үр дүн



Зураг 10 Түршилтын 2-р цэгийн Атмосфераын даралтын хэмжилтийн үр дүн

Газар дээрх түвшинд агаарын температур тогтвортой хүйтэн, стандарт хазайлт харьцангуй бага байсан нь агаарын доод үе давхаргад тогтвортой, нягт хүйтэн агаарын хуримтлал үүссэнийг илтгэнэ. Өвлийн нөхцөлд газрын гадаргын цацрагийн хөрөлт (radiative cooling) эрчимтэй явагдсанаар гадаргад ойр агаар хөрж, нягтрал нэмэгдэж, босоо чиглэлд тогтвортой (stable stratification) давхарга бүрэлддэг. Ийм тогтвортой стратификацийн үед босоо турбулент солилцоо (vertical turbulent mixing) саарч, температурын богино хугацааны хэлбэлзэл багасах хандлагатай байдаг. Энэ нь газар дээрх хэмжилтийн стандарт хазайлт бага, мөн медиан, дундаж утгууд ойролцоо байдалтай нийцэж байна.

Чийгшлийн хувьд газар дээр харьцангуй чийгшил өндөр бөгөөд стандарт хазайлт бага байсан нь тогтвортой хүйтэн давхаргад усны уурын тархалт жигд, конвектив солилцоо сул явагдсаны илрэл юм. Харин дээврийн түвшинд температур өндөр байсантай уялан харьцангуй чийгшлийн хувь буурч, стандарт хазайлт ихэссэн нь агаарын холилдолт, массын шилжилт илүү идэвхтэй байсныг илтгэнэ.

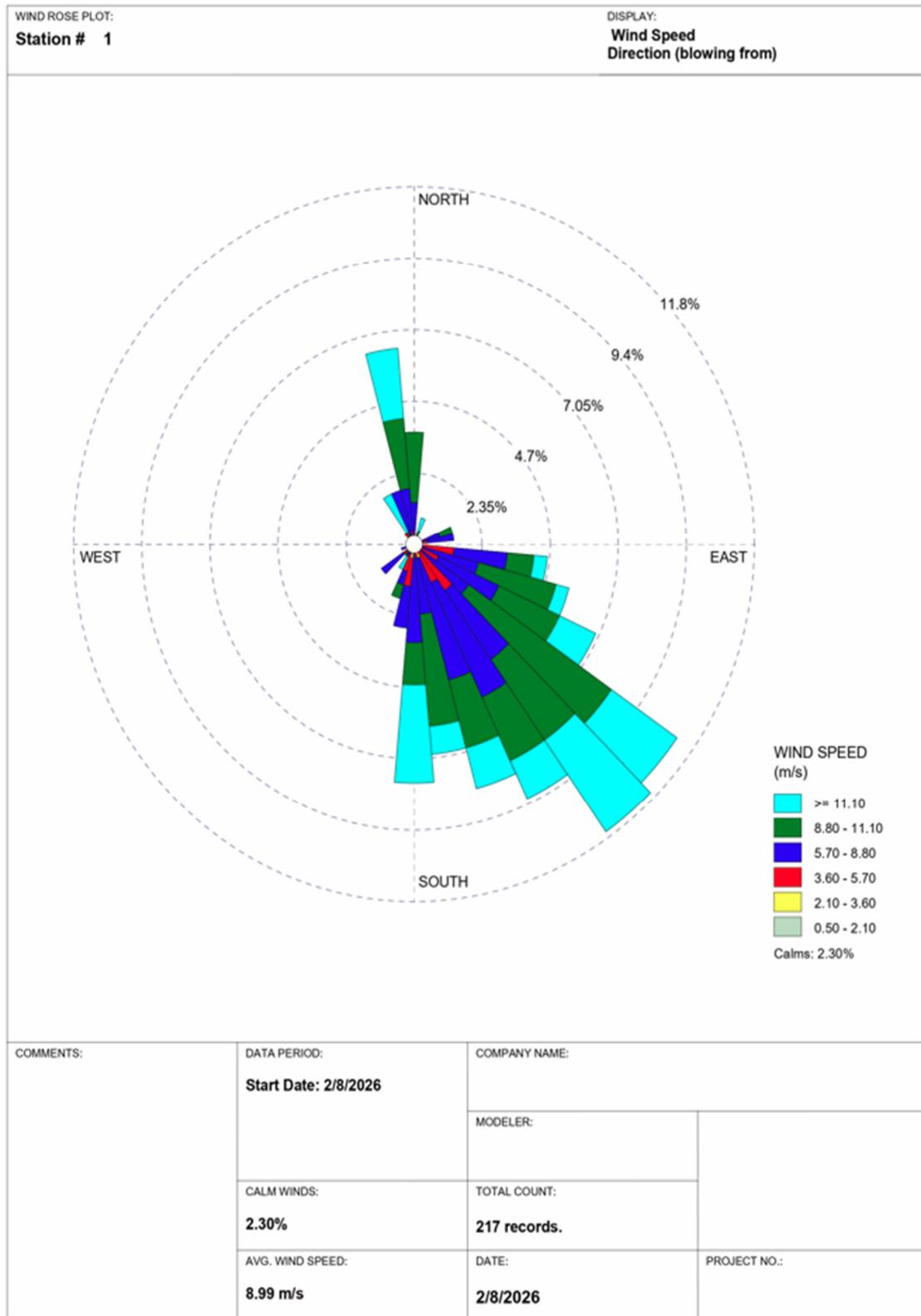
Даралтын зөрүү нь гидростатик тэгшитгэлийн дагуу өндрийн ялгаатай пропорциональ өөрчлөгдөх тул хоёр түвшний дундаж даралтын тогтвортой зөрүү нь хэмжилтийн өндрийн ялгаатай нийцэж байна.

