

**ЕРӨНХИЙ БОЛОВСРОЛЫН СУРГУУЛИЙН
АХЛАХ АНГИЙН СУРАГЧДЫН**

“ЭЛЕКТРОНИКИЙН АНХДУГААР ОЛИМПИАД”

“Мини - Цаг уурын станц”

Нийслэлийн Ерөнхий Боловсролын Сант сургуулийн ТАСН 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, цуглуулсан өгөгдөлд 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 Микроконтроллер- 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 Програм хангамж.....	7
3.3 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 томъёо	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	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 ТАСН баг “Мини-Цаг уурын станцын модель” бүтээлээр оролцож байна.

Эрс тэс уур амьсгалтай манай улсад цаг уурын мэдээлэл цуглуулж, 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 цуглуулж байсан туршлагадаа үндэслэн олимпиадын хүрээнд мини-цаг уурын загварыг боловсруулахаар сонгосон.

1.1 Төслийн зорилго

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

1.2 Төслийн зорилт

Энэхүү төслийн хүрээнд Ардуино 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 төсөр аргаар шийдсэн.



Зураг 1 Мини-цаг уурын станцыг турших үеийн зураг.

2. Хөгжүүлэлт

2.1 Электрон эд анги

2.2.1 Микроконтроллер- Arduino Nano 33 BLE Sense



Цаг уурын станцын үндсэн удирдлагын нэгжээр Arduino Nano 33 BLE Sense микроконтроллерын модулийг сонгож ашигласан. Энэ нь nRF52840 микроконтроллэрт 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 нөхцөл байдлыг мэдэрч хэмжих зориулалттай өндөр нарийвчлалтай мэдрэгч юм. Цаг уурын хэмжилтийн төхөөрөмжүүдэд өргөнөөр ашиглагддаг. (Sensirion, 2022)

BMP280

Агаарын даралт хэмжихэд BMP280 мэдрэгчийг ашигласан. Энэ мэдрэгчийн тусламжтайгаар өгөгдөл цуглуулах явцад агаарын даралтыг ажиглаж, өндрийн хувьд ялгаатай байрлалд агаарын даралт 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 эффект сенсор байрлуулсан. Салхины хүч аяганд үйлчилж эргэхэд, голд байрлуулсан соронзны эргэлтийг холл эффект сенсор мэдэрч 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

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

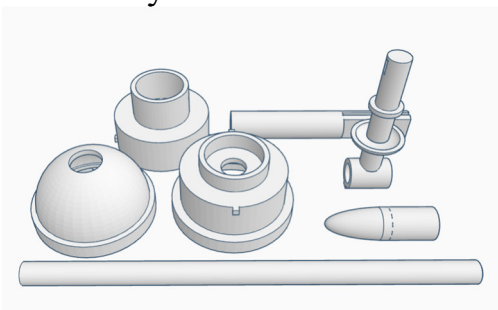
Станцыг гадаа орчинд ажиллуулахад баттерэй ашиглах шаардлагатай. Энэ шаардлагыг 3.7В, 2200мА үзүүлэлттэй 3 баттерэйг зэрэгцээ холбож, баттерэй удирдлагын модуль ашиглан шийдсэн. Мөн цахилгаан хангамжгүй нөхцөлд удаан ажиллахад бие даасан эх үүсвэрээр хангах зориулалтаар 5V гаралттай нарны хавтан ашиглаж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

Эх хавтан, кабель

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

2.4. Механик эд анги

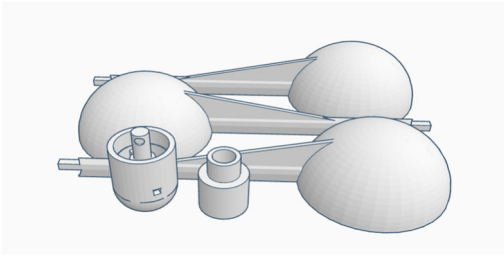
Салхин сум



Аяган анемометр

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 анемометрийн загварыг мөн TinkerCad программ ашиглан хийсэн. Энэ



Стивенсон скрийн



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.

