

Sammendrag

Prediktor AS har et ønske om å bedre det eksisterende klimaanlegget som er i deres hovedkontor i Fredrikstad. Denne oppgaven har blitt gitt som en avsluttende masteroppgave ved institutt for teknisk kybernetikk ved NTNU. Oppgavens overordnede mål er å utvikle et Sentralstyrt Driftsanlegg (SD) hos Prediktor som tar seg av temperaturreguleringen i hele bygget ved å bruke de tekniske installasjoner som er der, og ved å ta hensyn til faktorer som vær, energibruk og komfortfølelse.

Å utvikle et komplett SD anlegg er en svært stor og omfattende oppgave, og i denne masteroppgaven er fokuset på det grunnleggende for et SD anlegg, som modellforståelse og datainnsamling. Det vil si at denne rapporten gir et veldig godt grunnlag for et videre arbeid med reguleringsalgoritmene.

En innføring i teorien bak SD anlegg er gitt, med forklaring av terminologi brukt i bygningsautomasjonsbransjen og oppbygning av et SD anlegg. Enkelte eksempler på hvordan dette gjøres er gitt, samt andre måter å styre klimaanlegg på. Videre er Prediktors tekniske installasjoners virkemåte beskrevet, sammen med hvordan temperaturen oppleves i bygget og hvilke problemer som eksisterer.

En matematisk modellering er gjort av bygget for en forståelse av hvordan temperaturen endres som funksjon av diverse påtrykte effekter som tekniske installasjoner, vær og andre pådrag. På grunnlag av denne modellen er det også utviklet en simulator av bygget i MATLAB/SIMULINK, slik at simuleringer kan foretas, og reguleringsalgoritmer kan testes før fysisk implementasjon.

En annen viktig oppgave i utviklingen av et SD anlegg er å sette opp sensorer der det trenges for å kunne foreta nødvendige målinger. I denne oppgaven har allerede eksisterende sensorer blitt brukt, og nye er tilført. Et stort arbeid har vært å kunne hente data fra alle sensorene og gjøre de tilgjengelige i Prediktors egenutviklete datasystem APIS for videre bruk. Data har blitt logget, slik at historiske trender kan sees i APIS Process Explorer.

Med denne oppgaven er det meste av lavnivåarbeidet gjort, og med noen tillegg er systemet klart til å brukes som grunnlag for modellbaserte reguleringsalgoritmer. To viktige oppgaver som må gjøres før arbeidet med regulering

kan starte, er å fjerne stabilitetsproblemer i ventilasjonsanleggene, og lage en modul som gjør data fra værstasjonen tilgjengelige i APIS.

Forord

Denne oppgaven har vært et prosjekt i samarbeid med Prediktor AS. Målet har vært å se på inneklimasituasjonen i Prediktors kontorlokaler i Fredrikstad, og forbedre situasjonen i forhold til hvordan inneklimaet har vært opplevd i den tiden bygget har blitt brukt. Arbeidssted har vært på både NTNU og hos Prediktor i Fredrikstad. I de ukene som har blitt tilbrakt hos Prediktor har fokuset vært på det praktiske, da ekspertisen i APIS er plassert der. Tiden i Trondheim på NTNU har blitt brukt til teoretisk modellering, simulering og analyser av det som er blitt gjort.

Oppgavens mål til å begynne med var svært ambisiøst, med et mål om å kunne danne et komplett SD anlegg med styring basert på Modell Prediktiv Kontroll (MPC). Etter hvert som oppgavens praktiske arbeider skred fram med de vanskelighetene som fulgte, ble målet redusert til å gjøre systemet klart for regulering siden. Dette kommer også av at det har tatt mye tid med modelleringen, da det har vært et ukjent fagområde å jobbe med. Mye tid har også gått med til å sette seg inn i Prediktors egenutviklede datasystem APIS. I tillegg førte en sen leveranse av værstasjonen til at det ikke ble tid til å programmere en modul til å lese av dataene fra denne.

Oppgavens omfattende og brede fagområde har sørget for mye tid brukt på å lære mye nytt, noe som både er frustrerende når det er ønsket med framdrift i oppgaven, men som også er utrolig spennende. Denne oppgaven har gitt meg svært mye ny kunnskap, både om varmelære, bygningsautomasjon og praktisk oppsetting av sensorer og avlesning av disse. I tillegg har jeg lært meg en del av Prediktors system APIS, noe som har vært interessant. Med all den nye kunnskapen har oppgaven vært spennende og utfordrende, og har økt min interesse for både bygningsautomasjon, men også generell prosessregulering, med alt som hører til.

Jeg ønsker å takke min hovedveileder, Steinar Sælid, for at jeg fikk ta denne oppgaven for Prediktor, og for de innspill og ønsker jeg har fått. Jeg vil også takke biveileder Helge Mordt for detaljert forklaring av det eksisterende klima-anlegget, samt for hjelp til oppsett av sensorer og andre praktiske gjøremål. Takk til Olav Aaker for hjelp med installering og oppstart av APIS Foundation, samt Process Explorer. Jeg ønsker også å takke Olav for programmering

av Phoenix Contact PLS og tilkobling til APIS med OPC. En takk rettes også til Gudmundur Gudmundsson for hjelp til å sette opp APIS Modbus modulen riktig, og også for oppsettet av den virtuelle maskinen som klimaanleggprogrammet kjører på. Videre ønsker jeg å takke Hans Øyvind Kvilesjø for arbeidet han har gjort for å lage en APIS Yrbee modul som logger seg på *yr.no* og finner data fra XML versjonen, slik at disse dataene kan brukes i APIS. En takk rettes også mot Aksel Lindberg for behjelpelighet med å finne informasjon om SD anlegg.

Generelt ønsker jeg å takke de ansatte hos Prediktor for den vennlighet og interesse de har vist for meg og mitt prosjekt. Til sist vil jeg takke min fabelaktige kone som har vært svært støttende og forståelsesfull gjennom hele prosjektet.

Innhold

Sammendrag	i
Forord	iii
1 Introduksjon	1
2 Bakgrunn	3
2.1 SD i litteraturen	3
2.1.1 Sentralstyrt klimaanlegg	4
2.1.2 Løsninger som finnes	7
2.2 Eksisterende system i Prediktors lokaler	8
2.2.1 Komponentene	9
2.2.2 Styresystemet	12
2.2.3 Kommentarer om dagens system	13
3 Modellering av energien i bygningen	15
3.1 Fysisk beskrivelse av kontorlokalene	15
3.1.1 Glasshall	17
3.1.2 1. etasje	18
3.1.3 2. etasje	18
3.1.4 3. etasje	19
3.2 Modellering av energiflyten i et bygg	19
3.2.1 Energibalansen	20
3.2.2 Gulvvarme	26
3.2.3 Radiatorvarme	27
3.2.4 Vinduer	27
3.2.5 Vegger og tak	29
3.2.6 Personer, utstyr og belysning	30
3.2.7 Tekniske installasjoner	31
3.3 Klimaanlegget i SIMULINK	31
3.3.1 Blokkdiagrammer	31
3.3.2 Simuleringer	36
4 Datainnsamling	41
4.1 Måleutstyr	41

4.1.1	Eksisterende sensorer	42
4.1.2	Nye sensorer	43
4.1.3	Bruk av <i>yr.no</i>	48
4.2	Kommunikasjon	52
4.2.1	Ventilasjonsanlegget	53
4.2.2	Varmtvann	54
4.2.3	Værdata	57
4.3	Innsamling av data i APIS	58
4.3.1	APIS	58
4.3.2	Bruk av APIS for avlesing av måledata	59
4.3.3	Logging av data; Honeystore	66
4.3.4	Visualisering av data; APIS Process Explorer	66
5	Analyse	71
5.1	Analyse av simuleringene	71
5.1.1	Simuleringer med kommentarer	71
5.1.2	Kommentarer om modellen	73
5.2	Analyse av målingene gjort hos Prediktor	75
5.2.1	Ventilasjonsanlegget	76
5.2.2	Varmtvannsanlegget	77
5.3	Vurdering av systemene	78
6	Diskusjon	81
7	Konklusjon	85
8	Framtidig arbeid	87
A	Resultater simuleringer	93
B	Resultater målinger	101
C	Matlab kode	107

Kapittel 1

Introduksjon

Denne masteroppgaven utgjør det avsluttende arbeidet på den femårige sivilingeniørutdanningen i teknisk kybernetikk, utført ved institutt for teknisk kybernetikk, Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet (NTNU). Denne oppgaven er gjort i samarbeid med Prediktor, og omhandler utvikling av et Sentralstyrt Driftsanlegg (SD) i Prediktors lokaler i Fredrikstad. Det overordnede målet er å bedre det eksisterende klimaanlegget ved å modellere prosessen, samle inn data fra forskjellige systemer og siden benytte avansert regulering for å holde en optimal temperatur i bygget til enhver tid, i tillegg til å ta hensyn til energieffektivitet. Dette er en stor oppgave, med mange forskjellige utfordringer som må løses for å komme i mål, og det kreves kunnskap innenfor mange forskjellige fagområder. I denne oppgaven ligger fokuset på det grunnleggende i systemet, som modelleringen og datainnsamlingen.