Туршилтын хоёр цэгийн хэмжилтийн өгөгдлийг WRPLOT View Freegate 8.02 програмд оруулж салхины чиглэлийн шинжилгээг хийсэн.

Салхины хурдны хувьд газар дээр дундаж 8.99 м/с, медиан 9.37 м/с, стандарт хазайлт 3.54 м/с байсан бөгөөд хамгийн их утга 24.99 м/с хүрсэн. Салхигүй төлөв нийт хугацааны 2.30% эзэлсэн. Харин дээврийн түвшинд салхины хурдны дундаж 4.86 м/с, медиан 4.69 м/с, стандарт хазайлт 3.43 м/с, дээд хурд 18.74 м/с байсан бөгөөд салхигүй үе 17.97% эзэлсэн байлаа.

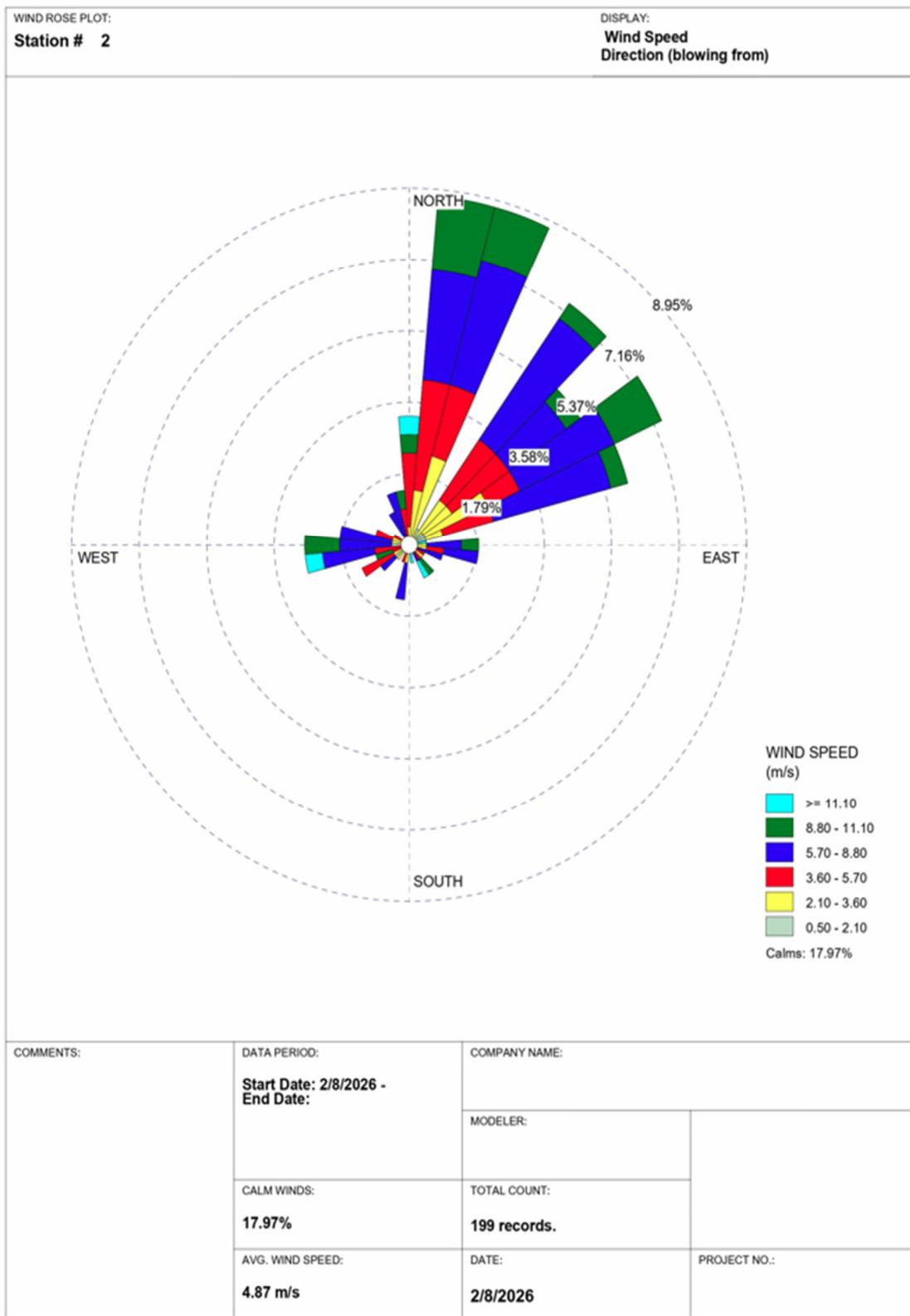
Салхины хурдны ялгааг ажиглахад газар дээр салхи илүү тогтвортой, тасралтгүй бүртгэгдсэн бол дээврийн түвшинд салхигүй болон сул үе илүү олон байсан. Энэ ялгааг агаарын босоо температурын бүтэц болон орчны дулааны тогтвортой байдлаар тайлбарлах боломжтой.

Салхины чиглэлээр боловсруулсан графикийг дараах зурагт үзүүлэв.



WRPLOT View - Lakes Environmental Software

Зураг н 1 Түвшинтын 1-р цэгт хэмжсэн салхины чиглэлийн график



WRPLOT View - Lakes Environmental Software