Удирдлагын хайрцаг

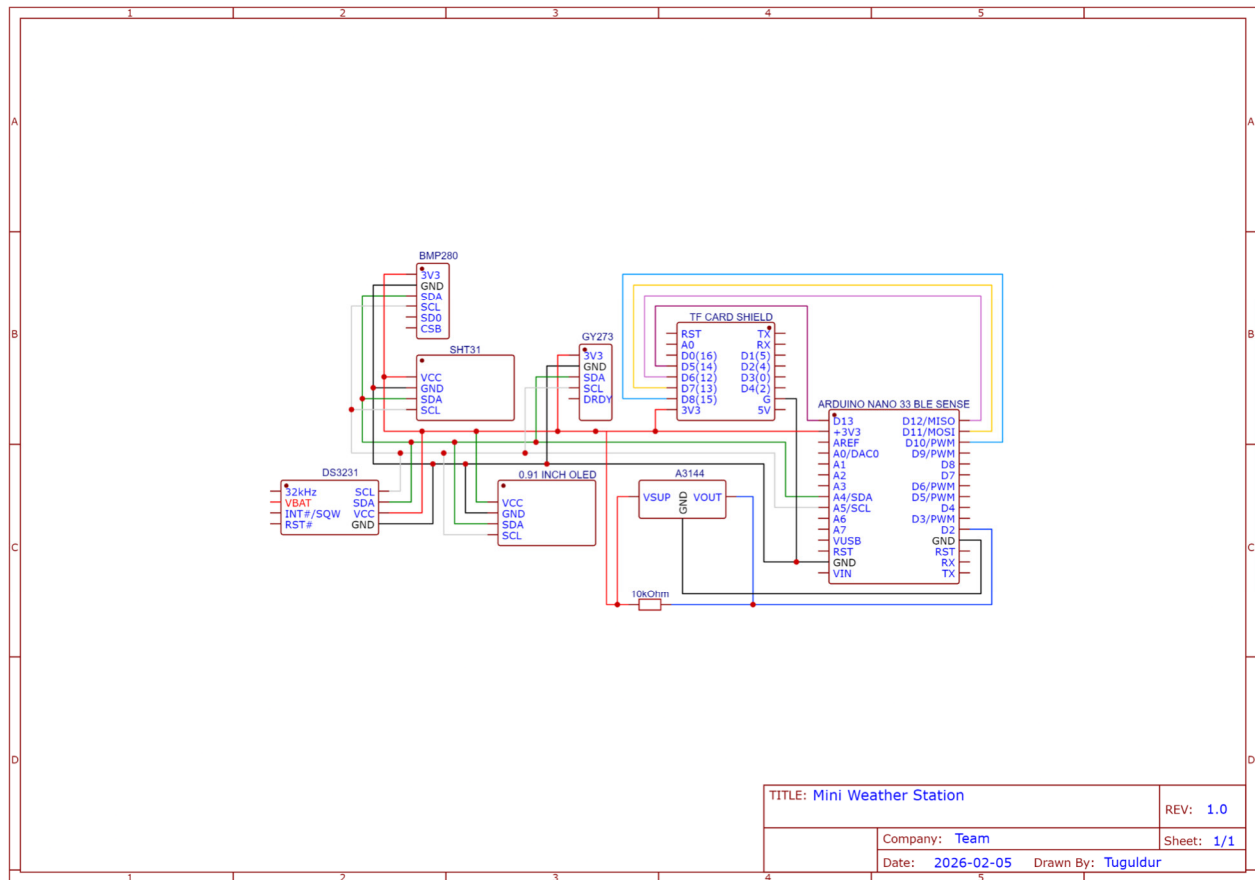


Удирдлага болох Ардуино контроллэрыг байрлуулахдаа IP65 стандартыг хангасан, жижиг оврын, хямд өртөгтэй цахилгааны хайрцаг ашигласан. Уг хайрцагт контроллер, дэлгэц, SD карт уншигч, тэжээлийг хамт байршуулав. Дотор угсралтын тулгуур, бэхэлгээг лего блок ашиглан хийсэн.

