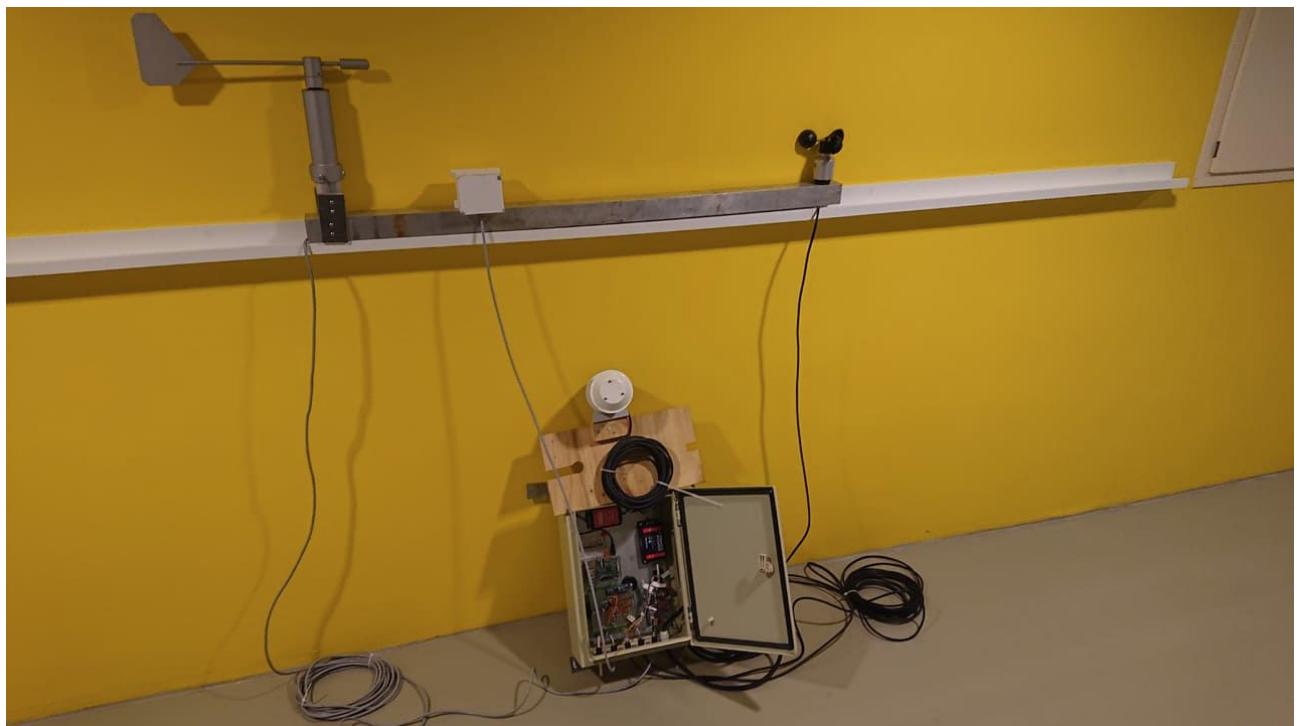


Bacheloroppgave 2019

Utvikling av en værstasjon

Fredrik Forsell og Ivar Andreas Helgestad Sandvik.

BO19-G36



15 Mai - 2019



HØGSKOLEN I ØSTFOLD

Avdeling for Informasjonsteknologi
Remmen
1757 Halden
Telefon: 69 21 50 00
www.hiof.no

BACHELOROPPGAVE

Prosjektkategori:	<input checked="" type="checkbox"/> Fritt tilgjengelig
Utvikling	<input type="checkbox"/> Fritt tilgjengelig etter:
Omfang i studiepoeng:	<input type="checkbox"/> Tilgjengelig etter avtale med arbeidsgiver
20	
Fagområde:	
Dataingeniør	

Rapportittel:	Dato: 15. Mai 2019
Utvikling av en værstasjon	Antall sider: 95
	Antall vedlegg: 2
Forfattere:	Veileder:
Fredrik Forsell Ivar Andreas Helgestad Sandvik	Terje Samuelsen
Avdeling / linje:	Gruppenummer:
Avdeling for Informasjonsteknologi	BO19-G36

Utført i samarbeid med:	Kontaktperson:
HIØ - Project Hessdalen	Erling Strand

Ekstrakt:
To værstasjoner bygges og monteres på en målestasjon i Hessdalen. Værstasjonene skal bestå av sensorer for måling av: vindhastighet, vindretning, temperatur, luftfuktighet og lufttrykk. Ettersom Hessdalen ligger i en dal som ofte rammes av et tøft klima, er stasjonene konstruert med hensyn til ekstrem kulde og vind. Værstasjonene skal kobles til en ekstern database ved hjelp av kablet internett. Denne databasen vil registrere sensoravlesninger, og vil bli brukt til å presentere informasjonen visuelt på nettsiden www.hessdalen.org .

3 emneord:	Sensorer	Raspberry Pi	Værstasjon
------------	----------	--------------	------------

Sammendrag

Dette bachelorprosjektet handler om utviklingen av en værstasjon for oppdragsgiveren HIØ - Project Hessdalen. Dette er et prosjekt som har nære relasjoner til interessen og forskningen på Hessdalsfenomenet. Fenomenet blir ofte beskrevet som lysende kuler som svever i luften over dalen. Essensen av vårt prosjekt er å produsere en værstasjon som består av en datamaskin og sensorer. Det er ofte dårlige værforhold i Hessdalen så værstasjonen er produsert med tanke på lave temperaturer, frost, snø og sterk vind. Stasjonen skal kontinuerlig loggføre forholdene og deretter laste opp observasjonene til en database. En webside er også utviklet for å presentere observasjoner fra værstasjonen til publikum. På tidspunktet dokumentet har blitt skrevet har oppdragsgiver og vi ikke hatt mulighet til å dra samtidig til Hessdalen for montering av værstasjonen. Men vi har avtalt med oppdragsgiver å reise til Hessdalen kort tid etter innleveringen av dette dokumentet.

Takk Til

Vi ønsker å takke ansatte ved Høgskolen i Østfold for mye nyttig informasjon for skriving og planlegging av vår bacheloroppgave. Vi har satt spesielt pris på en god veiledning fra Terje Samuelsen. Han har gitt oss mye god kunnskap innenfor dokumentering og planlegging av større prosjekter. Dette er noe som vil hjelpe oss mye den dagen vi får oss en jobb innenfor fagfeltet vårt. Han har også bidratt med profesjonell hjelp for håndtering av problemer innenfor vår gruppe sammen med prosjektlederen Gunnar Misund. Vi ønsker også å uttrykke vår takknemlighet til bestillingsansvarlig Hans Olav Bøe for hjelp med bestilling av komponenter, Glomsrød Mekanisk Verksted AS for å ha gitt oss monteringsstang til vindinstrumenter og til slutt vår oppdragsgiver Erling Strand som har bidratt til et godt samarbeid med gode diskusjoner og finansieringen av en interessant bacheloroppgave.

Innholdsfortegnelse	
Sammendrag	5
Takk Til	7
Innholdsfortegnelse	9
1. Introduksjon	11
1.1 Prosjektgruppen	11
1.2 Oppdragsgiver	12
1.3 Oppdraget	12
1.4 Formål	12
1.5 Leveranser	12
1.6 Planlegging	13
1.7 Metode	16
1.8 Innholdet i dokumentet	17
2. Analyse	18
2.1 Værmålinger	19
2.2 Tidligere værstasjoner i Hessdalen	28
3. Prosessen	39
3.1 Produktplanlegging	39
4. Kravspesifikasjon	41
1. Kravspesifikasjon	42
2. Illustrasjon av systemarkitekturen	43
3. Krav	44
4. SIGNATURER	49
5. Valgt utstyr	50
6. Implementasjon	54
6.1 Montering av komponenter	55
6.2 Kretskortet	56
6.3 Nettsiden	59
6.4 Webserver	63
6.5 Hovedenhet programvare	65
6.6 Databasen	68
6.7 3D-Printing av boks for lufttrykksensor	69

7. Testing og evaluering	70
7.1 Regn	70
7.2 Utendørs bruk	74
8. Dokumentasjon av driftsrutiner	76
9. Diskusjon	82
9.1 Formål og hovedmål	82
9.2 Leveranser	83
9.3 Metode	83
9.4 Hva vi har lært	84
9.5 Problemer underveis	84
9.6 Hva kunne blitt gjort bedre.	85
10. Konklusjon	86
10.1 Videreføring av prosjektet	86
Litteraturliste	87
Vedlegg	94
1. Beauforts skala	94
2. IP rangering systemet.	95

1 Introduksjon

1.1. Prosjektgruppen

Fredrik Forsell, kommer fra Stavanger, og bosatt i Halden under studietiden. Han har erfaring i bruk av: C, C++, C#, Java, Javascript, HTML, CSS og Arduino. På fritiden liker han å lage applikasjoner for android- og Iphone telefoner.

Ivar Sandvik, kommer fra Ås Akershus, og bosatt i Halden hvor han studerer til dataingeniør. Han har grunnleggende kompetanse innen programmering. Han har også jobberfaring som lærling i to år som IKT-Servicemedarbeider og har fagbrev i IKT-faget. På fritiden liker han å spille spill og jobbe med egne programmeringsprosjekter utenfor skoletiden.

1.2. Oppdragsgiver

Høgskolen i Østfold – Project Hessdalen, et prosjekt som ble startet opp sommeren 1983 av oppdragsgiveren Erling Strand, sammen med venner. Grunnet lite aktivitet ble det startet et samarbeid med forskningsinstitusjonen Høgskolen i Østfold (Strand, Erling). Etter prosjektets dannelse har det blitt installert instrumenter og sensorer for å automatisere loggføringene av det verdenskjente lysfenomenet kalt Hessdalsfenomenet (Kapittel 2.2). Etter samarbeidet startet har studenter fått muligheten til å bidra med videreutviklingen av den automatiske målestasjonen Hessdalen AMS (Automatisk Målestasjon).

Oppdragsgiveren Erling Strand, er bosatt i Sarpsborg kommune. Han jobber som høgskolelektor ved avdeling for informasjonsteknologi på Høgskolen i Østfold. Han er også den nåværende lederen av Project Hessdalen. Grunnet en stor mediedekning har Erling holdt mange foredrag om Hessdalen, inkludert TV- og radio program (Strand, 2018). Han har også arrangert flere science camps i Hessdalen. Dette er et arrangement der ungdomsskoleelever drar på tur til Hessdalen. På turen får de mulighet til se og forske på Hessdalsfenomenet (Moan, 2015).

1.3. Oppdraget

Hensikten med dette oppdraget er å undersøke et naturfenomen som regelmessig forekommer i Hessdalen (som er noen mil sør for Trondheim). Det verdenskjente naturfenomenet blir beskrevet som glødende kuler som svever i luften i Hessdalen. Fenomenet ble først observert i 1981, hvor antallet registrerte forekomster økte de første årene. I en periode ble det sett opp til 20 lysende kuler i løpet av en uke. Dette antallet har sunket betraktelig med tiden, og det er nå omtrent 20 observasjoner årlig (Strand, 2010).

Ettersom de to siste værstasjonene som var installert i Hessdalen sluttet å fungere 20. mars 2018 ville oppdragsgiver bruke denne muligheten til å bygge en ny og forbedret stasjon. Oppdragsgiver hadde forsøkt å reparere stasjonene, men dette ble problematisk da mikroprosessorene var kodet uten tilstrekkelig dokumentasjon (Strand, Erling). Stasjonene besto av sensorer for: temperatur, fuktighet, vindretning, og vindhastighet. De nevnte sensorene var installert på en Raspberry Pi datamaskin (Kalmár, Linstad, Todorov, and Rokne, 2016).

Prosjektet vårt går ut på å utvikle to nye værstasjoner. Ettersom værstasjonene vil bli plassert i Hessdalen, Trøndelag må de være designet slik at de kan tåle et tøft klima, i tillegg til å registrere nøyaktige målinger. Stasjonene skal ha sensorer for å måle temperatur, fuktighet, lufttrykk, vindhastighet og vindretning. Kapittel 4 vil bestå av en kravspesifikasjon som vil gi ytterligere informasjon om hvordan værstasjonen skal bli utviklet.

1.4. Formål

Formålet med prosjektet er å gi oppdragsgiver og interesserte tilgang til værdata fra Hessdalen for undersøkelse og analyse. Observasjonene må være nøyaktige og pålitelige for at de skal bidra til forskningen rundt fenomenet. Dataen skal også presenteres på en oversiktlig måte slik at brukerne lett kan finne dataene de leter etter på nettstedet.

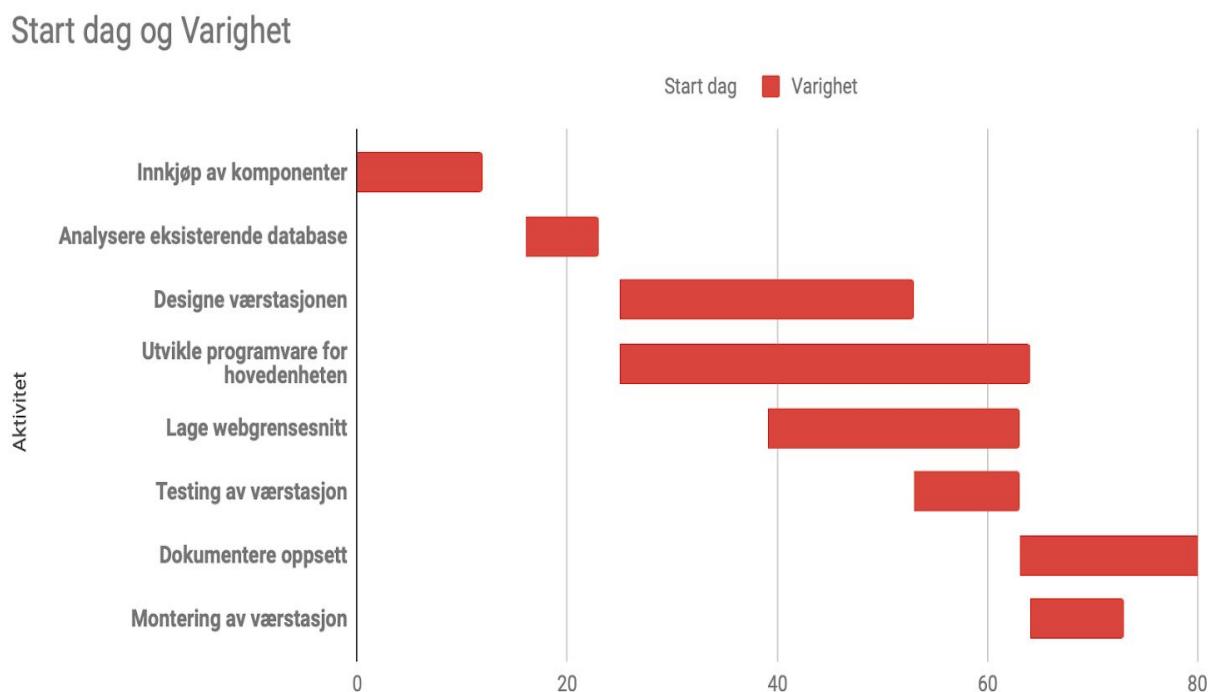
Hovedmål 1: Designe og bygge to stykk værstasjoner som fungerer i krevende værforhold med tilhørende web-grensesnitt.

1.5. Leveranser

- 07.12.2018 - Gruppekontrakt og prosjektkontrakt.
- 08.01.2019 - Hjemmeside.
- 18.01.2019 - Forprosjektrapport.
- 08.03.2019 - Første versjon av hoveddokumentet.
- 23.04.2019 - Andre versjon av hoveddokumentet.
- 16.05.2019 - Ferdig hoveddokument.
- 04.06.2019 - Presentasjon av prosjektet.

1.6. Planlegging

I planleggingsfasen samarbeidet gruppen for å lage en plan for gjennomføringen av prosjektet. Planen danner en basis for arbeidet vårt fremover, gjennom aktiviteter som dekker de essensielle gjøremålene for prosjektet. Hver aktivitet har en gitt tidsramme og en beskrivelse av hva som skal leveres og produseres. Som et initiativ har hver aktivitet en ansvarsperson som er ansvarlig for at leveransen blir fullført innen gitt frist. På illustrasjonen nedenfor (Figur 1.1) er alle aktivitetene illustrert i et Gantt diagram. Rekkefølgen av aktivitetene (y-aksen) er identisk med listen under bildet. Hver aktivitet blir presentert ved hjelp av en rød boks. Denne representerer forventet varighet, start- og sluttid.



Figur 1.1. Gantt diagram for arbeidsplanen

Innkjøp av komponenter

Start: 21.01.2019

Slutt: 02.02.2019

Ansvarlig: Alle gruppemedlemmer

Leveranse: Bestemme og bestille nødvendige komponenter for systemet.

Beskrivelse: Finne ut hvilke sensorer og komponenter vi trenger. Diskutere for å finne beste komponenter som vil tåle værforholdene over tid. Få innspill fra oppdragsgiver for komponentvalg.

Analysere eksisterende database

Start: 06.02.19

Slutt: 13.02.19

Ansvarlig: Fredrik Forsell

Leveranse: Database for lagring av måleverdier.

Beskrivelse: Det finnes en eksisterende database med data fra tidligere værstasjoner. Oppdragsgiver vil at vi skal bruke denne databasen for nye måledata, slik at man har tilgang på eldre data og nye data i det samme grensesnittet.

Designe værstasjonen

Start: 06.02.2019

Slutt: 15.03.2019

Ansvarlig: Alle gruppemedlemmer

Leveranse: Enheten som skal monteres i masten må designes. Dette innebærer hvordan komponentene er koblet sammen. Komponentene må deretter monteres slik at værstasjonen blir komplett.

Beskrivelse: Vi skal planlegge hvor komponentene skal plasseres og hvordan de er koblet sammen. Dette inkluderer strøm og internett tilkobling.

Utvikle programvare for hovedenheten

Start: 15.02.2019

Slutt: 26.03.2019

Ansvarlig: Ivar Sandvik

Leveranse: Lage programvare som kjører på enheten som samler inn data og laster disse opp til databasen. Programvaren må være innen kravene gitt i hovedmålet.

- Programkode for å lese av måleverdier og lagre disse i minnet eller harddisk.
- Programkode for opplastning av data.
- Sette opp remote kontroll av enheten sine variabler.
- Sette opp failsafe (overgang til mobilt internett ved nedtid).

Beskrivelse: Utvikle programvare for værstasjonen.

Lage webgrensesnitt

Start: 01.03.19

Slutt: 25.03.19

Ansvarlig: Ivar Sandvik og Fredrik Forsell

Leveranse: Lage et webgrensesnitt for værstasjonen

Beskrivelse: Dette er en separat del av oppgaven som ikke er avhengig av at målestasjonen er aktiv da vi har eldre værdata som kan brukes til testing. Det skal designes en nettside med mulighet for å se måleverdier over tid i graf format og tabellformat.

Testing av værstasjon

Start: 15.03.2019

Slutt: 25.03.2019

Ansvarlig: Fredrik Forsell

Leveranse: Teste værstasjon og verifisere resultater fra målinger.

Beskrivelse: Vi skal teste værstasjonen på campus før den settes ut i produksjon for å sjekke at alle komponenter fungerer og opplasting av data fungerer.

Dokumentere oppsettet av komponenter

Start: 25.03.2019

Slutt: 15.04.2019

Ansvarlig: Alle gruppemedlemmer

Leveranse: Dokumentere hvordan komponentene har blitt koblet sammen og en generell oversikt over komponentene.

Beskrivelse: Det skal dokumenteres hvordan værstasjonen er bygget opp.

Montering av værstasjon

Start: 26.03.2019

Slutt: 04.04.2019

Ansvarlig: Alle gruppemedlemmer

Leveranse: Sette opp værstasjonene i Hessdalen.

Beskrivelse: Vår oppdragsgiver skal være i Hessdalen den første uken av April og kan være med oss å sette opp værstasjonen i masten. Dette gir oss mulighet til å installere utstyret tidlig slik at vi kan rapportere og få innsikt om den fungerer etter spesifikasjonene. Denne aktiviteten er avhengig av at værstasjonens programvare er ferdig utviklet.

1.7. Metode

Intervjuene som gjennomføres skal være semistrukturerte. Vi vil stille konkrete spørsmål med et ønske om at svarene blir utdypt. Før vi holder et intervju ønsker vi å diskutere i gruppen hvilke spørsmål vi har til oppdragsgiver. Spørsmålene vil bli notert før intervjuet starter. Under intervjuet vil vi å starte med å stille generelle spørsmål, etterfulgt av å spørre om mer konkrete detaljer fra svaret som blir gitt. Dette gjør at intervjuet får en hierarkisk struktur. Under intervjuet skal vi notere alle svarene slik at vi kan analysere dem i ettertid. Dersom det oppdages mangler i svarene skal vi notere det slik at vi kan diskutere det på neste møte.

Vi vurderte å bruke agile ettersom denne arbeidsmetoden gir mer fleksibilitet i forhold til endringer i krav fra oppdragsgiver. Agile åpner muligheten for kontinuerlig dialog med oppdragsgiver slik at begge parter kan komme med nye ideer underveis i arbeidsprosessen (Agile software development, 2019). Grunnet oppdragets natur og den grundige kartleggingen vår av omfanget, så trenger ikke vi denne fleksibiliteten. Vi ønsker derfor å benytte Vannfall modellen som vår arbeidsmetode for prosjektet. Grunnen til at vi velger Vannfall metoden er at prosjektet sitt omfang blir klart definert med en kravspesifikasjon utarbeidet ved hjelp av dialogene med oppdragsgiver. Dersom uventede situasjoner oppstår kan små avvik fra vannfallsmetoden være nødvendig. Dette vil da avklares med oppdragsgiver. Etter valget av arbeidsmetoden vil vi utarbeide en prosjekt- og aktivitetsplan. Dette går under “Requirements og Design” i Vannfallmetoden («Waterfall Model», 2019).

Som nevnt i forrige avsnitt skal vi lage en kravspesifikasjon der vi beskriver produktet vi skal utvikle. Kravspesifikasjonen vil bli utarbeidet med hensyn til NTNU sin wiki-side for teknisk kravspesifikasjon (NTNU, 2019). Dokumentet vil bli presentert for oppdragsgiver hvor eventuelle endringer blir diskutert. Denne skal undertegnes av alle parter før værstasjonen bygges. Da forarbeidet er ferdig starter vi i implementasjonsfasen i prosjektet. Dette vil si at vi starter å jobbe med aktivitetene i prosjektplanen. Prosjektplanen inneholder en liste med aktiviteter hvor vi bestemmer hvem som skal være ansvarlige over oppgitte tidsfrister.

Da produktet er ferdig starter vi å kvalitetssikre værstasjonene for å avdekke feil og mangler. Under denne prosessen vil vi benytte metodologien fra V-metoden for testing. V-metoden er en forlengelse av Vannfallmetoden og den spesifiserer at testing og verifikasiing skal foregå parallelt med utvikling (Firesmith, 2013). Altså at deler av leveransen skal testes separat før det fullstendige produktet skal testes (Firesmith, 2013). Grunnen til valget av denne metoden er fordi den tilrettelegger for testing på del basis. Dette reduserer risikoen for at en test vil ende opp med å påvirke andre deler av produktet negativt. Kravspesifikasjonen vil bli brukt som en veiledning i forhold til om testingen har vært vellykket eller ikke. Det vil diskuteres innad i gruppen om hvilke testscenarioer som skal utføres.

I vannfallmetoden er den siste fasen vedlikehold av løsningen. I vårt prosjekt vil vedlikehold mest sannsynlig kun skje hvis det oppstår problemer med værstasjonen. Vi har bestemt oss for å løse vedlikeholds problemet ved å lage instruksjoner på hvordan ulike problemer kan løses.

Instruksjonene vil være i dokumentasjons kapittelet i dette dokumentet. Oppdragsgiver kan bruke informasjonen i kapittelet for å rette problemer på et senere tidspunkt.

1.8. Innholdet i dokumentet

Innholdet i kapitlene i bachelorstilen

Dette dokumentet inneholder 10 kapitler som har blitt sortert med hensyn til det skal bli lest i kronologisk rekkefølge. Det første kapittelet som er navngitt ”Introduksjon” skal gi leseren et overblikk om hva slags innhold og fremgangsmåter som har blitt brukt for utviklingen av værstasjonen. Deretter kommer analysekapittelet. Her vil det bli forklart ulike metoder som kan brukes for å få nøyaktige verdier som representerer naturkreftene som måles av værstasjonen. Videre vil vi foreta en analyse av de tidligere værstasjoner i Hessdalen.

I kapittel 3 forklares prosessene fra planleggingsfasen til vårt prosjekt. Dette innebærer oppstartsprosessen, innkjøpsprosessen og hvordan vi fant de ulike komponenter og sensorene som ble brukt i værstasjonen. Deretter kommer kravspesifikasjon kapittelet. Her blir alle kravene som vi bearbeidet sammen med oppdragsgiver presentert. Dette skal bidra til at leseren har en fullstendig forståelse for hvordan sluttpunktet skal fungere. Kravspesifikasjonen bidrar også til en bedre forståelse for valgene av utstyr og komponenter som blir beskrevet i kapittel 5. I kapittel 6 dokumenteres produksjonen og sammenkoblingen av utstyret til værstasjonen. Deretter, i kapittel 7 gjennomfører vi dokumentasjon for testingen vi har utført på produktet slik at vi kan garantere at produktet fungerer som avtalt med oppdragsgiver. Kapittel 8 består av dokumentasjonen av driftsrutiner. Innholdet ble laget med hensyn til dokumentasjonskravene til oppdragsgiver. Dokumentet avlutes med et diskusjons- og konklusjonskapittel der vi drøfter resultatene fra prosjektet. De fleste kapitlene inneholder eller refererer til figurer i dokumentet. Det første tallet i figurnavnet viser til hvilket kapittel den er i (eks: Figur 1.7).

Gruppering av innhold

Under utarbeidelsen av dette dokumentet har vi hatt fokus på å ikke lage for mange små delkapitler. Dette er for å skape en bedre flyt for leseren ved å ha mer innholdsrike delkapitler. Disse delkapitlene skal ha generelle titler som gir leseren en god pekepinn på innholdet. Dersom det skal være nødvendig med en ytterligere gruppering av innhold vil det plasseres under ikke-nummererte overskrifter. Første overskrift vil ha en fet tekst med underlinje, mens videre grupperinger vil ha en fet overskrift uten underlinje. Denne metoden blir illustrert i figur 1.2.

1.2 Eksempel

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nulla elementum magna a enim fermentum malesuada. Pellentesque lacinia dui ut sapien finibus facilisis.

Eksempler for skrivemetoder

Første gruppering innenfor et delkapittel.

Skrivemetoden for introduksjon

Gruppering innenfor en gruppering.

Eksempler for kildebruk

Andre gruppering innenfor et delkapittel.

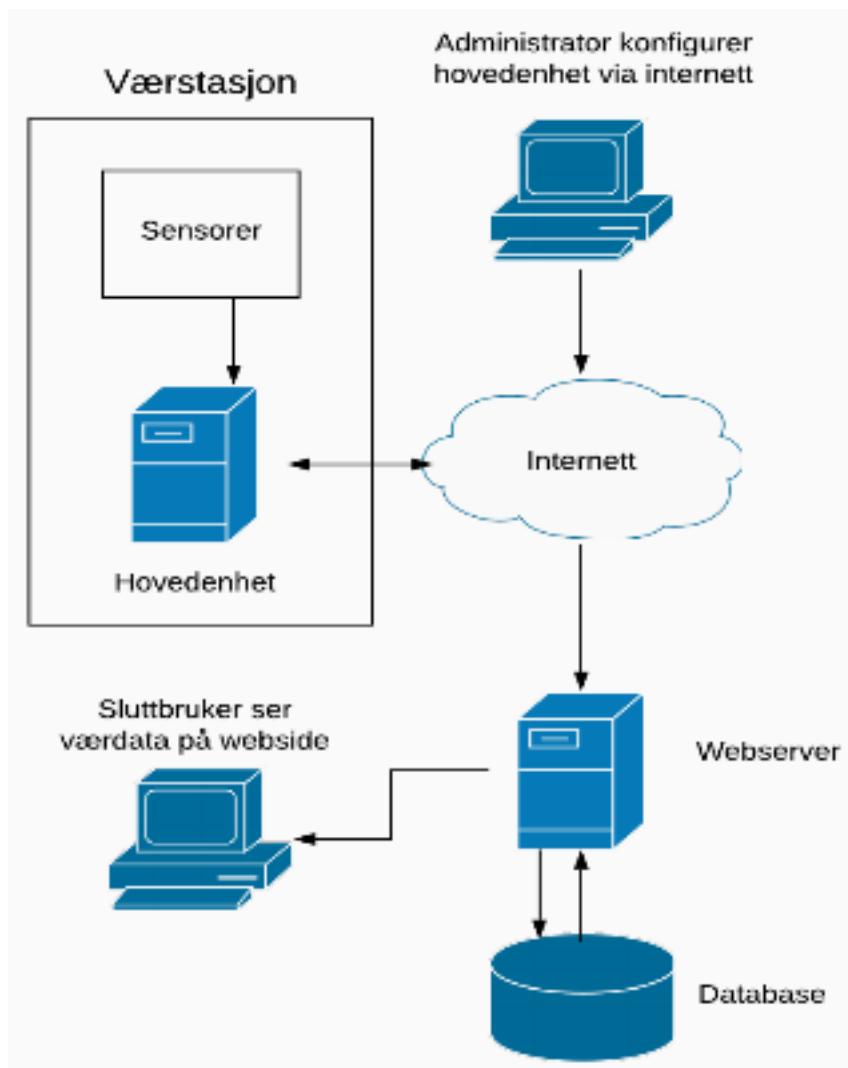
Kildebruk i referanseliste

Gruppering innenfor en gruppering.

