

Autonomt Energimålingssystem

Instruksjoner

Målet med dette demonstrasjonsprosjektet, kalt *Autonomt Energimålingssystem* (AEMS), er å introdusere det *industrielle tingenes internett* (IIOT), sensorer, kommunikasjonsteknologi, fornybare energikilder og energilagring, samt korresponderende programvare for å analysere og visualisere. Det andre, og veldig viktige, målet er å introdusere den fasinerende verden innen *Cyber-Fysiske Energisystemer* (E CPS) for nye studenter ved «Elektrifisering og digitalisering» og faget «Fornybar energi med energiinformatikk».

I dette prosjektet skal vi mer spesifikt bruke en Raspberry PI (RPI), et batteri og et solcellepanel. En RPI er en datamaskin på størrelse med et kredittkort, bygd på et enkelt kretskort. Den tilbyr mye funksjonalitet og er enkel å bruke. For å demonstrere noe av denne funksjonaliteten og introdusere noe av rammeverket rundt energiinformatikk og E CPS, skal vi gjøre både digitale og analoge målinger av temperatur og kraftflyt for et lite, mobilt system.

For å gjøre dette skal vi bruke noe kalt Hardware Attached on Top (HAT), maskinvare festet til toppen. En HAT er et ekstra kretskort som tilføyer flere bruksområder til RPIen. HATen brukt i dette prosjektet kalles PiJuice. PiJuice har en kontrollenhet som styrer strømmen som kommer inn til RPIen for å at tilførselen er pålitelig. Videre er kan man koble til et batteri som fungerer som back up i tilfelle det ikke er sol ute eller andre uregelmessigheter i strømforsyningen. Dette gjør PiJuicen til en avbruddsfri strømforsyning.

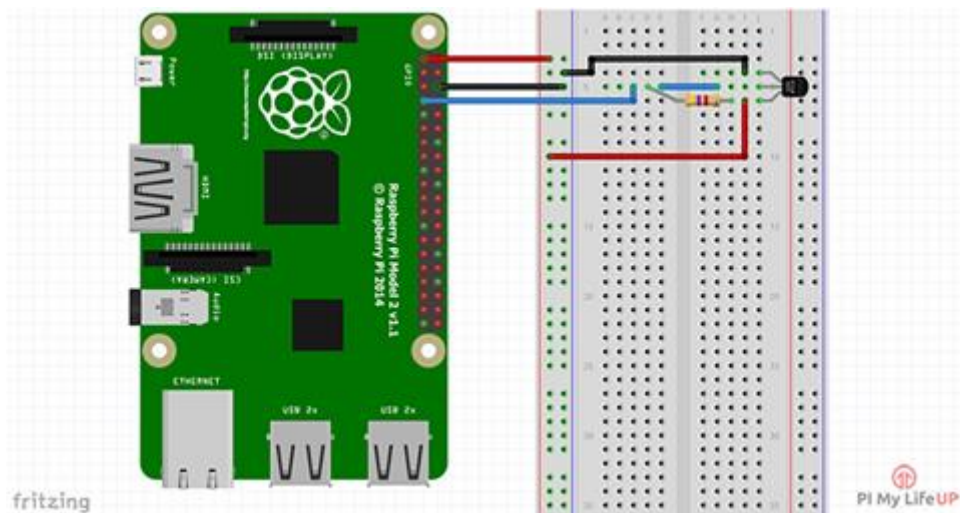
1. Forberedelser av maskinvare

Først må vi koble PiJuicen til RPIen. Dette gjør man ved å forsiktig feste PiJuicen til RPIen ved hjelp av General-purpose Input/Output (GPIO)-pinnene. Dette er de gullfargede pinnene som stikker opp av RPIen. Før vi kobler til solcellepanelet skal vi la RPIen være koblet til strømmettet, det vil si strøm fra stikkontakten. For å skru på RPIen trenger en bare å koble til USB-C-kabelen. I det den slår seg på skal det lyse to lys på RPIen og et på PiJuicen.