3 Системийн дизайн

3.1 Техник хангамж

Станцын үндсэн удирдлагын хэсгийн схемийг EasyEda програм ашиглан боловсруулсан.

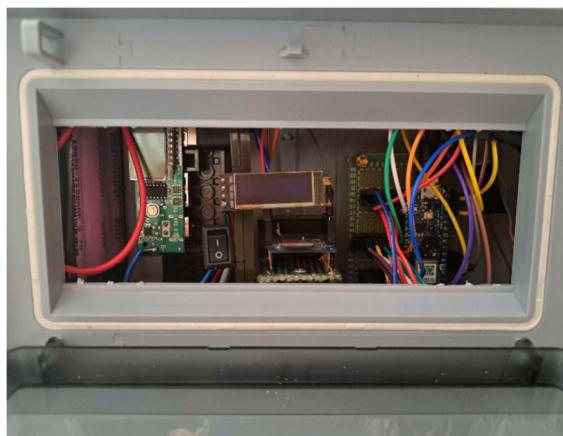


Зураг 2.Электрон холболтын схем зураг

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

Салхины зүг тодорхойлох Gy-273 соронзон орон хэмжигч, хурд хэмжих A3144 холл эффект 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 модоор хийсэн суурь дээр бэхэлсэн.



Зураг 3 Удирдлагын хэсгийг суурилуулсан байдал

Arduino Nano 33 BLE Sense микроконтроллер, DS3231 RTC модуль, SD карт уншигчийг цахилгааны хайрцагт бэхэлж, эсрэг талд нь баттерей, баттерейн удирдлагыг унтраалгын хамт байрлуулсан.

Хэт ягаан туяа болон орчны бусад нөлөөллөөс хамгаалахын зэрэгцээ, агаарын чөлөөт урсгалыг хангах Стивенсон скрийний дотор SHT31 болон BMP280 мэдрэгчийг байрлуулсан.

Цаг уурын станцын тэжээлийн эх үүсвэр болгон 3 ширхэг 2200 mAh багтаамжтай литий-ионы (Li-ion) баттерейг параллель холболтоор ашигласан. Нэг баттерейны 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.