Figur 1.2. Grupperinger i et delkapittel.

2 Analyse

Analysekapittelet består av informasjonen som vil danner grunnlaget for beslutningene som blir tatt i planleggingsfasen. Det blir foretatt analyser av tidligere prosjekter som har hatt hovedfokus på måling av værdata ved hjelp av en værstasjon. Vi vil studere valgene som har blitt tatt for de tidligere værstasjonene og prøve lære av deres erfaringer. Det blir også forklart metoder som brukes for foreta en digital og analog måling av værdata. Dette skal bidra til at vi tar gode beslutninger under utviklingen av produktet. Vi har delt kapittelet inn i to hoveddeler. Et delkapittel for tidligere prosjekter (kapittel 2.2), og et annet for værmålingsteori (kapittel 2.1) På figur 2.1.1 vises en skisse av forslaget vårt for systemarkitekturen til værstasjonen vi skal utvikle. For en utfyllende forklaring av figuren se del 2 av kravspesifikasjonen som finnes i kapittel 4.



Figur 2.1.1 Foreslått systemarkitektur.

2.1. Værmålinger

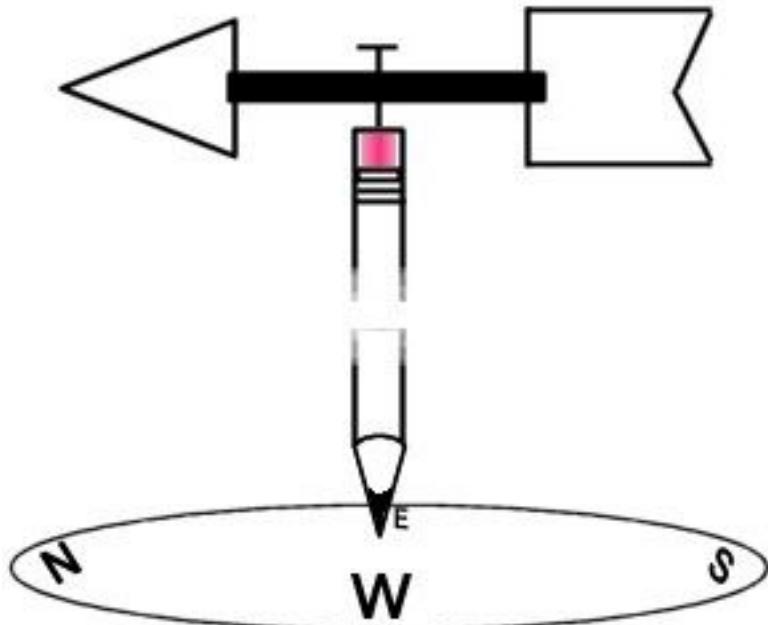
I dette delkapittelet vil vi analysere hvordan vi kan måle naturkrefter i verdier. Vi vil forklare hvordan sensorene fungerer og hva vi må være obs på når vi installerer dem. Sensorene inkluderer: vindretning, vindhastighet, lufttrykk, temperatur og luftfuktighet. Siden vi skal bygge en værstasjon som skal foreta meteorologiske målinger er det viktig at metodene for målingene er korrekte. I delkapittelet vil vi også forklare retningslinjer og standarder som må tas hensyn til ved konstruering og montering av værstasjoner. Delkapittelet grupperer hver målingstype under overskriftene “Måling av værtypen” etterfulgt av “Meteorologisk beregning av værtypen”.

Hvis man følger retningslinjene godt får man representative data som kan sammenliknes og brukes sammen med annen profesjonell meteorologisk data. Eksempler på retningslinjer er hvordan sensorene skal plasseres og hvilken høyde de forskjellige sensorene skal være på i forhold til bakkenivå. Det er også viktig at plasseringen av instrumentene er akseptabel i forhold til området rundt værstasjonen (for eksempel vegetasjon som kan påvirke sensoravlesningene). Som informasjonskilde har vi brukt “Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation” som er skrevet av World Meteorological Organization (WMO, 2010). Dette dokumentet inneholder retningslinjer i forhold til måling av værdata. Organisasjonen bak rapporten har som hovedoppdrag å promotere standardiseringen av metoder for værmåling (World Meteorological Organization, i.d.).

Måling av vindretning

Det finnes flere måleinstrumenter for å måle vindretning. De mest vanlige er en vindfløy eller en vindpølse. Som illustrert på figur 2.1.2 så er vindfløyen gjerne en pil eller dekorert skulptur som er montert horisontalt på en skive som sørger for at pilen kan bevege seg 360° med minst mulig motstand fra aksen den står på. En annen viktig egenskap med vindfløyen er at begge sider av pilen altså baksiden og forsiden er i likevekt i forhold til aksen. Dersom vektfordelingen er ujevn vil dette gi mer motstand altså at det kreves mer kraft fra vinden for å påvirke retningen til pilen. Som nevnt så har pilen lik vekt på fremsiden (tuppen av pilen) og baksiden, men arealet er større på baksiden. På grunn av at arealet på baksiden er større og veier det samme som fremsiden vil baksiden fordele vinden som kommer best mulig på begge sider av arealet. Da baksiden har plassert seg riktig vil fremsiden av pilen peke i vindretningen (Jordan. C., i.d.).

For å finne vindretningen kan vi se hvilken retning pilen peker i forhold til vindfløyens referansepunkt. Dette er som regel i retning nord 0° . På de manuelle vindfløyene er det som regel bokstaver som indikerer retningen (N = nord, Ø = øst, S = sør, V = vest). I digitale vindfløyer brukes et potentiometer. Dette fungerer ved at det er en elektrisk kobling mellom aksen og pilen. Når pilen endrer vinkel vil resistansen i kretsen øke eller synke lineært med retningen til pilen. Man kan da måle spenningsfallet over resistansen (kretsen som går igjennom aksen til vindfløyen og tilbake til aksen). Deretter kan man lese av spenningen og regne ut vindretningen.



Figur 2.1.2 Illustrasjon av en vindfløy (Palmer, 2011).

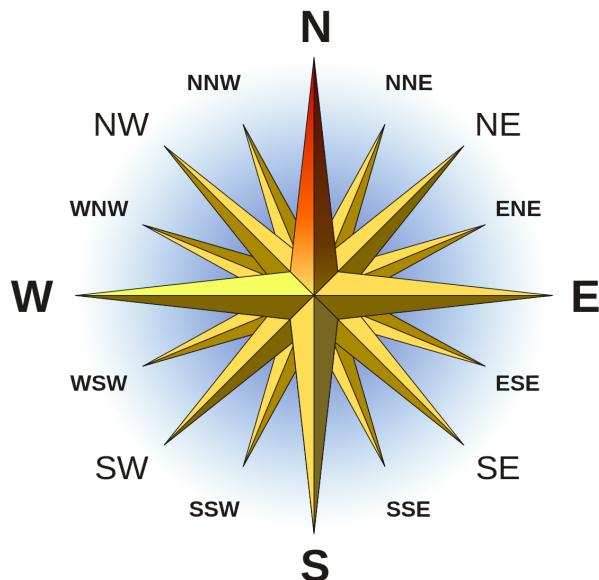
Vindpølse er et annet måleinstrument for vindretning og vindhastighet. Vindpølser brukes som en visuell indikator for vindhastighet og vindretning. Den består av en stang som holder en sekk som har en rund åpning foran og bak (se figur 2.2). Når vinden blåser mot sekken vil sekken bevege seg rundt aksen til det punktet der mest luft kan slippes inn i sekken. Dette vil gi en omvendt indikasjon på vindretningen. Ved vind fra nord vil sekken fylles i retning sør (Smith. S., 2017). Man kan få en indikasjon på vindhastigheten basert på hvor "utstrakt" vindpølsa er. Typiske bruksområder for en vindpølse er på flyplasser og havner da de kan gi en rask og enkel indikasjon på vindretning og hastighet.



Figur 2.2. Bilde av en vindpølse (Piggots, i.d.)

Meteorologisk standard for vindretning

For måling av vindretning er det en minimumskrav at sensoren kan angi vindretningen til nærmeste punkt på et 16 punkts kompass slik som det som er avbildet på figur 2.3 (WMO, 2010, s 139). Det er også viktig at vindfløyen ikke har en for lav friksjonskonstant da dette kan introdusere sleng, altså at vindfløyen beveger seg for langt. Friksjonskonstanten anbefales å være mellom 0,3 og 0,7 (WMO, 2010, s 140). I motsetning til en vindhastighetssensor trenger ikke vindfløyen å plasseres 10 meter over bakken da vindretning ikke varierer i samme grad ved høydeforskjeller (WMO, 2010, s 143).



Figur 2.3. 16 punkts kompass (Lee, 2011).

Utdeling av gjennomsnittlig vindretning

For å beregne gjennomsnittlig vindretning er det anbefalt å måle dette ved hjelp av tidlige gjennomsnittsverdier som er målt de 10 siste minuttene (Measnet, 2016, s.13). Siden vindretning måles i grader fra 0° til 360° er det ikke mulig å regne ut gjennomsnitt på en god måte ved hjelp av sum delt på antall. For eksempel, hvis vi har to observasjoner der observasjon 1 er 0° og observasjon 2 er 360° så vil gjennomsnittet bli: $(0 + 360) \div 2 = 180^\circ$. Gjennomsnittet viser at vindretningene peker sør, men i realiteten så pekte observasjonene mot nord. “*If wind speeds and directions are to be averaged, for example when ten-minute values are to be presented as hourly averages, they need special treatment.*” (Grange, 2014, s. 1). En metode for å beregne gjennomsnittlig vindretning er beskrevet i rapporten “Technical note: Averaging wind speeds and directions”. Rapporten viser et eksempel på hvordan gjennomsnittlig vindretning kan regnes ut (Grange, 2014, s. 6-7). Dette eksempelet forklares på neste side.

Eksempel for beregning av gjennomsnittlig vindretning

Først så samles de 10 siste observasjonene for vindhastighet og vindretning i par. Vi setter følgende variabler

$$\text{vindhastighet} = ws, \text{ vindretning} = wd, \text{ liste med } u \text{ verdier} : u[], \text{ liste med } v \text{ verdier} : v[]$$

Metode

1. For hver vindhastighet/vindretning **par** gjøres følgende operasjon:

$$u = -ws * \sin(2 * \pi * \frac{wd}{360})$$

$$v = ws * \cos(2 * \pi * \frac{wd}{360})$$

$u[] += u$ (legger beregnet u verdi til listen)

$v[] += v$ (legger beregnet v verdi til listen)

2. Deretter finner vi gjennomsnittet av verdiene i listene **u[]** og **v[]** og definerer disse som:

$$\bar{u}, \bar{v}$$

$$\text{Gjennomsnitt vindretning} = (\text{atan2}(\bar{u}, \bar{v}) * 360/2/\pi) + 180$$

3. Svaret fra 2. er den gjennomsnittlige vindretningen over perioden. Det som er veldig bra med denne metoden for å regne ut gjennomsnittlig vindretning er at utregningen tar hensyn til hva vindhastigheten var da vindretningen ble observert. For å utdype så betyr dette at en lav vindhastighet ved en måling av vindretning vil få mindre vekt i beregningen sammenlignet med en måling der vindhastigheten var høy (Grange, 2014, s. 2).

*Notat: Det er negativt fortegn “-” foran “ws” i formelene for utregning av u og v . Dette gjøres for å finne retningen viden blåser **fra** (i stedet for **til**). I meteorologiske beregninger skal vindretning beskrive retningen der vinden blåser fra (Grange, 2014, s. 2).*

Måling av vindhastighet

Kopp anemometeret er et av de eldste instrumentene for måling av vindhastighet. Det fungerer ved at det plasseres et roteringselement på en vertikal akse. Det er viktig at det er liten friksjon mellom aksen og roteringselementet slik at rotatingshastigheten blir minst mulig påvirket. Det moderne kopp anemometeret har gjerne tre kopper som er montert med en distanse mellom hverandre på $\frac{1}{3}$ av 360° . Det var vanlig at eldre anemometre hadde fire kopper. John Patterson som lagde det første anemometeret med tre kopper fant ut at med denne konstruksjonen så ville rotatingshastigheten være veldig nært linært med den reelle vindhastigheten («Anemometer», 2019).

Instrumentet fungerer ved at det er 3 eller flere hule kopper som vinden “dyster” rundt (som vist på Figur 2.4). Hvis vi ser nærmere på koppene så ser vi at de er formet som kjegler. På den ene siden er det et hulrom, men på den andre siden er skallet av kjeglen. Den hule siden har mer drag enn utsiden, så hvis vinden blåser på to kopper med lik kraft vil forskjellen i draget (kraften koppene absorberer fra vinden) føre til at den roterer («Anemometer», 2019). For å beregne hastigheten til vinden har mekaniske anemometre en magnet på koppenheten og en sensor som teller antall ganger magneten passerer den over Δ -tid, altså antall omdreininger over en gitt tid. Ved hjelp av dette kan et elektrisk signal genereres som indikerer vindhastigheten (Chris Woodford, 2018).



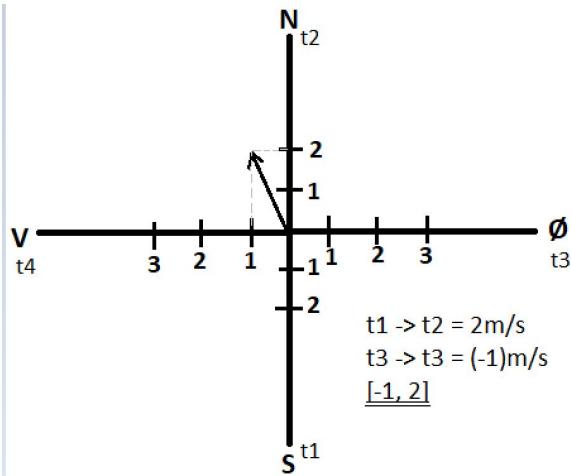
Figur 2.4. *Kopp anemometer* (Compact Analysis, 2016).

Ultralyd anemometer er et mer moderne produkt innen vindmåling. Denne sensoren skiller seg ut fra andre mekaniske vindmålere ved at den ikke har noen bevegelige deler. I motsetning til mekaniske anemometre trenger ikke ultrasoniske sensorene vedlikehold i samme grad grunnet friksjon slitasje (Chris Woodford, 2018). Instrumentet fungerer ved at det blir sendt pulser med ultralyd fra en transduser til en annen (Sør til Nord og Vest til Øst). Transduser er en fellesbetegnelse på en enhet som omformer elektrisk energi til en annen energiform. Ultrasoniske anemometre bruker to typer transdusere: høyttalere og mikrofoner. Høyttalerne produserer den ultrasoniske lyden og mikrofonene lytter etter samme lyd (Gill Instruments, 2019). På figur 2.5 er det et bilde av en ultralyd anemometer med 4 transdusere.



Figur 2.5. *Ultralyd anemometer* (Gill Instruments, i.d.)

Ved å studere tiden det tar å sende en ultralydpuls gjennom luftmassen mellom transducerene kan x og y komponentene for en vindvektor regnes ut (Chandran & Bhakthavatchalu & Kumar, 2016, s. 1). På figur 2.6 er det fire transdusere. Vi har et tranduserpar “V->Ø” som måler tiden det tar å sende en ultralydpuls fra Vest til Øst, og et par “S->N” som måler tiden fra Sør til Nord. Hvis vi ser på illustrasjonen som en koordinatsystem vil paret “S->N” gi en y verdi mens paret “V->Ø” gi en x verdi. Slår vi disse sammen til en vektor {x,y} vil vi ha en vektor med lengde som tilsvarer vindhastigheten og en vinkel som tilsvarer vindretningen. Et praktisk eksempel er, dersom et par sender ultralydpulsen i vindretningen vil den relative hastigheten være 2. Dette betyr at den tar 2 mindre tid enn den ville gjort dersom det var vindstille. Denne kalkuleringen gjentas for det andre transduserparet. Vi vil da ha to verdier som kan brukes til å lage en vektor {“V->Ø”, “S->N”}. Denne vektoren vil da peke i samme retningen som vinden. Kalkulasjonen illustreres i figur 2.6.



Figur 2.6 Matematisk kalkulering av ultralyd anemometer

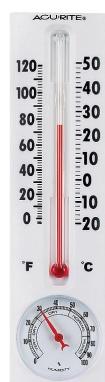
Meteorologisk standard for måling av vindhastighet

Plasseringen av anemometeret er sentral for å måle riktige verdier ettersom det er mindre sjanse for at objekter skjermer for vinden (bakken regnes også som et objekt i dette tilfellet). Siden vindstyrken kan variere mye mellom 0 til 10 meter over bakken så er det satt en standard for en plassering 10 meter over bakkenivå. Hvis det finnes et objekt som kan fange vind anbefales det at distansen til objektet er 10 ganger høyden til objektet (WMO, 2010, s 142). Vindhastigheter skal bli målt som gjennomsnittsverdier på 10 minutter, helst med en samplingsrate på 1 Hz eller mer. Datainnsamlingssystemet skal måle og lagre gjennomsnittsverdiene, standardavvik, maxima og minima. For at innsamlet data skal være anerkjent som en god nok kilde for bruk til værberegning så bør måleperioden være mer enn 12 måneder med fullstendig data (Measnet, 2016, s.12).

Måling av temperatur

Temperatur er en fysisk egenskap som beskriver varme eller kulde, og beskrives ofte med verdi-enheten Celsius eller Kelvin. Temperatur er den indre energien til molekyler i et system. Ved tilført energi vil systemet få en høyere indre energi og molekylene vil bevege seg raskere noe som fører til en temperaturøkning («Temperatur», 2019).

For måling av temperatur så kan det brukes en tradisjonell termometer sylinder som inneholder en flytende væske som utvider seg når den indre energien til væsken stiger (se figur 2.7). Ved å studere væskenivået i sylinderen kan det kalkuleres et estimat av temperaturen (Fpi Sensors, 2016). Mer moderne målemetoder kan for eksempel være en probe som strøm går gjennom. Når den indre energien stiger eller synker vil resistansen i stoffet proben er laget av endre seg. (JMS, i.d.)



Figur 2.7. Tradisjonell termometer sylinder (Acurite, i.d.)

Meteorologisk standard for temperaturmåling

Det er viktig at feilmarginen på sensoren som mäter temperatur er så lav som mulig. I dokumentet "Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation" (WMO, 2010, s 58) anbefales det en maks feilmargin på +-0.5 grader Celsius. Sensoren må helst være utenfor direkte sollys slik at ikke denne varmes opp og gir feilaktige målinger. Plasseringen av sensoren er også viktig for gode målinger. Det anbefales at sensoren plasseres mellom 1.2-2 meter over bakkenivå og at området rundt er så åpent som mulig. Dette er for å sørge for at temperaturene ikke representerer et lukket område (WMO, 2010, s 59). Sensorene burde også bli kalibrert før bruk. For at innsamlet data skal være anerkjent som en god nok kilde for bruk til værberegning så bør måleperioden være mer enn 12 måneder med fullstendig data. Tilstrekkelig skjerming fra solstråling er obligatorisk for å minimere usikkerhet rundt målingsverdiene (Measnet, 2016, s.14).

Måling av relativ luftfuktighet

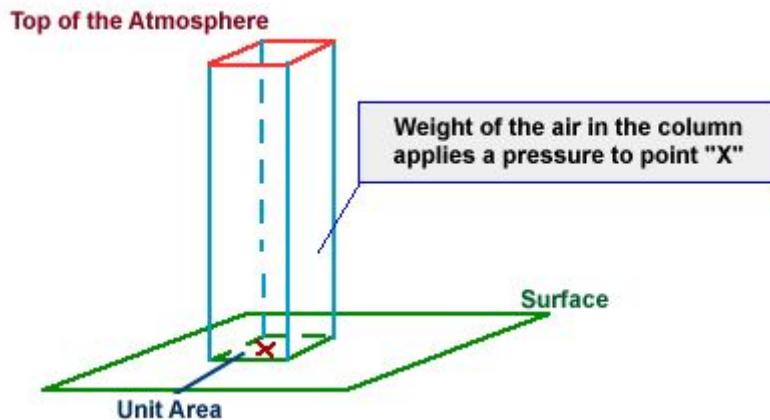
Den relative luftfuktigheten er forholdet mellom fuktigheten og den teoretiske vannmengden luften kan bære. Vi beskriver den relative luftfuktigheten med ϕ eller RH (Relative Humidity). Luften kan bære mer vanndamp hvis temperaturen i luften er høyere. For eksempel kan den relative fuktigheten variere ved forskjellige temperaturer selv om fuktigheten i luften er uendret (Relative Humidity, 2019). Fuktigheten i luft kan regnes ut på liknende vis som temperatur. De moderne målemetodene er for eksempel ved bruk av en resistor der spenningsfallet endrer seg basert på fuktigheten eller en kapasitor som lagrer strøm («Relative Humidity», 2019).

Meteorologisk standard for måling av luftfuktighet

For relativ luftfuktighet (RH) anbefales det en maksimum feilmargin på +-1% til +-5% (WMO, 2010, s 82). Hva den reelle marginen er vil være avhengig av den daværende relative luftfuktigheten. Når RH er rundt 50% så vil den akseptable feilmarginen være høyest. Sensoren bør plasseres i et åpent område med 1.2 til 2 meter høyde fra bakkenivå (WMO, 2010, s 82). Det er også viktig å beskytte sensoren tilstrekkelig mot regn og annen fuktighet som påvirker målingene.

Måling av lufttrykk

Lufttrykk blir definert som luftvekten over et areal. Det atmosfæriske trykket vil derfor synke når altituden øker. Dette kommer av at søylen luft over arealet blir mindre desto høyere i terrenget man befinner seg («Atmospheric pressure», 2019).



Figur 2.8 Luftsøyle over en flate (Hoffman, i.d.)

Lufttrykk beregnes ved hjelp av et instrument som heter barometer. Eldre barometere brukte en mercuri veske som flyttet seg mellom to reservoarer. Vesken flytter seg helt til vekten i det ene kammeret var lik vekten av luften over. I dag brukes mer moderne sensorer for å måle lufttrykket. For eksempel så har vi aneroid barometeret som har en liten metallboks inni seg (figur 2.8). Når lufttrykket endrer seg så vil metallboksen enten utvide seg eller bli mindre. I metallboksen er det en liten nål som beveger seg i forhold til utvidingen til metallboksen (Edwards. C., 2017).



Figur 2.9 Aneroid barometer (Acurite, i.d.)

Meteorologisk standard for måling av lufttrykk

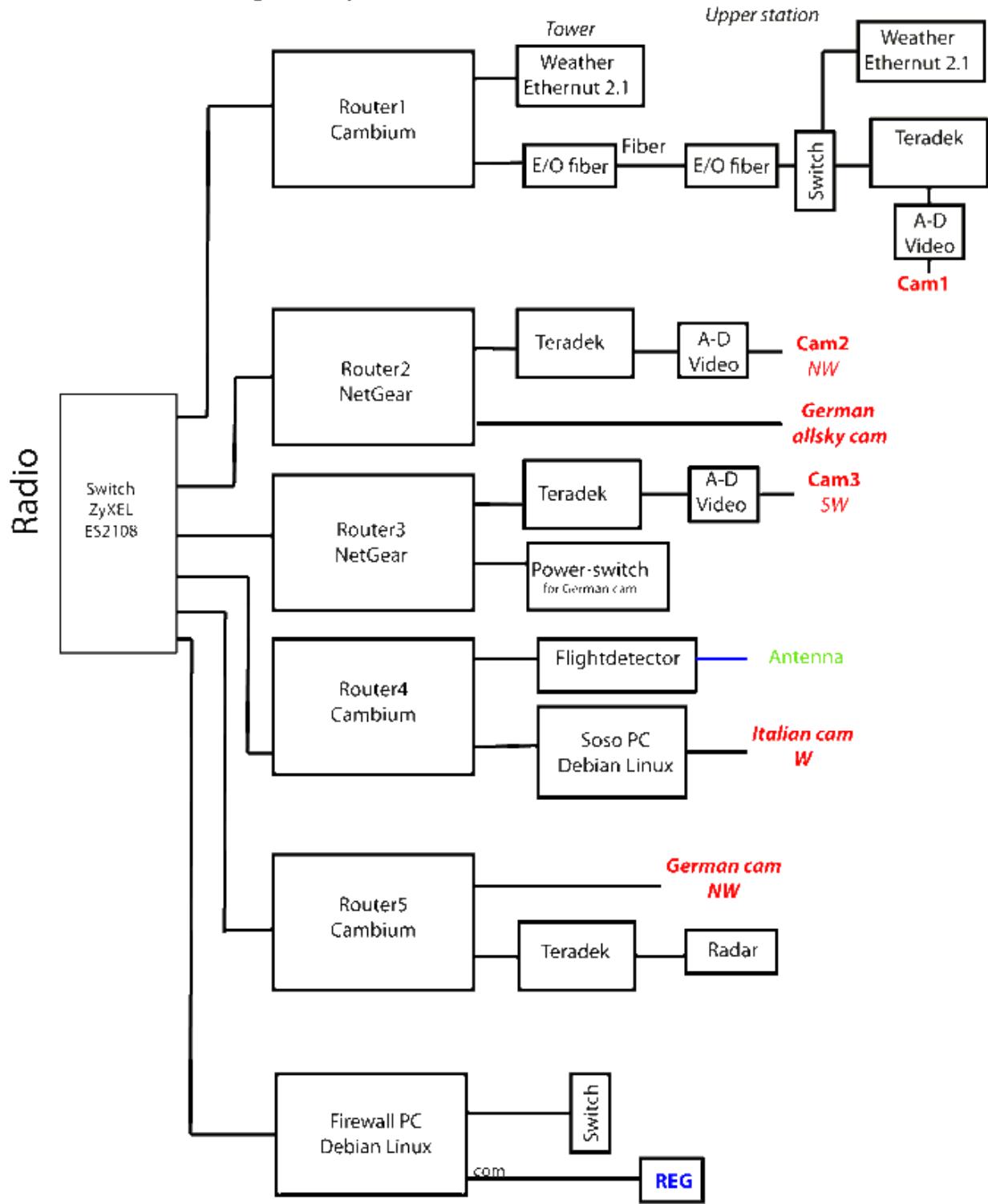
Den anbefalte maksimum feilmarginen på et elektronisk barometer er på $\pm 0.1\text{Hpa}$ (WMO, 2010, s 82). Det er viktig å ta hensyn til at sensoren ikke skal eksponeres for raske temperaturforandringer ettersom dette kan skape svingninger i lufttrykket. Det kan være et problem for sensorer siden det ofte vil ta litt tid før de justerer seg. Det er også viktig at barometeret ikke utsettes for vindkast eller konstant vind da dette også kan påvirke nøyaktigheten til målingene (WMO, 2010, s 92). Det må også tas hensyn hvor mange meter over havnivå sensoren er plassert når vi regner ut lufttrykket. Det er anbefalt at måling av lufttrykk forgår i nærheten av det høyeste punktet til målestasjonen. Hvis dette ikke er tilfellet skal målingsverdiene bli kalkulert med hensyn til det høyeste punktet (Measnet, 2016, s.14).

