

SAMMENDRAG

Aktivitetene beskrevet her har blitt utviklet som del av det europeiske forskningsprosjektet ACTION (<https://actionproject.eu/>), som fokuserer på forurensning i Europa. Aktivitetene er lagt til rette for undervisning i TOF 1-3.

Det er ACTION-partneren NILU – Norsk institutt for luftforskning (www.nilu.no) som har utviklet dette materialet. Formålet med skoleprosjektet er å øke elevenes kunnskap og oppmerksomhet om tematikken luftforurensning, samt øke interessen for vitenskapelige temaer/arbeid. Aktivitetene kombinerer teknologi og forskning.

Selv om luftkvaliteten i Norge stort sett er bra, går nivåene av det fine svevestøvet ($PM_{2.5}$) og det grove svevestøvet (PM_{10}) ofte over grenseverdiene om vinteren. Årsakene er flere: vedfyring, bruk av piggdekk, dekk- og bremseslitasje, samt strøing og salting av veier om vinteren – noe som fører til store mengder veistøv om våren. Dersom man ønsker å måle svevestøvnivåer, bør prosjektaktivitetene derfor gjennomføres om vinteren eller våren.

Elevene får i oppdrag å gjennomføre et luftkvalitetsprosjekt i små grupper (3-5 elever). Basert på introduksjonen de får fra lærerne/forskeren, skal de bygge en sensor-plattform, kode den, formulere et forskningsspørsmål, planlegge og gjennomføre målinger, analysere dataene og formulere en konklusjon som besvarer hypotesen. Resultatene skal presenteres i form av en vitenskapelig poster eller rapport.

Sensorplattformen elevene skal lage for å måle luftkvaliteten er basert på Arduino, en elektronikk-plattform basert på program- og maskinvare med åpen kildekode. Sensoren som ble brukt i ACTION-prosjektet var en Nova SDS011 for å måle svevestøv ($PM_{2.5}$ og PM_{10}). Arduino-plattformen kan utvides med for eksempel sensorer for å måle temperatur, luftfuktighet, og andre komponenter.

Dette prosjektet kombinerer de tematiske områdene teknologi, informatikk, forskning, helse og samfunn. Det er rettet mot kompetansemålene som beskrevet i Utdanningsdirektoratets Læreplan i teknologi og forskningslære.

Anslått tidsbruk: Tidsbruk varierer fra skoleklasse til skoleklasse og er litt avhengig av kompetanse og elevenes ferdigheter. Lærere som har deltatt i aktivitetene beretter om tidsbruk mellom 5 uker à 2x90 min og 8 uker à 5 timer (2 uker med Arduino-programmering, 1 uke teori om luftkvalitet og måling av luftforurensning, 5 uker med 25 timer der elevene bygger sensoren, gjennomfører målinger, analyserer data og skriver rapport).

Dette materialet beskriver et mulig oppsett av aktivitetene og gir en slags retningslinje som lærerne kan variere etter smak og behag.

FORBEREDELSE

Sensoren som er beskrevet her måler svevestøv, og derfor vil det være hensiktsmessig å gjennomføre aktivitetene i vårsemesteret, når svevestøvkonsentrasjonene utendørs er høyest.

Begynn tidlig med å planlegge aktivitetene. Hva skal måles? Hvilke sensorer skal brukes? Hvordan skal dataene overføres – via SD-kort, WiFi, SIM-kort? Det vil ha konsekvenser for hva slags deler du bestiller og på koden som brukes til Arduinoen. Delene kan bestilles fra følgende forhandlere: [AliExpress](#), [Kjell & Company](#), [Banggod](#), [Kult og billig](#), mm. Husk at leveringstiden kan ta flere måneder, bestill derfor delene i god tid!

Eksempel på en handleliste:

Følgende deler kreves for å bygge en sensorpakke som kan måle PM_{2.5} og PM₁₀, temperatur og relativ luftfuktighet. Dataene overføres til et SD-kort.