For å kunne utvikle et SD anlegg er det først og fremst nødvendig å vite hva som definerer et SD anlegg, og hvordan eksisterende anlegg fungerer. Dette er tatt for seg i bakgrunnskapittelet, kapittel 2. I det samme kapittelet er det også beskrevet hvilke typer tekniske installasjoner som er tilgjengelige hos Prediktor, og en forklaring av virkemåte er gitt.

I kapittel 3 er den teoretiske delen tatt for seg, med en beskrivelse av bygget, og hvordan modelleringen av energibalansen i bygget er gjort. Denne modelleringen gir opphav til en simulator implementert i MATLAB/SIMULINK. En slik simulator er laget for å ha en testplattform for nye reguleringsalgoritmer, slik at de kan testes på simulatoren før de implementeres på det fysiske systemet. Ved en slik modelleringsprosess oppnås det en forståelse av hvordan varmemflyten i et bygg fungerer.

En veldig stor og viktig del av et SD anlegg er å kunne samle data fra alle de forskjellige systemene på et sted. I dette prosjektet er det ønskelig å benytte seg av Prediktors egenutviklede system APIS som plattform for SD anlegget. Så i kapittel 4 er de forskjellige sensorene i bygget, nye som gamle, beskrevet.

Det er også forklart hvordan data kan hentes fra hver sensor, for så å gjøre dataene tilgjengelige i APIS. Til slutt er et utvalg av data logget for å kunne bruke historiske trender.

I kapittel 5 er resultatene oppnådd fra simuleringene og målingene analysert og kommentert. Problemer og usikkerheter er kommentert i kapittel 6, mens konklusjonen på oppgaven gis i kapittel 7. Oppgaven rundes av med oppfordringer til hva som kan gjøres videre i kapittel 8.

Appendikset bakerst i rapporten viser grafer fra simuleringer og målinger fra systemet. Disse grafene er grunnlaget for analysen i kapittel 5. Til slutt vises MATLAB koden fra *run.m* som er filen som kjører hele simuleringen.

I vedlegget til oppgaven ligger den fullstendige simulatoren med tilhørende MATLAB filer. Leseren oppfordres til å åpne disse og prøve seg fram i simulatoren med forskjellige verdier. Noen av de viktigste artiklene brukt som kilder i denne rapporten følger også med.

Kapittel 2

Bakgrunn

I dette kapitlet er det ment å gi leseren en forståelse av hva et sentralstyrt klimaanlegg er, hva slags system Prediktor har i utgangspunktet og hvorfor det er ønskelig å utbedre dette.

Første del er ment å gi leseren et innblikk i den brukte terminologien innenfor varme-, ventilasjons- og sanitærteknikk (VVS), og forklare prinsipper og problemstillinger som er kjent i markedet i dag. Det finnes mange aktører som tilbyr Sentralt Driftskontroll (SD) på markedet, noen med egne standarder, andre med åpne standarder. Felles for alle er innsamling av data fra forskjellige tekniske installasjoner fra ulike leverandører, og bruke disse dataene til analyse, styring, visualisering og rapportering. Ved å knytte de forskjellige systemene sammen på denne måten kan man utnytte potensialene til hvert delsystem, og skape et samarbeid mellom komponentene slik at driften er mest mulig stabil og energieffektiv.

Den andre delen av dette kapitlet tar for seg det eksisterende klimaanlegget hos Prediktor før arbeidet i denne oppgaven starter. Beskrivelse av bygget og de forskjellige varme- og kjøleanleggene blir gitt. Det blir også tatt opp hvordan hele systemet styres, og til slutt gis en evaluering med de problemer og ønsker for forbedring som gir grunnlaget for denne rapporten.

2.1 SD i litteraturen

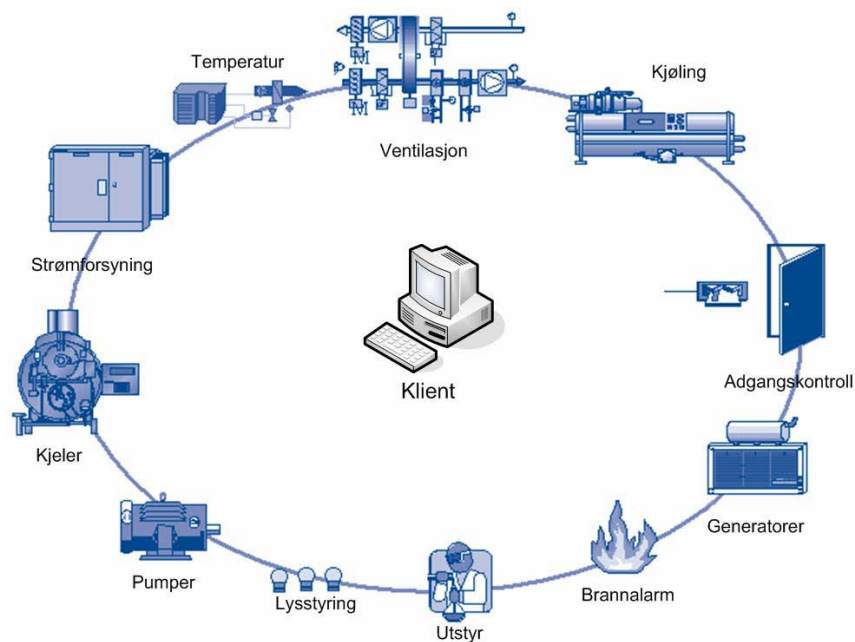
For å kunne forstå den brukte terminologien og hva problemstillingene er, er det nødvendig å gå litt igjennom litteraturen som finnes på dette området.

2.1.1 Sentralstyrt klimaanlegg

Sentralstyrt klimaanlegg kan defineres som en del av Sentralt Driftskontroll (SD) anlegg, definert i [12], også kalt Bygnings Automatiserings System (BAS) i mange dokumenter. Slike BAS eller SD anlegg er betegnelsen på intelligente styringssystemer i bygg, hvor man kan avlese informasjon fra hele anlegget og gjøre manuelle justeringer fra fellespunkter, som en PC. I en veileder fra Økobygg, [14], er BAS definert på denne måten:

Byggautomatiseringssystemer (BAS) er løsninger hvor de forskjellige tekniske installasjonene i et bygg er koblet sammen i ett eller flere kommuniserende nettverk.