3.2 Програм хангамж

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 микроконтроллерын 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. Анеометрт холл эффект мэдрэгч ашигласан тул уг мэдрэгчийн пульс бүр нь анеометр 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;
  }
}

```

3.3 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 Bluetooth холболтын боломжтой тул мөн nRF Connect аппликэйшн 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 хойно үзүүлэв.



Зураг 4 Дэлгэцэнд 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 жишээ

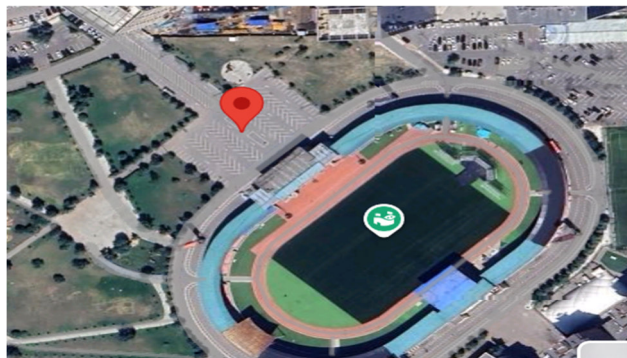
4 Туршилт

4.1 Туршилтын өгөгдөл цуглуулалт

Мини-цаг уурын станцын өгөгдөл цуглуулах туршилтыг 2026 оны 2 дугаар сарын 8-ны өдөр 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.

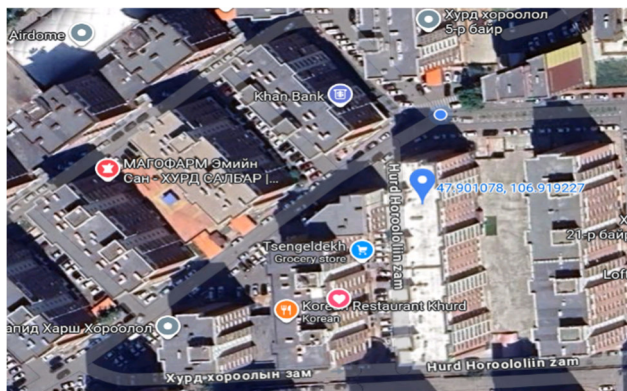
4.1.1 Туршилтын 1-р цэг

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 50-100 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.

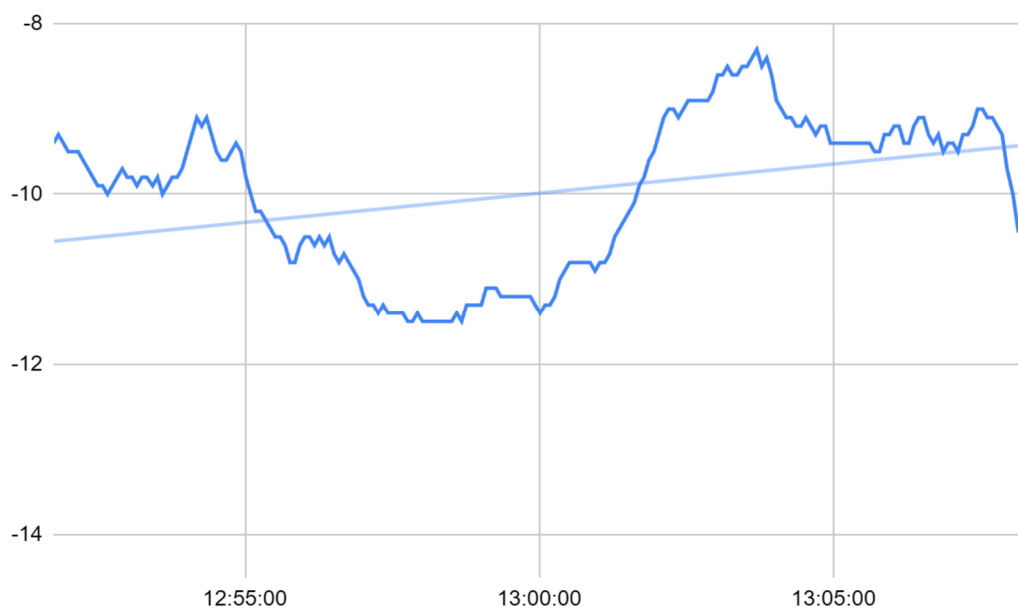
4.2 Туршилтын үр дүн

Газар дээрх температурын хэмжилт ойролцоогоор 18 минут үргэлжилсэн бөгөөд -12.4°C -аас -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 -аас -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, тогтворжилт сул байсныг харуулж байна. Үүний үр дүнд дээврийн температур газар дээрхээс дунджаар ойролцоогоор 3°C -аар өндөр байжээ.