- Arduino UNO board rev. 3
- Adafruit shield med sanntidsklokke (real time clock – RTC) og SD-kortleser for rev.3
- Et SD-kort (eller et mikro-SD-kort med en full-size adapter), 2 - 32 GB
- LED-lys (ulike farger, f.eks. grønn, oransje og rød) - valgfritt
- USB A – B-kabel
- Power bank eller wall wart (7-9 VDC)
- CR1220 back-up batteri til RTC
- Nova SDS011 sensor for å måle PM
- DHT-22 sensor for å måle temperatur og relativ luftfuktighet
- Loddeutstyr (loddejern og tråd)

Elevene bør i tillegg ha tilgang til en laptop der de installerer Arduino IDE-software fra www.arduino.cc, en USB-driver, og noen sensor-biblioteker. Windows-administratorrettigheter kan kreves.

Dersom det oppstår problemer med Adafruit-shield etter å ha fulgt de enkle instruksjonene nedenfor, kan du i stedet bruke Adafruits instruksjoner på <https://learn.adafruit.com/adafruit-data-logger-shield>.

Detaljert informasjon om sensoren for å måle temperatur og luftfuktighet finnes på <https://learn.adafruit.com/dht>. Adafruit anbefaler sine egne biblioteker (<https://learn.adafruit.com/dht> og <https://github.com/adafruit/DHT-sensor-library>). Vi har brukt Cactus-IO-biblioteket <http://cactus.io/sensors/temperature-humidity/dht22-humidity-sensor>.

Ytterligere deler kan benyttes etter egne ønsker (for eksempel display, GPS, ...). I så fall må Arduino-koden tilpasses tilsvarende.

GJENNOMFØRING

Introduksjon

Sett av en dobbeltime for å introdusere tematikken. Vedlagte powerpoint-presentasjon inneholder informasjon om:

- Luftkvalitet og luftforurensning
- Helseeffekter pga luftforurensning
- Kilder til luftforurensning og andre faktorer som påvirker lokal luftkvalitet
- Lovverk i Norge
- Måling og overvåkning av luftkvalitet/-forurensning
- Bruk av mikrosensorer
- Enkel dataanalyse

Aktivitetene er basert på en Arduino mikrokontroller som programmeres ut fra en Windows-plattform. Å programmere mikrokontrollere er ganske komplekst, men Arduino-prosjektet har kommet langt med å gjøre dette tilgjengelig også for uerfarne brukere. Arduino-koden ble opprinnelig skrevet i C-språket, men de fleste detaljene rundt koding, kompilering, håndtering av biblioteker, kobling og opplasting har blitt «gjemt». Dermed er det enklere for uerfarne brukere. Det kan være litt utfordrende å sette opp Arduino-kontrolleren, og Windows' håndtering av USB-enheter kan være litt ustabil. Men i de fleste tilfellene har både lærere og elever fått det til å fungere.

Bygging av sensorer

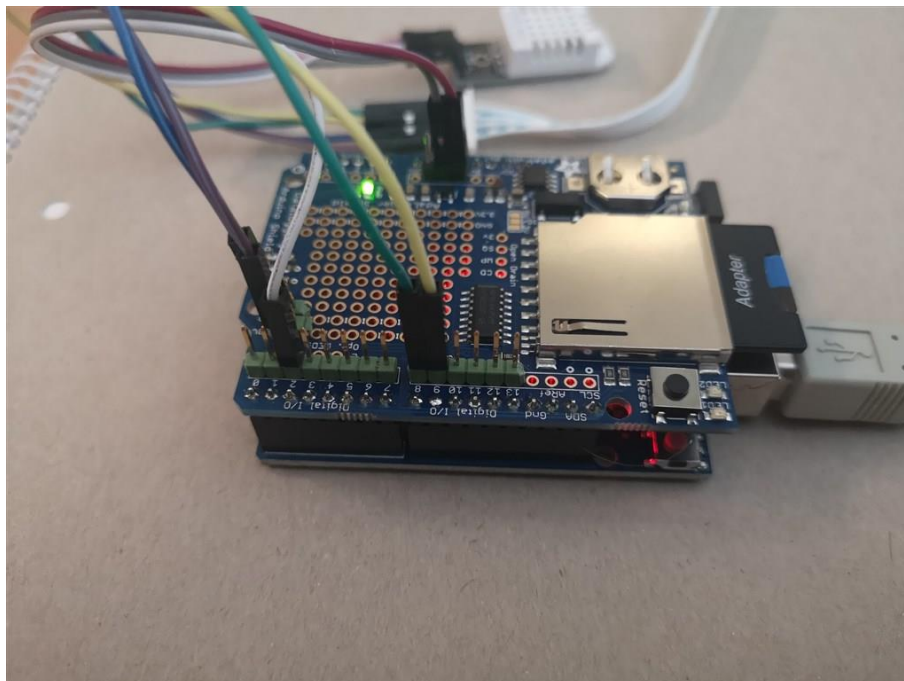
I denne delen beskriver vi den «mainstream» Arduino-fremgangsmåten. Vi har også laget en sketch directory i en ZIP-fil som allerede inneholder to ekstra biblioteker for å hjelpe uerfarne brukere med å få til et raskt og positivt resultat. ZIP-filen med navnet SDcard_Arduino_demo.zip er tilgjengelig på NILUs GitHub community: <https://git.nilu.no/action/luftkvalitetsprosjekt>.