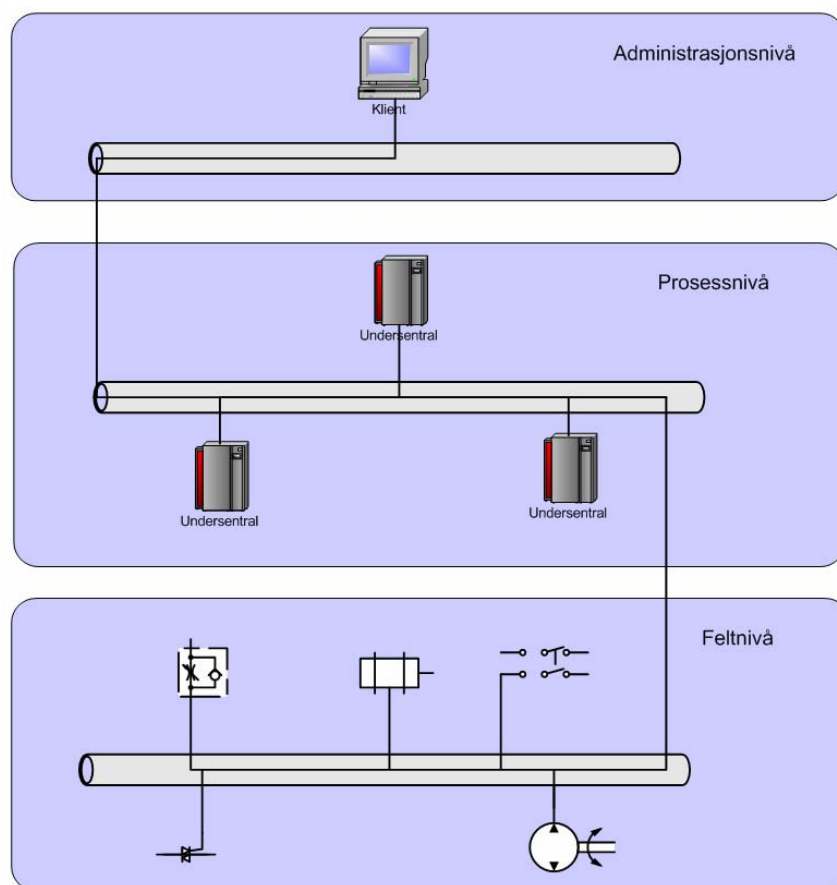
Et slikt system skal styre, regulere og overvåke de tekniske systemene. Dette vil hjelpe den eller de som er ansvarlige for å drifte de tekniske anleggene på en best mulig måte. Med best mulig måte menes det blant annet driftsoptimalisering, bedre innemiljø og energieffektivisering. I figur 2.1 kan man se eksempler på hva slags typer tekniske installasjoner som kan kobles opp mot et BAS/ SD anlegg.



Figur 2.1: Eksempler på tekniske installasjoner i et BAS system. Fra [11].

Etter at de første bygningsautomatiseringssystemene kom for rundt 30 år siden, har utviklingen gått i retning av mer og mer intelligente løsninger. Dette er gjort mulig av stadig ny utvikling av tekniske installasjoner, hvor alle etter hvert har en eller annen form for mikroprosessorbasert styring, med kommunikasjonsmuligheter [14]. Med slike muligheter går det an å aksessere hver tekniske installasjon og lese av status, målinger og settpunkter. Videre er det

mulig, via kommunikasjonsprotokollen som er brukt, å gjøre endringer på hver installasjon, uten å fysisk skru eller trykke på knapper. Dermed kan man i prinsippet sitte i et annet rom med en PC som er koblet opp mot den tekniske installasjonen, og lese av det som er ønskelig, analysere denne dataen, og foreta valg i endring av innstillinger. Videre kan man samle sammen data fra flere slike anlegg, la datamaskinen analysere disse og beregne hva som skal gjøres videre for optimal drift av alle systemer. På denne måten har man kontroll over de tekniske anleggene i et eller flere bygg, og den driftsansvarlige har full oversikt og kan konsentrere seg om at systemene fungerer fysisk. Driftsansvarlig vil også kunne bli gjort oppmerksom på feil på et anlegg via BAS, ved at alarmer vises på skjermen dersom noe er galt, eller i ferd med å gå galt.



Figur 2.2: Oversiktsbilde over forskjellige nivåer i et BAS system. Fra [11].

Et slikt system er altså et system som samler inn data og lagrer de i en database, viser det fram for en bruker i form av sanntidstall og historiske trender, alarmoversikt, rapporter, analyseprogrammer og eventuelt grafikk som viser hele anlegget. Noe som er blitt mer populært de siste årene er at et slikt system er tilgjengelig via internett, slik at en bruker til enhver tid kan logge seg på og se hvordan klimasituasjonen utarter seg i det valgte bygget. På grunnlag av dette kan brukeren gjøre manuelle innstillinger, eller sette systemet i ny

modus og lignende, selv om han ikke er fysisk tilstede i bygget. Det finnes også applikasjoner som gir muligheter for å kontrollere systemet via mobiltelefon.

Et BAS eller SD system deles gjerne opp i tre deler, [11],[14], slik en kan se det i figur 2.2:

- Administrasjonsnivå
- Automasjons-/ Prosessnivå
- Feltnivå

Administrasjonsnivå

Administrasjonsnivået er toppnivået i et BAS/SD anlegg. Dette toppnivået består av ett eller flere programmer som lar brukeren få tilgang til hele systemet. Brukeren kan bruke disse programmene til å lese av data, gjøre logginger, kjøre analyser og foreta justeringer for å optimalisere driften. Alarmer gjøres kjent for brukeren, og det er mulig å kunne utføre konfigureringer av hvert av de underliggende anleggene. På dette nivået kan det være flere klienter som kan gjøre justeringer, for eksempel at programmene kjøres på en webserver, og brukere kan logge seg inn via internett. Kommunikasjonen mellom dette nivået og automasjons-/ prosessnivået foregår ofte med protokoller som BACnet, FND og Ethernet med TCP eller UDP.

Automasjons-/ Prosessnivå

På dette nivået foregår selve styringen av hvert element i bygget, som lys, varme, ventilasjon, adgang, sikkerhet og teknisk drift. Her er det flere undersentraler som samler inn relevant data fra feltnivået, analyserer dette og sender ut pådragssignaler til aktuatorer. Endringer, data og signaler sendes opp til administrasjonsnivået, og ønskete justeringer og settpunkter blir mottatt fra samme nivå. Oppgavene som gjøres i dette nivået er automatiserte. Det er mulig at forskjellige undersentraler kan kommunisere med hverandre dersom dette er satt opp slik.

Feltnivå

På feltnivået finnes det komponenter som regulatorer, sensorer og aktuatorer. Her gjøres selve arbeidet i systemet. Data fra disse komponentene sendes normalt til automasjons-/ prosessnivået, som igjen setter styresignalene til aktuatorene igjen. For å få tak i disse dataene er det vanlig å aksessere undersentralene fra administrasjonsnivået og hente de der, i stedet for å aksessere sensorer og aktuatorer direkte. Det finnes en mengde bussteknologi som gjør

data og signaler tilgjengelig. I denne rapporten gjøres mye av arbeidet på feltnivået, med fokus på å gjøre det klart for videre arbeid i automasjonsnivået.

2.1.2 Løsninger som finnes

Et bygg har mange forskjellige tekniske installasjoner, som hver for seg er laget av en eller flere produsenter. De mange komponentene kommuniserer ikke nødvendigvis med hverandre, og de har ofte hver sine protokoller. Det jobbes stadig med å standardisere interface og protokoller, men leverandørene av de ulike produktene har fortsatt igjen en del på denne fronten. Hver for seg kan hver installasjon være svært avansert og ha mange innstillinger med mange muligheter. Men siden de ikke kommuniserer med noen av de andre anleggene i bygget, er de helt upåvirket av hva andre system utretter og påfører bygget, bortsett fra det som kan måles av installasjonens egne sensorer. På denne måten kan man risikere for eksempel at et ventilasjonsanlegg kjøler ned luften mens gulvvarmen varmer, eller at ventilasjonsanlegget blåser frisk luft inn i bygget, selv om en brannalarm har markert at det er brann i bygget.

For å kunne utnytte alle de tekniske installasjonene til det fulle, er det nødvendig å få de forskjellige elementene til å kommunisere med hverandre, ta hensyn til diverse alarmer, og utføre logger, slik at historiske trender blir tilgjengelig for en bruker. Det er ofte også ønskelig å kunne ha en oversikt over hvor mye energi som brukes til enhver tid, samt en oversikt over hvor mye energi som er totalt brukt det gjeldende året.

Et SD anlegg er altså en måte å få en total oversikt over situasjonen i et bygg. Der gjøres hver tekniske installasjon avhengig av alle de andre installasjonene og alarmer. I tillegg til å effektivisere energibruket ved å holde en jevn og gunstig temperatur, tar også et slikt anlegg hensyn til alarmer, belysning, adgangskontroll og automatiske persienner for å nevne noe, mulighetene er mange.