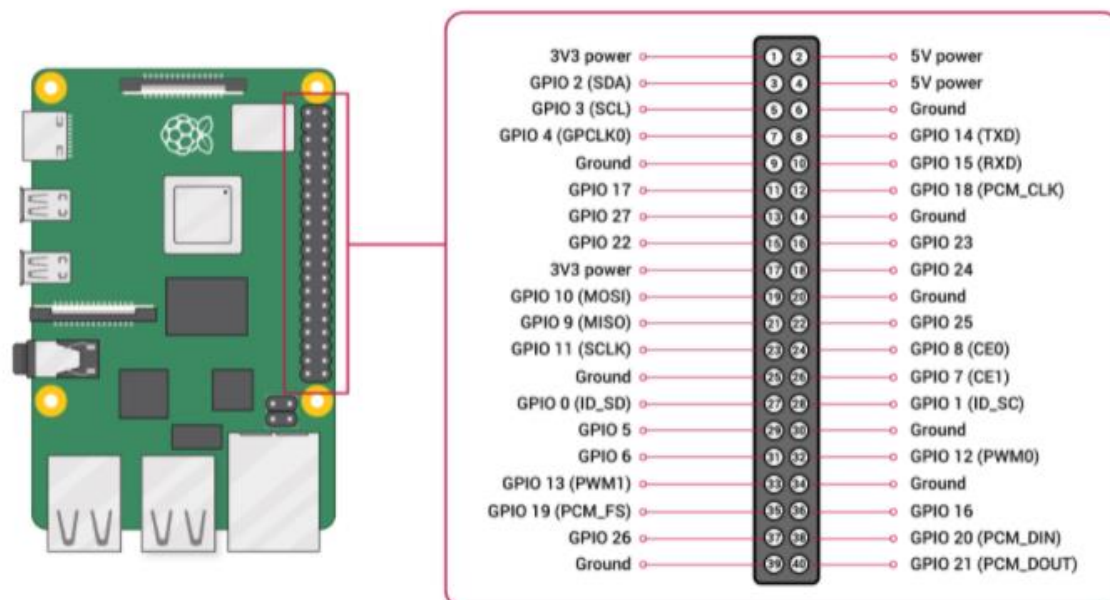
Vi skal bruke et koblingsbrett for å koble temperatursensoren (og tilhørende motstand) til RPIen. Et koblingsbrett er brukt for å midlertidig koble elektriske komponenter. Horisontale koblinger er gruppert i serie og vertikale koblinger utgjør parallellkoblinger. De to kolonnene markert + og – er for positive og jorda koblinger (de ytre to kolonnene). Disse er for å tilføre strøm til brettet og er derfor kalt strømskinner. For dette oppsettet skal det brukes en DS18B20 temperatursensor (Figur 3), sammen med en 4.7 k Ω -motstand. Bruk instruksjonene under for å koble sensoren på rett vis til RPIen. Når dere er ferdige, skal oppsettet ligne det vist i Figur 1.

1. Skru av RPIen, dette gjøres ved å trykke på *raspberry*-ikonet etterfulgt av logg ut.
2. Koble ut strømtilførselen til RPIen og ta ut batteriet.
3. Bruk Figur 2 for å bli kjent med GPIO-pinnene. Start med å koble 3v3-pinnen (pin #1) fra RPIen til den positive strømskinnen og en jorda (grounded) pinne (for eksempel pinne #6) til den jorda skinnen på brettet. For å gjøre dette må en bruke en «female to male» koblingskabel.
4. Deretter, plasser temperatursensoren (DS18B20) til koblingsbrettet. Det har ingenting å si hvor den settes, men sørg for at det er nok plass til å gjøre de neste koblingene mellom sensoren og brua (skilleveggen mellom to hovedkolonner). Om en velger å bruke flere hovedkolonner (slik som i Figur 1), må en koble disse to sammen med en ekstra koblingskabel.