2.2. Tidligere værstasjoner i Hessdalen

Project Hessdalen har hatt to tidligere bachelorprosjekter med fokus på design og montering av værstasjon i Hessdalen. Den første værstasjonen ble montert i 2014, men i 2016 valgte oppdragsgiver å erstatte den daværende værstasjonen grunnet et ukjent problem (Strand, Erling). Denne ble erstattet av en ny værstasjon laget av en bachelorgruppen med tittelen “Linux-based Command and Control for Off-grid Research Facility” (Kalmár, N., Linstad, M. R., Todorov, M., Rokne, R.W. 2016). I dette delkapittel vil vi studere hvordan værstasjonene som ble installert i 2014 og 2016 ble utviklet. Analysene skal bidra til at værstasjonen vi bygger blir mer robust ved at vi unngår å repetere tidligere feil. Analysen skal også gi oss en ide om hvordan vi kan designe en værstasjon som krever minst mulig vedlikehold. Ettersom begge værstasjonene brukte samme nettside og database for presentering av værdata vil vi diskutere dette enkeltvis i dette delkapittelet. I hoveddokumentet til bachelorprosjektet 2016 ble det ikke nevnt at de brukte samme database som bachelorprosjektet i 2014, men etter en grundigere undersøkelse fant vi ut at databasen var identisk. (Jensen, K., Karlsen, K., Grimstad, M., og Lindal, M. 2014., Figur 4.12).

Hessdalens automatiske målestasjon

De tidligere værstasjonene var koblet til Ruter1 i Project Hessdalens automatiske målestasjon (figur 2.9). Stasjonen består av et stort antall instrumenter som loggfører og sender informasjon som er trivielt for utforskningen av hessdalsfenomenet. Det finnes kameraer som konstant strømmer video til et alarmsystem som leter etter anomaliteter som kan være glødende kuler (også kalt hessdalsfenomenet). For å utelukket at det er fly som blir registrert er det også installert et system for loggføring av passerende fly (Automatic Measurement Station, 2019).

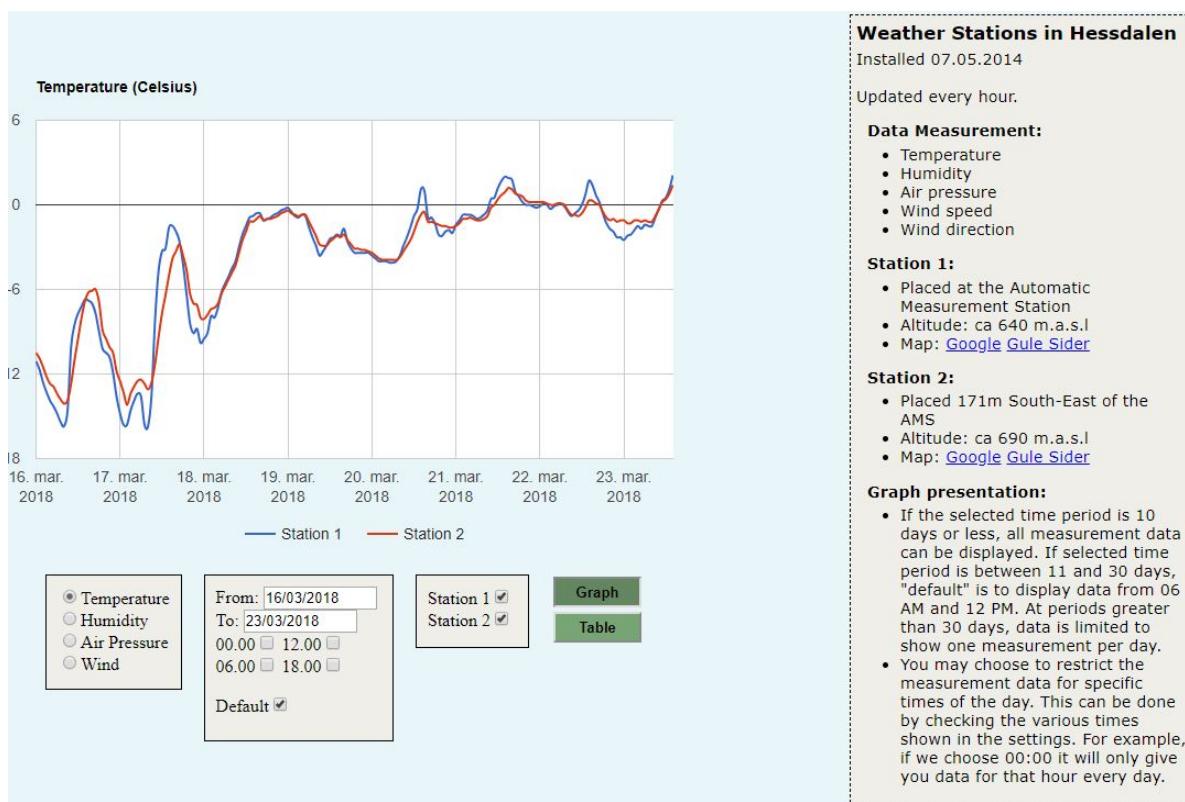


Figur 2.9. Hessdalens Automatiske Målestasjon (AMS) (Project Hessdalen, 2019).

Eksisterende nettside

Som tidligere nevnt i delkapittel 2.2 så brukte begge prosjektene samme nettside for presentering av værdata. Det var gruppen i 2014 som lagde nettsiden (Jensen, K., Karlsen, K., Grimstad, M., og Lindal, M., 2014., s.55). I dette underkapittelet vil vi studere fordeler og ulemper med nettsiden og hvordan dette påvirker brukeropplevelsen. På Figur 2.10 illustreres den engelske versjonen av nettsiden som viser måledata fra værstasjonene i Hessdalen (Weather station, 2016). Denne siden vil erstattes av oss.

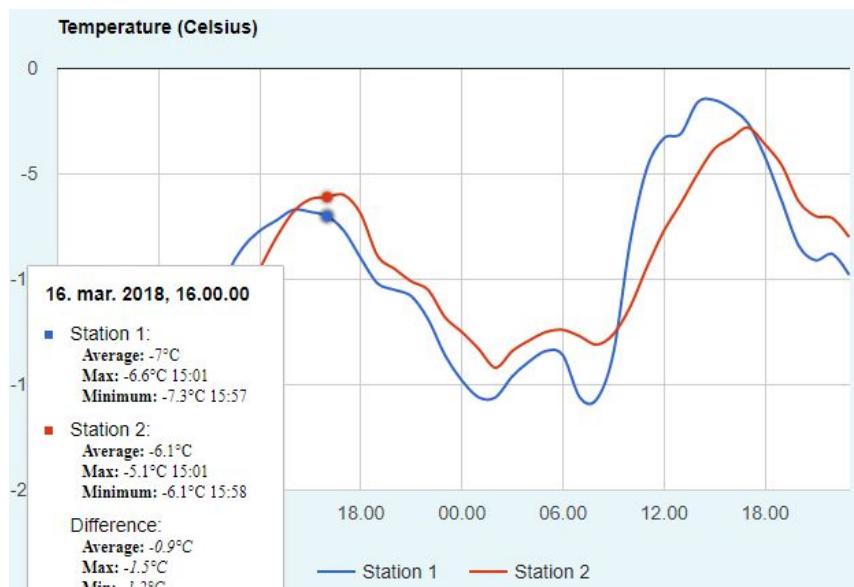
På nettsiden kan man finne mye informasjon om fenomenet samlet på ett sted. Den inneholder blant annet informasjon om observasjoner, teorier og lokalisering. Ettersom hessdalsfenomenet ikke har en akseptert vitenskapelig forklaring finnes det et mange som er interesserte i fenomenet. Blant annet forskere, konspirasjonsinteresserte og studenter. Oppdragsgiver har informert oss om at dette også er målgruppen til nettsiden (Strand, Erling). Mange tenker at Hessdalsfenomenet i bunn og grunn er et resultat av spesielle værforhold (Griffiths, 2014). Det er derfor viktig at folk har tilgang til informasjonen som blir registrert av værstasjonene. Interesserte kan da undersøke værdata på tidspunktet fenomenet ble observert. De neste avsnittene vil gå i dybden på funksjonene som eksisterer i den eksisterende nettsiden.



Figur 2.10. Den nåværende nettsiden (Project Hessdalen, 2019).

Presentasjon av data i en graf

På illustrasjon 2.11 kan vi se en grafisk presentasjon av værdata. Det er blitt tatt i bruk Google sitt kodebibliotek for oppsett av denne grafen (Google Charts, 2019). For innsetting av data til grafen er det blitt brukt egenprodusert kode. Som vist på Figur 2.11 så er det også mulig å bevege musepekeren over et tidspunktet for å få mer detaljert informasjon om måleravlesningen. Grafen gir sluttbrukeren en generell oversikt over de registrerte målingsverdiene. Det er lett å se svingninger i de avleste sensorverdiene, noe som kan bidra til å finne en sammenheng mellom fenomenet og uregelmessigheter i været i Hessdalen.



Figur 2.11. Grafen til den nåværende nettsiden (Project Hessdalen, 2016).

Presentasjon av data i en tabell

Dersom brukeren trykker på knappen “Table” vil grafen bli byttet ut med en tabell som illustrert på figur 2.12. Tabellen gjør det lettere for brukere å lese mer nøyaktig informasjon i forhold til grafen. Dette gjør det enklere å skumlese gjennom informasjon eller søke etter bestemte verdier. En negativ ting med tabellen er at dersom brukeren scrollar ned så er ikke den første rekken av tabellen synlig lengre. Dette fører til at det kan være usikkerhet på hvilke informasjon som blir lest av (for eksempel en forveksling mellom gjennomsnitt- og maksimumstemperaturen).

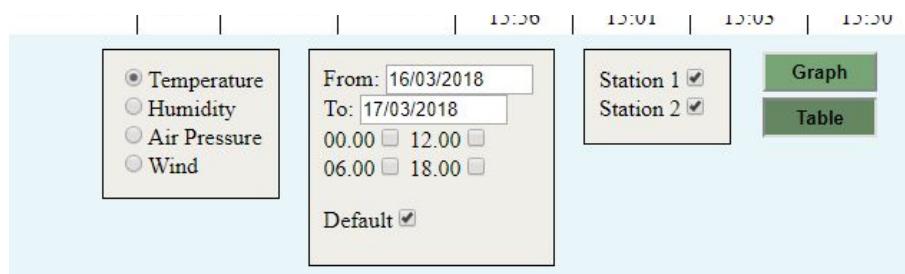
Temperature (Celsius)								
Date	Time	Station 1 Average	Station 2 Average	Station 1 Max	Station 2 Max	Station 1 Min	Station 2 Min	
23/03/2018	14:00	2.1°C	1.4°C	3.1°C 14:00	2.1°C 13:59	1.3°C 13:03	1°C 13:11	
23/03/2018	13:00	1.1°C	0.8°C	1.4°C 12:34	1.6°C 12:01	0.5°C 12:05	0.6°C 12:07	
23/03/2018	12:00	0.5°C	0.4°C	0.7°C 11:52	1.2°C 11:01	0.3°C 11:06	0.2°C 11:07	
23/03/2018	11:00	0.3°C	0.2°C	0.6°C 10:40	0.8°C 10:01	-0.1°C 10:02	-0.1°C 10:03	
23/03/2018	10:00	-0.3°C	-0.3°C	-0.1°C 09:45	0.5°C 09:01	-0.5°C 09:05	-0.5°C 09:06	
23/03/2018	09:00	-0.9°C	-0.8°C	-0.5°C 09:00	-0.1°C 08:01	-1.3°C 08:02	-1°C 08:04	
23/03/2018	08:00	-1.5°C	-1.2°C	-1.3°C 07:01	-0.2°C 07:01	-1.6°C 07:43	-1.2°C 07:18	
22/03/2018	07:00	-1.5°C	-1.2°C	-1.4°C	-0.2°C	-1.6°C	-1.3°C	

Figur 2.12. Tabellen til den nåværende nettsiden (Project Hessdalen, 2016).

Filterfunksjonen for presentering av data

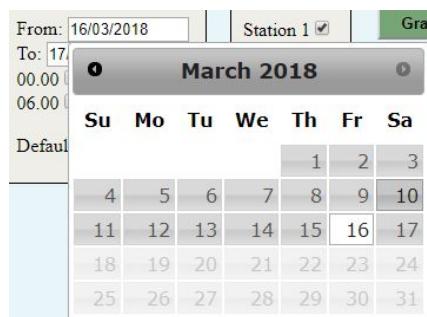
Rett under grafen/tabellen som viser all værdata er det tre bokser og to knapper (Figur 2.13). De tre boksene blir brukt for å spesifisere hvilken data som skal presenteres, og de to knappene blir brukt til å velge mellom en datapresentasjon i graf- eller tabellform

I den første boksen er det fire radio-knapper. Disse brukes for å velge hvilken type sensoravlesning som skal vises (temperatur, fuktighet, lufttrykk eller vind). For å velge et av alternativene så må brukeren trykke på sirkelen ved siden av teksten som spesifiserer sensortypen. Dersom brukeren trykker på teksten "Temperature" blir ikke radio-knappen valgt. Du må trykke på sirkelen ved siden av. Denne sirkelen er veldig liten og vanskelig og treffte med musepekeren. Dette forverrer brukeropplevelsen og bør fikses når vi lager en ny versjon av nettsiden.



Figur 2.13. Filterfunksjonen til den nåværende nettsiden (Project Hessdalen, 2016).

Den andre boksen brukes for å velge tidsperioden som skal vises i tabellen/grafen. Den inneholder to inputbokser der du kan velge fra og til dato. Når du trykker på en av inputboksene så vil det åpnes en datovelger (figur 2.14) som er en del av et tredjeparts bibliotek. Dette gjør det veldig enkelt for brukere å velge bestemte datoer.

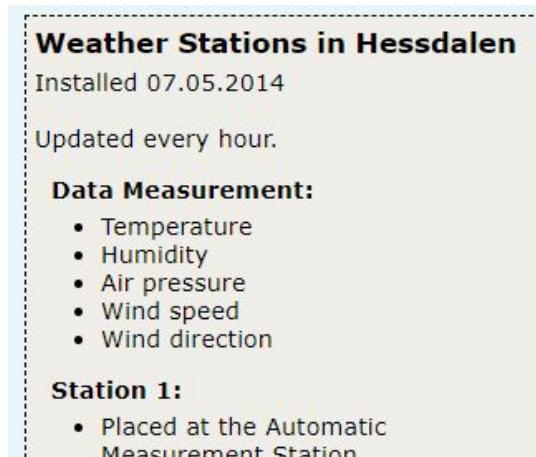


Figur 2.14. Datovelgeren til den nåværende nettsiden (Project Hessdalen, 2016).

Under inputboksene finnes det fem checkbokser som brukes til å definere klokkeslettene som skal bli skrevet ut. (default skriver ut alle klokkeslett). Brukere har derfor et veldig begrenset antall tidspunkter som kan velges. Dette kunne blitt fikset ved å legge mulighet til å velge klokkeslettet selv via samme type inputboks som brukes for dato.

Informasjonsboksen for dataen som presenteres

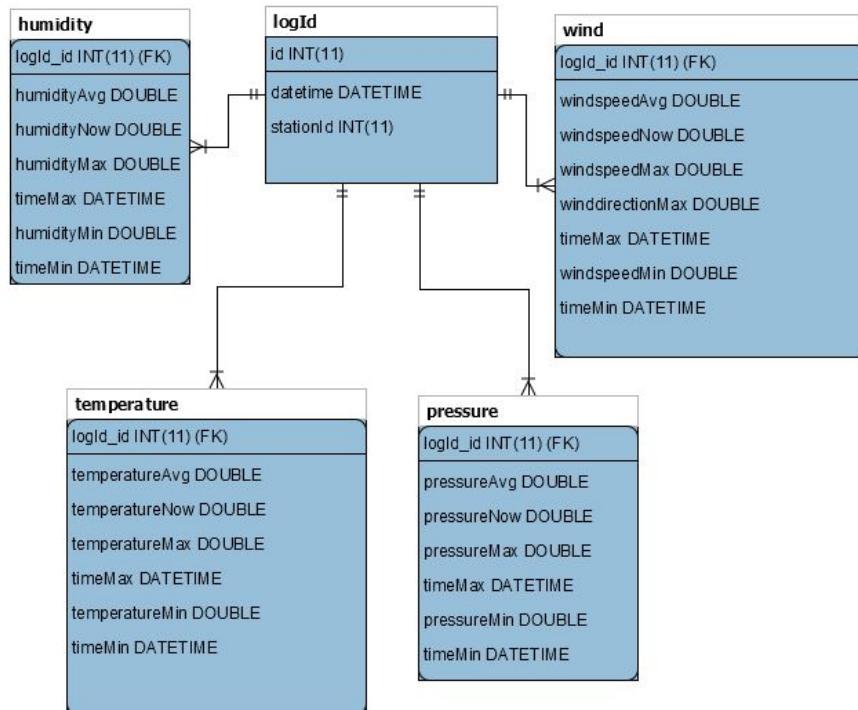
Ved siden av grafen/tabellen er det en stor boks som inneholder informasjon om værstasjonen og hvordan du kan bruke nettsiden til å analysere værdata (figur 2.15). Innholdet i denne boksen er viktig for nye brukere, men grunnet plasseringen blir det mindre plass for graf og tabell (se figur 2.10). Denne informasjonsboksen burde derfor bli liggende øverst eller nederst på nettsiden.



Figur 2.15. Beskrivelsesboks for værstasjonene (Project Hessdalen, 2016).

Eksisterende database

Som nevnt i introduksjonen delkapittel 2.2 så brukte begge de tidligere bachelorprosjektene samme database. Oppdragsgiver ga oss tilgang til databasen med et ønske at han kunne beholde all data. På figur 2.16 har vi skissert et UML diagram for den eksisterende databasestrukturen. På skissen kan vi se at databasen har 5 tabeller. Tabellen "logId" brukes for å loggføre klokkeslettet for hver måling, samt hvilken værstasjon verdiene ble målt fra. Tabellene "humidity", "temperature", "pressure", og "wind" blir brukt for å lagre verdiene fra sensorene (med tilsvarende navn). I stedet for å ha en individuell tabell for vindretning- og vindhastighetssensorene så lagres begge sensorenverdiene i tabellen "wind".



Figur 2.16. Klassediagram for eksisterende database.

Målingsverdier til eksisterende database

Alle tabellene i databasen som inneholder målingsverdier fra sensorene har 6 typer registreringer som blir oppdatert hver hele time. Verdiene som blir loggført i databasen er: gjennomsnitt, nåverdi, maxverdi, minverdi og klokkeslettet når målingene var på max og min i den gjeldende timen. Figur 2.17 viser eksempeldata for hvordan målingsverdiene fra temperatursensoren loggføres.

temperatureAvg	temperatureNow	temperatureMax	timeMax	temperatureMin	timeMin
3.72281225	3.350002	4.889999	2014-05-07 12:45:00	3.240002	2014-05-07 12:55:30
2.9308636666666667	2.959999	3.760002	2014-05-07 13:01:00	2.600002	2014-05-07 13:39:30
3.062961749999995	3.02	3.360001	2014-05-07 14:01:00	2.900002	2014-05-07 14:29:30
3.0865185	3.080002	3.400002	2014-05-07 15:01:00	2.779999	2014-05-07 15:43:30
2.9868309166666667	2.880001	3.459999	2014-05-07 16:01:00	2.779999	2014-05-07 16:57:00
2.9664889999999997	3.100002	3.240002	2014-05-07 17:01:00	2.82	2014-05-07 17:34:30
2.5286916666666665	1.91	3.5	2014-05-07 18:01:00	1.91	2014-05-07 19:00:00

Figur 2.17. Tabellverdier for temperatur.

Ettersom Hessdalen er lokalisert høyt i terrenget, der været varierer mye. Under utviklingen av værstasjonen er det viktig å fokusere på å bygge en stasjon som er robust nok for værforholdene. Vi fikk tilgang til databasen til de eksisterende værstasjonene ettersom oppdragsgiver ønsket å at vi skulle beholde den gamle værdataen. Ved å studere informasjonen i databasen så kan vi få et godt innblikk i hvilket værtilstander som vår værstasjon må kunne operere i. Databasen inneholder informasjon fra 08.05-2014 til 23.03-2018.

Som illustrert nedenfor på figur 2.19 så er den laveste temperaturen som er målt av de tidligere værstasjonen -21.39 Grader Celsius. Temperaturer på mindre enn 20 minusgrader har også blitt målt på andre dager, og det kan derfor forventes at temperaturen vil synke til tilsvarende verdier etter installasjonen. Værdata samlet fra Meteorologisk Institutt sier at i mellom mars 2018 og mars 2019 så var den laveste temperaturen registrert på Røros Lufthavn -37.1 grader Celsius. Denne målestasjonen er plassert 25,3 km unna Hessdalen og er den nærmeste offisielle værstasjon (Yr. 2019). Prosjektet vårt har et sterkt fokus på at værstasjonen må tåle værsituasjoner som oppstår i Hessdalen. Dermed må vi konstruere stasjonen med hensyn til at temperaturen kan gå ned til så lave tilstander som -40 Grader Celsius. Den høyeste temperaturmålingen fra værstasjonene i Hessdalen ble målt 21.07.2014 og var på +33.4 Grader Celsius (figur 2.18). Dersom solen skinner direkte på værstasjonens elektronikkboks vil boksens indre temperatur bli en del varmere enn lufttemperaturen. Det er derfor viktig at all elektronikk i den nye værstasjonen kan operere i slike ekstreme temperaturer.

<input type="checkbox"/>	Rediger	Kopier	Slett	1958	32.9665915	31.190002	33.410004	2014-07-21 20:28:30	31.190002	2014-07-21 21:00:00
<input type="checkbox"/>	Rediger	Kopier	Slett	1956	32.35805	33.18	33.25	2014-07-21 19:53:00	31.25	2014-07-21 19:02:30
<input type="checkbox"/>	Rediger	Kopier	Slett	1476	32.288110916666675	29.690002	33.14	2014-07-11 19:32:00	29.690002	2014-07-11 20:00:00
<input type="checkbox"/>	Rediger	Kopier	Slett	1473	30.906488	32.08	32.08	2014-07-11 19:00:00	29.559998	2014-07-11 18:01:30
<input type="checkbox"/>	Rediger	Kopier	Slett	2083	31.236935	31.470001	31.82	2014-07-24 11:44:00	29.980003	2014-07-24 11:01:00
<input type="checkbox"/>	Rediger	Kopier	Slett	2085	31.198795583333336	30.370003	31.629997	2014-07-24 12:31:00	30.370003	2014-07-24 13:00:00
<input type="checkbox"/>	Rediger	Kopier	Slett	1910	30.46860108333333	28.89	31.580002	2014-07-20 20:01:00	28.89	2014-07-20 21:00:00
<input type="checkbox"/>	Rediger	Kopier	Slett	1574	30.98858733333333	29.300003	31.470001	2014-07-13 20:01:00	29.300003	2014-07-13 21:00:00
<input type="checkbox"/>	Rediger	Kopier	Slett	1907	30.09956833333334	31.25	31.25	2014-07-20 19:59:00	28.760002	2014-07-20 19:03:00

Figur 2.18. Høyeste temperatur registrert i Hessdalen.

			logId_id	temperatureAvg	temperatureNow	△ 1	temperatureMax	timeMax	t		
<input type="checkbox"/>		Rediger		Kopier		Slett	40606	-21.003526583333333	-21.39	-19.46	2018-02-28 06:01:00
<input type="checkbox"/>		Rediger		Kopier		Slett	40650	-21.005474916666664	-21.24	-19.699999	2018-03-01 04:01:00
<input type="checkbox"/>		Rediger		Kopier		Slett	40602	-21.193942333333336	-21.21	-20.019999	2018-02-28 04:01:00
<input type="checkbox"/>		Rediger		Kopier		Slett	17019	-20.896442333333333	-21.16	-19.89	2016-01-08 08:01:00
<input type="checkbox"/>		Rediger		Kopier		Slett	40601	-21.15636808333333	-21.119999	-19.859999	2018-02-28 03:01:00
<input type="checkbox"/>		Rediger		Kopier		Slett	40592	-20.96211125	-21.099998	-19.72	2018-02-27 23:01:00
<input type="checkbox"/>		Rediger		Kopier		Slett	40599	-20.804760583333334	-20.929998	-19.74	2018-02-28 02:01:00
<input type="checkbox"/>		Rediger		Kopier		Slett	40594	-20.990192583333332	-20.9	-20.099998	2018-02-28 00:01:00
<input type="checkbox"/>		Rediger		Kopier		Slett	17018	-20.465058250000002	-20.88	-19.289999	2016-01-08 07:01:00
<input type="checkbox"/>		Rediger		Kopier		Slett	17020	-20.896993416666668	-20.839998	-20.199999	2016-01-08 09:01:00
<input type="checkbox"/>		Rediger		Kopier		Slett	40596	-20.916309333333334	-20.8	-19.919998	2018-02-28 01:01:00
<input type="checkbox"/>		Rediger		Kopier		Slett	40608	-21.16339175	-20.779999	-20.339998	2018-02-28 07:01:00
<input type="checkbox"/>		Rediger		Kopier		Slett	40649	-21.014597166666668	-20.74	-19.579998	2018-03-01 03:01:00
<input type="checkbox"/>		Rediger		Kopier		Slett	40590	-20.625907083333335	-20.74	-19.349998	2018-02-27 22:01:00
<input type="checkbox"/>		Rediger		Kopier		Slett	17027	-20.452379666666662	-20.679998	-19.359999	2016-01-08 16:01:00
<input type="checkbox"/>		Rediger		Kopier		Slett	40647	-19.60965725	-20.56	-18.279999	2018-03-01 02:01:00

Figur 2.19. Laveste temperatur registrert i Hessdalen.

Som vist på figuren 2.20 så er den høyeste vindhastigheten målt i Hessdalen 20 m/s (72 km/t) og benevnes som Kuling på Beauforts skala (vedlegg 1). Det er viktig å ta hensyn til at det ikke finnes måledata fra Hessdalen før 2014, og vi må derfor ta hensyn til at alle maksimum og minimumsverdier som er målt av den tidligere værstasjonen kan bli erstattet med høyere og lavere verdier. Ettersom at værstasjonen vil bli montert på en mast er det viktig å ta hensyn til at sterke vindkast kan ta tak i instrumentene..

			logId_id	windspeedAvg	windspeedNow	windspeedMax	△ 1	winddirectionMax	timeMax			
<input type="checkbox"/>		Rediger		Kopier		Slett	38504	8.390573416666667	2.492669	20.136852	165.39589	2018-01-15 08:54:00
<input type="checkbox"/>		Rediger		Kopier		Slett	38481	7.842029249999995	5.816226	19.305962	191.78886	2018-01-14 20:19:00
<input type="checkbox"/>		Rediger		Kopier		Slett	9797	8.180668999999998	5.376344	19.110458	188.26979	2015-02-23 10:15:30
<input type="checkbox"/>		Rediger		Kopier		Slett	38512	6.834473833333333	14.320625	19.012707	174.19356	2018-01-15 12:16:30
<input type="checkbox"/>		Rediger		Kopier		Slett	28131	7.097545166666665	7.820137	18.817204	297.3607	2017-01-20 11:44:00
<input type="checkbox"/>		Rediger		Kopier		Slett	9625	5.254881916666666	12.609971	18.719452	166.45161	2015-02-16 06:12:00
<input type="checkbox"/>		Rediger		Kopier		Slett	9624	8.377263583333333	10.068426	18.670576	194.2522	2015-02-16 05:11:30
<input type="checkbox"/>		Rediger		Kopier		Slett	9428	5.408928083333333	6.891496	18.426197	333.60703	2015-02-08 01:48:00

Figur 2.20. Høyeste vindhastighet registrert i Hessdalen.

Forbedringspotensiale for eksisterende database

Databasen er satt opp på slik at målingsverdiene dekker nødvendig informasjon for loggføring. Et åpenbart forbedringspotensiale er å lagre vindretning på en annen måte enn tidligere. Som vist på Figur 2.20 så er det en kolonne for vindretning i databasen som viser den maksimale vindretningen. Dette er den høyeste vindretningen mellom 0° og 360° observert den aktuelle timen. Dette går imot den meteorologiske standarden forklart i delkapittel 2.1 (vindretning skal ikke behandles som høyeste og laveste verdi). Vi ønsker å vise den gjennomsnittlige vindretningen for den observerte timen. Et annet forbedringspotensiale er å loggføre observasjoner for hvert minutt i databasen i tillegg til timesobservasjonene. Dette kan gi forskere og andre mulighet til å se værforholdene det samme minuttet som Hessdalsfenomenet oppstår.

Vi ønsker da å lage en ny tabell i databasen som skal inneholde måledata for hvert minutt, i tillegg til å endre måten vindretning lagres på. Med det førstnevnte så vil vi lagre måleverdiene sensorene gir på det aktuelle minuttet (uten meteorologiske kalkulasjoner). Mer informasjon om den nye databasen finnes i Kapittel 6.6.