Зураг 5 Туршилтын 1-р цэгийн температурын хэмжилтийн үр дүн



Зураг 6 Туршилтын 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 тогтворгүй байв.



Зураг 7 Туршилтын 1-р цэгийн агаарын чийгшлийн хэмжилтийн үр дүн

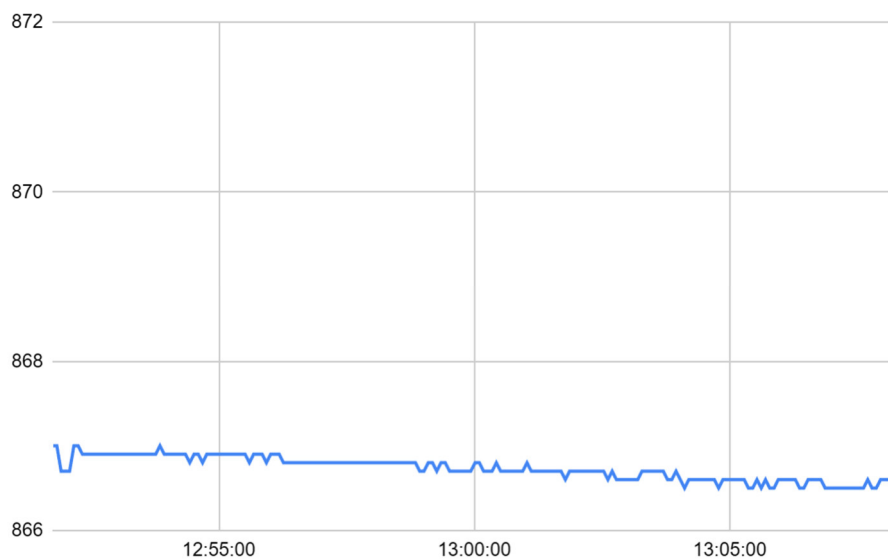


Зураг 8 Туршилтын 2-р цэгийн агаарын чийгшлийн хэмжилтийн үр дүн

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 тус гарсан. Богино хугацааны хэлбэлзэл хоёр түвшинд бараг ялгаагүй байсан бөгөөд нийт даралтын зөрүү нь үндсэндээ хэмжилтийн өндрийн ялгаатай байдалтай холбоотой байна.



Зураг 9 Туршилтын 1-р цэгийн Атмосферын даралтын хэмжилтийн үр дүн



Зураг 10 Туршилтын 2-р цэгийн Атмосферын 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 уялдан харьцангуй чийгшлийн хувь буурч, стандарт хазайлт ихэссэн нь агаарын холилдолт, массын шилжилт илүү идэвхтэй байсныг илтгэнэ.

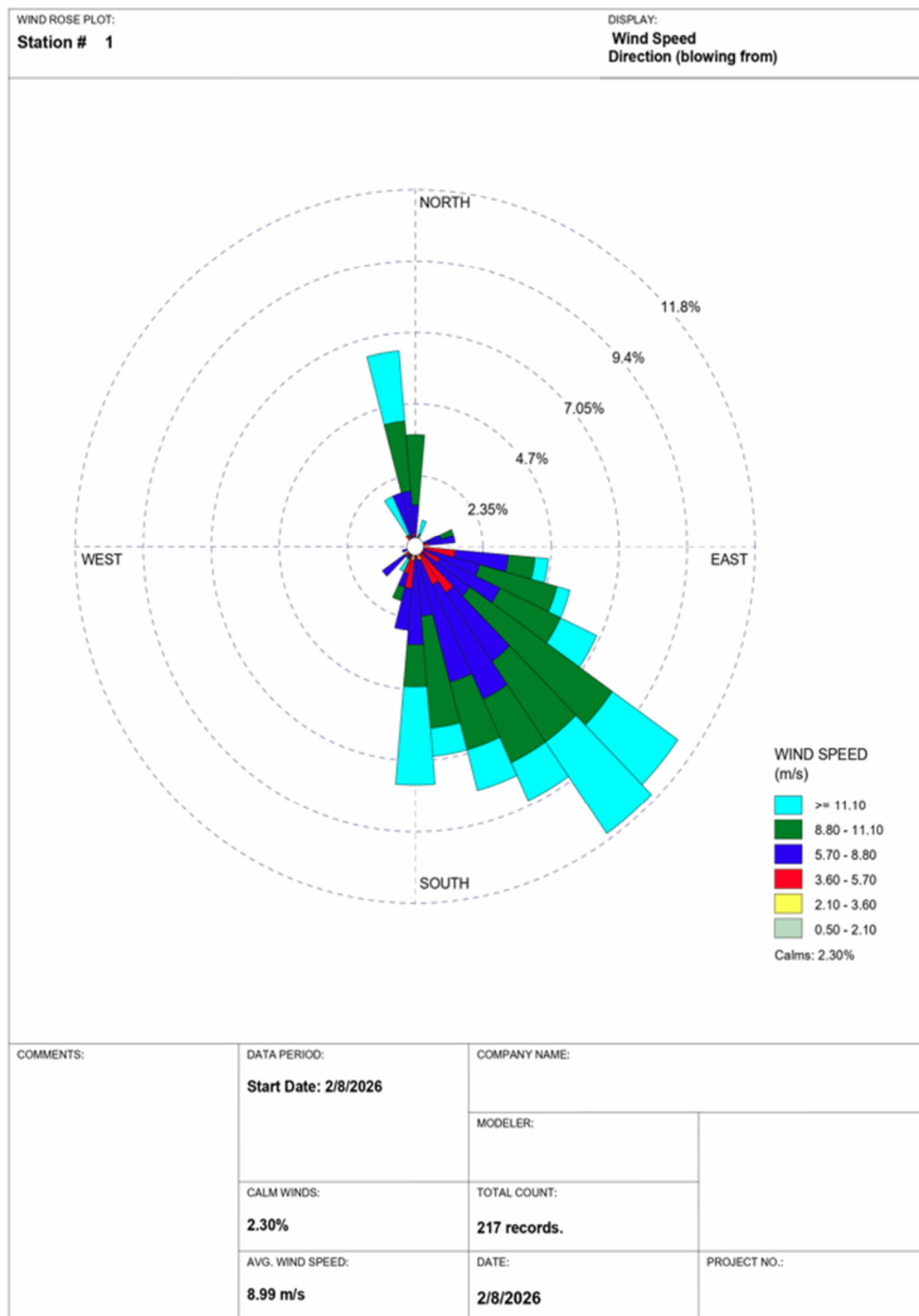
Даралтын зөрүү нь гидростатик тэгшитгэлийн дагуу өндрийн ялгаатай пропорциональ өөрчлөгдөх тул хоёр түвшний дундаж даралтын тогтвортой зөрүү нь хэмжилтийн өндрийн ялгаатай нийцэж байна.

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

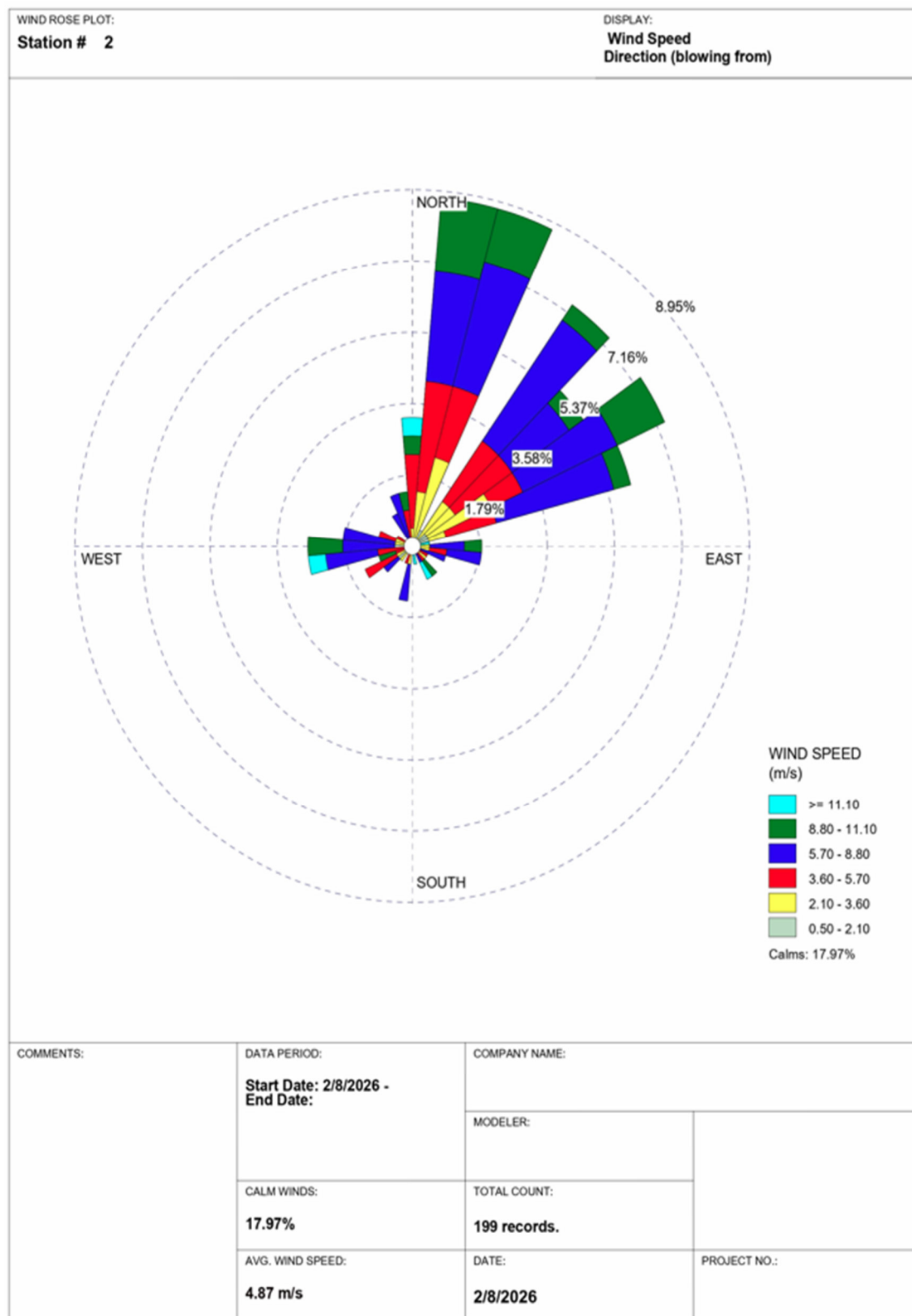