Det finnes flere forskjellige måter å styre et SD anlegg på. Standardmetoden er å holde temperaturen i hele bygget på et gunstig nivå. Med gunstig temperatur menes rundt 20 grader celsius i et kontorbygg. Enkelte resultater viser at for hver grad over 20 grader reduseres arbeidseffektiviteten med 5 %, [11]. Men det er ofte viktig at temperaturreguleringen skal være så energieffektiv som mulig, både av økonomiske og miljømessige hensyn. Da brukes gjerne optimaliseringsalgoritmer som holder en gunstig temperatur i den tiden bygget brukes, mens når det stort sett står tomt senkes temperaturen noe. Denne optimaliseringen kan gjøres på mange måter, ved for eksempel optimal start av oppvarming eller nedkjøling. Dersom det er svært varmt på dagen og det er ventet at det blir varmt neste dag også, kan nedkjøling av bygget om natten gjøre det mer behagelig når folk kommer på jobb dagen etter.

En annen måte er å la systemet ta hensyn til om det er personer i et rom eller ikke. Dette kalles behovsstyring, ettersom behovet avgjør hvordan systemet reguleres. Dette vil si at det ikke brukes så mye energi på å holde en jevn temperatur i rom der det ikke oppholder seg personer. På denne måten spares potensielt store summer på mindre energibruk. I følge en veileder fra 'Stiftelsen Vekst, Vekst Teknologi AS', [16], er behovsstyring eneste mulighet til å oppnå energiklasse A for et bygg. Behovsstyring består av flere deler; Behovsstyrt oppvarming/nedkjøling, behovsstyrt belysning og behovsstyrt ventilasjon. For oppvarming/nedkjøling kan temperaturen stige eller synke en grad eller to utover komforttemperaturen når det ikke er personer tilstede i rommet. Når det gjelder belysningen kan lys utenifra benyttes mest mulig, ved bruk av persiennestyling, automatisk dimming og/eller skru av lysene nærmest vinduene. Når det ikke oppholder seg noen i rommet slås belysningen av. For ventileringen kan minimum ventilasjon brukes når det ikke er personer til stede, mens den settes til maksimum dersom det oppholder seg personer i rommet. Dette gjelder for små rom. For større fellesrom kan ventilasjonsstyring basert på CO_2 - målinger være et bra alternativ.

En ulempe med slik behovsstyring er at det er relativt kostbart, da det kreves sensorer i hvert rom for å detektere hvorvidt det oppholder seg noen i rommet. Muligheter for differensiering i aktuatorene må også være tilstede. I en artikkel fra norsk VVS, [19], beskrives det for hvilke bygg det kan lønne seg å investere i et behovsstyrt system, og til hvilken pris kostnadene må ligge under for lønnsomhet.

Et SD anlegg, enten styrt på tradisjonell måte eller med behovsstyring gir driftsansvarlige en oversikt over temperatur, ventilasjon, alarmer, belysning, energiforbruk, adgangskontroll, bruk av persienn og mye mer. For at dette skal være brukervennlig lages det gjerne en enkel Microsoft Windows-basert applikasjon som lar brukeren enkelt behandle systemet. Som tidligere nevnt har det også blitt populært å gjøre dette tilgjengelig via internett, slik at brukeren kan fjernstyre systemet. Med en optimaliserende reguleringsalgoritme som baserer seg på modellkunnskap, og mulig også tar inn nåværende og framtidige værddata, kan energiforbruket senkes betraktelig, noe som er bra både for økonomien og miljøet.

2.2 Eksisterende system i Prediktors lokaler

Sommeren 2009 flyttet Prediktor inn i nybygde lokaler. I den anledning ble det installert forskjellige tekniske apparater for oppvarming, nedkjøling og ventilasjon. Den gangen ble det ikke investert i et BAS, noe som fører til at i dagens situasjon jobber hvert anlegg for seg selv. I en slik situasjon har ikke de tekniske installasjonene noen kommunikasjon seg i mellom, og reagerer da ikke på andre installasjoners oppførsel. Hvert system for seg selv er nytt og

avansert, med mange muligheter for avansert bruk. Men som nevnt er det mangel på samarbeid mellom disse systemene, slik at energibruken ikke er optimal, og temperaturen i bygget er ikke alltid like behagelig. En presentasjon av hvert av disse apparatene blir nå gitt, samt en forklaring på det eksisterende styresystemet, og resultatene dette gir.

2.2.1 Komponentene

Fjernvarme

Oppvarming av hele Prediktors bygg gjøres ved hjelp av fjernvarme. Varmt vann kommer fra fjernvarmeanlegget, se figur 2.3, som ved hjelp av en varmeveksler varmer opp vannet som sirkulerer hos Prediktor. Dette vannet fordeles ut i bygget ettersom hvor det trengs. I tillegg til å gi varme i lokalene, brukes også dette vannet til å varme opp vann i bygget, slik at man har tilgang til varmtvann i springer og dusj. Prediktor betaler for mengden fjernvarme i form av hvor mye effekt bygget bruker, slik at mindre forbruk av fjernvarme direkte gir mindre kostnader for Prediktor. Om sommeren brukes det ikke fjernvarme til annet enn oppvarming av varmtvann. I fjernvarmemottaket i bygget sitter det et trådløst Kamstrup apparat, hvor avlesning av fjernvarmeforbruk kan avleses ved å bruke en trådløs Kamstrup mottager.



Figur 2.3: Tur- og returvannet som kommer fra fjernvarmeanlegget til Prediktor

Gulvvarme

Varmt vann fra fjernvarmeanlegget ledes i et rørsystem plassert i gulvet i første etasje i bygget. På denne måten varmes gulvet opp, og kulde fra bakken fjernes som et element i rommene. Denne varmen i gulvet går både i den åpne hallen og i kontorene i første etasje. Gulvet er av betong, så varmen fra rørsystemet overføres til betongen med en viss treghet, som videre igjen avgir varme til luften i rommene. Mer om denne overføringen kan sees i avsnitt 3.2.2. Varm luft er som kjent lettere enn kald luft, og dermed vil den varmen som genereres nede ved gulvet stige mot taket i rommene, noe som gir god sirkulasjon av luften, og en relativt jevn temperaturfordeling i rommene. I kontorene i andre og tredje etasje er det ingen annen gulvvarme enn den varmen som lagres i gulvet fra etasjen under. Varme i gulvet reguleres ved å styre mengden med varmt vann som kommer inn i rørene. Varmen som genereres av gulvvarmeanlegget blir gjenvunnet på den måten at denne varmen blir tatt opp i avtrekket til ventilasjonsanlegget, som igjen brukes til å varme opp kald luft utenfra, se mer om dette i neste avsnitt om ventilasjonsanlegget. Data fra gulvvarmen finnes på et M-Bus format.

Ventilasjonsanlegg

I bygget er det to ventilasjonsaggregater, begge av typen Swegon Gold versjon D. Disse aggregatene er svært avanserte, med mange innstillingsmuligheter. Data fra dette anlegget er tilgjengelig for brukeren gjennom programvaren som følger med systemet, men kan også finnes på et Modbusformat, slik at dataene kan brukes uavhengig av programvaren. Det ene aggregatet er plassert i andre etasje, og det andre i tredje etasje. Oppvarmet/nedkjølt luft fra aggregatet plassert i andre etasje fordeles gjennom kanalsystemet til kontorene i første og andre etasje. Tilsvarende sørger aggregatet i tredje etasje for ventilasjon med en gitt temperatur i kontorene i tredje etasje, i tillegg til den åpne hallen.

Ventilasjonsanlegget fungerer på den måten at frisk luft utenfra suges inn i ventilasjonsaggregatet. I første del av anlegget varmes denne kalde luften opp av den luften som kommer fra kontorbygget og som er på vei ut. Denne varmeveksleren er svært effektiv, og på kalde dager er det oppdaget at gjennvinningsprosenten er på over nitti prosent. På denne måten er det en meget energieffektiv måte å varme opp bygget på. Fra Prediktor er det ønsket at luften som sendes inn i bygget holder en litt lavere temperatur enn returluften, slik at dette gir god oppvarming av friskluften. Denne varmen kommer fra gulvvarmen, radiatorvarmen og eventuelle andre varmekilder som mennesker, lys, datamaskiner og annet som skaper varme.