3 Prosessen

Dette kapittelet består av beskrivelser av valgene som har blitt vurdert og hvilke avgjørelser som ble fastslått under planleggingen. Det blir grundig forklart prosessen vi gikk igjennom under innkjøp av komponenter. De endelige avgjørelsene skal være representative for den ferdige utviklet værstasjonen. Produktplanleggingsprosessen har fått tildelt et eget delkapittel.

Oppstartsprosessen

Etter vi hadde bestemt oss for hvilken bacheloroppgave vi skulle jobbe med avtalte vi et møte med veileder og oppdragsgiver. I møte med veilederen så diskuterte vi metoder for hvordan vi kunne jobbe på en effektiv måte. Vi ble enige om at vi skulle ha minst ett møte med veileder hver uke hvor vi kunne diskutere fremgangen i prosjektet. I det første møtet med oppdragsgiver fikk vi en bedre oversikt over hva som er forventet av det ferdige produktet. Vi gikk inn i detaljer om hvordan systemet skal fungere, noe som også dannet et grunnlag for hvordan kravspesifikasjonen skulle se ut. Etter vi hadde kommet til enighet om hvordan værstasjonen skulle fungere startet vi planleggingen om hvilke komponenter som skulle bestilles (kapittel 5 “Valgt utstyr”).

Innkjøpsprosessen

Under innkjøpsprosessen fant vi et variert utvalg av sensorer som skulle dekke alle behovene som er beskrevet i kravspesifikasjonen kapittel 4. Dette innebærer innkjøp av prosesseringsenheter, kretskort, insuleringsspray, kabler, beskyttelsesbokser og sensorer for vindretning, vindhastighet, temperatur, luftfuktighet og luftrykk. For å forsikre oss om at produktene ville fungere for bruk til vårt prosjekt valgte vi også å ringe ulike leverandører for konsultasjon. Det ble organisert møter med oppdragsgiver slik at han kunne godkjenne og gi oss en tilbakemelding for produktene som ble presentert. I delkapittelet 3.1 vil det beskrives hvordan vi bestemte oss for de ulike komponentene.

3.1. Produktplanlegging

Vindhastighetssensor

Vi vurderte flere ultralyd- og koppanemometere (se beskrivelsen av sensorene i delkapittel 2.1). Ultralyd anemometer virket ut som det beste alternativene i et klima hvor det er risiko for snø og frost. Dette er grunnet mangel på bevegelige deler hvor frost og snø kan skape friksjon og resultere i en unøyaktig måling av vindhastigheten. Kopp anemometer har ikke den samme fordelen som overnevnte. Denne varianten av vindmålere fungerer ved at koppene spinner i hastigheten med vinden (delkapittel 2.1). Den kan derfor bli påvirket av friksjon fra frost og snø. Oppdragsgiver ønsket at vi skulle kjøpe denne typen grunnet en betraktelig lavere pris. For å løse friksjon problemet lette vi etter produkter som også hadde varmeelement installert.

Vindretningssensor

I innkjøpsprosessen skulle vi finne en vindretningssensor. Først så fant vi de som virket mest optimale for værforholdene, altså at de hadde driftstemperatur ned til -40°C og inkludert varmeelement for å hindre frost. Som nevnt i analysekapittelet vurderte vi også ultrasoniske sensorer for måling av både vindhastighet og retning. Vi var enige om at dette kunne være et godt alternativ, men de var dyre. Sammen med oppdragsgiver så kom vi til konklusjonen at vi ønsket separate sensorer for vindretning og vindhastighet. Ettersom oppdragsgiver ønsket en billig vindretning sensor så vi prioriterte vi rimeligere alternativ.

Temperatur og luftfuktighetssensor

I innkjøpsprosessen skulle vi finne en sensor for å måle temperatur og luftfuktighet. Det var mange alternativer. De fleste sensorene var en del av proprietære løsninger, altså at sensorene hørte til et sett av produkter. Vi fant noen sensorer som leverte analogt signal, men de fleste hadde ikke strålingsskold som var laget for produktet. For oppdragsgiver var det kritisk at sensoren ga riktige verdier. Så vi vurderte å kjøpe probe og strålingsskjold separat. Etter videre undersøkelse så fant vi sensoren EE08 som hadde et kompatibelt strålingsskjold.

Lufttrykksensor

Det ble det diskutert forskjellige muligheter for å installere en lufttrykksensor. Vi vurderte sensorer som var utviklet for å være plassert ute, samt sensorer uten beskyttelse. Ettersom oppdragsgiver ikke ønsket å prioritere lufttrykksensoren ble det enighet om at det skulle kjøpes en chip sensor. Innkjøp av en slik sensor ble betraktelig billigere, men risikoen for at sensoren kan bli defekt ble derimot større. Det ble enighet om at det skulle produseres en beskyttelsesboks for sensoren og at vi skulle utføre tester for oppbevaring utendørs. Dersom sensoren ikke består testingen, vil det kjøpes en annen sensorer for måling av lufttrykk.

ADC

Alle sensorene vi endte opp med å bestille sendte ut målingsverdiene som et analogt signal (med unntak av lufttrykksensoren). Det ble derfor nødvendig å kjøpe inn en Analog til Digital Konverterer (ADC). Ettersom vi endte opp med å velge en Raspberry datamaskin til å håndtere programmeringen måtte vi velge en ADC som brukte kommunikasjonsprotokollen I2C, SPI eller UART. Den måtte i tillegg sende en maksimums utgangsspenning på 3.3V (MbTechworks. 2018). Sensorene som vi endte opp med å bestille hadde en utgangspannning på 3.3V, 5V og 10V. Det ble derfor nødvendig å finne en konverterer som var kompatibel med slike verdier.

Fuktighetsbeskyttelse

Når elektronikk blir plassert utendørs er det viktig å ta i betrakting at fuktighet kan bli et stort problem. Dette er fordi det kan føre til at det legges et tynt lag med vannpartikler over elektronikken som kan forårsake en kortslutning. En eventuell kortslutning kan skade eller ødelagge komponenter (AnytimeHvac, i.d.). Det ble vurdert om vi skulle dekke til elektronikken ved å smelte plast over komponentene. Dette ville fjerne mulighetene for å modifisere elektronikken senere, og vi valgte dermed å bruke et silikonbasert sprøytemiddel.

4 Kravspesifikasjon

Dette kapittelet består av en detaljert kravspesifikasjon som er skrevet over flere intervjuer med oppdragsgiver. Vi har i ettertid hatt møter hvor vi har bearbeidet innholdet sammen med oppdragsgiver for å sørge for at kravene har tilstrekkelig med detaljer. Dette vil gi studentgruppen og oppdragsgiver en garanti på at det er enighet for hvordan det ferdige produktet skal fungere. Kravspesifikasjonen er utarbeidet som et eget dokument og nummerering vil dermed ikke være sammenhengende med resten av bacheloroppgaven. I kapittel 1. vil vi ha en introduksjon som forteller leseren hvordan kravspesifikasjonen skal brukes. Deretter, i kapittel 2 forklarer vi systemarkitektur til værstasjonen. Alle kravene blir presentert i kapittel 3. Disse kravene har blitt fordelt på kategoriene funksjonelle krav (nr. 0-50), ikke-funksjonelle krav (nr. 50-100) og dokumentasjonskrav (nr. 100-150) i respektiv rekkefølge. Kravspesifikasjonen vil avsluttes med et bilde av den undertegnede signaturdelen hvor oppdragsgiver godkjenner kravene.

1. Project Hessdalen

Det skal lages og installeres et system for værstasjon for Project Hessdalen. Dokumentet har spesielt fokus på de tekniske detaljene med det ferdige produktet. Dette er fordi produktet vil være eksponert for vanskelige værforhold. Hovedfokuset med leveransen er at produktet skal tåle disse forholdene over lang tid, med risiko for uventede hendelser som strømavbrudd og problemer med internettoppkobling.

Denne kravspesifikasjonen er utarbeidet for bruk ved:

- Anskaffelse av utstyr for værstasjonen
- Definere et grensesnitt for programvare
- Montering og ferdigstilling av produkt
- Dokumentasjon

Følgende krav kategorier er brukt:

Kategori A: Krav som må være oppfylt.

Kategori B: Krav som bør være oppfylt.

Kategori C: Krav som ønskes oppfylt.

Oppdragsgiver skal bekrefte krav med følgende svarkategorier:

Prioritet:

Kravet skal dekkes.

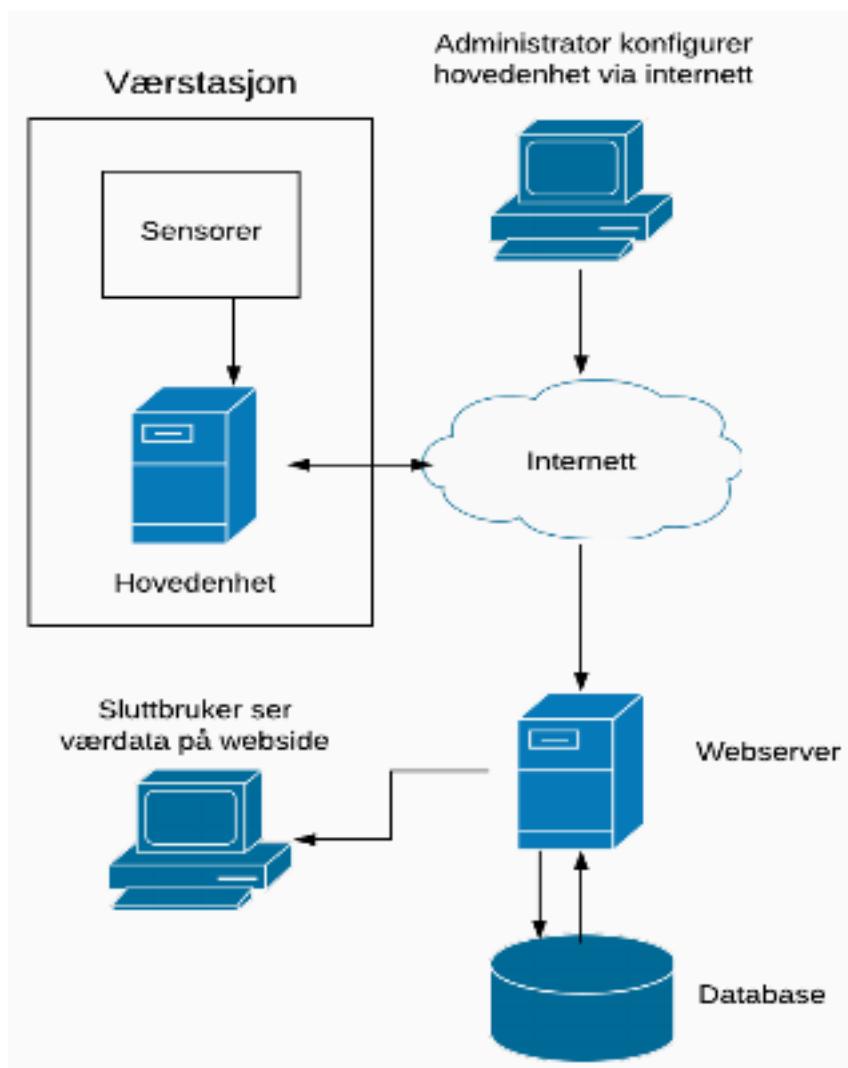
Ikke-prioritet:

Kravet skal bare dekkes dersom det er fornuftig. Dette innebærer at bachelorgruppen:

- Har utført alle krav som har svarkategorien "prioritet".
- Har tilstrekkelig med tid til å utføre kravet på en kvalitetssikker måte.
- Kan utføre kravene uten om å påvirke prioritetskravene negativt.

2. Illustrasjon av systemarkitekturen

Under på figur 1 vises forslaget til systemarkitekturen som har blitt utviklet med hensyn til oppdragsgiver sine krav. Løsningen fungerer ved at sensorverdier leses av på hovedenheten (**krav 1.1**). Deretter lastes disse opp til databasen via webserver over internett (**krav 1.2**). Webserveren lagrer verdiene i databasen. Sluttbruker kan se en oversikt over rapportert værdata som er lagret i databasen (**krav 1.7**). Administrator kan konfigurere hovedenheten over internett (**krav 1.4**). Begrepene på illustrasjonen nedenfor vil bli brukt i kravspesifikasjonen.



Figur 1. Systemarkitekturen til værstasjonen.

3. Krav

Alle kravene er tildelt kategorien funksjonelle krav, ikke-funksjonelle krav, eller dokumentasjonskrav. Funksjonelle krav defineres som “*en beskrivelse av hvordan systemet skal «oppføre» seg, hva det skal gjøre og ikke gjøre, tilgjengelighet, brukervennlighet og sikkerhet fra brukerens ståsted.*” (NDLA, 2018). I denne bacheloroppgaven vil de funksjonelle kravene dekke funksjonene til værstasjonen. Dette innebærer hvordan hovedenheten fungerer ved avlesning av sensorverdier, og hvordan avlesningene skal behandles av programvaren. De ikke-funksjonelle kravene defineres som rammene for systemet (NDLA, 2018) og vil angi kriteriene til de ulike komponentene som blir brukt i værstasjonen. Dokumentasjonskravene inneholder retningslinjer for værstasjonen, samt informasjon som kan bidra til lettere påbygging og endringer av det ferdige produktet.

For tilretteleggelse av at oppdragsgiver eller bachelorgruppen kan komme med nye krav har kategoriene blitt tildelt et tallområde. Funksjonelle krav er nummerert fra 1-49, ikke-funksjonelle krav 50-99 og dokumentasjonskrav 100-149. Kravene blir presentert i kronologisk rekkefølge nedenfor.

1 - Avlesning av sensorer

Kravkategori: A

Prioritet:

Sensorverdiene som spesifiseres i **krav 53** skal leses av hvert minutt og lagres på det interne minnet i hovedenheten.

Hver hele time skal målingene fra hvert minutt brukes til beregning av gjennomsnitt, minimum og maksimumsverdier for den siste timen (se **krav 53**). Etter utregningen slettes de gjeldende minutverdiene fra hovedenheten.

Dersom **krav 2** blir implementert vil minutverdier lastes opp til databasen før de slettes fra hovedenheten.

2 - Oppdatering av databasen i sanntid

Kravkategori: C

Ikke prioritet:

Dette kravet fungerer som et tilleggsønske for **krav 1**.

For hver gang hovedenheten foretar en sensoravlesning skal den laste opp verdiene til databasen. Denne dataen vil overskrive forrige opplasting av sanntidsverdier.

Det vil bli tatt sensoravlesning på alle sensorene som er nevnt i **krav 52**

3 - Kommunikasjon med databasen

Kravkategori: A

Prioritet:

Hver time skal databasen oppdateres med beregnede verdiene fra hovedenheten krav 53.

Ved kommunikasjonsbrudd mellom hovedenheten og databasen skal informasjon som ikke ble overført lagret på det interne minnet i hovedenheten. Dataen skal bli lagret minimum 7 dager.

Overføringen av data skal verifiseres av hovedenheten. Den vil få tilsendt en statuskode fra webserver som bekrefter at dataen har blitt lagret i databasen.

4 - Administrering av hovedheten

Kravkategori: C

Ikke prioritet:

Implementere en kommunikasjonslinje mellom administrator og hovedheten.

Administrator skal kunne bruke ssh mot hovedheten for å endre parametere. (Parametere skal kunne enkelt endres i kildekoden lagret på enheten.)

Ved oppstart av hovedheten vil den hente klokkeslett fra internett.

Følgende parametere skal kunne konfigureres:

- Intervall for sensor målinger
- Ip adressen til databasen
- Manuell omstart av hovedheten. Mulighet for å sende enheten en forespørsel om omstart.
- Mulighet for tilbakestilling av hovedheten. Parametrene som endres i en tilbakestilling vil bli avtalt med oppdragsgiver.

5 - Webgrensesnitt

Kravkategori: A

Prioritet:

Alle sensorverdier fra **krav 53** som er lagret på databasen skal presenteres på en nettside i tabellform eller kurveform.

50 - Hovedheten

Kravkategori: A

Prioritet:

Håndtere og transportere sensorverdiene fra **krav 53** på en sikker måte mellom sensorer og databasen.

Maksimum temperatur: 40°C

Minimum temperatur: -40°C

51 - Elektronikkboks

Kravkategori: A

Prioritet:

Maksimum temperatur: 40°C

Minimum temperatur: -40°C

Vann resistens: IPx5

52 - Sensorer

Kravkategori: A

Prioritet:

Hovedenheten skal være koblet opp til sensor for temperatur, vindhastighet, vindretning, relativ luftfuktighet og lufttrykk.

53 - Loggføring av sensorverdier i hovedheten

Kravkategori: A

Prioritet:

Sensorverdiene skal bli loggført i internminnet til hovedheten som følgende verdienheter:

- **Temperatur:** Celsius
- **Vindhastighet:** Meter per sekund
- **Vindretning:** Grader
- **Relativ luftfuktighet:** Prosent
- **Lufttrykk:** Hektopascal

For alle sensorverdier skal hovedheten kalkulere gjennomsnitt, minimum og maksimumsverdier fra den forrige timen.

Dette kravet innebærer at alle sensorene i **krav 52** er implementert.

54 - Temperatur

Kravkategori: A

Prioritet:

Skal måle temperaturverdien som er spesifisert i **krav 53**.

Måleområde: -40°C til 60°C

Maksimum temperatur: 40°C

Minimum temperatur: 40°C

Vann resistens: IPx5

55 - Luftfuktighet

Kravkategori: A

Prioritet:

Skal måle den relative luftfuktigheten som er spesifisert i **krav 53.**

Måleområde: 0% RH til 100% RH

Maksimum temperatur: 40°C

Minimum temperatur: -40°C

Vann resistens: IPx5

56 - Vindretning

Kravkategori: A

Prioritet:

Skal måle vindretningen som er spesifisert i **krav 53.**

Måleområde: 0-360°

Maksimum temperatur: 40°C

Minimum temperatur: -40°C

Vann resistens: IPx5

Maksimum vindhastighet: 50m/s

57 - Vindhastighet

Kravkategori: A

Prioritet:

Skal måle vindhastigheten som er spesifisert i **krav 53.**

Måleområde: 0 m/s til 50 m/s

Maksimum temperatur: 40°C

Minimum temperatur: -40°C

Vann resistens: IPx5

Maksimum vindhastighet: 50m/s

58 - Lufttrykk

Kravkategori: A

Prioritet:

Skal måle det barometriske luftrykket som er spesifisert i **krav 53.**

Måleområde: 300 hPa til 1250 hPa

Maksimum temperatur: 40°C

Minimum temperatur: -30°C

Vann resistens: IPx5

100 - Programvare

Kravkategori: A

Prioritet:

Oppdragsgiver skal få dokumentasjon tilgjengelig for løsningen ved levering.
Dokumentasjonen omfatter følgende.

- Hvordan kodebase er bygget opp. Oversikt over hvilke funksjoner og filer som brukes i programvaren.
- Hvilken kode som kjører når. Flow-chart som illustrerer hva programkoden gjør under forskjellige scenarioer.
- Rutiner ved endring av program parametere. Når enheten skal administreres **krav 3**, altså hvordan administrator skal gå frem for å endre parametere i koden.

101 - Hardware

Kravkategori: A

Prioritet:

Dokumentasjon av hardware:

- Krets og koblingsdiagram.
- Komponent spesifikasjon

102 - Rutiner uventede hendelser

Kravkategori: B

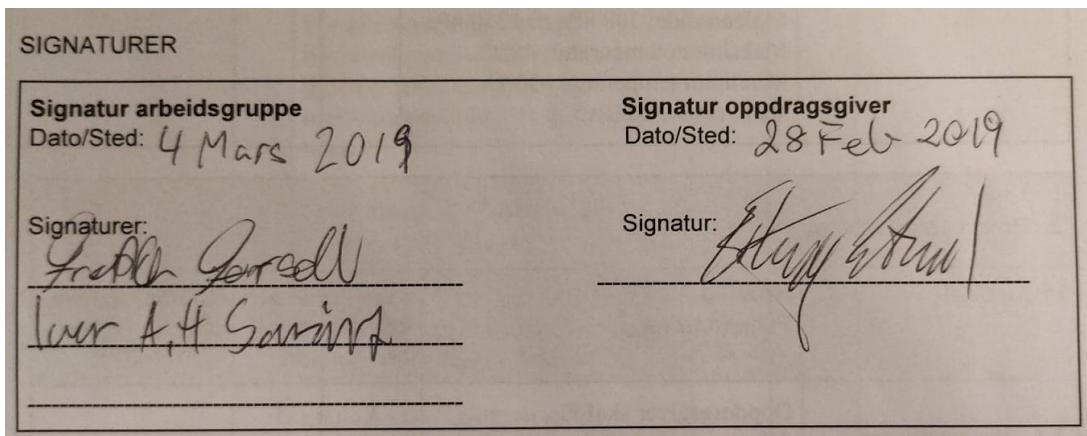
Ikke prioritet:

Rutiner ved uventede hendelser. Beskrivelse av logikk i programvaren ved uventede hendelser:

- Etter strømbrudd.
- Etter brudd i internettforbindelse.
- Beskrivelse for oppsett av ny hovedenhets.

4. SIGNATURER

På figur 2 vises et bilde av signaturene for siste versjon av kravspesifikasjon. Det ble underskrevet på to identiske dokumenter. Det ene dokumentet fikk oppdragsgiver beholde, og det andre tok vi vare på. Kravspesifikasjonens innhold er identisk versjonen som ble signert av begge parter.



Figur 2. Signaturer for kravspesifikasjon.

5. Valgt utstyr

Dette kapittelet består av beskrivelser av produktene som vi valgte å bruke til værstasjonen. Vi har utelatt enkelte deler slik som ledninger og resistanser ettersom dette har liten variasjon når det gjelder kvalitet. Alle delene som ble brukt for kabelhåndtering er ikke obligatoriske for at værstasjonen skal fungere, og vi har derfor valgt å ikke inkludere dem i teksten nedenfor.

Hovedenhet - Raspberry Pi 3 Model B+

Raspberry PI er en datamaskin i en serie av små kretskort. Denne enheten ble utviklet av organisasjonen Raspberry PI Foundation (Raspberry PI Foundation, 2019). Maskinene deres er kjent for å ha lavt strømforbruk og lav pris. Hovedsakelig så var Raspberry maskinene utviklet for å gi personer i fattige land mulighet for å kjøpe en billig datamaskin. Datamaskinene har også blitt veldig populære for bruk til hobbyprosjekter for privatpersoner grunnet sin lave pris («Raspberry Pi Foundation», 2019).

Raspberry PI har kommet i flere versjoner fra den første som ble lansert 2013. Den siste versjonen, altså nummer 3 B+ har vi valgt å bruke for prosjektet vårt (Figur 5.1). Denne ble lansert i Mars 2018 og har en relativt kraftig 1.4GHz 64-bit quad-core prosessor med 1 GB internt minne (Raspberry Pi Foundation, 2018, s.2). For vår applikasjon vil prosesserkraften og minnet være tilstrekkelig.

Vi har tatt hensyn til at produktet skal plasseres i et kaldt klima da vi valgte hvilken datamaskin vi skulle bruke som hovedenhet i værstasjonen. Raspberry PI består av mange komponenter som er laget av forskjellige firmaer. Disse komponentene kan fungere normalt i temperaturer ned til -40°C. Maskinen har også blitt testet og fungert i temperaturer ned til -120°C (Voss, 2016).



Figur 5.1. Bilde av en raspberry Pi 3 b+ (Raspberry Pi Foundation, 2018).

Anemometer - WG2 0/10V

Anemometeret som ble brukt for værstasjonene er modell WG2/O-10. Den har en driftstemperatur fra -40°C til 70°C (Fuehler Systeme, i.d., s.16). Grunnet det interne varmeelementet kan den også operere i klima hvor det er fare for snø og is. Måleområdet for vindhastigheter er mellom 0 til 50 m/s, og den skal også overleve vindhastigheter opp til 80 m/s uten å bli skadet (FS, i.d., s.16).

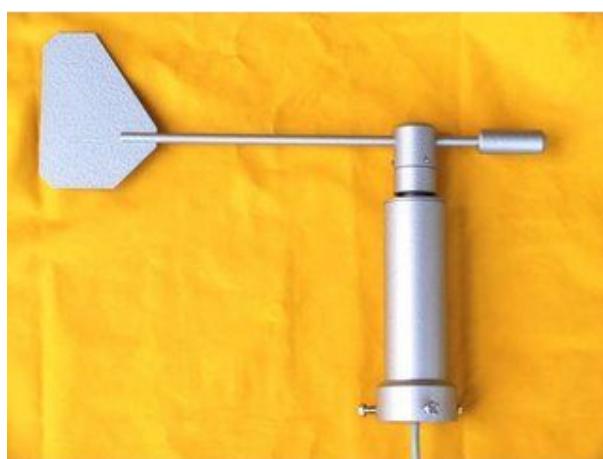
Modellen gir en analog output mellom 0-10V og krever en forsyningsspenning på 24V AC/DC (FS, i.d., s.16). Varmeelementet krever forsyningsspenning på 24V DC/AC (FS, i.d., s.15). Illustrasjon av sensoren vises på figur 5.2.



Figur 5.2. *Bilde av anemometeret WG2 (Fuehler Systeme, i.d.).*

Vindretningssensor - WT 2000

Vindretning sensoren vi valgte til værstasjonen ble WT 2000 som er vist på figur 5.3. Sensoren har en driftstemperatur mellom -30°C..55°C og er IP65 klassifisert (Priggen, i.d.a). Denne har i likhet med WG2 et varmeelement for å hindre frost. Den kan operere i vindhastigheter opptil 50 m/s (Priggen, i.d.a). Modellen gir et analogt signal mellom 0V til 10V. Den har måleområde mellom 0° til 360°. Den må installeres slik at 0° markeringen (rød strek) på sensoren peker nord (Priggen, i.d.a). Forsyningsspenningen er i likhet med WG2 anemometeret 24V DC/AC (Priggen, i.d.a).



Figur 5.3. *Bilde av vindretningssensoren WT 2000 (Priggen, i.d.).*

Temperatur- og luftfuktighetssensor - EE08

Vi valgte temperatur- og luftfuktighetssensoren Epulse EE08. Denne har driftstemperatur mellom -40°C og 80°C (Epulse, i.d., s.1). Luftfuktighet måles fra 0% RH til 100% RH og har nøyaktighet på ±2% RH (Epulse, i.d., s.1). Som nevnt i delkapittel 2.1 så sier den meteorologiske standarden at en akseptabel nøyaktighet må være innenfor ±3% RH. Temperaturen måles fra -40 °C til 80 °C med en feilmargin på +-0.5 °C (Epulse, i.d., s.1). Dette er også tilstrekkelig for at den skal følge den meteorologiske standarden.

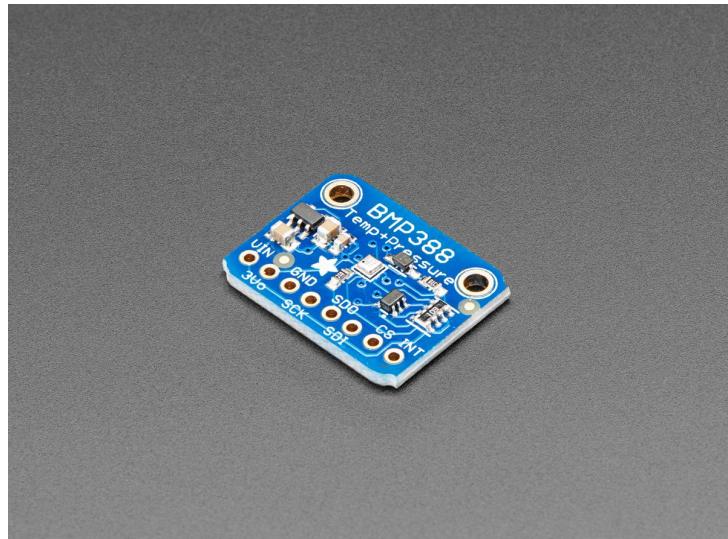
Etter vi testet sensoren fant vi ut at svingninger i inngangsspenningen ikke påvirker det analoge signalet dersom den er innenfor spenningsområdet 7-30 V DC (Epulse, i.d., s.1). Den analoge outputen varier mellom 0V og 5V relativ til sensorverdiene som blir målt (Epulse, i.d., s.1). For å forhindre at snø, vann og sol kan påvirke sensormålingene så skal vi montere et strålingskjold av type HA010506. Bruk av et slikt strålingskjold bidrar til at vi følger den meteorologiske standarden som tilskrifter at “*Tilstrekkelig skjerming fra solstråling er obligatorisk for å minimere usikkerhet rundt målingsverdiene*” som beskrevet i delkapittel 2.1. Produktet inkluderer 10 meter lang kabel for strømforsyning og output signaler. Bilde av sensoren med inkludert strålings skjold er vist på figur 5.4.