Зураг 12 Түвшилтүүн 2-р цэгт хэмжссэн салхины чиглэлийн график

Өвлийн нөхцөлд, ялангуяа хот суурин газрын орчинд хотын инверс (urban temperature inversion) үүсэх магадлал өндөр байдаг бөгөөд энэ үед доод давхаргад хүйтэн, нягт агаар хуримтлагдаж, дээр нь харьцангуй дулаан агаарын давхарга тогтдог (Е.Батчулуун, 2023). Хэрэв доод давхаргад температурын ялгарал (vertical gradient) тогтвортой байвал механик хөдөлгөөн тасралтгүй хадгалагдаж, салхи тогтмол бүртгэгдэх боломжтой. Харин дээврийн түвшинд температурын хэлбэлзэл их, дулааны нөхцөл илүү хувьсамтгай байсан нь агаарын хөдөлгөөн тогтвортой бус, богино хугацаанд сулрах нөхцөл бүрдүүлсэн байж болно.

5 Станцын ажиллах горимын хязгаарлалтууд

Температур болон харьцангуй чийгшил хэмжихэд ашиглагдсан SHT31 мэдрэгч нь -40°C -aac 125°C хүртэлх температурын, 0–100 % RH хүртэлх чийгшлийн хүрээнд ажиллах зориулалттай. Үйлдвэрлэгчийн мэдээллээр температурын стандарт алдаа нь ойролцоогоор $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$, харин чийгшлийн алдаа нь $\pm 2\%$ RH байна.