Videre varmes den oppvarmede luften opp til det ønskede settpunkt ved hjelp av fjernvarme. Denne oppvarmingen skjer ved hjelp av en varmeveksler, og temperaturen på luften som kommer ut av varmeveksleren bestemmes av

hvor lenge den er i veksleren, og dermed er det viftehastigheten som avgjør hvor varm lufta blir. Lenger tid i varmeveksleren gir varmere luft, og temperaturen på luften som sendes ut i kontorlokalene bestemmes av hastigheten på vifta i ventilasjonsaggregatet.

Den oppvarmede luften sendes ut i bygget gjennom kanalsystemet. Åpninger i kanalsystemet lar varm luft strømme ut i hvert rom. Åpningene har små hull satt i et system slik at luften som kommer ut roteres noe, noe som gir sirkulasjon i lufta, og varmen fordeles i rommet, se figur 2.4. På den andre kanten av rommet sitter det et avtrekk hvor luft fra rommet suges ut og transporteres i et nytt kanalsystem tilbake til ventilasjonsaggregatet. Som tidligere nevnt er denne luften ofte litt varmere enn luften som sendes inn, da denne luften er varmet opp av diverse faktorer. Denne varme luften brukes til å varme opp ny kald luft, og sendes så ut av bygget.



Figur 2.4: Åpningen fra kanalsystemet er dekket av hull satt i formasjon, slik at luften som kommer ut roterer noe og skaper sirkulasjon.

Overnevnte hendelsesforløp gjelder for oppvarming av luft. Lignende avkjøles varm luft utenfra om sommeren ved å bruke returluften. I varmeveksleren brukes kjølelementer i stedet for fjernvarmen til å kjøle luften ytterligere. Luften sendes rundt i bygget som tidligere beskrevet, og ender opp i ventilasjonsaggregatet for å avkjøle ny varm luft. Det er ingen andre tekniske anlegg i bygget som kjøler, så returluften vil også i dette tilfelle være noe varmere enn den luften som sendes inn i bygget. Dette gir en noe mindre gjenvinningsgrad for avkjøling.

Radiatorer

For at alle som oppholder seg i bygget skal kunne ha innflytelse på sin kontortemperatur er det installert radiatorovner i hvert rom som vist i figur 2.5. Disse ovnene avgir varme ettersom hvor mye varme personen i dette rommet ønsker. Denne varmen kommer også fra fjernvarmen, da det er dette varme vannet som renner i radiatorene. Brukerne av rommene kan selv skru ventilåpningen opp og igjen ettersom hva som føles behagelig. På denne måten kan det være forskjellige temperaturer i forskjellige rom etter hva som er ønskelig. Varmen suges inn i ventilasjonsanlegget og gjenvinnes ved å varme opp kald luft, se forrige avsnitt.



Figur 2.5: En standard radiator hos Prediktor.

2.2.2 Styresystemet

Som nevnt tidligere finnes det ikke noe avansert styresystem ved oppstart av denne oppgaven. Hver komponent styrer seg selv, uten å ta hensyn til hva andre systemer gjør. Eneste bindemiddel mellom disse komponentene er den ansvarlige for driften av hele klimaanlegget, som går rundt til de forskjellige anleggene og skrur eller stiller manuelt inn ønskede verdier ettersom hvordan været ute er, og etter hvordan temperaturen i bygget føles. Dette gjør at temperaturstyringen er svært avhengig av én person, og dersom han ikke er til stede vil det kunne få store effekter for temperaturen.

Ventilasjonsanleggene styres etter temperaturen som er målt på returluften. Dette er luften som suges ut av rommene, og denne luften ved målepunktet får da en temperatur som er et snitt av alle de forskjellige temperaturene

rundt i bygget som innbefattes av samme ventilasjonsanlegg; glasshall og 3. etasje for det ene ventilasjonsanlegget, og 1. etasje og 2. etasje for det andre. Reguleringen foregår slik at ønsket temperatur på luften som blåses inn i bygget settes i forhold til hvor varm returluften er. Dersom returluften er varmere enn den temperaturen som er ønsket i bygget, settes temperaturen på innluften ned, slik at ventilasjonsanlegget kjøler ned. Dersom returluften er for kald, sendes varmere luft inn i bygget. Denne reguleringen gjøres automatisk i ventilasjonsanlegget, men forskjellige prinsipper kan stilles inn.

Gulvvarmen stilles slik at det gir en relativt jevn varme. Siden et gulvvarmeanlegg har veldig lang tidskonstant, er det svært vanskelig å regulere dette effektivt, da det kan ta opp imot ett døgn før resulterende effekt fra anlegget er merkbart. Det er også nokså vanskelig å stille inn denne gulvvarmen riktig, så dersom det er for varmt i gulvet den ene dagen og det er ønsket å stille denne varmen ned, er det fort gjort å stille dette for mye, slik at det neste dag oppleves for kaldt i gulvet.

Radiatorene er som nevnt ikke mulig å stille på noen annen måte enn manuelt. Dette betyr at all varme som genereres ved bruk av radiatorene er noe som ikke kan styres sentralt, altså noe man ikke har kontroll over. Denne varmen bidrar til en varmere returluft, som igjen påvirker temperaturen på innblåst luft. Hver og en bruker av et rom styrer sin radiator på den måten som er mest hensiktsmessig. Dette kan sees på som en forstyrrelse i modelleringen.

2.2.3 Kommentarer om dagens system

Selv om Prediktors lokaler er nye, og det eksisterer moderne ventilasjonsanlegg, er ikke opplevd temperatur rundt i bygget ideell. Det er vanskelig å tilfredsstille hver enkelt persons komfortfølelse, men et generelt misbehag kan det gjøres noe med. Det som er viktigst er å unngå de store temperatursvingningene, og heller prøve å holde en jevn temperatur.

Det største problemet med temperaturreguleringen hos Prediktor er inndelingen av bygget, og hvordan luft fra ventilasjonsanleggene fordeles i bygget. Som tidligere nevnt i avsnitt 2.2.1 er ventilasjonen i glasshallen og i 3. etasje koblet sammen, og ventilasjonen i 1. og 2. etasje er koblet sammen. Måten dette er koblet sammen på gir store utfordringer reguleringsmessig. Dette kommer av at den ene delen påvirkes av effekter den andre delen ikke påvirkes av, men temperaturreguleringen styres kun av felles avtrekksluftstemperatur. Dette kan illustreres godt med et eksempel:

Det er en solrik dag, og glasshallen varmes kraftig opp på grunn av solens stråling. Samtidig er det god temperatur i kontorene i tredje etasje, da det er færre vinduer her enn i glasshallen, og veggene isolerer godt. Siden disse delene er koblet sammen gjennom kanalsystemet, blandes avtrekksluften fra

både glasshallen og kontorene, og snittemperaturen på denne luften vil bli en god del varmere enn kontortemperaturen. Når denne temperaturen måles i ventilasjonsanlegget, settes ønsket temperatur på tilførselsluften ned for å motvirke den høye temperaturen. Denne luften sendes ut i både glasshallen og kontorene i tredje etasje. Denne temperaturen og mengden er ikke helt nok til å kjøle ned glasshallen, men er for kald til at det er behagelig i kontordelen. På denne måten er det særdeles vanskelig å tilfredsstille temperaturønsket i de to delene. Den samme effekten vil også merkes dersom det er motsatt, at det er kaldt i glasshallen og behagelig i kontorene. Da vil ventilasjonsanlegget sørge for å sende inn varm luft, som vil gjøre det for varmt i kontordelen.

Noe av det samme problemet oppleves også i det andre ventilasjonssystemet. Fordi det er gulvvarme i kontorene i første etasje, men ikke i andre etasje, vil temperaturen oppleves forskjellig i de to etasjene. Dersom gulvvarmen gjør at det blir litt for varmt i første etasje, vil ventilasjonsanlegget prøve å kjøle de to etasjene ned. For de i andre etasje som ikke har denne gulvvarmen, vil det oppleves at det blir kjølig, mens i første etasje er det fortsatt litt varmt.

En annen utfordring er at gulvvarmen er felles for glasshallen og kontorene i første etasje. Det vil si at gulvet avgir lik varme til begge disse delene, men de deler ikke ventilasjonsanlegg. Dette vanskeliggjør reguleringen av temperaturen, da ønsket endring i den ene delen påvirker den andre, uten å ta hensyn til ventilasjonssystemet. De to delene er også brukt svært forskjellig ved at det i kontordelen sitter folk på store deler av grunnarealet, mens i glasshallen er det stort sett åpent, med ett kontor og en kantine. Disse forskjellene gir grunnlaget for ulike ønsker for bruk av gulvvarme.