Figur 5.4. Bilde av temperatur/fuktighetssensoren EE08 og et radiasjonskjold (AirTest, 2013).

Luftrykksensor - Adafruit BMP388

Sensoren BMP388 brukes for å lese av det barometriske luftrykket. Den har en driftstemperatur fra -40 til 85 grader Celsius (Bosch, 2018, s.3). Absolutt luftrykk nøyaktigheten er på ± 50 Pa i måleområdet mellom 300 og 1100 hPa (Bosch, 2018, s.3). Denne nøyaktigheten er ikke tilstrekkelig dersom vi skal følge den meteorologiske standarden sin anbefalingen på ± 10 Pa som vi skrev i delkapittel 2.1. Grunnen for at vi aksepterte denne ulikheten var fordi oppdragsgiver ønsket et billig alternativ og en nøyaktighet på ± 50 Pa skal være akseptabelt for vår værstasjon. På figur 5.5 illustreres Adafruit sensoren.



Figur 5.5. Bilde av luftrykksensoren Adafruit BMP388 (Adafruit, 2018).

ADC - ADS1015

Analog til Digital Konvertereren brukes til å lese spenningsverdier i Volt og oversette spenningen til en digital verdi. Denne verdien blir deretter overført til Raspberry enheten ved hjelp av I2C kommunikasjon (Adafruit, 2009, s.21). ADS1015 håndterer verdiene med en 12 bit opplosning og kan håndtere 0-3.3V eller 0-5V. (Adafruit, 2009, s.3). Enheten sender ut samme spenning som den mottar i V inn, og ettersom GPIO portene på Raspberry enheten kun kan håndtere maks spenningen 3.3V endte vi opp med å ha et analogt måleområde fra 0 til 3.3V. Dette er illustrert på første figur i datasheeten (Adafruit, 2009, s.1)

Monteringsboks - RS PRO Steel Wall Box IP66

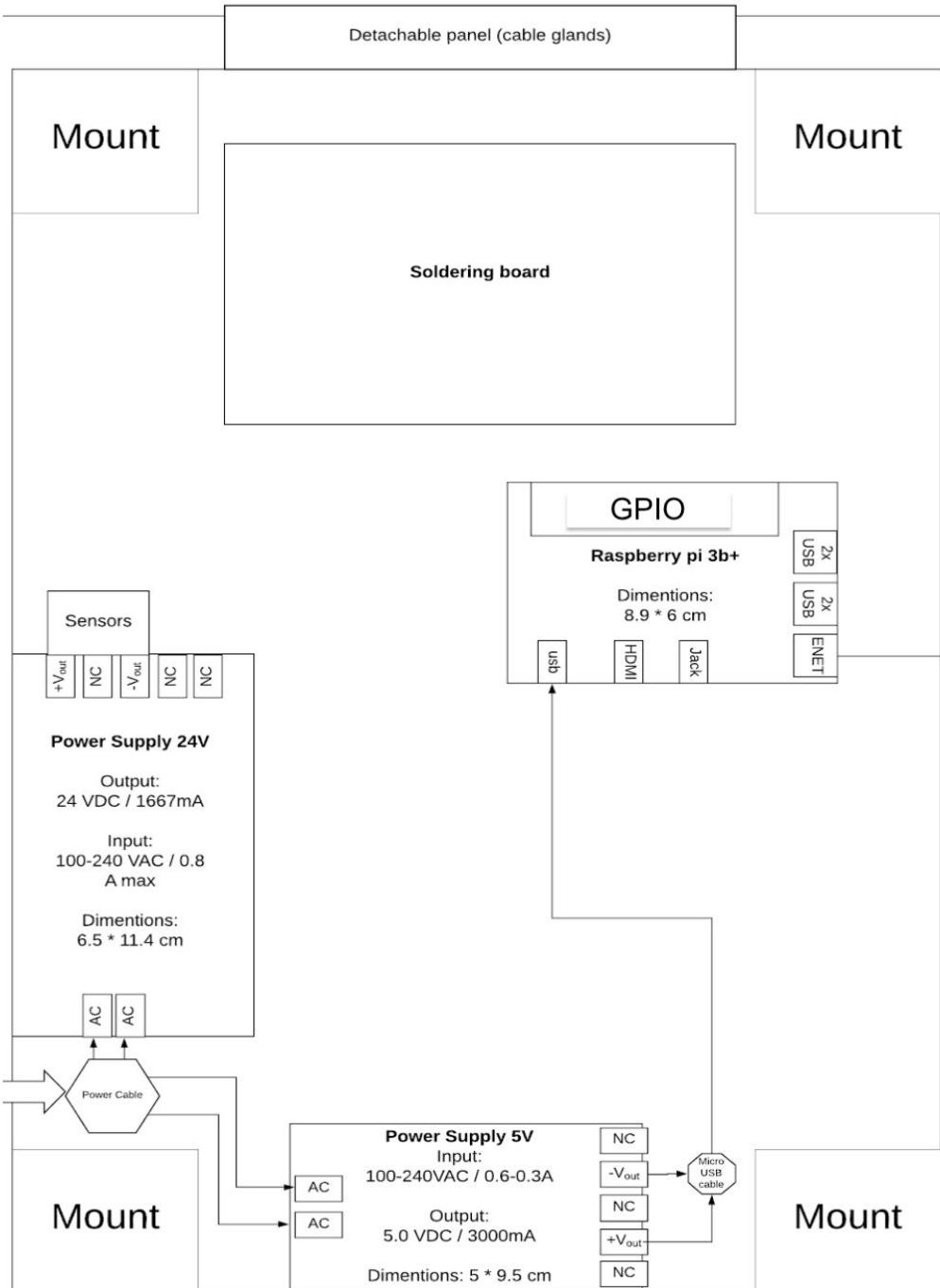
Vi kjøpte inn monteringsboksen RS PRO Steel som har en IP rating på 66 (RsPro, i.d., s.1). Dette betyr at den skal være tett for både støv og kraftig spyling med vann fra alle kanter (vedlegg 2). Boksen inkluderer en dørplate med forsegling, en nøkkellås og en plate for å tre ledninger gjennom (RsPro, i.d., s.1). Dimensjonen til boksen er 150mm x 400 mm x 300 mm (RsPro, i.d., s.2).

Pakknippler - Lapp Skintop M12 Cable Gland

Pakknipplene som ble brukt for å ha en vannsikker kobling av kablene som går inn i monteringsboksen var Lapp Skintop M12. Denne typen har en IP rating på 69K (Lapp Group, 2016, s.1), som betyr at den er fullstendig tett mot støv og høytrykk dampstråler (vedleg 2). Pakknippelen er laget spesifikt for kabler av type M12 (L.G, 2016, s.1).

6. Implementasjon

Dette kapittelet inneholder beskrivelser og fremgangsmåter som ble brukt under produksjonen av værstasjonen. I delkapittel 6.1 blir monteringsdelen forklart. Her forklarer vi hvordan delene i værstasjonen fungerer. I delkapittel 6.2 så står det informasjon om kretskortet, inkludert komponentene som er loddet sammen. Deretter, i delkapittel 6.3 dokumenteres implementasjonen og det nye designet til nettsiden hvor de avleste sensorverdiene blir presentert. Videre så forklarer vi oppsettet av den nye webserveren, databasen, programvaren og den 3D printet boksen som lufttrykksensoren monteres i.



Figur 6.1. Skisse av monteringsbrettet i værstasjonen.

6.1. Montering av komponenter

Før vi festet komponentene inni monteringsboksen planla vi hvor de skulle festes. Vi lagde først en digital skisse (figur 6.1) som skulle representere plasseringen av komponentene i monteringsboksen. Skissen tar hensyn til den reelle størrelsen til alle delene som er avbildet (med unntak av kretskortet). Dette delkapittelet tar utgangspunkt i at leseren bruker denne skissen som et supplement til teksten.

Strømforsyning

I værstasjonen er det plassert to strømforsyninger. Den første gir 24V DC, og kobles opp til vindretning-, vindhastighet-, temperatur- og luftfuktighetssensoren. Den andre gir 5V DC og blir brukt som strømforsyning til Raspberry enheten. Som et forsikringstiltak mot at strømforsyningenes elektromagnetiske støy ikke vil påvirke sensoravlesningene har vi plassert dem med lengst mulig avstand fra ledningene som sender målingsverdiene.

Strømforsyningene blir koblet til en 220V strømkabel som er splittet til to positive og to negative ledninger. Splittingen skjer i nedre venstre hjørne som er markert som "Power Cable" på Figur 6.1. Én negativ og én positiv strømledning blir koblet til hver av strømforsyningenes "AC" innganger. Strømforsyningene blir koblet til med vekselspenning. 220V kabelen blir trukket gjennom venstre hjørne på monteringsplaten som er navngitt "Detachable Panel" på figur 6.1 (den første pakknippelen på figur 6.2). Vi har bevisst plassert denne ledningen i hjørne for å unngå at ledningen er tett oppi de andre ledningene som skal inn i boksen.



Figur 6.2. Kabelgjennomgang.

Raspberry Pi enheten

Raspberry Pi enheten er plassert på midten av monteringsbrettet på figur 6.1. Den brukes til å behandle digitale signaler og nettverkskommunikasjon til den eksterne databasen. Inngangen som er navngitt "usb" kobles direkte til 5V utgangen til strømforsyningen og inngangen "ENET" kobles til en ethernet kabel. Brikken som er plassert på toppen av raspberry enheten er navngitt "GPIO" og brukes som kommunikasjonslinje mellom kretskort og Raspberry Pi enheten.

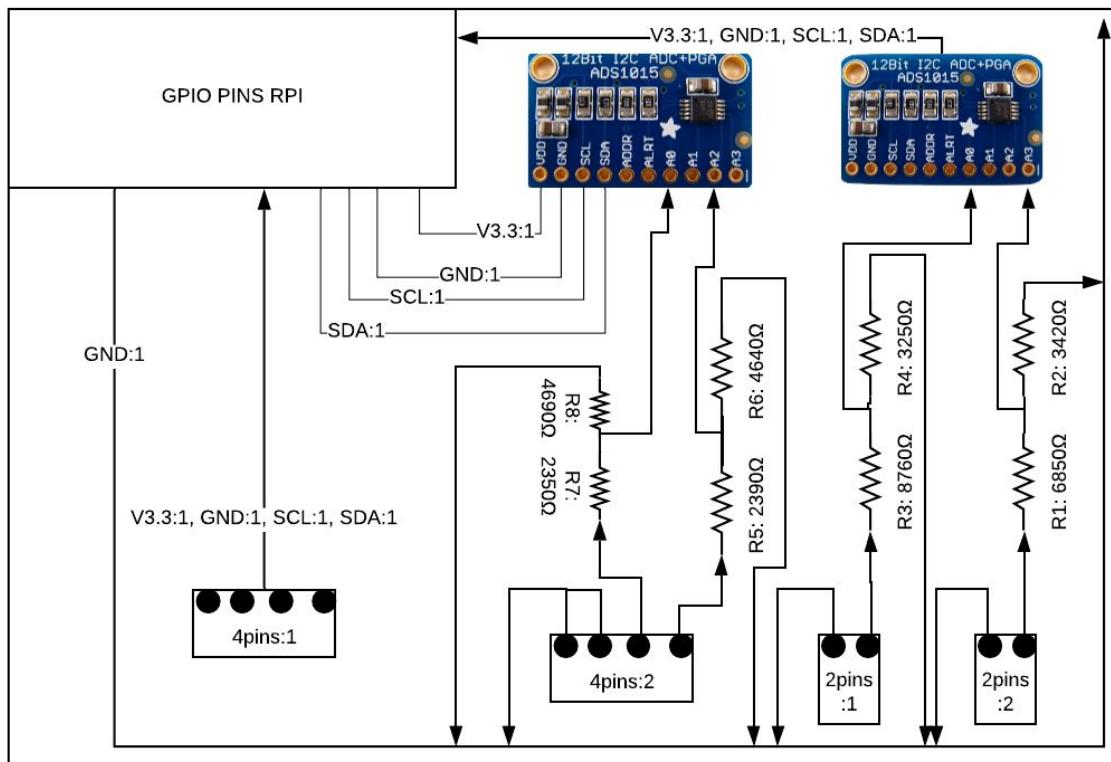
Kretskort

Kretskortet brukes til å koble sammen sensorutgangene til nødvendige komponenter (ADC, voltage dividers etc). Disse komponentene vil bli ytterligere forklart i delkapittel 6.2. Som vist på figur 6.1 så er kretskortet montert på toppen av monteringsbrettet. Dette er ettersom plasseringen er nærmest mulig kabelinngangene til boksen ("Detachable Panel"), og samtidig lengst mulig borte fra elektromagnetisk støy fra strømforsyningene.

6.2. Kretskortet

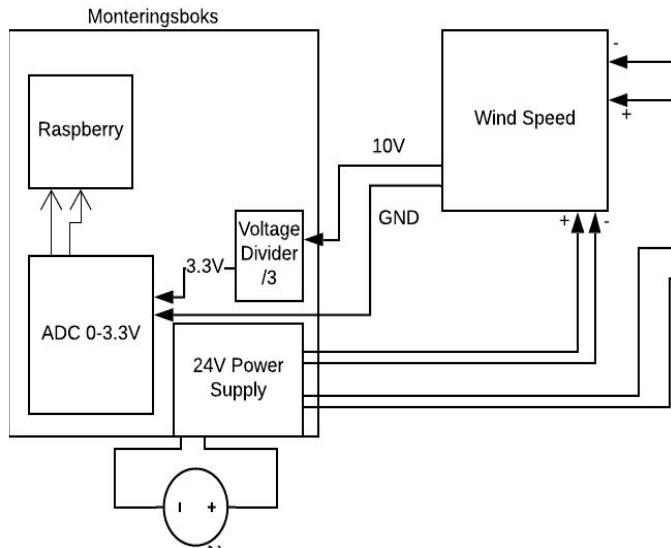
Kretskortet som er montert inni værstasjonen blir brukt for å behandle signalene fra sensorene som mäter vindhastighet, vindretning, temperatur, relativ fuktighet og lufttrykk. ADCene oversetter de analoge målingsverdiene til digitale verdier via den serielle I2C protokollen. Ettersom ADC chippen vår håndterer inngangsspenninger mellom 0 og 3.3 volt laget vi resistive spenningsdeler. Som vist på figur 6.3 så ble det brukt fire koblingsterminaler som er navngitt "4pins" og "2pins". Disse terminalene ble brukt slik at det skulle være enkelt å bytte ut sensorer dersom de blir defekt. "2pins" terminalene kan mota en spennning mellom 0-10V som deretter deles på 3 i en spenningsdeler.

"4pin:2" terminalen mottar en spennning mellom 0-5V som deles på 1.5. Spenningsdelerene ble laget ved hjelp av formelen $V_{out} = (V_s * R_2)/(R_1 + R_2)$. Alle utregningene vil bli presentert senere i dette delkapittelet.



Figur 6.3. Kretsdiagram.

Figur 6.4 viser stegene som skal til for å digitalisere målingsverdiene til sensorene. For at sensorene skal kunne gi ut en verdi må det bli tilført strøm fra et 24V Power supply. Når sensorene har foretatt en måling sendes det et analogt signal til en kretskortet. På kretskortet reduseres spenningen for å være innenfor ADCens måleområde 0-3.3V. ADCen leser av spenningen og sender verdien til Raspberry Pi med digitale I2C signaler. Ved hjelp av programmering kan denne måleverdien regnes ut.



Figur 6.4. Eksempel for sensoravlesninger.

Oppkobling

Figur 6.1 blir brukt som et supplement til teksten nedenfor. Det er viktig at alle sensorer kobles sammen til terminalene som spesifisert nedenfor grunnet variasjoner i spenningsdelerne.

Terminal “4pins:1”

Terminalen navngitt “4pins:1” brukes for lufttrykksensoren og går direkte inn til GPIO inngangene til Raspberry enheten. Denne består av de 4 tilkoblingspunktene 3.3V, SCL, SDA og GND som kobles direkte til “GPIO” inngangene til Raspberry.

Terminal “4pins:2”

Terminal “4pins:2” brukes for å koble opp temperatursensorens Temperature-out i pin 3, og luftfuktighetssensoren Humidity-out i pin 4, mens pin 1 og pin 2 brukes for jording. Strøm inngangene til disse sensorene kobles til 24V DC. Temperatur spenning går til ADC inngangen A0, og luftfuktighets spenning går til ADC inngangen A2 (på venstre ADC).

Terminal “2pins:1”

Terminal “2pins:1” brukes for å koble opp vindretning sensoren. Pin 1 er koblet til jording og pin 2 er koblet til Wind-direction-out. Strøm inngangen til sensoren kobles på 24V DC. Vindretning spenning går til ADC inngangen A0 (på høyre ADC).

Terminal “2pins:2”

Terminal “2pins:1” brukes for å koble opp vindhastighet sensoren. Pin 1 er koblet til jording og pin 2 er koblet til Wind-speed-out. Strøminngangen til sensoren kobles på 24V DC. Vindhastighet spenning kobles til ADC inngangen A3 (på høyre ADC).

Utregninger

Ettersom det var to av sensorene hadde et analogt verdiområde mellom 0-5V, og to sensorer mellom 0-10V så måtte vi lage 2 forskjellige typer spenningsdeler. Formelen vi brukte for å kalkulere hvilke resistanser vi måtte bruke var: $V_{out} = (V_s * R_2)/(R_1 + R_2)$. Unøyaktigheter i spenningsdelerene kan kalibreres i koden til raspberry enheten. Dette gjøres ved å bruke resultatene i utregningene nedenfor til å definere høyeste måling.

Spenningsdeler for 5V til 3.3V

$$\text{Spenningsdeler 1: } V_{out} = (5V * 4690\Omega)/(2350\Omega + 4690\Omega) = 3.331$$

$$\text{Spenningsdeler 2: } V_{out} = (5V * 4640\Omega)/(2390\Omega + 4640\Omega) = 3.300$$

Spenningsdeler for 10V til 3.3V

$$\text{Spenningsdeler 3: } V_{out} = (10V * 3250)/(8760 + 3250) = 3.331$$

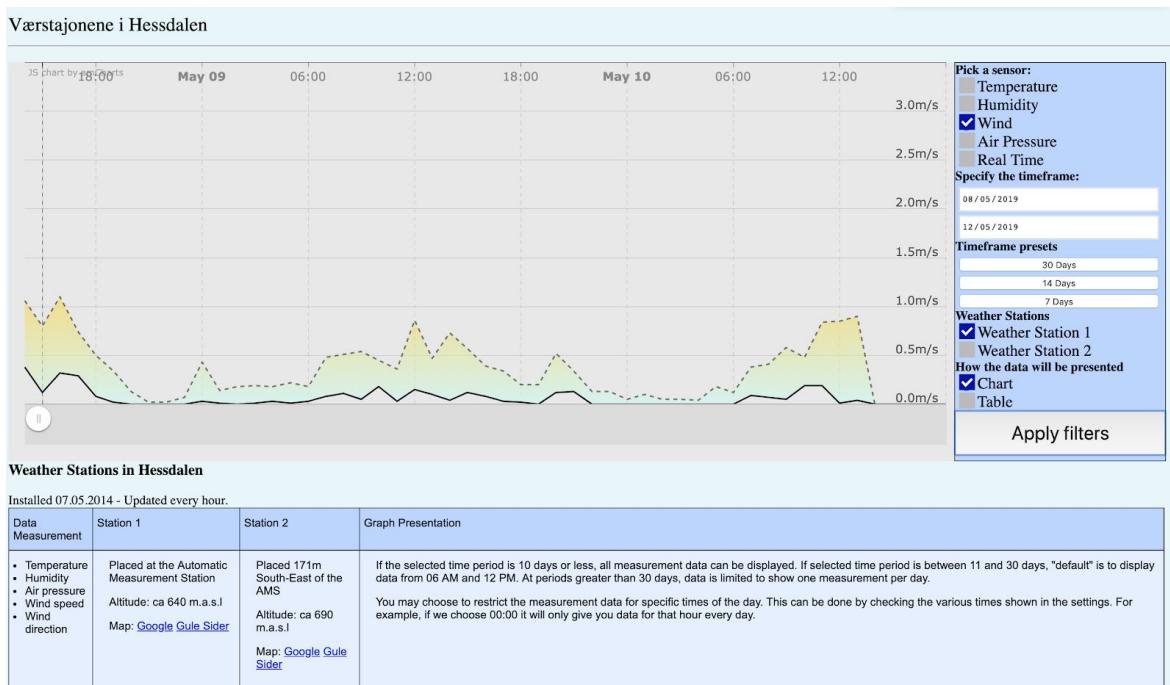
$$\text{Spenningsdeler 4: } V_{out} = (10V * 3420)/(6850 + 3420) = 3.330$$

ADC

De to Analog til Digital Konverteren som er illustrert øverst i høyre hjørne på figur 6.3 har totalt 8 innganger for å måle volt verdier (A0->A3). For å forhindre at ADC-ene fikk en adresse konflikt på I2C konfigurerte vi den venstre adcen til å bruke en annen adresse. Dette ble gjort ved å koble sammen ADDR og SDA inngangen.

6.3. Nettsiden

Siden den eksisterende nettsiden hadde en del forbedringspotensiale (som beskrevet i analysekapittelet) ville vi lage deler av den på nytt. Vi ønsket å gjøre brukervennligheten bedre. I dette delkapittelet vil vi forklare hvordan denne nettsiden fungerer. Teksten nedenfor vil ta hensyn til at leseren er kjent med utseendet og funksjonaliteten til den gamle nettsiden som er illustrert på figur 2.10 og den nye versjonen av nettsiden er vist i figur 6.5. Nettsiden er tilgjengelig på <http://www.hessdalen.org/weather19/index.html>.

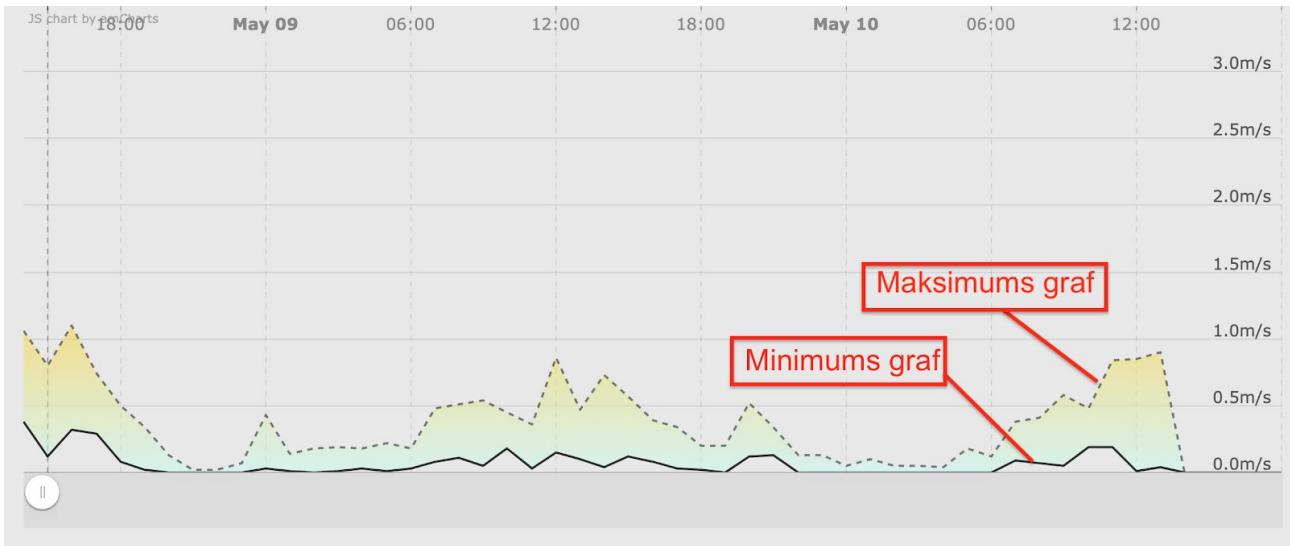


Figur 6.5. Bilde av den nye nettsiden.

Brukergrensesnitt

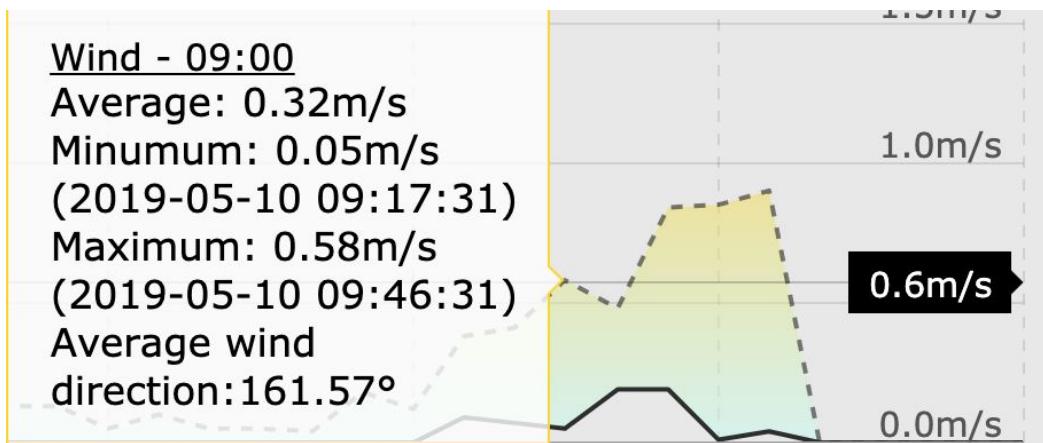
Graf

Vi bestemte oss for å bruke javascript biblioteket amCharts (amCharts, i.d) for å lage grafer. På figur 6.6 vises vindhastighet i en gitt periode. Her har vi endret programvaren slik at y-aksen på grafen tilpasser seg målingsdata automatisk. Her ser vi at den maksimale vindhastigheten på y-aksen er 3 m/s. Om et annet datoområde spesifiseres i parameter boksen figur 6.9 vil y-aksen tilpasse seg de nye verdiene. Vi har også lagt inn enheter på grafen basert på hvilken observasjonstype som er valgt. For eksempel om temperatur velges i parameterboksen vil enheten på y-aksen være °C. Som man kan se på figur 6.6 er det to grafer (linjer). Den øverste grafen viser maksimumsverdien, mens den nedre grafen viser minimumsverdi den gitte timen. Det vil alltid være to grafer som viser dette uansett valg av måletype (temperatur, vind, luftfuktighet og lufttrykk).



Figur 6.6. Bilde av den nye grafen.

Vi har også endret hva som skjer når brukeren beveger musepekeren over grafen. Da vil det komme opp en rute som viser flere detaljer for den valgte timen (figur 6.7). Øverst på firkanten vises tidspunktet og målingstype som er “wind” i dette tilfellet. Under er det mer detaljert informasjon som gjennomsnitt, minimumsverdi og maksimumsverdi. Gjennomsnittlig vindretning vil også vises dersom vind er valgt i parameterboksen på figur 6.9.



Figur 6.7. Musepekeren over en time på grafen

Tabell

For at den nye tabellen skulle kunne brukes på en effektiv måte lagde vi en tittelrad som er synlig selv om brukeren scroller nedover i tabellen. Dette skal minimere sjansene for at en bruker ikke er sikker på hvilken verdi som blir vist. Som illustrert på figur 6.8 så spesifiserte vi også at annenhver rad skulle ha en mørkere gråfarge.