Агаарын даралт хэмжихэд ашиглагдсан BMP280 мэдрэгч нь 300–1100 hPa даралтын хүрээнд ажиллах бөгөөд стандарт атмосферийн нөхцөлд тохиromжтой. Даралтын абсолют хэмжилтийн алдаа нь ойролцоогоор ± 0.12 hPa орчим байдаг. Ажиллах температурын муж нь -40°C -aac $+85^{\circ}\text{C}$ байна.

GY-273 (HMC5883L) соронзон мэдрэгч нь салхины чиглэлийг тодорхойлоход ашиглагдсан бөгөөд гурван тэнхлэгийн соронзон орны хэмжилт дээр үндэслэн чиглэлийг тооцоолдог. Үйлдвэрлэгчийн мэдээллээр чиглэлийн хэмжилтийн алдаа нь ойролцоогоор 1–2 градусын хүрээнд хэлбэлздэг. Ажиллах температурын хязгаар нь -40°C -aac $+85^{\circ}\text{C}$ байна.

DS3231 RTC модуль нь температурын компенсацтاي кварц генератор ашигладаг бөгөөд өндөр нарийвчлалтай цагийн тоолол хангадаг. Үйлдвэрлэгчийн үзүүлэлтээр цагийн алдаа нь ойролцоогоор ± 2 ppm -ээс ± 3.5 ppm-ийн хооронд байна. Тус модуль нь -40°C -aac $+85^{\circ}\text{C}$ температурын мужид хэвийн ажиллах зориулалттай.

Төслийн үндсэн микроконтроллер болох Arduino Nano 33 BLE Sense хавтан нь ойролцоогоор -40°C -aac $+85^{\circ}\text{C}$ хүртэлх орчны температурт ажиллах техникийн үзүүлэлттэй. Системийн тэжээлийн эх үүсвэр болгон ашигласан литий-ион (Li-ion) зайн нь ихэнх үйлдвэрлэгчийн үзүүлэлтээр -20°C -aac $+60^{\circ}\text{C}$ орчимд ажиллах боломжтой бөгөөд -20°C -aac доош температурт багтаамж эрс буурч, гүйдэл өгөх чадвар сулрах, дотоод гэмтэл үүсэх эрсдэл нэмэгддэг. Иймд -20°C -aac доош орчны нөхцөлд зайл ашиглахгүй байх шаардлагатай. Иймээс эрс хүйтэн нөхцөлд зайл хэвийн ажиллагааг хангахын тулд дулаалж, халаах шаардлага үүснэ.

6 Зардал

Төслийн электроник эд ангийн зардлын тооцооллыг дараах хүснэгтэд үзүүлэв.

№	Нэр	Загвар, үзүүлэлт	Нэгж үнэ	Тоо	Нийт үнэ	Тайлбар
ЭЛЕКТРОНИКИЙН ЭД АНГИ						
1	Контроллёр	Arduino Nano BLE 33	₮35,000.00	1	₮35,000.00	2019 оны контроллёр тул үнийг ойролцоогоор тооцсон
2	RTC модуль	Ds3231	₮3,104.90	1	₮3,104.90	Taobao үнэ
3	Температур, чийгшлийн мэдрэгч	SHT31	₮2,497.59	1	₮2,497.59	Taobao үнэ
4	Агаарын даралт, температурын мэдрэгч	BMP280	₮8,026.40	1	₮8,026.40	Taobao үнэ
5	Соронзон орон хэмжигч	Gy-273 HMC 5883L	₮6,609.57	1	₮6,609.57	Taobao үнэ
6	Дэлгэц	JMD 0.91A	₮7,100.00	1	₮7,100.00	amazon.com
7	Холбогч утас	Dupont cable	₮4,000.00	1	₮4,000.00	elec.mn , урт холболтод UTP кабель хэрэглэсэн
8	Протобоард	5x7см	₮1,185.82	1	₮1,185.82	Taobao үнэ
9	Соронз	5мм*2мм	₮96.52	2	₮193.04	Taobao үнэ
10	Холхивч	608ZZ, d1=22мм, d2=8мм	₮161.80	2	₮323.60	Taobao үнэ
11	Холл эфект сенсор	A3144E	₮580.14	1	₮580.14	Taobao үнэ
12	SD карт	4GB, micro SD card	₮9,620.10	1	₮9,620.10	Taobao үнэ, өөрт байсан
13	SD карт уншигч	SD shield	₮5,000.00	1	₮5,000.00	Өөрт байсан
14	Эсэргүүцэл	10K Ом	₮100.00	1	₮100.00	Өөрт байсан
14	Хөл		₮400.00	2	₮800.00	elec.mn
	Нийт				₮83,341.16	