Totalt sett er dette bygget vanskelig å temperaturstyre, på grunn av hvordan de forskjellige anleggene er koblet sammen. Noe av grunnen til at det er koblet som det er, er at varmen som genereres i gulvet blir gjenvunnet gjennom ventilasjonsanlegget. For å kompensere for uønsket kald luft, er alle rom utstyrt med radiatorer, som brukerne selv kan styre. Om sommeren derimot er temperaturstyringen kun gitt av ventilasjonsanleggene, og hver enkeltperson har ikke mulighet til å påvirke temperaturen selv.

Kapittel 3

Modellering av energien i bygningen

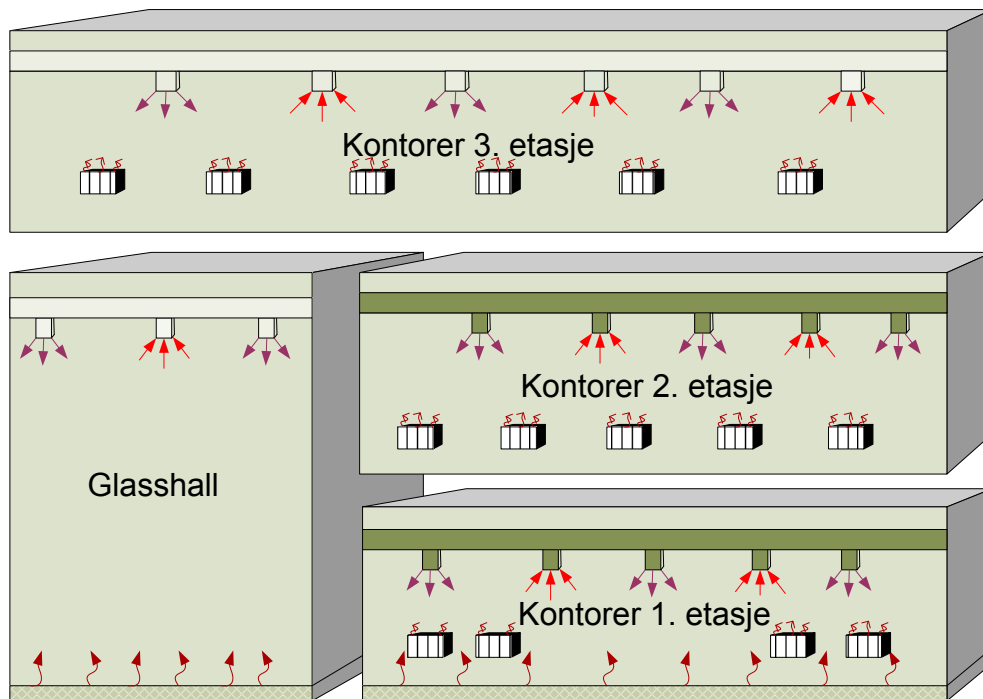
Som et grunnlag for den teoretiske forståelsen av hva som foregår i et bygg med tanke på temperaturendringer, er det ønsket å sette opp en matematisk modell. Denne modellen skal ta for seg endringene i temperaturene i de forskjellige delene av bygget som funksjon av de tilgjengelige tekniske installasjonene som er i bygget som produserer varme eller nedkjøling. Det er også viktig å se på hvordan været ute påvirker temperaturen inne, samt hvordan aktivitet inne i bygget genererer varme. Modellen vil bli implementert i SIMULINK/MATLAB, slik at det er mulig å simulere temperaturendringene i bygget over tid som funksjon av diverse påtrykte signaler.

Dette kapittelet starter med den fysiske beskrivelsen av kontorbygget, med plassering av tekniske installasjoner og sammensetning av bygget. Da det har vært vanskelig å oppdrive plantegningene på bygget, har det blitt brukt omtrentlige verdier på størrelser. Dette gjelder også u-verdien på forskjellige komponenter i bygget som vegger, vindu og gulv. Her har det blitt brukt anbefalte verdier og gjennomsnittsverdier fra kontorbygg i Norge. Lettvegger innenfor hver del er sett bort ifra.

Videre gjøres modelleringen matematisk for hver del av bygget, og enkelte faktorer som påvirker energiflyten blir forklart. Til slutt settes alt sammen og implementeres i SIMULINK/MATLAB, hvor noen simuleringer vises.

3.1 Fysisk beskrivelse av kontorlokalene

Før selve arbeidet med modelleringen kan starte, er det nødvendig å ha det klart for seg hvordan bygget er utformet og delt opp. Det er også viktig å vite hvor de forskjellige tekniske installasjonene er plassert, hvordan bruket av



Figur 3.1: Oppdelingen av kontorbygget til Prediktor. Ventilasjon, golvvarme og radiatorer er markert. Lik farge på ventilasjonskanalene indikerer sammenkoblet system. Pilene markerer energiflyt.

dem er delt opp i bygget og hvor man kan regne med å få oppleve effekten av dem. Plassering av vinduer er også en viktig faktor, da det går svært mye energi gjennom hvert vindu. Fordelingen av mennesker i bygget er nok en viktig faktor å ta hensyn til, da dette påvirker temperaturen i bygget i form av varmegenerering.

Figur 3.1 viser hvordan hele kontorbygget enkelt er delt opp. Det består av en velkomsthall, hvis vegger stort sett består av glass, derav navnet glasshall, og tre kontordeler. Mellom delene er det tett, og man kommer seg mellom delene gjennom dører som for det meste av dagen er stengt. Dette betyr at luft fra en del ikke påvirker de andre delene, annet enn det som går gjennom vegger, dette tas opp mer i detalj senere. Kanalanlegget i toppen av hver del symboliserer ventilasjonen i bygget, regulert temperatur kommer inn i bygget, mens varm luft suges ut. Lilla piler ut fra kanalene indikerer innblåsning av den regulerte luften, mens røde piler markerer avtrekk hvor byggets oppvarmede luft suges ut. Lik farge på kanalene indikerer at det er samme ventilasjonssaggregat som virker i kanalanleggene. Den mørkegrønne fargen symboliserer kanaler tilkoblet ventilasjonsanlegget i 2. etasje, den lyse symboliserer kanaler tilkoblet ventilasjonsanlegget i 3. etasje.

I bunnen av glasshallen og kontorer 1. etasje er det gulvvarme. Dette er markert i figur 3.1 med en mørkere farge med mønster, og røde piler som illustrerer varmen gulvet avgir. Videre er radiatorer i bygget tegnet inn som hvite bokser med striper. Denne figuren er kun en oversiktstegning, og plassering av og antall radiatorer og innsug/utsug i kanalanleggene er ikke korrekte i forhold til hvordan det faktisk er i bygget.

I de neste avsnittene blir hver del redegjort for, med hvilke aktive komponenter som kan styres, og med passive komponenter som vegger, gulv og vinduer. Det blir også forklart hvilket bruksområde hver del har, og hvor mye utstyr og personer som er å regne med som varmegeneratorer. I del 3.2 blir de matematiske prinsippene brukt i modelleringen forklart, før selve modelleringen blir gjort.

3.1.1 Glasshall

Glasshallen er en stor åpen plass, hvor svært få mennesker oppholder seg i løpet av en dag. Denne hallen tjener som en velkomsthall med en liten resepsjon, og en utstillingsdel. Det er også et møterom i andre etasje av denne hallen. Møterommet står stort sett åpent ut til resten av hallen, slik at det regnes som felles luft og temperatur. Av muligheter for oppvarming eller nedkjøling er det varme i gulvet i første etasje og ventilasjon i taket. Ventilasjonen i denne delen er koblet sammen med kontorene i tredje etasje, og luften håndteres av et ventilasjonsaggregat som står i tredje etasje. Gulvvarmen er i form av varmt vann som går i rør i gulvet, dette varme vannet er oppvarmet av den fjernvarmen som kommer til Prediktor, se avsnitt 2.2 for mer om dette. Denne gulvvarmen er den samme som er i kontordelen i første etasje. I resepsjonen sitter det en person, og denne har en radiator til bruk dersom det oppleves som kaldt. Til sammen er det brukt at det er fem mennesker i denne delen i løpet av en dag, i og med at det stadig kommer og går personer her. Da er deltakelse på møterommet og bruk av lunsjrommet dekket.