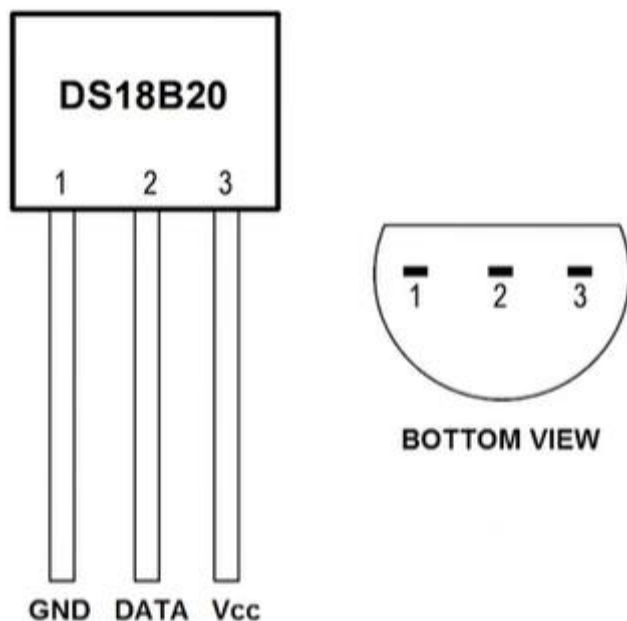
5. Se på Figur 3. Plasser 4.7k Ω -motstanden mellom den positive lederen og datalederen til sensoren, dette er henholdsvis bein 3 og 2 på Figur 3. Dette betyr at et av beina til motstanden skal være i serie med det positive beinet til sensoren, mens det andre beinet til motstanden skal være i serie med datautgangen til sensoren.
6. Plasser en ledning fra den positive lederen til sensoren til den positive strømskinnen. Denne ledningen må kobles i serie mellom motstanden og sensoren.
7. Plasser en ledning fra datalederen til sensoren, tilbake til GPIO 4 (pin #7) på RPIen.
8. Koble en ledning fra det jorda beinet til sensoren, bein 1 på Figur 3, til den jorda strømskinnen.
9. Få en studentassistent til å godkjenne oppsettet deres før dere fortsetter.




Figur 1 Illustrasjon av temperatursensor oppsettet



Figur 2 Navn på GPIO pinnene til Raspberry Pi



Figur 3 Temperatursensor konfigurasjon

Selv om temperatursensoren er koblet til RPIen vil ikke RPIen være klar over at data overføres enda. For å fikse dette må noen få linjer med kode bli lagt til i RPIen sin konfigurasjonsfil. For å gjøre dette må en åpne terminalen, representert med følgende symbol . Terminalen kan bli sett på som en mer direkte måte å manøvrere seg gjennom filene på en datamaskin. Med terminalen åpnet skriv følgende:

```
sudo nano /boot/config.txt
```

Kommandoen `sudo` informerer datamaskinen om at beskjeden som kommer har utvidede rettigheter, som betyr at den kan utføre oppgaver som vanligvis er begrenset til den administrative brukeren. Den neste kommandoen, `nano`, gjør vinduet til en enkel tekstredigerer og åpner filen det gjelder. Filnavnet er skrevet til slutt, i dette tilfellet er det en konfigurasjonsfil for RPIen. Inne i denne filen, bla til nederste linje og skriv (med mindre dette står der allerede):