Хүснэгт 2 Электроникийн эд ангийн зардлын тооцоолол

№	Нэр	Загвар, үзүүлэлт	Нэгж үнэ	Тоо	Нийт үнэ	Тайлбар
МЕХАНИК ЭД АНГИ						
1	Стивенсон скрийн	140мм	₮10,180.00	1	₮10,180.00	Taobao үнэ
2	Салхины сум	3D	₮17,815.00 ¹	0.5 ²	₮8,907.50	3D Хэвлэл утасны өртгөөр
3	Салхин сэнс	3D	₮17,815.00	0.5	₮8,907.50	
4	Хайрцаг	2000мм*850мм* 1500мм, IP65	₮12,000.00	1	₮12,000.00	100 айл
5	PVC-хоолойн Т ба L холбогч	20мм, 50мм	₮1,500.00	3	₮4,500.00	Хоолой хуучин, холбогч шинэ
6	Эрэг боолт	M2 8мм	₮26.16	2	₮52.33	M2 боолт Taobao-с бусад нь өөрт байсан
7	Цахилгааны тууз		₮2,000.00	1	₮2,000.00	Барилгын дэлгүүр
8	Суурь		₮0.00		₮0.00	Модоор хийсэн
Нийт					₮46,547.33	
ТЭЖЭЭЛИЙН ХЭСЭГ						
1	Баттерэйн контроллер	5V, 18650 board	₮8,653.00	1	₮8,653.00	Taobao үнэ
2	Батерей	3.7V, 2200mA, Li-ion	₮3,135.44	3	₮9,406.32	Taobao үнэ
3	Micro USB кабель	15см	₮3,461.20	1	₮3,461.20	Taobao үнэ
Нийт					₮21,520.52	

Хүснэгт 3 Механик хийц болон тэжээлийн зардлын тооцоолол

№	Хэсэг	Өртөг
1	Электроникийн эд анги	₮83,341.16
2	Механик эд анги	₮46,547.33
3	Тэжээлийн хэсэг	₮21,520.52
	НИЙТ	₮151,409.01

Мини-цаг уурын станцыг нийт **₮151,409.01** төгрөгийн өртөгтэйгээр байгуулсан.

Хүснэгт 4 Нийт зардлын тооцоолол

¹ 1 килограммын үнэ

² 500 грам

7 Дүгнэлт

Энэхүү төслийн хүрээнд бага өртөгтэй, микроконтроллёрт сууриссан мини цаг уурын станцыг зохион бүтээж, газар дээр болон дээврийн түвшинд богино хугацааны бодит хэмжилт хийж, өгөгдөл цуглуулан харьцуулалт хийлээ. Хэмжилтийн үр дүнгээс харахад температур, чийгшил, даралтын богино хугацааны хэлбэлзэл хоёр орчинд ерөнхийдөө тогтвортой байсан боловч дээврийн түвшинд температур ба чийгшлийн хэлбэлзэл харьцангуй их, харин газар дээр илүү тогтвортой байдал ажиглагдсан. Агаарын даралтын нийт ялгаа нь үндсэндээ хэмжилтийн өндрийн зөрүүнээс шалтгаалж байгааг харуулсан.