Før dere setter i gang er det viktig å være klar over at alle sensorer og alle målinger har unøyaktigheter eller til og med store feil. Lavkostnads-mikrosensoren som er brukt i vårt prosjekt er mindre nøyaktig enn profesjonelle måleapparater. For eksempel kan svevestøvsensoren ha et stort utvalg feilkilder, sensoren for å måle luftfuktighet kan være upålitelig ved høy relativ luftfuktighet og sensoren for å måle temperaturen kan vise feilaktige verdier pga selvoppvarming. Dersom man ønsker å benytte seg av slike sensorer utover prosjektets formål, må seriøse målinger og overvåkningsprosjekter også inneholde kalibrering av måleutstyr mot referanseinstrumenter.

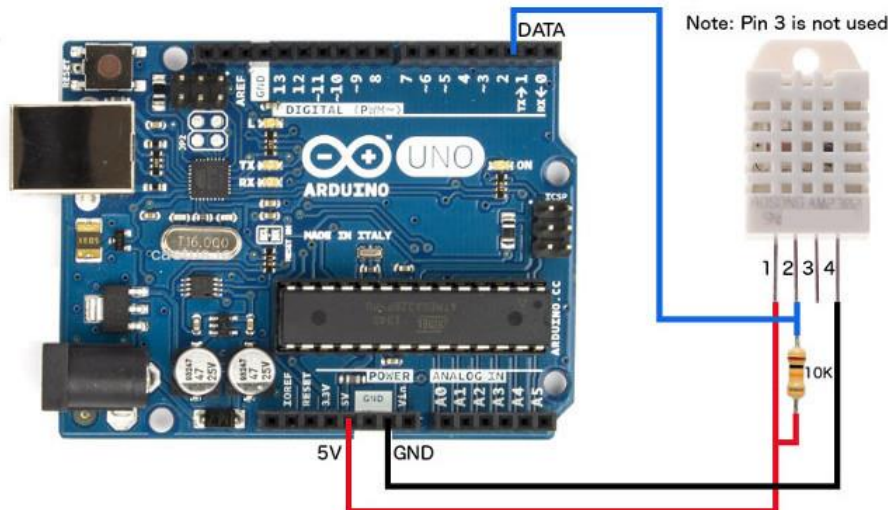
Montering av sensordelene består av følgende steg:

1. Arduino-boards kontakter leveres ferdig loddet – det kreves ikke noe ekstra arbeid. Legg merke til at den siste «revision 3» har en innebygget USB-kontroller i sin ATMEGA-chip, mens eldre versjoner bruker en FTDI USB-chip som krever installasjon av en separat USB-driver på PC-en.