TEMPERATURE					
Date	Average temperature	Minimum temperature	Maximum temperature	Minimum Temperature Time	Maximum temperature time
2017-08-04 13:00:00	14.20	14.00	14.72	2017-08-04 12:04:30	2017-08-04 12:04:30
2017-08-04 12:00:00	13.82	13.64	14.45	2017-08-04 11:07:00	2017-08-04 11:07:00
2017-08-04 11:00:00	13.87	13.68	14.26	2017-08-04 10:03:00	2017-08-04 10:03:00
2017-08-04 10:00:00	13.25	13.04	13.78	2017-08-04 09:07:00	2017-08-04 09:07:00
2017-08-04 09:00:00	13.12	12.92	13.61	2017-08-04 08:03:30	2017-08-04 08:03:30
2017-08-04 08:00:00	12.51	12.34	13.18	2017-08-04 07:09:30	2017-08-04 07:09:30
2017-08-04 07:00:00	12.51	12.35	13.08	2017-08-04 06:04:00	2017-08-04 06:04:00
2017-08-04 06:00:00	12.42	12.36	13.24	2017-08-04 05:43:30	2017-08-04 05:43:30
2017-08-04 05:00:00	12.37	12.25	13.02	2017-08-04 04:06:30	2017-08-04 04:06:30
2017-08-04 04:00:00	12.37	12.2	13.44	2017-08-04 03:39:00	2017-08-04 03:39:00
2017-08-04 03:00:00	13.09	12.72	14.04	2017-08-04 03:00:00	2017-08-04 03:00:00
2017-08-04 02:00:00	13.49	13.3	14.43	2017-08-04 01:59:00	2017-08-04 01:59:00
2017-08-04 01:00:00	14.03	13.75	14.78	2017-08-04 00:59:30	2017-08-04 00:59:30
2017-08-04 00:00:00	14.49	14.11	15.56	2017-08-04 00:00:00	2017-08-04 00:00:00
2017-08-03 23:00:00	15.1	14.78	16.05	2017-08-03 22:32:00	2017-08-03 22:32:00
2017-08-03 22:00:00	16.01	15.55	17.07	2017-08-03 21:58:30	2017-08-03 21:58:30

Figur 6.8. Nettsidens nye tabell.

Under utviklingen av tabellen kom vi frem til at en dynamisk tabell ville være optimalt for oppdragsgiver. Dette innebærte at vi måtte lage funksjoner som genererte tabellen ved å sende inn tekststrenger til en funksjon. På figur 6.9 kan vi se deler av denne koden.

```

if(radio_temperature.checked){
    //Defining the columns in the table header
    headerContent = ["Date", "Average temperature", "Minimum temperature",
    bodyContent = ["measureTime", "temperatureAvg", "temperatureMin", "temp
    }
    function createTableHeader(headerContent){
        var tableHead = document.getElementById('theady');

        //Deleting previous table header elements
        while (tableHead.firstChild) {
            tableHead.removeChild(tableHead.firstChild);
        }

        //Creating the header row
        var tr = document.createElement('tr');

        //Creating coulumns for the header row
        for (i = 0; i < headerContent.length; i++) {
            var th = document.createElement('th');
            th.innerHTML = headerContent[i];
            tr.appendChild(th);
        }
        //Appending the row to the table header
        tableHead.appendChild(tr);
    }
}

```

Figur 6.9. Tabellgenerator kode.

Konfigureringsboks

For å gjøre den nye konfigureringsboksen mer brukervennlig designet vi nye radioknapper som var større og lettere å trykke på. Vi samlet deretter alle html elementene i en boks slik at siden skulle bli mer oversiktig. Den første verdien som må velges er hvilken sensor brukeren vil se data fra (det er bare mulig å velge en sensor om gangen). Dersom brukeren ønsker å velge tidsområdet for målingene selv så kan det spesifiseres i input boksene som illustrert på figur 6.10. Vi la også til knapper som setter forhåndsbestemte tidsperioder 30, 14, og 7 dager tilbake i tid. Ettersom det finnes data fra 2 ulike værstasjoner går det an å velge hvilke som skal presenteres. Det er også mulig å velge mellom tabell eller en grafisk fremstilling av dataen (krav 5 fra kravspesifikasjonen i kapittel 4).

The figure shows a configuration interface for a weather station. It includes sections for selecting a sensor (Temperature, Humidity, Wind, Air Pressure, Real Time), specifying a timeframe (start date 08/05/2019, end date 12/05/2019), choosing weather stations (Weather Station 1, Weather Station 2), and selecting how the data will be presented (Chart, Table). A large 'Apply filters' button is at the bottom.

Pick a sensor:

- Temperature
- Humidity
- Wind
- Air Pressure
- Real Time

Specify the timeframe:

08 / 05 / 2019

12 / 05 / 2019

Timeframe presets

- 30 Days
- 14 Days
- 7 Days

Weather Stations

- Weather Station 1
- Weather Station 2

How the data will be presented

- Chart
- Table

Apply filters

Figur 6.10. Bilde av den nye parameterboksen.

6.4. Webserver

Web serveren som hessdalen.org bruker kjører Apache med php. Webserveren sin oppgave er å levere filer til klienter og kjøre kode spesifisert av administrator. For eksempel når du navergerer til hessdalen.org vil webserveren sende en html fil til nettleseren basert på adressen du har skrevet. Serveren kan også kjøre php kode som kan brukes for å hente ut data fra databasen eller laste opp data til databasen. I dette delkapittelet vil vi beskrive virkemåten til php koden.

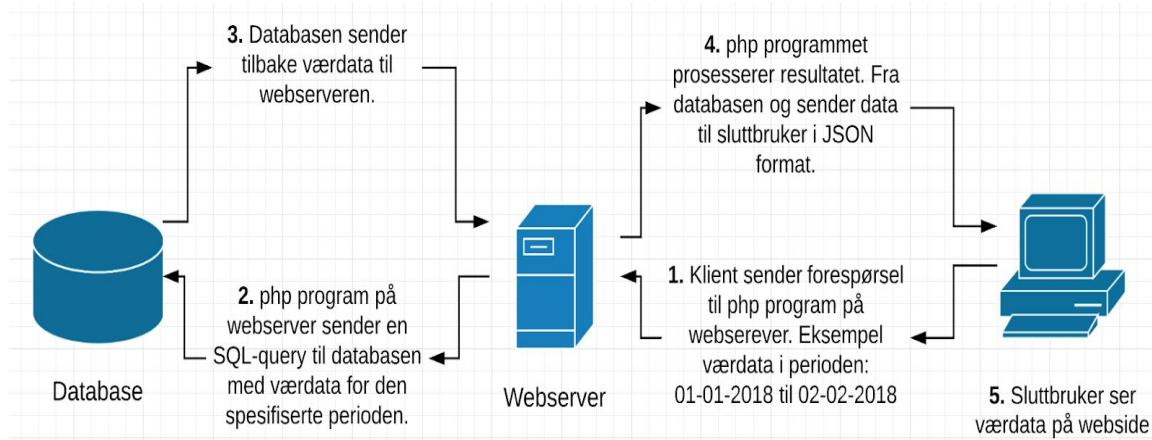
php kode

Som nevnt i planleggings delen av prosjektet finnes det eksisterende php kode for å hente ut værdata fra databasen i tillegg til å sende dette til bruker/klienten. Vi så at denne koden ikke passet så godt til vår implementasjon av systemet og dermed lagde vi denne på nytt. Koden for systemet har blitt delt opp i tre forskjellige php programmer ut i fra bruksområdene:

- Det første programmet skal brukes for nedlastning av værdata fra databasen til klienten. Nettsiden vil bruke dette programmet for å hente værdata fra databasen.
- Det andre programmet skal brukes av værstasjonen for å laste opp værdata til databasen hver time. Dataen som blir lastet opp vil bli brukt av det første programmet.
- Det tredje programmet skal brukes av værstasjonen for å laste opp sanntidsverdier. Altså observasjonene til værstasjonen hvert minutt.

Php program laste ned værdata til klient

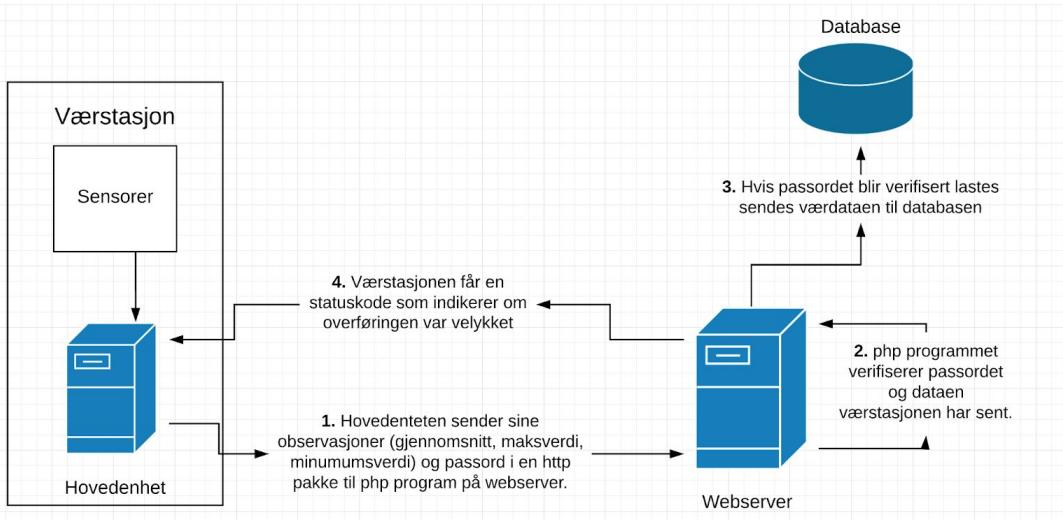
Det første programmet vi har kodet leverer data til klienten fra databasen slik at dette kan vises i nettleseren til brukeren. Stegene er forklart i figur 6.10.



Figur 6.10. *php program for å laste ned værdata til klient.*

Php program for å laste opp værdata fra hovedenhet til database hver time.

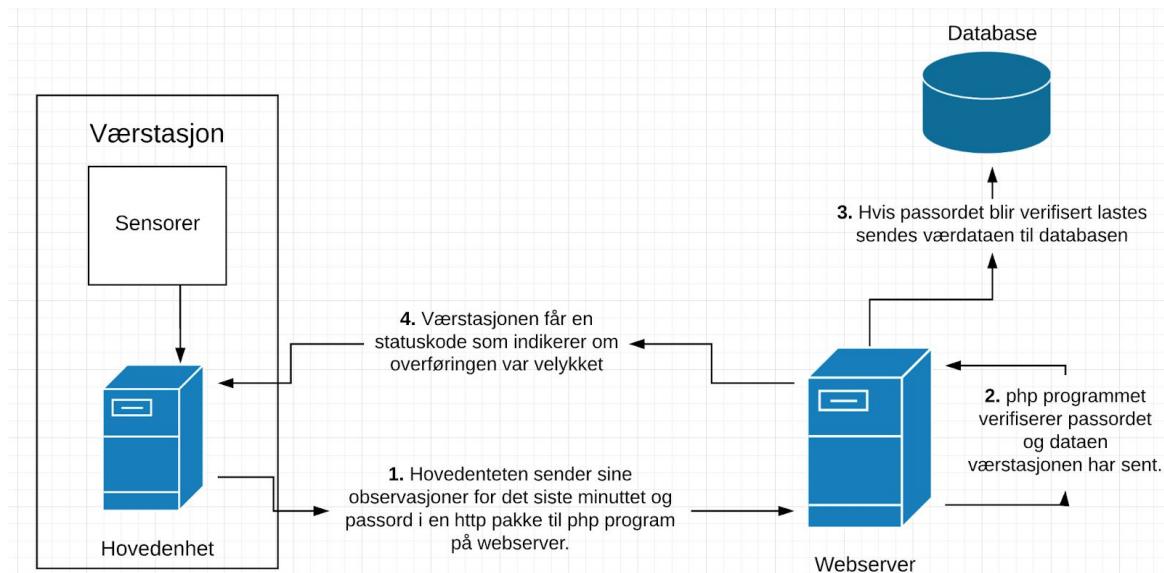
Det andre php programmet vil bli brukt av værstasjonen når den laster opp data hver time. Her står sikkerhet i fokus. Når hovedenheten sender data må den sende et passord og enhetsnummer sammen med dataen for at serveren kan verifisere identiteten til værstasjonen. Dette passordet vil være lagret i både hovedenheten og i php programmet. Passordet må være likt på begge steder hvis værdata skal bli lagret i databasen. Stegene er forklart i figur 6.11.



Figur 6.11. *php program å laste opp værdata til database.*

Php program for å laste opp sanntidsverdier hvert minutt.

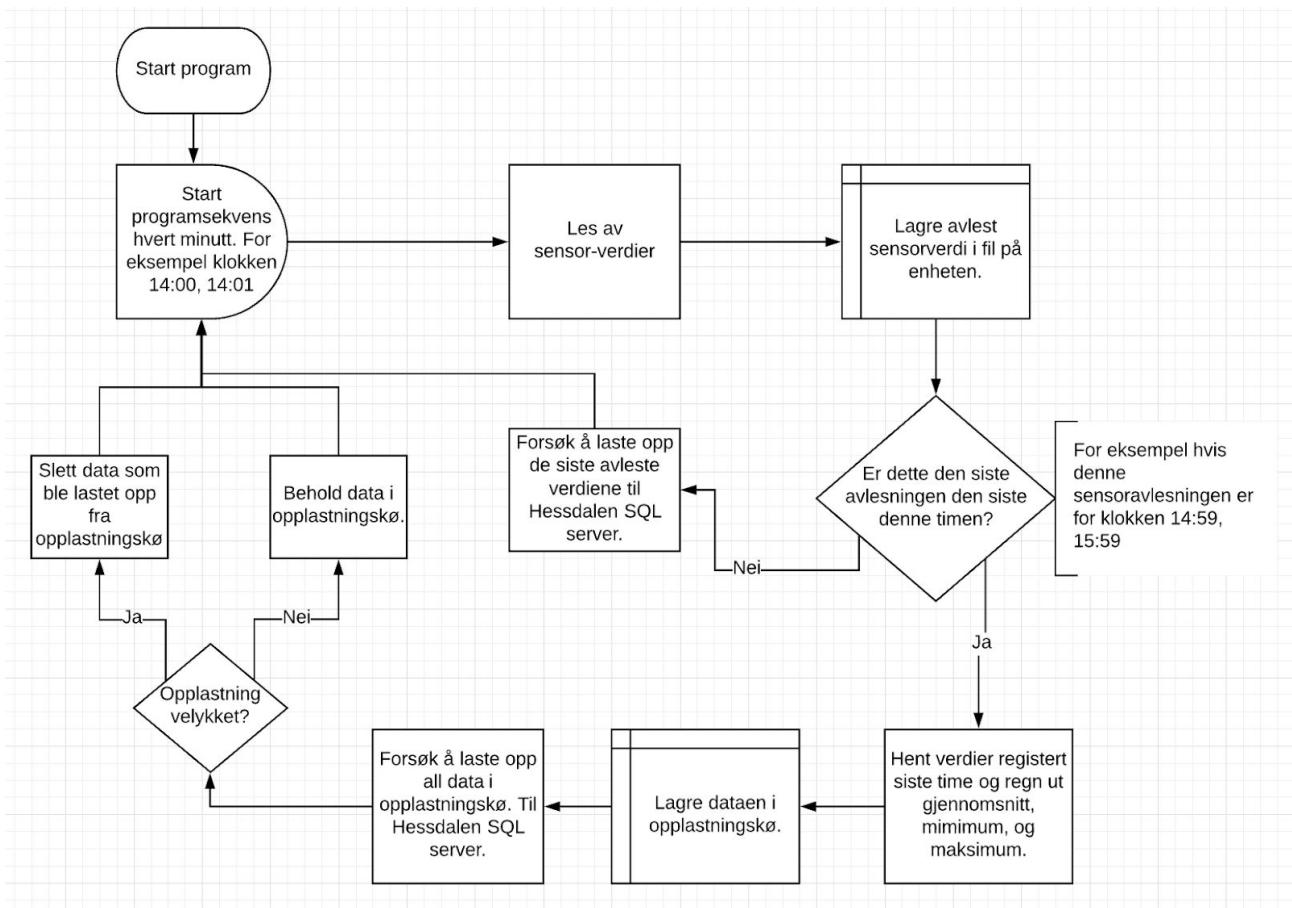
Dette programmet vil fungerer på tilsvarende måte som programmet over. Forskjellen er at dataen som skal lastes opp vil være sanntidsdata. php programmet vil i likhet med det andre motta en http pakke fra værstasjonen, men med observasjonene det siste minuttet. Deretter vil identiteten til værstasjonen og dataen som ble mottatt verifiseres for deretter å bli lastet opp til databasen. Stegene er forklart i figur 6.12.



Figur 6.12. *Kode fra php program for å laste opp data fra værstasjon til database.*

6.5. Hovedenhet programvare

Vi har utviklet programvaren som kjører på hovedenheten med programmeringsspråket Python versjon 3. Hovedmålet til programmet er å lese av verdier fra sensorene som er koblet til værstasjonen og oversette dette til eksakte verdier for temperatur, luftfuktighet, vindhastighet, vindretning og luftrykk over en viss tid. Deretter vil den finne gjennomsnitt-, minimum- og maksimumsverdier og laste disse verdiene opp til databasen. På figur 6.13 er et flowchart som viser hvordan programmet jobber.

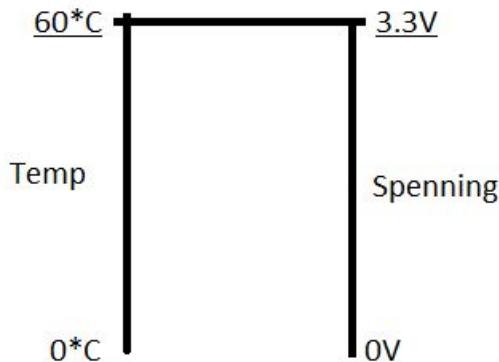


Figur 6.13. Flowchart av programvare.

Avlesning av sensordata

Det første programmet leser av sensordata. Det er 5 forskjellige sensorer koblet til hovedenheten. Vindretning-, vindhastighet-, temperatur- og luftfuktighet sensor er koblet til to stykk Analog Digital Converter (ADC) på koblingsbrettet. Dette er en enhet som oversetter en elektrisk spennin Volt til et digitalt signal som hovedenheten har tilgang til. Programvaren kobler seg til ADC enheten ved oppstart for så deretter ”spørre” ADC om hva spenningen er nå. Deretter bruker programvaren en formel for å regne ut sensor verdien. Formelen baserer seg på sensorens måleområde (figur)

6.13.1). Denne prosessen gjentas hvert minutt. Lufttrykk sensoren er en digital enhet som gir lufttrykket direkte da programmet spør om det, i motsetning til de andre sensorene.



Figur 6.13.1. Spennin og sensorverdiens forhold.

Lagring av måleverdier

Når programvaren har lest av alle sensorene og funnet verdiene (for eksempel temperatur), vil den deretter lagre disse i en fil som er dedikert for avlesningene den aktuelle timen. På denne måten kan programmet huske hvilke avlesninger den har gjort i den aktuelle timen. Når en ny time starter vil filen med måleverdiene fra den forrige timen være klar for prosessering. Programmet vil deretter lage en fil for den nye timen.

Prosessering av måleverdier

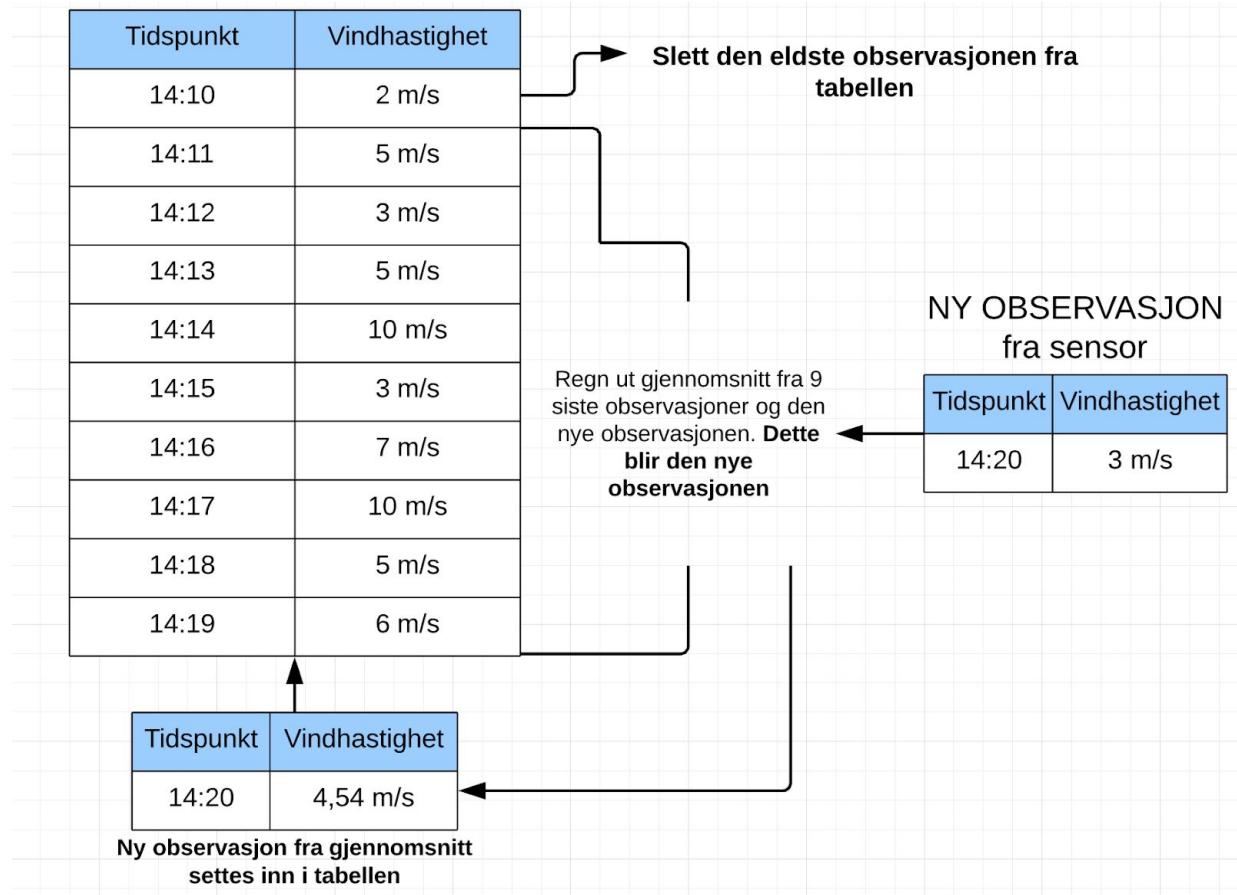
Når programmet ser en samling av måleverdier fra en tidligere time lastes disse inn i minnet for prosessering. I denne fasen vil programmet finne minimumsverdi, maksimumsverdi og gjennomsnittet av målingene, i tillegg til å finne tidspunktet der minimumsverdi og maksimumsverdi ble observert. Da den er ferdig med dette vil den lagre de prosesserte verdiene i en egen fil som blir markert for opplastning. På dette tidspunktet har programmet gjort alle dataene klare for å lagres i databasen for så å kunne bli presentert på nettsiden.

Opplastning av måleverdier

Hvert minutt vil programmet undersøke om det finnes prosesserte verdier klare for oppslastning. Om den finner en eller flere vil den forsøke å starte opplasting. Først vil programmet forsøke å sende en pakke med informasjonen til webserveren (dette er illustrert i Figur 6.11). Deretter får den en responskode fra serveren om opplasting var vellykket. Dersom en feil skjedde i prosessen vil programmet beholde filen med verdiene som skulle lastes opp for å forsøke igjen på et senere tidspunkt (neste minutt). En typisk feil kan være at enheten har mistet internett tilgang som fører til at den ikke får kontakt med webserveren. Hvis opplasting var vellykket vil programmet slette de prosesserte verdiene.

Prosessering av måledata i henhold til meteorologisk standard

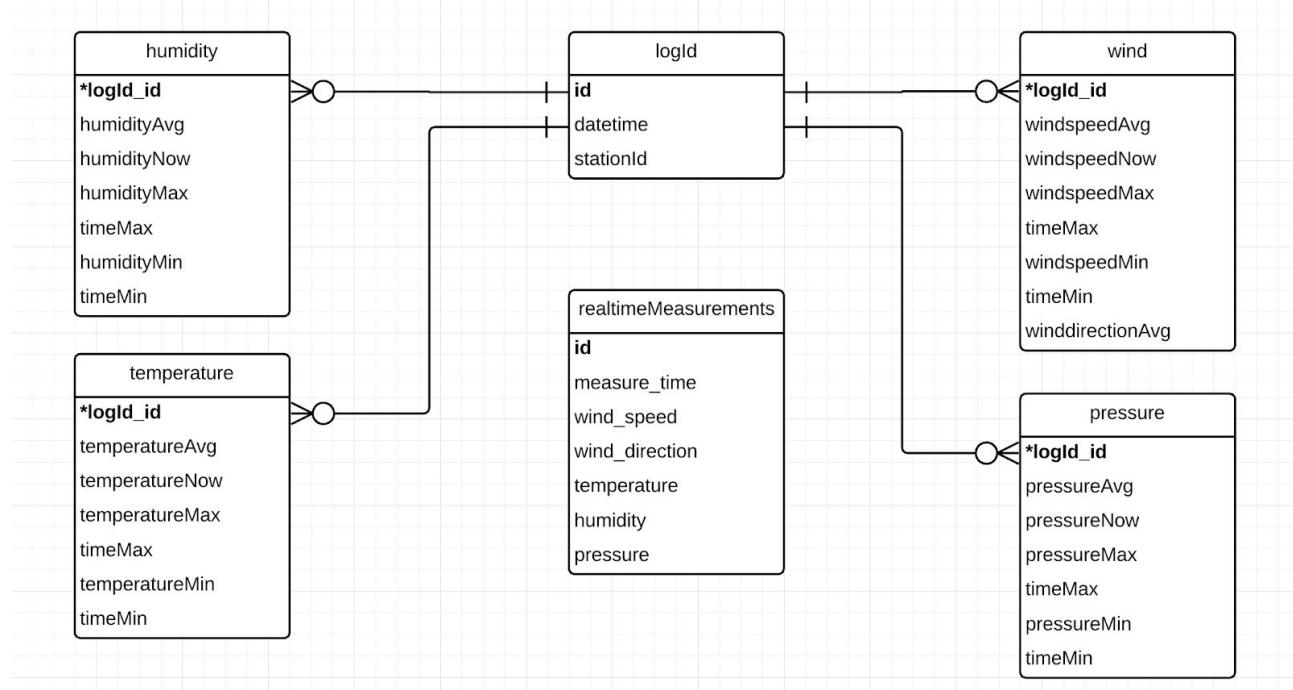
En viktig prioritering med programvaren er at måleverdiene (temperatur, luftfuktighet, vindhastighet, lufttrykk og vindretning) blir regnet ut på riktig vis. Disse verdiene regnes ut ved hjelp av gjennomsnitt fra de ti siste minutter i henhold til meteorologisk standard (delkapittel 2.1). Vi har oppnådd dette ved hjelp av et spesielt køsystem i programvaren som tar vare på de ti siste observasjonene. Når vi leser av en måleverdi, for eksempel en vindhastighet vil programmet regne ut gjennomsnittet av denne sammen med de ni siste observasjonene. På denne måten kan vi hindre at for eksempel et vindkast ved en avlesning blir vektlagt for tungt i beregningen.



Figur 6.14. Køsystem for utregning av måleverdier.

6.6. Databasen

Vi har valgt å benytte den eksisterende databasen fra tidligere prosjekter, med noen modifikasjoner. Endringene som har blitt gjort er å lage en ny tabell for lagring av sanntidsverdier fra værstasjonen i tillegg til å endre måten vindretning blir lagret på. Tabellen for sanntidsverdier (altså værdata for hvert minutt) er en separat del i databasen uten forhold til andre tabeller (figur 6.15). Dette er et bevisst valg siden dette er utenfor kjernen i oppdraget, som er å lagre måleverdier på timebasis. Den andre endringen vi har gjort med databasen er å endre måten vindretning lagres på. Den tidligere databasen lagret kun maksimum vindretning for den aktuelle timen. Vi ønsker å lagre vindretning som en gjennomsnittlig verdi for den aktuelle timen. Så vi har laget en kolonne "winddirectionAvg" for dette i "wind" tabellen.



Figur 6.15. Databasestruktur med forhold.

Utfordringer i forhold til lagring av sanntidsverdier

I den nye tabellen "realtimeMeasurements" vil vi lagre minuttværdier fra hovedenheten. Dette vil si at hvert minutt skal værstasjonen laste opp måleverdier til denne tabellen. Dette vil være vindhastighet, vindretning, temperatur, luftfuktighet og lufttrykk observasjoner. Over tid vil denne tabellen bli stor (nye verdier lagt til hvert minutt) og bruke mye lagringsplass på databaseserveren. For å begrense bruken av lagringsplass på serveren har vi valgt å lagre denne dataen med lavere presisjon, altså færre desimaler bak måleverdiene sammenliknet med måleverdiene som lagres hver hele time:

- Temperatur: To plasser for heltall og fire plasser for desimaler: 00,0000
- Vindhastighet: Tre plasser for heltall og to plasser for desimaler: 000,00
- Vindretning: Tre plasser for heltall og to plasser for desimaler: 000,00
- Lufttrykk: Fire plasser for heltall og fire plasser for desimaler: 0000,0000
- Luftfuktighet: Tre plasser for heltall og to plasser for desimaler: 000,00

6.7. 3D-Printing av boks for lufttrykksensor

Etter diskusjon med oppdragsgiver kom vi frem til at vi skulle kjøpe en billig chip til å måle lufttrykket. Ettersom lufttrykket inni monteringsboksen ikke ville være korrekt grunnet lufttetthet så måtte vi skaffe en ny boks til å plassere lufttrykksensoren i. Vi valgte å 3D printe en boks som vi kunne drille et hull i. Målet med boksen er at den skulle ha samme lufttrykk innenfor og utenfor. Vi måtte også sørge for at boksen var robust nok slik at ledningene ikke kunne bli frakoblet dersom noen flytter på boksen, samtidig som at det ikke lekker vann inn i boksen. Dette problemet løste vi med å montere en pakknippel for å tre kabelen igjennom.