Салхины хурдны өгөгдөл нь хоёр орчны хооронд илэрхий ялгаатай байдалтай байсан бөгөөд газар дээр салхи илүү тасралтгүй, харин дээврийн түвшинд салхигүй үсийн хувь өндөр байв. Эдгээр ялгаа нь өвлийн улирлын босоо чиглэлийн агаарын хөдөлгөөн, орчны нээлттэй байдал болон дулааны ялгаатай нөхцөлтэй холбоотой байж болохыг харуулж байна. Ийнхүү уг төсөл нь энгийн, хямд тоног төхөөрөмж ашиглан орчны цаг уурын үндсэн параметрүүдийг найдвартай хэмжиж, орон зайн ялгааг харьцуулан судлах боломжтойг харууллаа.

8 Ашигласан материал

Allegro. (1999). 3141-3144. Data Sheet. From mpja.com:

<https://www.mpja.com/download/a3144eul.pdf>

Arduino. (2026, 02 18). *Arduino® Nano 33 BLE Sense*. From User Manual:

<https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/ABX00031-datasheet.pdf>

Bosch. (2015, 5). *BMP280. Data Sheet*. From AdaFruit: <https://cdn->

shop.adafruit.com/datasheets/BST-BMP280-DS001-11.pdf

Dallas Semiconductor. (2005, 6). DS3231. From elecrow.com:

<https://www.elecrow.com/download/DS3231.pdf>

Honeywell. (2013, 2). *3-Axis Digital Compass IC HMC5883L*. From Robotpark.com:

https://www.robotpark.com/image/data/PRO/91449/HMC5883L_3-Axis_Digital_Compass_IC.pdf

Sensirion. (2022, 12). *STH 31 Data Sheet*. From

https://sensirion.com/media/documents/213E6A3B/63A5A569/Datasheet_SHT3x_DIS.pdf

Visnay. (2017, 8 15). *OLED-128O032D-LPP3N00000*. Data Sheet. From Visnay.com:

<https://www.vishay.com/docs/37894/oled128o032dlpp3n00000.pdf>

Wemos. (2022). *Micro SD Card Shield*. From Wemos.com:

https://www.wemos.cc/en/latest/d1_mini_shield/micro_sd.html#features

Е.Батчулуун, Г. нар. (2023). ГАЗАРЗҮЙ Х. Ерөнхий боловсролын 12 жилийн сургуулийн 10 дугаар ангийн суралчилсан бичиг. Улаанбаатар: Боловсрол, Шинжлэх Ухааны Яам.

9 Ашигласан томъёо

1	Дундаж температур	$\bar{T} = \frac{T_1 + T_2 + \dots + T_n}{n}$
2	Дээд, доод утга	T_{max}, T_{min}
3	Стандарт хазайлт	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(T_n - \bar{T})^2}{n}}$
4	Шүүдэр цэг	$T_d = T - \frac{100 - RH}{5}$
5	Салхины хурд	$V = \frac{2\pi r N}{t} k$ Yүнд: <ul style="list-style-type: none"> • N- пульсийн тоо • r = 0.175м (радиус) • t- Хугацаа • k=7.81(калибрацийн коэффициентийг туршилтаар тодорхойлсон)
6	Салхины дундаж хурд	$\bar{V} = \frac{V_1 + V_2 + \dots + V_n}{n}$
7	Тэжээлийн чадал	Нийт чадал = 2200mAh × 3 = 6600mAh
8	Гидростатик тэгшитгэл	$\Delta P = \rho g \Delta h$ Yүнд: <ul style="list-style-type: none"> • $\Delta h = 28\text{м}$ • $\rho = 1.2 \text{ кг/м}^3$ • $g = 9.81 \text{ м/сек}^2$

Хүснэгт 5 Ашигласан томъёоны жагсаалт

10 Хавсралтууд

- Програмын код
<https://github.com/tug-g/universal-projects/blob/main/miniweatherstation/mws.ino>
- Схем зураг
<https://oshwlab.com/tuguldurganbold09/test>
- 3D загварууд
<https://github.com/tug-g/universal-projects/tree/main/miniweatherstation/3d%20models>
- Хэмжилтийн үр дүн (datastuffs2.xls)
<https://github.com/tug-g/universal-projects/tree/main/miniweatherstation/datastuffs>