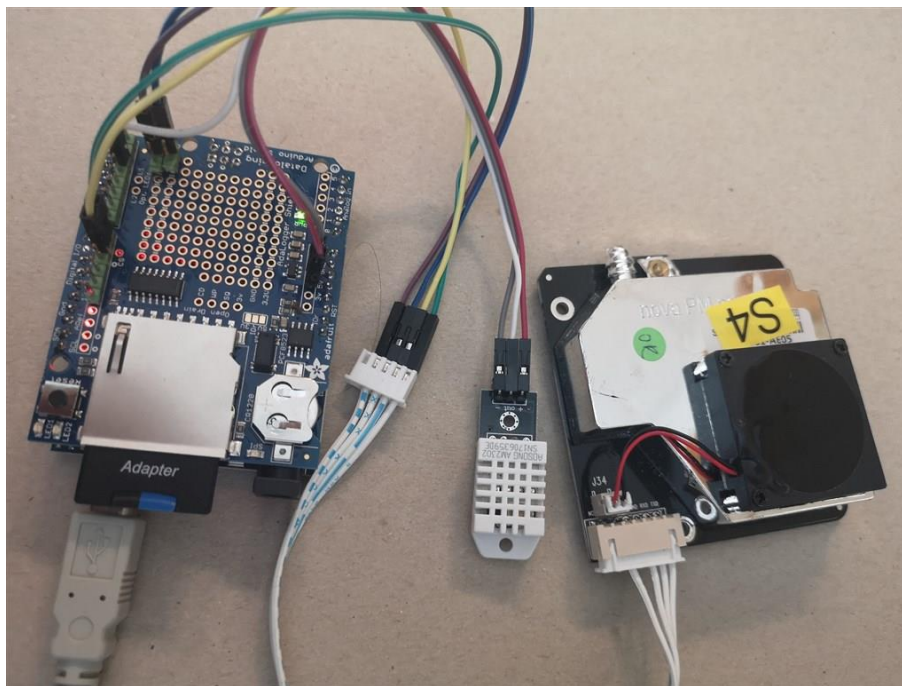
2. Shield-kortet krever lodding av pinner. Klipp av passende lengde med pinner og sett de korte endene i shieldet fra undersiden. De lange pinne-endene går i hullene på toppen av Arduinoen. Nå må pinnene på oversiden av shieldet loddes.
3. Vi anbefaler å lodde flere pinner på shieldet for å kunne plugge patchkabler mellom shield og sensorpinner.
4. SPI-grensesnitt er koblet til SD-kortet inne i shieldet (pinner 10-13), det kreves ikke noe ekstra arbeid.
5. I2C-grensesnittet er koblet innvendig til RTC på shieldet (pinner A4 og A5), det kreves ikke noe ekstra arbeid.
6. DHT22 opererer på +5V, noe som fører til noen grader selvoppvarming. Koble derfor GND til +3.3V. DATA-pinnen bør kobles til D2 (digital pinne 2) på Arduino-shieldet, samt en 10kOhm pull-up motstand til +3.3V-linjen. Noen versjoner av DHT22 er montert på et lite kretskort med en innvendig pull-up motstand. Dersom motstanden uteblir, kan det virke i begynnelsen som om sensoren fungerer, men resultatene kan bli upålitelige over tid.
7. SDS011-svevestøvsensoren må kobles til GND og +5V. Sensorens TX-pinne bør kobles til pinnen D8 på Arduino-shieldet, og sensorens RX-pinne til D9. Disse kontrolleres av sketch'en for å opereres som Software Serial port SerialTwo.
8. Et SD-kort og et CR1220-batteri må settes inn på shieldet.



Figur 1: Shieldet med SD-kort-holderen og RTC-batteri. Pinnene som er loddet på oversiden er koblet til Arduino. Pinnene som er loddet på nedsiden peker oppover og muliggjør kobling til sensorpinner. Kabler og/eller sensorpinner kan loddes direkte på shieldets prototyping area som alternativ løsning.



Figur 2: Anbefalte koblinger for DHT22. Vi har brukt pinne 2 for data. Det kan brukes ulike power pinner (GND og/eller +5V eller +3.3V). Husk 10kOhm pull-up motstanden som er viktig, men som ikke vises i vår demo. Den kan allerede følge med på et lite break-out kretskort, som DHT22 leveres sammen med.