Veggene i sør, vest og nord består for det aller meste av vinduer, noe som gjør denne delen svært påvirkelig av været ute. Veggene i øst grenser mot kontordelen, og regnes som en vegg med standard U -verdi, selv om det er noe glass og dører. Grunnen til så lite detaljer om denne veggene er at det alltid vil være ganske lik temperatur på andre siden av veggene, da dette er kontorer, noe som ikke gir veldig store bidrag i den store sammenhengen. Taket i denne delen grenser mot gulvet i tredje etasje.

3.1.2 1. etasje

I første etasje er det mest kontorer, men også noe verksted/monteringshall. I modelleringen tas det ikke hensyn til forskjellen på kontorer og monteringsområde. Som i glasshallen er det varme i gulvet, og dette er samme varmtvannet som brukes i glasshallen, altså samme rørsystem. I taket er det flere ventilasjonsåpninger og avtrekk, som gjør at luften sirkuleres. Temperaturen på luften som kommer inn er den samme som den som kommer inn i kontorene i andre etasje, da dette er samme kanalsystemet. Se også figur 3.1. Det er ventilasjonsanlegget som står i andre etasje som behandler denne ventilasjonen. Det er montert opp en radiator i hvert kontor og flere i møterommene, slik at brukerne kan stille temperaturen etter eget ønske. Hver radiator stilles separat noe som kan gi forskjeller, men i modelleringen brukes en felles verdi på radiatorene, noe som kan forsvares av at all varmen fordeles etter hvert i hver del.

Det antas at i denne delen av bygget er det 20 mennesker som holder til. Etsjen er delt opp i mindre kontorer, større møtelokaler og monteringsområde. Ettersom det er den samme temperaturregulerte luften fra ventilasjonsanlegget som kommer i hele delen, og dører stort sett står oppe til kontorene, antas det at temperaturen i hele delen er lik. Da er det ikke tatt hensyn til at solen varmer mye mer på sørsiden enn på nordsiden av bygget. Mer om dette i modelleringsdelen. Veggen mot sør og veggen mot nord er like, det vil si vegger med mange små vinduer. Veggen mot vest modelleres som en vegg på samme måte som østveggen i glasshallen. Østveggen i kontordelene regnes som en vegg uten vinduer og som grenser mot uteluften. Dette er ikke helt korrekt da det er en trappeoppgang dekket av vinduer her, men denne delen er ikke temperaturregulert i det hele tatt, og oppfører seg på samme måte som uteværet (uten vind).

3.1.3 2. etasje

Andre etasjen er av samme størrelse som første etasje. Inndelingen av denne delen er begrenset til kun kontorer og møterom, da all montering gjøres i første etasje. Som i første etasje antas det at dørene til kontorene stort sett er åpne, og luften sirkulerer godt, slik at temperaturen er jevnt over lik i hele delen. Mens det var gulvvarme i første etasje, er det her ingen annen gulvvarme enn den varmen som siger gjennom fra første etasje. Og på samme måte som i første etasje er det et kanalsystem med innblåsning av temperaturregulert luft, og avtrekk for den romtempererte luften. Denne luften tas hånd om av det samme ventilasjonsaggregatet som brukes i første etasje. Det er også her radiatorer i hvert kontor og møterom som kan brukes ved behov. I denne delen antas det at det befinner seg rundt 25 personer med tilhørende utstyr. Veggene er beskrevet på akkurat samme måte som veggene i første etasje, og taket her grenser mot

gulvet i tredje etasje.

3.1.4 3. etasje

Tredje etasje er litt annerledes formet enn de to andre kontordelene. Denne etasjen er lenger, men også noe smalere. I denne etasjen er det også færre personer som jobber enn i de to andre delene. Det oppholder seg ca 15 personer her, og store deler står tomt. Dette er rom som kan brukes til eventuelle nyansatte. Ventilasjonen er den samme som brukes i glasshallen, og fungerer på samme måte som tidligere forklart. Det er heller ikke her annen gulvvarme enn den temperaturen som kommer fra andre etasje, men også en del fra glasshallen, da denne delen ligger over både kontorene og glasshallen. Radiatorer er plassert som i de andre kontordelene, også i den delen som er tom. Nord-, øst- og sørveggen er som i de andre kontordelene, bare med litt andre mål. Vestveggen grenser her til uteluft som østveggen, men på denne veggen er det også vinduer.

3.2 Modellering av energiflyten i et bygg

Modellering av energiflyten i et bygg er en svært stor oppgave, dersom det skal bli korrekt. Mange med spesialutdanning innen energibruk i bygg har brukt mye tid og krefter på å lage programvare som lar en bruker legge inn korrekte data for bygget, været, tekniske installasjoner og spesialfunksjoner i bygget, for så å beregne energibruk nokså nøyaktig. Da er hver minste detalj tatt med. Som 1. amanuensis Kjell Kolsaker ved institutt for energi- og prosesseteknikk på NTNU sa det; 'Modellering av energiflyten i et bygg er en masteroppgave i seg selv, og det finnes flere doktoravhandlinger om dette'. Målet med modelleringen i denne oppgaven er ikke at det skal gi simuleringer som stemmer med virkeligheten ned i minste detalj, men noe som skal gi leseren en grunnleggende forståelse i hvordan energi flyttes rundt i et bygg, og hva som påvirker hverandre. Med en teoretisk tilnærming er det mulig å lære seg den sentrale dynamikken i energiflyten, noe som senere kan gi svar på observasjoner gjort på fysisk målte data.

En matematisk modellering kan også gi opphavet til en modellbasert regulator, hvor kunnskap om den fysiske prosessen brukes aktivt i regulatorene for å tilpasse pådragene, slik at ønsket situasjon oppnås så fort som mulig, uten å bryte de fysiske begrensningene i anleggene og bygget. Jo bedre modellen av prosessen er, jo bedre blir reguleringen. Men det er også et poeng at det ikke nødvendigvis er viktigst å få modellen til å stemme helt overens med den virkelige prosessen, da bruk av et Kalmanfilter kan hjelpe til med å rette opp modellfeil, i tillegg til at et reguleringssystem vil regulere bort de

små modelleringsfeilene. Det er ikke dermed sagt at det ikke er nødvendig å modellere riktig, men i første omgang er i alle fall det viktigste å modellere de mest betydningsfulle faktorene, og så kan verdier og mindre detaljer behandles senere.

I denne delen av rapporten forklares det hvordan modelleringen er gjort av Prediktors bygg. Energi tilført av aktive komponenter, som senere kan styres, er tatt med, i tillegg til passive faktorer, som mennesker inne og været ute. De fysiske prinsippene som er brukt blir beskrevet, og hver enkelt faktors eller komponents påvirkning blir også forklart. I denne delen blir prinsippene brukt og forklart for et rom. Siden blir faktorer og komponenter som passer til en spesiell del av bygget lagt til, slik at hver del beskrives riktig. Prinsippene blir forklart her, mens den praktiske implementeringen gjøres i SIMULINK/MATLAB for simuleringer.

Med en modell på plass vil det være mulig å teste ut reguleringsalgoritmer på denne simulatoren før disse eventuelt blir implementert på det fysiske anlegget. Slik unngår en at noe blir ødelagt i systemet, eventuelt store og ugunstige temperatursvingninger i bygget.

3.2.1 Energibalansen

Modelleringen av energibalansen i Prediktors bygg, gjøres steg for steg, hvor prinsippene brukes i første omgang på et generelt rom. På denne måten kan generelle formler brukes, for siden å tilpasses de enkelte delers spesifikke verdier. Flere antagelser vil bli brukt for å kunne forenkle modellen, uten at det gjør modellen urealistisk, kun noe mindre detaljert. Mange av ligningene og utledningene er basert på arbeidet gjort i (Egeland og Gravdal 2002), [9], i hele dette avsnittet.