Салхины хурдны хувьд газар дээр дундаж 8.99 м/с, медиан 9.37 м/с, стандарт хазайлт 3.54 м/с байсан бөгөөд хамгийн их утга 24.99 м/с хүрсэн. Салхигүй төлөв нийт хугацааны 2.30% эзэлсэн. Харин дээврийн түвшинд салхины хурдны дундаж 4.86 м/с, медиан 4.69 м/с, стандарт хазайлт 3.43 м/с, дээд хурд 18.74 м/с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



Зураг 11 Туришилтын 1-р цэгт хэмжсэн салхины чиглэлийн график



Зураг 12 Туришилтын 2-р цэгт хэмжсэн 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 -аас 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 тохиромжтой. Даралтын абсолют хэмжилтийн алдаа нь ойролцоогоор $\pm 0.12\text{ hPa}$ орчим байдаг. Ажиллах температурын муж нь -40°C -аас $+85^{\circ}\text{C}$ 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 -аас $+85^{\circ}\text{C}$ байна.

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

Төслийн үндсэн микроконтроллер болох Arduino Nano 33 BLE Sense хавтан нь ойролцоогоор -40°C -аас $+85^{\circ}\text{C}$ хүртэлх орчны температурт ажиллах техникийн үзүүлэлттэй. Системийн тэжээлийн эх үүсвэр болгон ашигласан литий-ион (Li-ion) баттерэй нь ихэнх үйлдвэрлэгчийн үзүүлэлтээр -20°C -аас $+60^{\circ}\text{C}$ орчимд ажиллах боломжтой бөгөөд -20°C -аас доош температурт багтаамж эрс буурч, гүйдэл өгөх чадвар сулрах, дотоод гэмтэл үүсэх эрсдэл нэмэгддэг. Иймд -20°C -аас доош орчны нөхцөлд зайг ашиглахгүй байх шаардлагатай. Иймээс эрс хүйтэн нөхцөлд зайг 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	Контроллер	Arduino Nano BLE 33	₮35,000.00	1	₮35,000.00	2019 оны контроллер тул үнийг ойролцоогоор тооцсон