Figur 3: Arduino samt shield på oversiden (t.v.), DHT22 temperatur/luftfuktighetssensoren (i midten), og Nova SDS011 svevestøv-sensoren (t.h.). SDS011-pinnene er nummerert fra 1-7 (fra venstre til høyre). Pinne 7 kalles TXD (transmit) og er koblet til den grønne ledningen som fører til Arduino-pinne D8 (RX – receive). I en seriell port må transmit-pinnen av den ene enheten kobles til receive-pinnen på den andre enheten. SDS011-pinne 6 er RXD som er koblet til Arduino-pinne D9 (TX) ved den gule ledningen. SDS011-pinner 5 og 3 er koblet til GND og +5V ved den blåe og lilla ledningen.

Sensorene og elektronikken bør fastes i en boks/eske for å beskytte dem mot været under måleperioden. Elevene kan designe eskene selv. Materialet bør være vanntett og gjøre det mulig for luft å strømme gjennom sensorene ved en eller flere nedovervendte hull som

beskyttes fra direkte regn og vann som renner ned langs eskenes sideflater. Her kan elevene være kreative.

Koding

1. Last ned og installer Arduino IDE (Integrated Development Environment – Windows installer, siste versjon 1.8.13, testet med den eldre versjonen 1.8.5) fra <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>
2. Koble til Arduino UNO, åpen Arduino IDE og velg deretter det korrekte board (Tools/Board: «Arduino/Genuino UNO»). Vær sikker på at boardet er lokalisert og en USB-port er tildelt (for eksempel: Tools/Port: «COM3»).
3. Last ned SDcard_Arduino_demo.zip fra <https://git.nilu.no/action/luftkvalitetsprosjekt> og pakk ut filen til brukerens Documents/Arduino-mappe. Dette bør lage en katalog med navnet SDcard_Arduino_demo, som inneholder sketchen samt en underkatalog med navnet src. Den inneholder to biblioteker som kreves senere. Sketchen installeres for å kunne bruke de lokale versjonene av disse bibliotekene.
4. Som alternativ metode for å konfigurere Arduinoen, installer RTC-biblioteket fra <https://github.com/adafruit/RTClib>. Bruk opsjonen “Download ZIP”. Åpne denne ZIP-filen ut fra sketch-menyen i Arduino IDE-en (Sketch/Include Library/Add .ZIP library, naviger til ZIP-filen du har lastet ned og åpne den). Installer biblioteket Cactus_IO DHT_22 fra http://static.cactus.io/downloads/library/dht22/cactus_io_DHT22.zip ved å bruke den samme metoden. Sketchen kan trenge små endringer for å finne bibliotekene i standardlokasjonen.
5. Eksempelkoden inkluderer standard header files som er vanligvis tilgjengelige i Arduino IDE-en. Disse er SPI.h, SD.h, Wire.h, og SoftwareSerial.h. Dersom feilmeldinger nevner noen av disse, må du laste ned og installere de passende bibliotekene.
6. Svevestøvsensoren Nova SDS011 trenger ingen spesifikke bibliotek. Eksempelkoden får tilgang til sensoren direkte via serial port Serial2 og formaterer og logge verdiene.
7. Åpne demo-sketchen i Arduino IDE-en. Den kan spørre om tillatelse for å lage en katalog til sketchen – det bør du akseptere. Dersom du kopierte innholdet av demo sketch zip-filen inn i Arduino sketchkatalogen, eksisterer denne katalogen allerede – i tillegg til to biblioteker under src subdirectory.
8. Prøv å lage og laste opp sketch-en og sjekk om det kommer noen feilmeldinger.
9. Åpen Serial monitor, som viser data hver tiende sekund.
10. Legg merke til at tidsoppløsninger nå ikke er korrekte. RTC må initialiseres først. Finn rtc.adjust kommandoen (linje 103) i sketch-en, endre til den aktuelle datoen og tiden, ta ut kommentaren for å aktivere den, og initialiser og last opp sketch-en igjen. RTC vil være korrekt nå.
11. For å unngå å måtte tilbakestille RTC-en hver gang sketchen er initialisert på nytt, ta ut kommentaren fra den samme kodelinjen med én gang og initialiser og laste opp sketchen på nytt. RTC-en vil fortsette, og batteriet vil holde det i drift i årevis, selv uten ekstern energikilde til Arduinoen.
12. For å se på dataene, lar du sensoren fortsette å måle i for eksempel ett minutt (du ser dataene i Serial Monitor). Slå av Arduinoen og ta ut SD-kort. Sett kortet inn i en

PC og sjekk filen DATALOG.TXT. Filen kan ha en feil tidsangivelse (1.1.2000), men måledataene bør beholde den korrekte tiden.