Figur 6.16. Monteringsboks for lufttrykksensor.

Det ferdige produkter er avbildet på figur 6.16 og viser hvordan ledningen er koblet igjennom pakknippelen. Ledningen på innsiden av boksen kobles til sensoren som er plassert mellom to plastplater. Dette skal forhindre at sensoren beveger seg. For enkel montering og demontering har vi tatt i bruk en plastplate som skrus direkte til åpningen til boksen. Denne plastplaten ble forseglet ved å smelte plast rundt kantene slik at det ikke forekomme en vannlekkasje. Vi drillet et hull i nedre hjørne (figur 6.16) slik at sjansene for at vann kunne samlet seg i boksen ble minimal.

7. Testing og evaluering

Dette kapittelet inneholder bilder og beskrivelser av de ulike testene som har blitt utført på værstasjonen. Dokumentasjonen har blitt utarbeidet ved hjelp av en mal for kvalitetssikring som ble lastet opp av Universitetet i Standford (Univeristy of Standford, i.d.). Malens formatering er obligatorisk for ISO standarden 9001 når det gjelder dokumentasjon for QMS (Quality Management Systems). Ettersom vi har skreddersydd malen for vår bacheloroppgave vil den ikke støtte ISO 9001. Vi slettet delene for effektiv dato, erstatningsdato, forfatter og avdelingsnavn og oversatt alle overskrifter fra engelsk til norsk. QMS dokumentene i dette kapittelet er følgelig utarbeidet slik at de lett kan modifiseres for å støtte ISO 9001 dersom oppdragsgiver ønsker å påbegynne dokumentasjon av endringer.

7.1. Regn

Værstasjon i Hessdalen	Dokument #	Testdato
	G36-01-A	11.04.2019
Dokument Tittel		
Lekkasjetesting ved vannsprut		

Endringshistorikk

Dato	Beskrivelse av endringer
29.03.2019	Isolerende skum for lekkasjesikring av monteringsboks.
11.04.2019	Utbryte av plastikkring for isolering av skruenhull.

Hensikt

Hensikten med lekkasjetestingen ved hjelp av vannsprut er at værstasjonen skal kunne håndtere å være plassert ute i et kraftig regnvær. Dersom lekkasjer forekommer kan det resulteres i at elektronikken blir skadet. Det er derfor viktig at monteringsboksen til værstasjonen kan tåle regnsprut fra alle kanter.

Implementasjonsområde

Denne testen vil gjelde for alle værstasjoner som blir montert ved bruk av monteringsboksen og pakknipplene spesifisert i "Valgt utstyr" kapittel 5.

Fremgangsmåte

Feilsøking:

Vi startet testingen ved å spyle vann på monteringsboksen i planlagt monteringsposisjon (figur 7.1). Denne testen var ikke vellykket. Vi måtte dermed ta en grundigere test hvor vi sprutet vannet direkte på de utsatte områdene. Vi fant ut at forseglingen til skapet fungerte bra, men nøkkelhullet til skapet ikke var tett (figur 7.2). Vi satt boksen på hodet og sprayet vann på den som også førte til at det samlet seg vann inni boksen (figur 7.3). Det ble tydelig at det var problemer med isoleringsfolien som var mellom den nedre monteringsplaten og monteringsboksen. Pakknipplene og de andre skrueinngangene på boksen var vanntett. Reparasjon av monteringsplaten og nøkkelen blir videre forklart i de neste to avsnittene.



Figur 7.1. Regntest på monteringsboksen.



Figur 7.2. Lekkasje på innsiden av låsen.



Figur 7.3. Lekkasje på monteringsplaten.

Reparasjon av monteringsplaten:

Vi demonterte platen og byttet alle isolerende plastringer på skruene. Vi strammet deretter skruene ekstra godt for å øke trykket på gummieballasjen mellom monteringsplaten og boksen. Dette førte til at boksen bestod en vanlig regntest. Som et forsikringstiltak valgte vi også å legge på bygnings- og sanitetssillikon rundt lekkasje utsatte steder som vist på Figur 7.4 og 7.5. Dette resulterte i at boksen ble vannsikker mot regn og direkte sprut.



Figur 7.4. Monteringsplaten utvendig.



Figur 7.5. Monteringsplaten innvendig.

Reparasjon av nøkkelen:

Da vi demonterte nøkkelen fant vi ut at problemet var en dårlig forseglingsemballasje. Vi forsøkte å smelte en gummiring rundt metallbiten noe førte til at skapet bestod en vanlig regntest. Vi testet også nøkkelen ved å fylle hullet med vann og plassere den vannrett på et bord. Slik stod den i en time. Vannmengden forandret seg ikke og vi konkluderte testen som vellykket. Figur 7.6 viser nøkkelen 1 time etter påfyll med vann. Papirbiten ble brukt for å fremheve at det var vann der.



Figur 7.6. Nøkkelen vanntest.

7.2. Utendørs bruk

Værstasjon i Hessdalen	Dokument # G36-02-A	Testdato 08.05.2019 til 10.05.2019
Dokument Tittel Test av værstasjon utendørs		

Endringshistorikk

Dato	Beskrivelse av endringer
04.05.2019	Sprayet silikon på kretskortet og Raspberry enheten for å minimere sjansene for at fuktighet kan forårsake problemer med elektronikken
08.05.2019	Endringer på koden som håndterer overføring fra værstasjonen til databasen i Halden. Den midlertidig lagringsfilen i Raspberry enheten ble overskrevet før den ble lastet opp til overført.

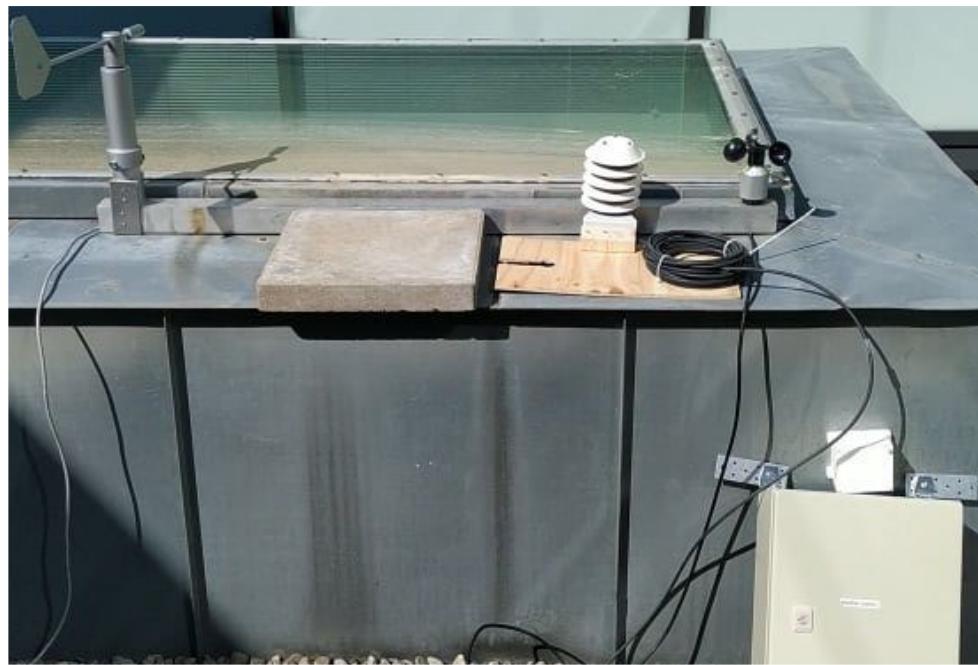
Hensikt

Hensikten med testingen er at vi skal forsikre oss om at værstasjonen klarer å kjøre programvaren stabilt. Samtidig skal den foreta nøyaktige målinger av vindhastighet, vindretning, temperatur, relativ fuktighet og luftrykk. Testen vil også forsikre oss om at værstasjonen vil være vanntett da den blir utsatt for regn i en lengre periode.

Fremgangsmåte

Feilsøking:

Denne testen foregikk i 3 dager med varierende værforhold. På monterings dagen var det klar himmel med solskinn direkte på monteringsboksen og sensorene. De to neste dagene var den utsatt for kraftige regnbygger. På figur 7.7 vises det hvordan værstasjonene og sensorene ble plassert under testingen. Monteringsboksen ble plassert vinklet mot en vegg. Dette var fordi vi ønsket at regndråper skulle samle seg i dørsprekken slik at vi kan undersøke om dette kunne resultere i en lekkasje. Etter vi hadde startet opp værstasjonen oppdaget vi at det var problemer med koden som håndterte overføringene av sanntidsdata fra raspberry enheten til vår testdatabase.



Figur 7.7. Plassering av værstasjonen under testen.

Fiksing av bug i kode:

For å fikse problemet koblet vi enheten til en skjerm, mus, tastatur for å undersøke hva som hadde skjedd (figur 7.8). Problemet viste seg å være at webserveren til testdatabasen vår hadde et sertifikat som nå hadde bli ugyldig slik at hovedenheten ikke fikk etablert en sikker forbindelse med webserveren. Vi forsøkte deretter å endre parametrerne i programvaren til å koble til webserveren med **http** isteden for **https**. Dette løste problemet og værstasjonen startet å laste opp data som normalt.



Figur 7.8. Fiksing av bug i kode.

8. Dokumentasjon av driftsrutiner

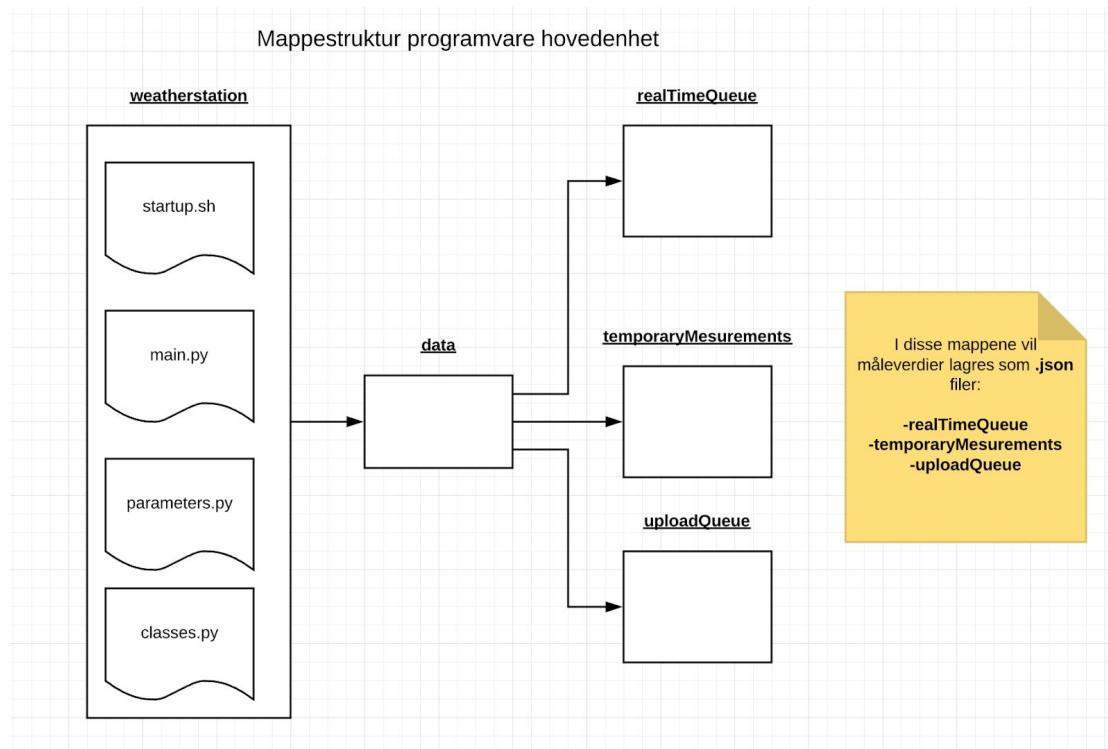
Prosjektet er bygget opp i to separate deler som henholdsvis er programvare og hardware. Programvare delen består av koden som kjører på webserver og hovedenheten. Hardware delen består av monteringsboksen med elektronikken og tilhørende sensorer.

Programvare - hovedenheten

Programvaren på hovedenheten benytter to forskjellige programmer. Det første programmet er et veldig kort shell script som heter "startup.sh". Dette er det første programmet som kjører når enheten starter. Oppgaven til dette programmet er å sette klokken på hovedenheten til riktig tidspunkt ved hjelp av NTP (Network time protocol). Det er veldig viktig at klokken er riktig innstilt slik at den kan sette riktig tidspunkt på måleverdier. Programmet venter på internett oppkobling før så deretter sette klokken på hovedenheten til riktig tidspunkt. Det andre programmet er selve hovedprogrammet "main.py" som leser av sensorene og laster opp værdata.

Oppbygging programvare

Vi har lagt opp mappestrukturen på programvaren med en hovedmappe som inneholder alt som programmet krever for å kjøre. Mappestrukturen til "weatherstation" vises på figur 8.1.



Figur 8.1. Mappestruktur programvare.

Mappen weatherstation

I denne mappen finnes det fire filer med forskjellige formål:

- Den første filen heter “startup.sh”. Dette er shell programmet som blir startet automatisk ved hver oppstart. Som nevnt i introduksjonen så vil denne innstille kokken på enheten.
- Det andre programmet “main.py” er hovedprogrammet som utfører oppgaven til værstasjonen.
- Det tredje programmet “parameters.py” inneholder kun en liste over parametere som hovedprogrammet laster inn ved oppstart. Her kan sensorene kalibreres. For eksempel hvis temperatursensoren gir 0,4°C for høy temperatur kan oppdragsgiver endre offset-verdien slik at resultatet blir korrekt.
- Det fjerde filen inneholder public klassedefinisjoner som brukes i hovedprogrammet.

Mappen data med undermapper

I undermappene til datamappen lagrer hovedprogrammet sine avlesninger (figur 8.1). Det er tre undermapper:

- I første mappen “temporaryMeasurements” lagres det individuelle filer for alle observasjoner den aktuelle timen. For eksempel, observasjoner fra timen fra 2019-01-01 20:00:00 til 2019-01-01 21:00:00 lagres med navnet "2019-01-01&20.json". Når programmet oppdager at det finnes en eller flere filer her med filnavn fra tidligere timer vil det starte prosesseringen av filene. Da finner programmet gjennomsnitt, minimum og maksimum verdier og lagrer en ny fil klar for opplastning i mappen “uploadQueue”. Etter dette slettes filen for den passerte timen fra “temporaryMeasurements”.
- I den andre mappen “uploadQueue” lagres prosesserte værdata som er klart for opplastning til databasen. Hvert minutt vil programmet forsøke å laste opp data fra filene i denne mappen. Navnet på filene i denne mappen vil følge samme standard som i “temporaryMeasurements”. For eksempel så vil værdata for klokken 20:00 til 21:00 bli navngitt som: "2019-01-01&20.json". Om opplastingen av en fil er vellykket vil den bli slettet.
- Mappen “realTimeQueue” brukes for å lagre minuttværdier fra sensorene. I motsetning til de andre mappene lagres minuttværdier i en felles fil uten datomerking. Programmet vil forsøke å laste opp verdien i filen hvert minutt. Dersom dette er vellykket slettes filen.

Rutine for endring av parametere i hovedprogram

Programvaren til hovedenheten ligger på følgende filsti “/home/Documents/weatherstation/” når man er logget inn som brukeren “pi” på enheten. Oversikt filene i mappen kan man se på Figur 8.1. For å endre parametere i programvaren må filen parameters.py åpnes med en teksteditor. I denne mappen finnes alle variablene som programmet bruker. I figur 8.2 vises en oversikt over variabler som kan endres:

Variabelnavn	Type	Brukes til
temperatureOffset	float	Verdien som settes her vil adderes til fremtidige målinger av temperatur. Verdien gis i antall °C . Verdien kan settes til negative og positive tall. For eksempel for å legge til -0,5 °C på fremtidige målinger settes denne til -0,5 i koden.
humidityOffset	float	Verdien som settes her vil adderes til fremtidige målinger av luftfuktighet. Verdien gis i antall antall prosent. Verdien kan settes til negative og positive tall. For eksempel for å legge til +2,23% luftfuktighet på fremtidige målinger settes denne til 2.23 .
winddirectionOffset	float	Verdien som settes her vil adderes til fremtidige målinger av vindretning. Verdien gis i antall grader . Verdien kan settes til positive og negative tall. OBS. justering anbefales ikke da ved for eksempel en måling på 0° eller 360° kan gi henholdsvis målinger på ° < 0 eller ° > 360. Dette vil påvirke målingene på uforutsett vis.
windspeedOffset	float	Verdien som settes her vil adderes til fremtidige målinger av vindhastighet. Verdien gis i antall m/s . Verdien kan settes til negative og positive tall. For eksempel for å legge til 2 m/s på fremtidige målinger settes denne til 2.0 i koden. Dette vil ikke påvirke thresholdet som er satt for vindhastighet i programvaren. Altså målinger under 0.2 m/s vil bli regnet som 0. Verdien gitt vil ikke bli lagt til på disse målingene på under 0.2 m/s.
pressureOffset	float	Verdien som settes her vil adderes til fremtidige målinger av lufttrykk. Verdien gis i antall hPa . Verdien kan settes til negative og positive tall. For eksempel for å legge til 20 hPa på fremtidige målinger settes denne til 20 i koden.
uploadUrl	string	Dette er linken som brukes av programvaren for å laste opp timesverdier, altså maksimum, minimum og gjennomsnitt og henholdsvis tidspunktene for disse. Denne skal settes til urlen der “submitData.php” filen ligger.
uploadUrlRealtime	string	Dette er linken som brukes av programvaren for å laste opp minuttverdier. Denne skal settes til urlen der “submitDataRealTime.php” filen ligger.

Figur 8.2. Tabellbeskrivelse av parametere i programvare

*OBS: Ettersom programmet er skrevet i python 3 skal linjer i filene **ikke avsluttes med semikolon.***

Dokumentasjon hardware

Dokumentasjon av hardware inkludert kretsdiagram finnes i Kapittel 6. Her kan man se tegning av koblingsboksen med komponentplassering og kretsdiagram.

Rutiner ved uventede hendelser

Strømbrudd

Ved et strømbrudd kan hovedenheten i verste fall bli skadet. Da strømmen kommer tilbake vil hovedenheten automatisk starte opp på nytt. Om ingen komponenter i hovedenheten blir skadet så vil systemet automatisk starte programvaren på nytt og fortsette normal operasjon. Komponenten som er mest utsatt ved strømbrudd er minnekortet som inneholder operativsystemet med tilhørende kode (Walter, 2016). Dersom minnekortet blir ødelagt ved et strømbrudd må dette byttes.

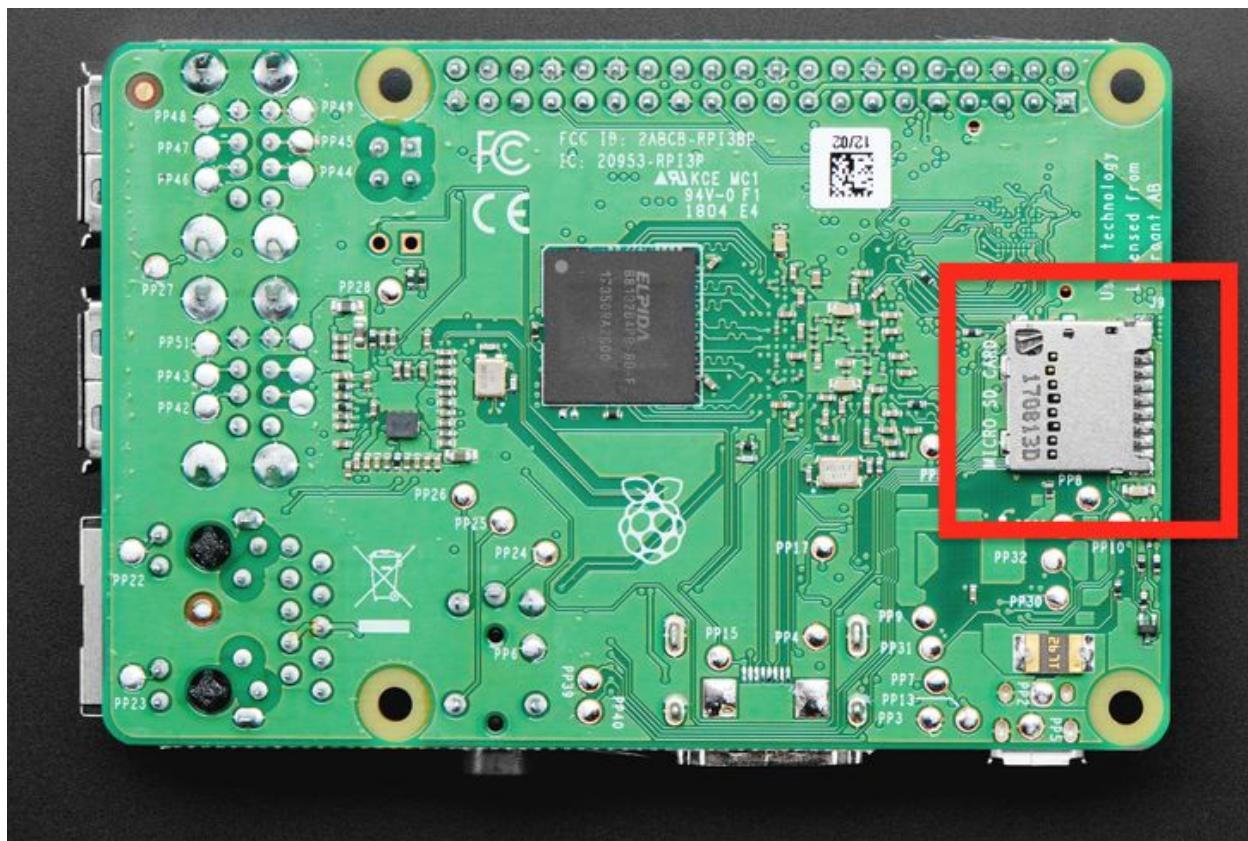
Symptomer på dette er at den grønne indikatoren på fremsiden av brettet ikke blinker. I monteringsboksen er det et ekstra minnekort som har samme innhold som minnekortet i hovedenheten. Vi anbefaler å bytte det dersom enheten ikke fungerer etter et strømbrudd. Minnekortet er plassert på undersiden av enheten som vist på Figur 8.2.

Bytte minnekort

For å bytte minnekortet trenger man følgende utstyr:

- Stjerneskrutrekker
- Minnekort med programvaren (dette finnes i koblingsboksen)

Skru løs hovedenheten fra koblingsboksen. Deretter løft hovedenheten opp og ta ut minnekortet under og sett inn det nye minnekortet. Skru hovedenheten på plass igjen og skru på strømmen.



Figur 8.3. Bilde av Raspberry Pi 3 B+ Adafruit (Adafruit, 2018).

Oppsett av ny hovedenhet

Dersom hovedenheten må byttes trenger man følgende utstyr:

- Stjerneskrutrekker
- En stykk Raspberry PI 3 B+
- Minnekort med programvaren (dette finnes i koblingsboksen)

Sett inn minnekortet som finnes i koblingsboksen i den nye Raspberry PI 3 B+ enheten. Deretter koble ut ledninger som er koblet til den gamle hovedenheten. Dette vil være strøminngangen, ethernet kabel og fire kabler som går fra kretskortet til hovedenheten. Skru løs hovedenheten og fest den nye hovedenheten i samme posisjon med de samme skruene. Sett inn strømkabelen og ethernet kabelen i hovedenheten mens strømmen koblingsboksen er av.



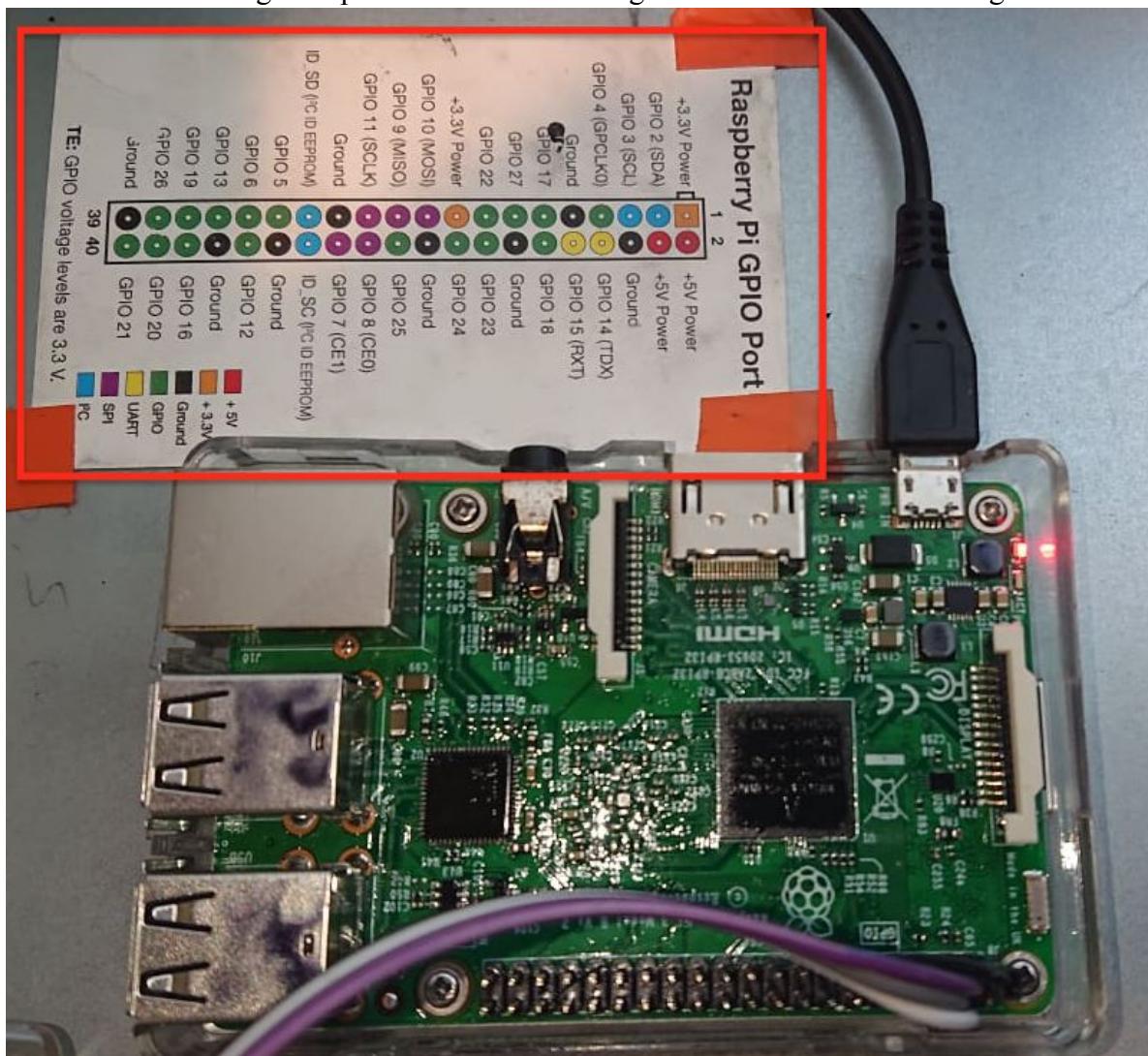
Figur 8.4. Bytte av hovedenheten.

For å koble kretskortet til den nye hovedenheten er det viktig å koble kablene riktig. Kablene fra kretskortet er fargekodet for å gjøre dette lettere. I tabellen under kan man se hvor kablene skal kobles til.