2	RTC модуль	Ds3231	₮3,104.90	1	₮3,104.90	Таобао үнэ
3	Температур, чийгшлийн мэдрэгч	SHT31	₮2,497.59	1	₮2,497.59	Таобао үнэ
4	Агаарын даралт, температурын мэдрэгч	BMP280	₮8,026.40	1	₮8,026.40	Таобао үнэ, өөрт байсан
5	Соронзон орон хэмжигч	Gy-273 HMC 5883L	₮6,609.57	1	₮6,609.57	Таобао үнэ
6	Дэлгэц	JMD 0.91A	₮7,100.00	1	₮7,100.00	amazon.com , өөрт байсан
7	Холбогч утас	Dupont cable	₮4,000.00	1	₮4,000.00	elec.mn , урт холболтод UTP кабель хэрэглэсэн
8	Протобoard	5x7см	₮1,185.82	1	₮1,185.82	Таобао үнэ
9	Соронз	5мм*2мм	₮96.52	2	₮193.04	Таобао үнэ
10	Холхивч	608ZZ, d1=22мм, d2=8мм	₮161.80	2	₮323.60	Таобао үнэ
11	Холл эффект сенсор	A3144E	₮580.14	1	₮580.14	Таобао үнэ
12	SD карт	4GB, micro SD card	₮9,620.10	1	₮9,620.10	Таобао 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	Таобао 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 Таобао-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	Таобао үнэ
2	Батерей	3.7V, 2200мА, Li-ion	₮3,135.44	3	₮9,406.32	Таобао үнэ
3	Micro USB кабель	15см	₮3,461.20	1	₮3,461.20	Таобао 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

Хүснэгт 4 Нийт зардлын тооцоолол

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