13. Sett SD-kortet tilbake igjen i shieldet. Begynn måleprosessen ved å forsørge Arduino-en med strøm, enten ved å koble USB-porten til en PC eller ved å koble til en power bank eller wall-wart (7-9VDC).

Demonstrasjons-koden til Arduino-board som ble brukt i sammenheng med en Nova PM sensor SDS011 og en DHT-22 sensor ligger i ZIP-filen SDcard_Arduino_demo.zip på NILUs GitHub community: <https://git.nilu.no/action/luftkvalitetsprosjekt>. Filen som inneholder koden heter SDcard_Arduino_demo.ino. Data overføres via SD-kort. Koden kan tilpasses etter behov.

Luftkvalitetsmålinger og dataanalyse

Nå kan sensorene brukes for å samle inn data til elevenes prosjekter.

Før hver elev eller gruppe setter i gang med egne målinger, kan de måle luftkvalitet på ett sted samtidig med alle sensorene. Etterpå sammenlignes målingene fra de ulike sensorene for å se på korrelasjoner eller avvik.

Sensorene kan også måle luftkvalitet i flere dager i nærheten av en av de offisielle overvåkningsstasjonene. Etterpå sammenlignes målingene fra sensorene med data fra overvåkningsstasjonen for å se på korrelasjoner, avvik, bias eller presisjon. Det vil gi elevene indikasjoner på kvaliteten på de sensorene de har bygd. Det er ikke uvanlig at det er avvik, men det kan også være tema for en diskusjon.

Når måleperioden er avsluttet, kan elevene jobbe videre med sine data og for eksempel finne outliers (unormale høye eller lave verdier) eller andre ikke forventede resultater. Det kan være en idé å se på tilleggsdata som for eksempel meteorologiske data eller trafikkdata, som kan forklare noen måleresultater. Å se på data fra de offisielle målestasjonene eller luftkvalitetsdata fra NASA kan også være nyttig for å se «det større bildet».

Elevkonferanse

Som avslutning på prosjektet har det tidligere vært avholdt en «elevkonferanse» der alle elevene som deltok presenterte sine resultater i form av en vitenskapelig poster. En jury bestående av forskere og lærere kåret det beste forskningsprosjektet og den beste posteren. I tillegg ble det utdelt en «publikumspris» der elevene stemte på posteren de syntes var best. Kanskje noe liknende kan være aktuelt å arrangere for deres skole/klasse?

Nyttige lenker

Det finnes mange nettsider med informasjon om temaet luftforurensning. Her er lenker til noen av dem:

- <https://luftkvalitet.nilu.no> – NILUs portal «Måledata for luftkvalitet». Her finnes det luftkvalitetsdata fra målestasjonene for luftkvalitet fra hele landet
- www.nilu.no – hjemmesiden til NILU – Norsk institutt for luftforskning

- <https://www.fhi.no/ml/miljo/luftforurensninger/> - Folkehelseinstituttets temaside som inneholder faktaark, nyheter og artikler om luftkvalitet og forurensning
- <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/forurensning/luftkvalitet/lokal-luftkvalitet/lokal-luftkvalitet--hvem-har-ansvar-for-hva/> - Miljødirektoratets nettside om ansvarsfordeling for lokal luftkvalitet
- <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/forurensning/lokal-luftforurensning/> - Miljøstatus om lokal luftforurensning
- <https://luftkvalitet.miljodirektoratet.no/> - Miljødirektoratets nettsider om luftforurensning
- https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1 – Verdens helseorganisasjons nettsider om luftforurensning internasjonalt
- <https://earth.esa.int/eogateway/> - Earth Observation information discovery platform, nettside til den europeiske romfartsorganisasjon med tilgang til mange ulike data
- ... eller bare send mail til nilu@nilu.no