Farge	Kobling på Raspberry Pi 3 B+
Svart	3.3V GPIO
Hvit	GND GPIO
Grå	SCL GPIO
Lilla	SDA GPIO

Figur 8.5. Tabellbeskrivelse av parametere i programvare

I monteringsboksen er det festet et lite kart som viser navnet på koblingene på Raspberry Pi 3 B+ for å vise hvor kablene fra kretskortet skal kobles til (figur 8.6). Etter kablene har blitt koblet til så kan man lukke boksen og skru på strømmen. Erstatningen av hovedenheten er ferdig.



Figur 8.6. Kart over GPIO inngangene på Raspberry Pi 3 B+

9. Diskusjon

I dette kapittelet vil det stå beskrivelser om hvilke erfaringer og kunnskap vi har fått av prosjektet.

9.1. Formål og hovedmål

Som forklart i delkapittel 1.4 så var formålet med prosjektet å utvikle en værstasjon som gir nøyaktige og pålitelige målinger til personer som har interesse for værdata i Hessdalen. Dette målet har vi nådd ettersom vi har sørget for at hele systemet skal kunne klare å operere i alle værforholdene i Hessdalen. Vi har sørget for at alle komponentene skal fungere i temperaturområdet -30°C til 60°C. IP-rating for den beskyttende monteringsboksen er også tilstrekkelig for utendørsbruk. Vi fikk bekreftet dette i delkapittel 7.2 hvor vi utførte en test der stasjonen sto utendørs i to døgn da det regnet.

Hovedmålet vi satt i delkapittel 1.4 sier at vi skal “*Designe og bygge to stykk værstasjoner som fungerer i krevende værforhold med tilhørende web-grensesnitt*”. Dette målet ble delvis oppnådd. Vi fikk ikke tid til å bygge to værstasjoner grunnet mangel på tid. Dette ble avtalt og godkjent av oppdragsgiveren. Webgrensesnittet ble bedre enn planlagt ettersom vi utviklet et system som er kompatibelt med værdata registrert fra den nye og de tidligere værstasjonene. Vi implementerte også det valgfrie kravet #2 fra kravspesifikasjonen i kapittel 4. Kravet inkluderte fremvisning av tidligere og nåværende minutverdier som hentes inn fra databasen. Vi fikk ikke mulighet til å teste værstasjonen i krevende temperatur- og vindforhold, men alle komponenter og deler som har blitt kjøpt skal i følge produktspesifikasjonene klare å håndtere dette (som beskrevet i delkapittel 3.1 og kapittel 5). Vi har avtalt med oppdragsgiver at vi skal dra til Hessdalen for installasjon av værstasjonen etter innleveringen av dette dokumentet.

I tillegg til ovennevnte mål lagde vi også en kravspesifikasjon for produktet (kapittel 5). Vi delte kravene i kategoriene som er illustrert på figur 9.1. Vi utførte alle krav som var i kategori A og B. I kategori C utfylte vi krav nummer 2, men vi fikk ikke fullstendig implementert krav nummer 4 som er å “*Implementere en kommunikasjonslinje mellom administrator og hovedenheten*”. Vi fikk ikke tid til å lage et brukergrensesnitt for administrator, men det er mulig å koble seg til værstasjonen med ssh. Brukeren kan da gjøre endringer i kodefilene som er lagret på Raspberry enheten.

Kategori A:	Krav som må være oppfylt.
Kategori B:	Krav som bør være oppfylt.
Kategori C:	Krav som ønskes oppfylt.

Figur 9.1. Kart over GPIO inngangene på Raspberry Pi 3 B+

9.2. Leveranser

Den ferdige værstasjonen fungerer på en autonom måte. Sensorene sender inn verdier i form av analoge signaler. Disse signalene blir oversatt av ADC enheten som sender inn en digital verdi til Værstasjonens datamaskin. Denne datamaskinen fungerer som en administrator til værstasjonen. Datamaskinen leser av verdiene hvert minutt, og behandler dem med hensynt til meteorologisk standard. Timesverdiene legges inn i en opplastingskø hver time, og minutverdiene blir lagt til opplastningskøen hvert minutt. Denne køen brukes som en garanti for at verdifull data ikke skal mistes dersom det er en forstyrrelse i nettverksforbindelsen. Opplastningskøen består av json filer som er lagret på enheten helt til den har bekreftet at databasen har mottatt verdiene. Nettsiden er synkronisert med databasen og vil til hvert tidspunkt vise de lagrede verdiene. På bakgrunn av argumentene over konkluderes det at leveranse delen av den utviklet værstasjonen er opprettet.

I januar mistet vi et av gruppemedlemmene, noe som førte til en negativ innvirkning på planen for prosjektet. Vi avtalte et møte med oppdragsgiver hvor vi diskuterte hvordan vi skulle fortsette utviklingen av de 2 værstasjonene. Det ble avtalt at vi skulle fortsette som normalt, men først og fremst prioritere å utvikle 1 værstadion. Da vi var ferdige med testingen av værstasjonen var det dessverre ikke tilstrekkelig tid til å lage den andre værstasjonen.

9.3. Metode

Metodene som er beskrevet i delkapittel 1.7 ble tatt hensyn til i løpet av prosjektet. Vi skrev at alle intervjuene skulle utføres med en hierarkisk struktur hvor vi ville stille generelle spørsmål. Svarene til oppdragsgiver skulle da bli tatt i betraktning til å gi nye spørsmål for videre utdypning. I noen tilfeller var det nødvendig med ytterligere tekniske undersøkelser rundt svarene som ble gitt. Dette resulterte i at vi måtte ha en kontinuerlig dialog med oppdragsgiver.

Vi definerte i underkapittel 1.7 at vi skulle bruke vannfallsmodellen. Dette var ettersom vi planla å definere alle kravene ved hjelp av en kravspesifikasjon. Kravene skulle deretter løses i en delvis sekvensiell rekkefølge. Ettersom oppsettet av programvaren, websiden, databasen og testing hadde sterkt tilknytning, endte det opp med mye overlappning av arbeidsoppgavene. Ettersom det var mye uforutsigbarhet i sammenslåingen av de nevnte kravene ble mesteparten av arbeidet utført med den agilé metoden. Dette åpnet for et bedre samarbeid mellom gruppemedlemmene og oppdragsgiver. Vi fikk da mulighet til å utføre endringer i kravene til kravspesifikasjonen helt frem til den ble signert 4. Mars (Figur 2 kapittel 4).

Utvidelsen av vannfallsmodellen kalt V-metoden ble brukt for testing av produktet. Metoden ga oss mulighet for å oppdage problemer tidlig i utviklingen. Dette reduserte risikoen for en negativ påvirkning av tilknyttede arbeidsoppgaver. Under designning av kretskort fikk vi testet kretsene ved hjelp av et trainer brett. Etter vi hadde validert løsningen kunne det nye kretskortet produseres. Vannfallsmodellen har også en dokumentasjonsdel. For å forsikre oss om at oppdragsgiver vet hva som må gjøres dersom et uventet problem oppstår har vi laget et eget kapittel for dokumentasjon av driftsrutiner (kapittel 8).

9.4. Hva vi har lært

Samarbeid med oppdragsgiver

For at prosjektet skulle nå forventningene til oppdragsgiver hadde vi en kontinuerlig dialog om hvilke krav som skulle gjennomføres, samt hva vi skulle bestemme selv. For å gi gruppen og oppdragsgiveren en garanti for at det ferdige produktet opererer som avtalt samarbeidet vi med å lage en detaljert kravspesifikasjon. Dette ga oss ny kunnskap om hvordan vi burde ordlegge oss på en måte som minimerer risikoen for misforståelser. Ettersom kravspesifikasjoner ofte blir brukt i arbeidslivet så satt vi et sterkt fokus på at den skulle fungere som et fullstendig dokument.

Under innkjøpsprosessen var vi i kontakt med bestillingsansvarlig for IT-avdelingen.

Kommunikasjonen gikk for det meste gjennom mail hvor vi sendte lister av produktene som skulle bestilles. Vi fikk deretter en beskjed at produktene var betalt for, men vi ba ikke om kvitteringer. Dette førte til at vi ventet lenge før vi oppdaget at vindretning sensoren ikke var sendt grunnet en feil med bankoverføringen. Da vi rettet opp i problemet måtte vi vente i to uker til før vi mottok produktet. Måten vi håndterte den lange leveringstiden var å utvikle kretskortet med hensyn til beskrivelsen av sensoren. Da vi mottok varen kunne vi koble den direkte til kretskortet. I dette tilfelle gikk det ikke ut over det ferdige produktet, men det skapte problemer som lett kunne blitt unngått.

Kunnskap

Under prosjektets gang lærte vi mye innenfor webdesign med bruk av HTML, CSS, Javascript og php. Vi brukte et open source bibliotek for generering av en grafen på nettsiden. Deretter lagde vi javascript kode som hentet informasjon fra databasen og viste det i grafen. På Raspberry enheten brukte vi programmeringsspråket Python. Gruppemedlemmene hadde lite forhåndskunnskaper om bruk av språket, men etterhvert følte vi oss veldig komfortable med dette.

Vi lærte også hvor viktig testing og feilsøking er under utviklingen av et produkt. Da vi utførte lekkasjetesten på monteringsboksen oppdaget vi at produktspesifikasjoner ikke nødvendigvis er ærlige. Boksens IP-rating stemte ikke overens med resultatene fra lekkasjetesten i delkapittel 7.1. Under testingen oppdaget vi en lekkasje som i verste fall kunne endt med en kortslutning i elektronikken.

9.5. Problemer underveis

Vi hadde noen problemer underveis i prosjektet spesielt med elektronikken. Tidlig i prosjektet hadde vi bestilt en ADC til Raspberry Pi for å teste sensorene. Vi oppdaget etterhvert at vi fikk rare spenningsverdier fra vindhastighet sensoren. Det var den eneste sensoren som vi hadde mottatt på dette tidspunktet. Det var vanskelig å være sikker på at rare spenningsverdiene var riktige eller feil siden vi måtte "spinne" vind hastighetsmåleren for å kunne få en spenning ut av den. Etterhvert oppdaget vi at ADC enheten var defekt da vi hadde mottatt flere sensorer som ga mer konstante verdier. Vi brukte mye tid på å finne og teste en ny ADC enhet som ville måle presise verdier. Det oppstod også problemer med monteringsboksen som skulle huse elektronikken. Da vi testet om den var vanntett oppdaget vi flere lekkasjer. Spesifikasjonene på boksen tilsa at den ikke skulle lekke i testscenariet vårt. Det tok ekstra tid å modifisere boksen for å gjøre den helt vanntett. Andre utfordringer vi hadde underveis var begrenset tilgang på utstyr for å lage værstasjonen. For eksempel slet vi med å få tilgang til boremaskin som kunne borre hull i stål. Vi fikk til slutt veiledning for sikker bruk av maskinen.

9.6. Hva kunne blitt gjort bedre.

I ettertid er det flere ting som kunne blitt gjort annerledes. Vi kunne gjort grundigere undersøkelser før vi bestilte elektronikk. Vi gjorde grundige undersøkelser da vi bestilte sensorene, men ikke da vi skulle velge ADC (Analog Digital Converter). Vi har også lært mye om ulike kommunikasjonsprotokoller som industrielle komponenter bruker som for eksempel I2C- og SPI-protokollen. I ettertid vet vi at det er flere ADC komponenter av bedre kvalitet som også er kompatible med Raspberry Pi. Vi har også lært at det kan være lurt å velge litt dyrere alternativer. For eksempel da vi kjøpte inn monteringsboksen valgte vi det billigste alternativet som tilfredsstilte kravene i kravspesifikasjonen. Om vi hadde bestilt en boks av høyere kvalitet kunne vi kanskje unngått å bruke mye tid på modifisering. Selv om modifiseringen av boksen rettet problemet kunne det vært unngått. En annen ting vi kunne gjort bedre er å spørre fagfolk om tips når vi trenger hjelp. Folk er generelt glade i å bidra med veiledning og kunnskap om man forbereder spørsmålet på en god måte.

10. Konklusjon

Hovedmålet til prosjektet var å utvikle en værstasjon som er egnet for de dårlige værforholdene i Hessdalen. For å forsikre oss om at den fungerer utendørs utførte vi omfattende tester av værstasjonen og tilhørende komponenter. Følgelig kan det konkluderes med at værstasjonen er egnet til å håndtere de vanskelige værforholdene i Hessdalen over en lengre periode. Det er også viktig at systemet er driftsikkert over tid. Dette er blitt løst med et sterkt fokus på autonom drift under utviklingen av programvaren til værstasjonen. Programvaren er laget på defensiv form, og skal håndtere de fleste uforutsette hendelser som kan oppstå. Dette minimerer nedtid forårsaket av feil i komponenter. En annen ny funksjon for værstasjonen i Hessdalen er at den nå loggfører og laster opp værdata hvert minutt til databasen. Det nye målings intervallet gir en unik mulighet for forskere og interesserte å se værdata i det aktuelle minutten Hessdalsfenomenet oppstår. Ved å tilfredsstille meteorologisk standard for værmåling kan vi også med sikkerhet konkludere med at værstasjonen rapporterer presise data. Det nye designet for nettsiden bidrar til økt brukervennlighet ved fremstillingen av denne dataen. Vi tror kombinasjonen av dette er et positivt bidrag til forskningen på det spesielle fenomenet.

10.1. Videreføring av prosjektet

Under produksjonen av kretskortet koblet vi til to Analog til Digital Konverterere slik at systemet lett kan kan utvides. Det er totalt 8 innganger, og vi bruker 4 av dem for vindhastighet, vindretning, temperatur og luftfuktighet. Dersom det blir nødvendig å montere et nytt kretskort er det også en del ekstra plass i installasjonsboksen. Programvaren i værstasjonen hadde også et sterkt fokus på at den skal være åpen for utvidelser. Det er utviklet uavhengige klasser som kalkulerer værdata med hensyn til den meteorologiske standarden. Grunnet uavhengigheten mellom kalkuleringen og håndteringen av data kan klassene lett implementeres i et nytt system. Koden inneholder også kommentarer som forklarer funksjonali

Litteraturliste

Adafruit. (2009). Analog-to-Digital Converter with Internal Reference - Datasheet.

Hentet fra

<https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/ads1015.pdf>

Agile software development. (2019). Wikipedia. Hentet 1. Mars

Hentet fra

https://en.wikipedia.org/wiki/Agile_software_development

amCharts. (i.d.). About amCharts.

Hentet fra

<https://www.amcharts.com/about/>

Anemometer. Wikipedia. Hentet 4. Mars 2019

Hentet fra

<https://en.wikipedia.org/wiki/Anemometer>

AnytimeHvac. (i.d.). Could High Humidity be Hurting Your Electronics.

Hentet fra

<https://www.anytimehvac.com/high-humidity-hurting-electronics/>

Atmospheric Pressure. National Geographic Encyclopedia. Hentet 12. Mai 2019.

Hentet fra

<https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/atmospheric-pressure/>

Bosch. (2018). BMP388 Digital pressure sensor - Datasheet.

Hentet fra

https://ae-bst.resource.bosch.com/media/_tech/media/datasheets/BST-BMP388-DS001.pdf

Chandran, P. & Bhakthavatchalu, R. & Kumar, P. (2016). Time of Flight Measurement System For an Ultrasonic Anemometer.

Hentet fra

<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7988049&tag=1>

Edwards, C. (2017). How do aneroid barometers work.

Hentet fra

<https://sciencing.com/do-aneroid-barometers-work-7146227.html>

Electronicshub (2019). What are the differences between Raspberry Pi and Arduino. Electronicshub.

Hentet fra

<https://www.electronicshub.org/raspberry-pi-vs-arduino/>

Epluse. (i.d.). EE08 High-Precision Miniatur Humidity / Temperature Transmitter - Datasheet.

Hentet fra

http://downloads.epluse.com/fileadmin/data/product/ee08/datasheet_EE08.pdf

Firesmith, D. (2013, 11. November). Using V Models for Testing.

Hentet fra.

https://insights.sei.cmu.edu/sei_blog/2013/11/using-v-models-for-testing.html

Fpi Sensors. (2016). How liquid level temperature sensors work.

Hentet fra

<https://fpisensors.com/liquid-level-temperature-sensors-work/>

Fuehler Systeme. (i.d.). Wind Transmitter Compact - Datasheet.

Hentet fra

<https://www.fuehlersysteme.de/downloads/dl/file/id/141/product/16167/manual.pdf>

Gill Instruments. (2019, 5. mars). How do Gill Ultrasonic Anemometers Work?

Hentet fra

<http://gillinstruments.com/products/anemometer/principleofoperation2.html>

Google Charts. (2019).

Hentet fra

<https://developers.google.com/chart/>

Griffiths, S. (2014). Has the mystery of glowing Norwegian orbs been solved?. Daily Mail.

Hentet fra

<https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2632650/Has-mystery-glowing-Norwegian-orbs-solved-Expert-claims-underground-battery-creates-amazing-light-show.html>

Guru99. (i.d.). What is V-model in software testing.

Hentet fra

<https://www.guru99.com/v-model-software-testing.html>

Grange, S. K. (2014). Technical note: Averaging wind speeds and directions.

Hentet fra

https://www.researchgate.net/publication/262766424_Technical_note_Averaging_wind_speeds_and_directions

Jensen, K., Karlsen, K., Grimstad, M., og Lindal, M. (2014).

Prosjekt Hessdalen - Værstasjoner.

Hentet fra

http://www.hessdalen.org/studenter/bacheloroppgave_bo14-g15.pdf

JMS. (i.d.). General RTD information.

Hentet fra

<https://www.jms-se.com/rtd.php>

Jordan, C. (i.d.). How does a Weathervane work.

Hentet fra

<https://www.hunker.com/13405470/how-does-a-weathervane-work>

Kalmár, N., Linstad, M. R., Todorov, M., og Rokne, R.W. (2016).

Linux-based command and control for off-grid research facility.

Hentet fra

http://hessdalen.org/studenter/HovedDokument_bo16-g16.pdf

Lapp Group. (2016). Data Sheet Skintop ST-M / STR-M.

Hentet fra

<https://docs-emea.rs-online.com/webdocs/15fc/0900766b815fce6b.pdf>

Measnet. (2016). Evaluation of site-specific wind conditions.

Hentet fra

http://www.measnet.com/wp-content/uploads/2016/05/Measnet_SiteAssessment_V2.0.pdf

MbTechworks. (2018). Raspberry Pi I2C / SPI / UART Communications.

Hentet fra

<https://www.mbttechworks.com/hardware/raspberry-pi-UART-SPI-I2C.html>

Moan, M. (2015). Science Camp i Hessdalen. Nea Radio.

Hentet fra

http://nearadio.no/index.php?page=vis_nyhet&NyhetID=10860

NDLA. (2018). Kravdefinisjon og kravspesifikasjon.

Hentet fra

<https://ndla.no/subjects/subject:25/topic:1:193104/topic:1:123578/resource:1:123591>

NTNU. (2019). Teknisk kravspesifikasjon.

Hentet fra

<https://innsida.ntnu.no/wiki/-/wiki/Norsk/Teknisk+kravspesifikasjon>

Priggen. (i.d.a). WT 2000, Wind Direction Sensor with Heater.

Hentet fra

<https://www.priggen.com/WT-2000-Wind-Direction-Sensor-with-Heater-24VDC-AC-4-20mA>

Ranford Solutions. (i.d.). IP Enclosure Ratings & Standards Explained.

Hentet fra

<https://www.rainfordsolutions.com/ip-enclosure-ratings-and-standards>

Raspberry PI Foundation. (2019, 4. Februar). About Us

Hentet fra

<https://www.raspberrypi.org/about/>

Raspberry Pi Foundation (2019). Wikipedia. Hentet 10. Mai
Hentet fra
https://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi_Foundation

Raspberry Pi Foundation. (2018). Raspberry Pi 3 Model B+ -Datasheet.
Hentet fra
<https://static.raspberrypi.org/files/product-briefs/Raspberry-Pi-Model-Bplus-Product-Brief.pdf>

Relative humidity (2019). Wikipedia. Hentet 4. Mars
Hentet fra
https://en.wikipedia.org/wiki/Relative_humidity

RsPro. (i.d.). RsPro Datasheet.
Hentet fra
<https://docs-emea.rs-online.com/webdocs/157c/0900766b8157c51b.pdf>

Smith, S. (2017). How does a Windsock work.
Hentet fra
<https://sciencing.com/windsock-work-5062706.html>

Software Testing Methodologies: Learn QA Models. 2019. Guru99
Hentet fra
<https://www.guru99.com/testing-methodology.html#2>

Strand, E. P. (2018). Erling P. Strand.
Hentet fra
<http://erling.hiof.no/>

Techopedia (2019). What is Iterative Development?. Techopedia.
Hentet fra
<https://www.techopedia.com/definition/26100/iterative-development>

Temperatur (2019). Wikipedia. Hentet 4. Mars
Hentet fra
<https://no.wikipedia.org/wiki/Temperatur>

Types and methods of interviews in research. 2019. Adi Bhat
Hentet fra
<https://www.questionpro.com/blog/types-of-interviews/>

University of Standford. (i.d.). GLAST LAT Procedure, Guideline.
Hentet fra
<https://www-project.slac.stanford.edu/glastqa/qadocs/Procedure1.doc>

Voss, W. (2016, 24 Februar). Raspberry PI Proven to Withstand Extended Temperature Range.
Hentet fra
<https://copperhilltech.com/blog/raspberry-pi-proven-to-withstand-extended-temperature-range/>

Walter, M. (2016, 3. August). Single Board Revolution: Preventing Flash Memory Corruption.
Hentet fra.
<https://hackaday.com/2016/08/03/single-board-revolution-preventing-flash-memory-corruption/>

Waterfall model (2019). Wikipedia. Hentet 5. Februar
Hentet fra
https://en.wikipedia.org/wiki/Waterfall_model

Weather Station (2016). Hessdalen.
Hentet fra
http://www.hessdalen.org/weather/index_n.shtml

Automatic Measurement Station (2019).
Hentet fra
<http://www.hessdalen.org/station/>

Woodford, C. (2019). Anemometers
Hentet fra
<https://www.explainthatstuff.com/anemometers.html>

World Meteorological Organization. (i.d.). Vission, Mission, Strategic Prorities.
Hentet fra
<https://public.wmo.int/en/about-us/vision-and-mission>

WMO. (2010). Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation.
Hentet fra
https://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_8_en-2012.pdf

Yr. (2019). Været som var - Hessdalen.
Hentet fra
<https://www.yr.no/sted/Norge/Tr%C3%B8ndelag/Holt%C3%A5len/Hessdalen~200402/statistikk.html>

Bilder

Adafruit. (2018). Adafruit BMP388 [Bilde].

Hentet fra

<https://www.adafruit.com/product/3966>

Adafruit. (2018). Adafruit Raspberry PI 3 B+ [Bilde].

Hentet fra

<https://www.adafruit.com/product/3775>

Acurite (i.d.). Aneroid barometer [Illustrasjon].

Hentet fra

https://prodcdn.acurite.com/media/catalog/product/cache/1/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/0/0/00339-800x800_5.jpg

Acurite (i.d.). Acurite 339 Dial Thermometer [Illustrasjon].

Hentet fra

https://prodcdn.acurite.com/media/catalog/product/cache/1/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/0/0/00339-800x800_5.jpg

Compact Analysis. (2016). Cup Anemometer [Illustrasjon].

Hentet fra

<https://compactanalysis.com/wp-content/uploads/2016/09/Cup-anemometer.png>

Fuehler Systeme. (i.d.). WG2_O [Illustrasjon].

Hentet fra

https://www.fuehlersysteme.de/media/catalog/product/cache/2/image/265x/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/W/G/WG2_O.jpg_13.jpg

Gill Instruments. (i.d.). How do Gill Ultrasonic Anemometers Work [Illustrasjon].

Hentet fra

<http://gillinstruments.com/images/principle.jpg>

Hoffman, R. (i.d.). Air pressure and winds [Illustrasjon].

Hentet fra

<http://www.richhoffmanclass.com/chapter6.html>

AirTest. (2013). EE08 Humidity and Temperature Probe [illustrasjon]

Hentet fra

<https://www.airtest.ca/oem/ee08probe.htm>

Lee, Robert. E. (2011). Compass Rose [Illustrasjon]

Hentet fra

https://web.archive.org/web/20150221121147/http://staff.washington.edu/rel2/geog100-UW/Scenarios/Rutters/Compass_Rose.html

Lonabaugh, J. (i.d.). Directions [Illustrasjon].

Hentet fra

<http://www.jerrymlonabaughesquire.com/Directions.html>

Palmer, B. D (2011). Measures Wind Direction [Illustrasjon]
Hentet fra
http://www.easynotecards.com/notecard_set/1526?mc

Piggotts. (i.d.). Safeguard Windsock [Illustrasjon].
Hentet fra
<https://piggotts.co.uk/products/windsocks/safeguard-windsock/>

Priggen. (i.d.). WT 2000 [Illustrasjon].
Hentet fra
<https://www.priggen.com/media/image/product/14872/md/wt-2000-wind-direction-sensor-with-heater-24vdc-ac-4-20ma.jpg>

Project Hessdalen. (2019). AMS - Utgave 2019 Januar [Illustrasjon]
Hentet fra
<http://www.hessdalen.org/pict/station/ams-2019-01-o2-m.gif>

Project Hessdalen. (2018). Usage Statistic for hessdalen.org [Tabell].
Hentet fra
<http://www.hessdalen.org/stats2018/>

Project Hessdalen. (2016). Weather Station [Nettside].
Hentet fra
http://www.hessdalen.org/weather/index_n.shtml

Raspberry Pi Foundation. (2018). Raspberry Pi Model 3B Plus. [Illustrasjon].
Hentet fra
<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>

Stevens Institute of Technology. (2008). Wind Vane [Illustrasjon].
Hentet fra
<http://www.ciese.org/curriculum/weatherproj2/images/windvane.jpg>

Vedlegg

1 Beauforts skala

Vindstyrke i beaufort	Betegnelse	Vindhastighet m/s	Vindhastighet km/t	Vindhastighet knop
0	Stille	0–0,2	0–1	0-1
1	Flau vind	0,3–1,5	1–5	1-3
2	Svak vind	1,6–3,3	6–11	4-6
3	Lett bris	3,4–5,4	12–19	7-10
4	Laber bris	5,5–7,9	20–28	11-16
5	Frisk bris	8,0–10,7	29–38	17-21
6	Liten kuling	10,8–13,8	39–49	22-27
7	Stiv kuling	13,9–17,1	50–61	28-33
8	Sterk kuling	17,2–20,7	62–74	34-40
9	Liten storm	20,8–24,4	75–88	41-47
10	Full storm	24,5–28,4	89–102	48-55
11	Sterk storm	28,5–32,6	103–117	56-63
12	Orkan	> 32,7	> 118	> 63

2 IP rangering systemet.

Angir til hvilken grad produktet er sikret mot vann og støv. Første siffer er objekter/partikler og forklares i den første delen av tabellen. Andre siffer er vannbeskyttelsen og vises i den andre delen av tabellen.

Første siffer	Beskyttelse av utstyret mot faste partikler	Beskyttelse av personer mot farlige deler med
0	—Ingen beskyttelse	Ingen beskyttelse
1	Større enn 50 mm	Store kroppsdele, for eksempel en håndflate
2	Større enn 12,5 mm	Finger, 12,5 mm diameter
3	Større enn 2,5 mm	Verktøy, 2,5 mm diameter
4	Større enn 1 mm	Tråd, 1 mm diameter
5	Støvbeskyttet	Beskytter mot støv som kan skade produkt/innmat.
6	Støvtett	Komplett beskyttelse mot støv gjennom tegning.
Andre siffer	Beskyttelse mot inn trenngning av vann	Detaljer
0	Ingen beskyttelse	Ingen beskyttelse
1	Vertikale drypp	Vertikale drypp skal ikke ha skadelig virkning
2	Vertikale drypp ved helning opp til 15°	Vertikale drypp skal ikke ha skadelig virkning når utstyret har helningsvinkel opp til 15° i forhold til vertikallinjen
3	Dusj/regn	Dusj/regn mot kapsling i en vinkel opp til 60° i forhold til vertikallinjen skal ikke ha skadelig virkning
4	Sprut fra alle kanter	Sprut (kraftig dusj/regn) mot kapsling fra alle kanter skal ikke ha skadelig virkning
5	Spyling fra alle kanter	Spyling (fra slange/dyse) mot kapsling fra alle kanter skal ikke ha skadelig virkning
6	Kraftig spyling fra alle kanter	Kraftig spyling mot kapsling fra alle kanter skal ikke ha skadelig virkning
7	Kortvarig neddykking i vann	Ingen skadelig virkning ved kortvarig neddykking i vann (15 til 100 cm i inntil 30 minutter)
8	Varig neddykking	Ingen skadelig virkning ved varig neddykking i vann under betingelser spesifisert gjennom avtale mellom kunde og produsent av utstyret