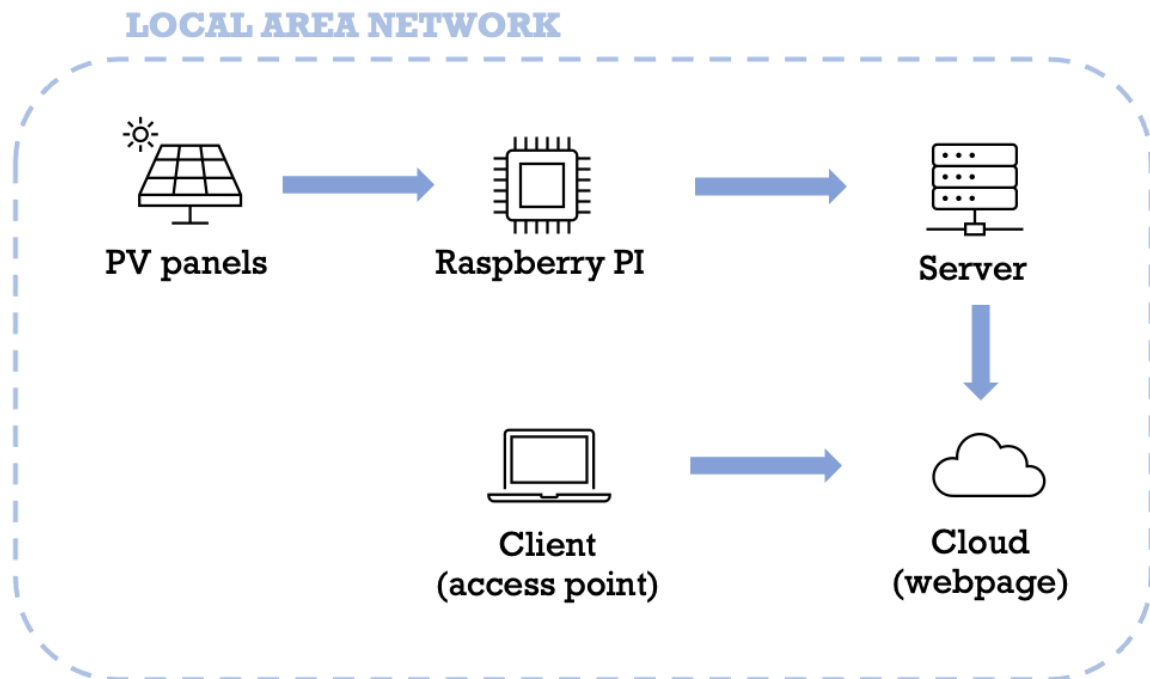
```
dtoverlay=w1-gpio
```

Dette informerer RPIen om at det er koblet til en «sensor via en enkelt ledning», derav w1. For å lagre dette, trykk `ctrl+x` etterfulgt av `J`. for å komme tilbake til terminalen trykk `enter`.

For å aktivere den nye konfigurasjonen må RPIen restarter. Dette gjøres enkelt i terminalen ved å skrive(hopp over denne hvis du ikke endret filen)

```
sudo reboot
```

2. Kommunikasjon



Figur 4: Overordnet system og dataflyt

Denne delen av prosjektet tar for seg kommunikasjonen mellom den fysiske og den digitale verden. Lenken starter ved at elektroniske sensorer gjør målinger i den fysiske verdenen. Signaler og impulser blir i dette stadiet til elektriske signaler som kan tolkes av en datamaskin. Datamaskinen viderefører så signalene til internett ved hjelp av kommunikasjonsprotokollene Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP). TCP er ansvarlig for selve transporten av data over internett, mens IP forteller noe om hvordan dataen skal leveres. En IP-adresse er et nummer som identifiserer en enhet over internett. Domain Name System (DNS) er en adressebok med IP-adresser, hvor hver adresse har et tilsvarende domene. Det kjente domenet ntnu.no har en tilsvarende IP-adresse lik 129.241.160.102. Du kan copy/paste begge inn i en nettleser, og begge vil føre deg til NTNUs hjemmeside.

Dataflyten som skjer i dette prosjektet, er illustrert i Figur 4.

Lage bruker:

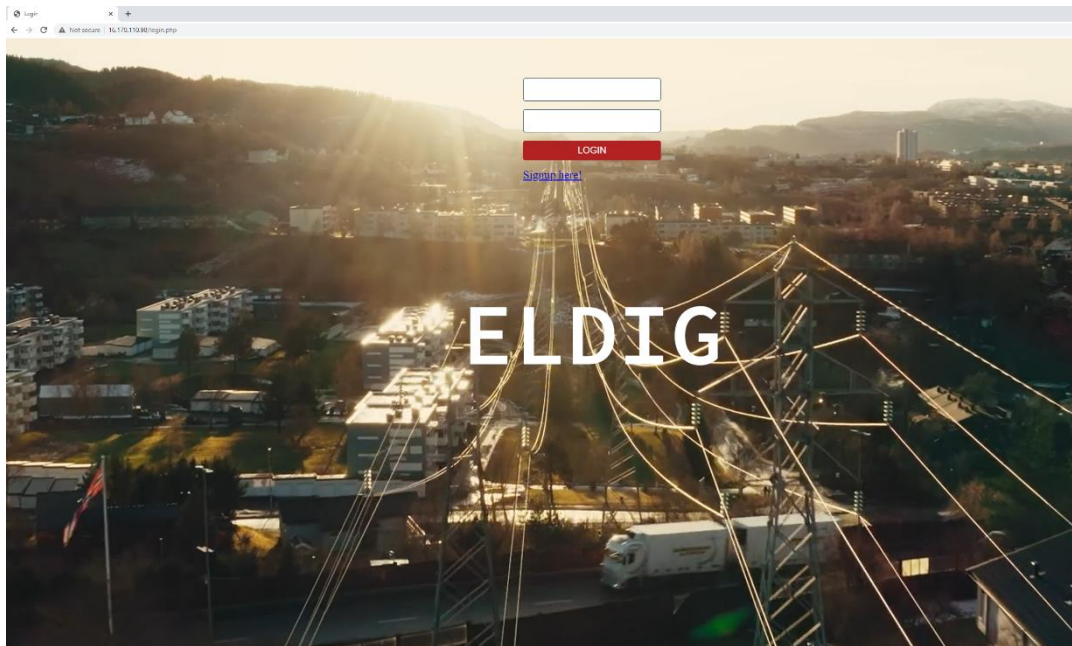
Vi skal bruke en egen nettside for å visualisere målingene fra temperatursensoren og PiJuice. For å sette opp nettsiden må dere først lage en egen bruker for deres gruppe. Nedenfor er adressene til nettsiden. Dere kan selv velge om dere vil bruke DNS eller IP.

DNS: <http://ec2-34-233-8-82.compute-1.amazonaws.com/login.php>

IPv4: <http://34.233.8.82/>

Trykk på kloden i oppgavelinjen for å åpne nettleser i RPIen. Senere kan dere også logge inn med deres egne smarttelefoner.

Trykk på «Sign in here!» og lag et brukernavn og passord. Deretter logger dere inn med deres brukernavn og passord. Det er viktig at dere husker begge, da det blir brukt gjennom resten av prosjektet.



Figur 5: Innloggingsskjerm

Nedlastning av nødvendige filer

Neste steg er å laste ned filen *publishData.py*. Denne python-filen blir brukt til å hente data fra RPIen og PiJuicen, og deretter lagre den i en database i skyen. For å laste ned denne og noen andre tilhørende filer må en gjøre følgende:

1. Åpne terminalen igjen.
2. Last ned filene fra GitHub ved å skrive:
`sudo git clone https://github.com/KrisDup/TeknostartELDIG.git`

GitHub er en nettside som blant annet tilbyr serverlagring av kildekode.

3. For å få tilgang til den nylig nedlastede mappen, skriv:
`cd TeknostartELDIG/ELDIG`
- 4.
5. Dere er nødt til å gjøre noen endringer inne i *publishData.py* slik at gruppas data vises på deres profil. For å åpne filen skriv:
`sudo nano publishData.py`
6. Bla ned til dere finner linjene «user_name» og «password». Fyll inn deres gruppes brukernavn og passord. Husk å holde dere innenfor “ ”. Om dere har lyst må dere gjerne bruke litt tid og bli kjent med koden. Python er et mye brukt kodespråk og dere vil lære det i *TDT4110 Informasjonsteknologi grunnkurs*.
7. Deretter trykker dere `ctrl+x` så `j`, deretter `enter` for å lagre endringene.

For å kunne koble til databasen, vil dere måtte laste ned noen python-moduler. En python-modul er en fil som inneholder ferdigprogrammerte funksjoner slik at man slipper å kode disse selv. For å laste ned disse skriv følgende linjer inn i terminalen:

```
sudo apt-get update
sudo apt-get upgrade
sudo apt-get install python3-pip
sudo apt-get install libmariadb-dev
sudo apt-get install pijsice-gui
pip3 install mariadb
```

8. Nå er vi klare for å kjøre publishData.py som vil begynne å sende data fra RPIen til skyen. Dette gjøres ved å skrive:

```
python3 publishData.py
```

3. Krafttilførsel

Så langt har RPIen vært tilkoblet strømmettet via stikkontakten. I mange vanlige applikasjoner er ikke dette alltid en mulig løsning. Dette kan være på en avsidesliggende hytte eller i et land med mindre pålitelig strømmett. Da er det nyttig å ha en alternativ energikilde, eller som i dette tilfelle, et selvforsynt system. Her skal dette gjøres ved hjelp av et lite batteri og solcellepanel som nå skal kobles til.