¹ 1 килограммын үнэ

² 500 грам

7 Дүгнэлт

Энэхүү төслийн хүрээнд бага өртөгтэй, микроконтроллэрт суурилсан 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 үеийн 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 параметруудийг 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-](https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/BST-BMP280-DS001-11.pdf)

[shop.adafruit.com/datasheets/BST-BMP280-DS001-11.pdf](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 сурах 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	$V = k \frac{N}{t}$ <p>Үүнд:</p> <ul style="list-style-type: none"> • N- пульсийн тоо • t- Хугацаа $k = 2\pi r * c \approx 7.81$ <ul style="list-style-type: none"> • c ≈ 7.1 (коэффициентийг туршилтаар тодорхойлсон) • r = 0.175м
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	$\Delta P = \rho g \Delta h$ <p>Үүнд:</p> <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

1. Програмын код
<https://github.com/tug-g/universal-projects/blob/main/miniweatherstation/mws.ino>
2. Схем зураг
<https://oshwlab.com/tuguldurbanbold09/test>
3. 3D загварууд
<https://github.com/tug-g/universal-projects/tree/main/miniweatherstation/3d%20models>
4. Хэмжилтийн үр дүн (datastuffs2.xls)
<https://github.com/tug-g/universal-projects/tree/main/miniweatherstation/datastuffs>