1. Begynn med å koble batteriet til PiJuice ved å feste batteriet til toppen. Sørg for at de gullfargede kontaktpunktene treffer terminalene på kretskortet og at batteriet sitter godt. LED-lyset på PiJuicen skal nå endre farge. Nå som batteriet er tilkoblet vil det automatisk ta over strømforsyningen i tilfelle et strømbrytning.
2. For å simulere dette, koble ut USB-C-kabelen. Observer endringene på nettsiden ved hjelp av smarttelefonene deres eller RPIen. Forklar hva som skjer.
3. Koble til solcellepanelet ved hjelp av micro-USB-kabelen til inngangen på PiJuicen. Hvordan vil kraftflyten se ut nå?
4. Koble til USB-C-kabelen igjen, slik at RPIen nå er koblet til både strømmettet, solcellepanelene og batteriet. Hvordan vil strømforsyningen være med alle tre koblet til? Det vil si, hvilken prioritet vil de forskjellige strømkildene ha? Diskuter mellom dere. Hva med i følgende situasjoner:
 - a. Sol og ikke noe galt med strømmettet
 - b. Sol og strømbrytning
 - c. Delvis overskyet og strømbrytning
 - d. Midt på natta og strømbrytning



Figur 6: Overordnet system og strømforsynende maskinvare

Måling og instrumentering

Med RPIen påskrudd vil den trekke strøm, enten det er fra batteriet, solpanelet eller strømmettet. I denne delen vil det bli gitt en kort introduksjon til kraftflyt. De fleste elektriske apparater har en angitt spenning de krever for å fungere slik de skal. For en RPI er dette 5 Volt [V]. Mengde energi brukt eller produsert hvert sekund kalles for effekt, og for elektriske apparater brukes enheten watt[W]. Formelen for effekt er gitt:

$$P = V * I$$

V: Spenning (Volt)

I: Strøm (Ampere)

P: Effekt (Watt)

For energiproduksjon, for eksempel fra sol-, vann eller vindenergi, er vi mer interessert i hvor mye effekt som blir produsert over tid. Dette er gjort ved å integrere effekten over tid, som gir energi [Wh]. Batterier derimot, har en nominell spenning, som gjør at det ikke er noe behov for å inkludere spenningen når man regner ut effekten. Man kan dermed kun se på hvor mye strøm batteriet lader eller utlader over tid, denne strømmengden er ofte gitt på batteriet med enheten Ah.

$$E = P * t$$

E: Energi (Wattimer)

t: tid (timer)

1. Ta en titt på batteriet som er koblet til PiJuicen. Hva er nominell spenning, strømmengde og energikapasitet i wattimer for batteriet?
2. Koble ut panelet og stikkontakten. Bruk nettsiden til å observere omtrent hvor mye strøm som utlades fra batteriet. Hvor lenge vil RPIen være påskrudd om man kun har batteriet tilgjengelig? Dere kan anta at batterispenningen holder seg på sin nominelle verdi.

De observante kan ha lagt merke til at den nominelle spenningen til batteriet er lavere enn nominelle spenningen til RPIen. Dette tilsier at RPIen ikke skal fungere med dette batteriet,

men det gjør det jo. Dette er fordi PiJuicen omformer spenningen opp til 5 Volt ved hjelp av en DC/DC omformer. Effekten gjennom denne omformer vil forbli det samme, dette betyr at om spenningen endres vil strømmen også.

3. Hva vil den teoretiske strømmen inn i RPIen være? (bruk de nominelle spenningene og målt batteristrøm) Valgfritt: Sammenlign med strømmen gjennom GPIO pinnene, stemmer de overens?
4. **(Valgfri)** Koble til solcellepanelet igjen. Gå ut (om været tillater det) eller plasser det under halogenlampene. Om dere går ut, vær sikker på at alt utstyr er ordentlig festet og at dere er innlogget gruppens nettside via telefonen deres.
Effekten produsert av panelet er hovedsakelig avhengig av solinnstrålingen, temperaturen på solcellepanelene og tekniske egenskaper i panelene. Temperaturen til solcellepanelene kan bli beregnet ved hjelp følgende formel gitt av produsentene.

$$T_c = T_a + 25^{\circ}\text{C} * \frac{G}{\frac{800\text{W}}{\text{m}^2}}$$

T_c : Paneltemperatur

T_a : Omgivelsestemperatur

G: Solinnstråling

Konstantene er basert på tester gjort under kontrollerte betingelser, gjort av produsent. For omgivelsestemperaturene, T_a , bruker dere temperaturen målt av temperatursensoren. Likningen for produsert effekt fra solpanelet er gitt under.

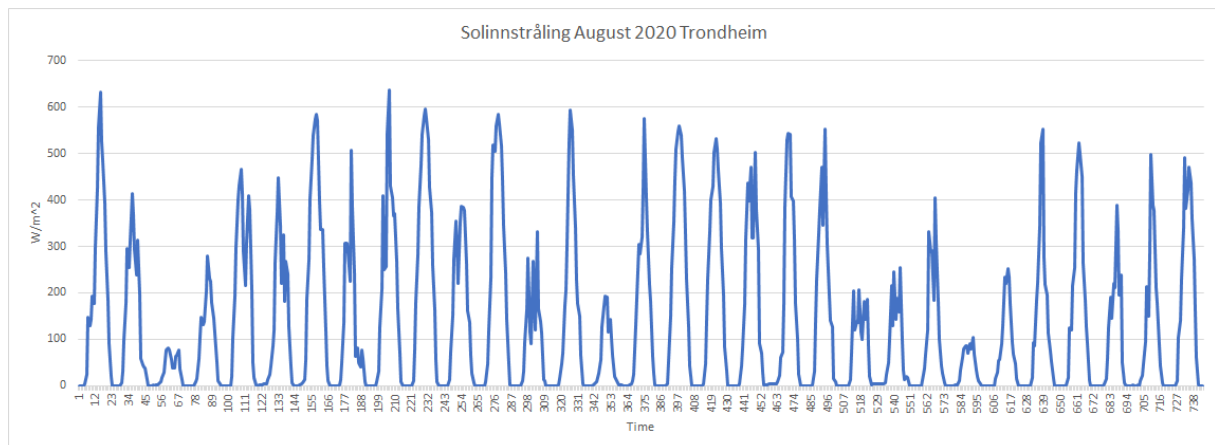
$$P = \frac{G}{1000 \text{ W/m}^2} \cdot P_{stc} \cdot (1 - \beta(T_c - T_{stc}))$$

P_{stc} : Produsert effekt fra solpanelet under standard testforhold. Denne verdien er oppgitt på lommen på innsiden av panelet.

$\beta = 0.0045/^{\circ}\text{C}$. Temperaturkoeffisient. Indikerer hvor avhengig produksjonen fra solcellepanelet er av paneltemperaturen.

$T_{stc} = 25^{\circ}\text{C}$. Standard testtemperatur under produksjon av solcellepanelet.

I figuren under er solinnstrålingsverdiene for Trondheim i august 2020 oppgitt. Velg en av de høyeste verdiene og bruk likningen under til å beregne hvor mye effekt panelet kunne ha produsert ved slike solforhold. Velg så en av de laveste og sammenlign.



Figur 7 Solinnstråling august 2020 Trondheim

5. Eksperimentering

Vi skal nå gjøre noen praktiske oppgaver. Om været tillater det ta med utstyret ut for testing. Sørg for at alt er koblet godt.

1. Hva skjer om et av panelene er delvis tildekket av skygge? Test ved å putte en hånd over panel. Diskuter hvorfor det skjer.