Generell masse- og energibalanse for et generelt kontrollvolum

Som utgangspunkt for både masse- og energibalansen brukes Reynolds transportteorem 3.1. Ligningene er satt opp for et generelt kontrollvolum, og følger [9] i utledning og konvensjon. Det grunnleggende Reynolds transportteorem for et kontrollvolum V_c er gitt som

$$\frac{d}{dt} \iiint_{V_c(t)} \phi(\mathbf{x}, t) dV = \iiint_{V_c} \frac{\delta \phi(\mathbf{x}, t)}{\delta t} dV + \iint_{\delta V_c} \phi(\vec{v}_c) \cdot \vec{n} dA \quad (3.1)$$

Kort fortalt forteller dette at den tidsderiverte til et volumintegral av et system kan beskrives som et volumintegral av den tidsderiverte av systemet og et ledd som tar for seg endringsraten til endringen av volumet innenfor der grensene til kontrollvolumet går.

Reynolds transportteorem er en konvertering som gjør matematikken som beskriver individuelle masser om til matematikk som beskriver et spesifikt område, [27]. Dette teoremet er veldig praktisk og mye brukt når det kommer til konserveringsligninger, selv om det gjelder for alle fysikkens fundamentale lover. Dette brukes for å relatere tidsderiveringen av en systemegenskap til endringsraten til den samme egenskapen innefor et gitt område, [27]. Leseren oppfordres til å lese mer om dette i [27] og [9] for en grunnleggende forståelse av hva dette teoremet betyr. Reynolds transportteorem for balanselover kan beskrives på følgende måte

$$\frac{d}{dt} \iiint_{V_c} \phi(\mathbf{x}, t) dV = \frac{D}{Dt} \iiint_{V_c} \phi(\mathbf{x}, t) dV - \iint_{\delta V_c} \phi(\vec{v} - \vec{v}_c) \cdot \vec{n} dA \quad (3.2)$$

hvor \vec{v} er hastigheten på en partikkel innenfor kontrollvolumet, mens \vec{v}_c er hastigheten til en partikkel som alltid sitter på overflaten til kontrollvolumet. Det første leddet på høyre side er endring i materiell volum. Ligning 3.2 er kun en omskriving av ligning 3.1, mer om dette i [9].

Det er ønskelig å beskrive massebalansen for et kontrollvolum V_c , som kan være tidsvarierende, og som er fylt med fluid med tettheten ρ . Det antas at denne tettheten er den samme over hele kontrollvolumet. Dette gjøres ved å bruke ligning 3.2 og massebalanse opptrer på denne måten

$$\frac{d}{dt} \iiint_{V_c} \rho dV = \frac{D}{Dt} \iiint_{V_c} \rho dV - \iint_{\delta V_c} \rho(\vec{v} - \vec{v}_c) \cdot \vec{n} dA \quad (3.3)$$

Det første leddet på høyre side kan settes lik null, da dette er brukt som en bevaringslov av masse, det vil si at det ikke er noen endring i selve materien. Med ord sier 3.3 at endringen av masse i kontrollvolumet er lik nettomassen som kommer inn i kontrollvolumet fra utsiden. Masseflyten inn i kontrollvolumet betegnes som $\omega_1 = \rho q_1$, mens masseflyten ut betegnes som $\omega_2 = \rho q_2$, hvor q_1 og q_2 er den volumetriske strømmingen. Med disse betegnelsene på plass kan massebalansen skrives slik

$$\frac{d}{dt} (\rho V_c) = \omega_1 - \omega_2 = \rho(q_1 - q_2) \quad (3.4)$$

Når det gjelder energi er det naturlig å se på det materielle volumet først. Et materiellvolum har et fast sett av partikler, noe som betyr at den totale energien i volumet er konserverert. Dermed betyr det at en endring i den totale energien i et materiellvolum skjer på grunn av netto tilført energi til volumet, [9]. Energien, e , består av indre, kinetisk og potensiell energi:

$$e = u + \frac{1}{2} \vec{v}^2 + \phi \quad (3.5)$$

Endringen av energi i et slikt materiellvolum skrives da slik:

$$\frac{D}{Dt} \iiint_V \rho e dV = - \iint_{\delta V} p \vec{v} \cdot \vec{n} dA - \iint_{\delta V} \vec{j}_Q \cdot \vec{n} dA \quad (3.6)$$

hvor første ledd på høyre side beskriver energien som skapes av det arbeidet et trykk gjør på volumet, mens \vec{j}_Q er varmefflukstettheten, som gjør det siste leddet til total varmeffluks tilført volumet. Volumet V er vilkårlig, og ligningen kan skrives om ved å bruke divergensteoremet

$$\rho \frac{D}{Dt} \left(u + \frac{1}{2} \vec{v}^2 + \phi \right) = -\vec{\nabla} \cdot (p\vec{v}) - \vec{\nabla} \cdot \vec{j}_Q \quad (3.7)$$

Divergensteoremet forklares i detalj i blant annet [27].

Med materiellvolumet på plass, er det nå klart for å sette opp energiligningen for et generelt kontrollvolum. For det generelle kontrollvolumet V_c gir Reynolds transportteorem 3.2 følgende ligning for energibalansen:

$$\frac{d}{dt} \iiint_{V_c} \rho e dV = \frac{D}{Dt} \iiint_{V_c} \rho e dV - \iint_{\delta V_c} \rho e (\vec{v} - \vec{v}_c) \cdot \vec{n} dA \quad (3.8)$$

Det første leddet på høyre side er det materiellderiverte av energien, noe som er beskrevet i ligning 3.6. Ved å sette denne sammenhengen inn i energibalansen 3.8 oppnår en

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \iiint_{V_c} \rho e dV = & - \iint_{\delta V_c} \rho \left(e + \frac{p}{\rho} \right) (\vec{v} - \vec{v}_c) \cdot \vec{n} dA \\ & - \iint_{\delta V_c} p \vec{v}_c \cdot \vec{n} dA - \iint_{\delta V_c} \vec{j}_Q \cdot \vec{n} dA \end{aligned} \quad (3.9)$$

Ved å beskrive energibalansen på denne måten kan man utnytte noen egenskaper til entalpien. Entalpi tar hensyn til konveksjonen i den indre energien og trykkets arbeid i energibalansen, og er gitt i som

$$h = u + \frac{p}{\rho} \quad (3.10)$$

eller

$$h = u + p\hat{V}, \quad (3.11)$$

disse er likeverdige, med $\hat{V} = \frac{1}{\rho}$, [9]. Entalpi er ikke en konserverte mengde. Når da 3.10 settes inn i ligning 3.9, får man energibalansen

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \iiint_{V_c} \rho \left(u + \frac{1}{2} \vec{v}^2 + \phi \right) dV = & - \iint_{\delta V_c} \rho \left(h + \frac{1}{2} \vec{v}^2 + \phi \right) (\vec{v} - \vec{v}_c) \cdot \vec{n} dA \\ & - \iint_{\delta V_c} p \vec{v}_c \cdot \vec{n} dA - \iint_{\delta V_c} \vec{j}_Q \cdot \vec{n} dA \end{aligned} \quad (3.12)$$

Dette er nå på en form som gjør det relativt intuitivt å beskrive energibalansen i et rom. Med ord kan dette sies som at endring av energien i et kontrollvolum er lik konvektiv entalpi, kinetisk energi og potensiell energi pluss det arbeidet som trykket gjør på kontrollvolumet pluss varmeledningen inn og ut av kontrollvolumet. I denne ligningen er hastigheten i konveksjonsleddet, $\vec{v} - \vec{v}_c$, hastigheten til en partikkel relativt til overflaten på kontrollvolumet.

Gassdynamikk

Før modelleringen av selve energibalansen i et bygg med hensyn på temperatur, er det nødvendig å se litt på gasser, entalpi og spesifikk varme, da teori om dette brukes i modelleringen.

Det antas i dette kapittelet at luften i bygget oppfører seg som en ideell gass, slik at den ideelle gassloven $pV = nRT$ gjelder, hvor R er den universelle gasskonstanten, [24]. Ved bruk av denne er det nå mulig å sette opp forholdet mellom både indre energi og entalpi, og spesifikk varme. Alle elementer har to måter å beskrive spesifikk varmekapasitet på, det ene ved varmekapasitet ved konstant volum, c_v , og det andre ved varmekapasitet ved konstant trykk, c_p . Spesifikk varmekapasitet sier noe hvor mye varme som må til for å øke et elements temperatur per masse.

Fra [9] defineres spesifikk varme $c_v(T)$ på følgende måte:

$$du = c_v(T)dT \quad (3.13)$$

hvor u altså er den indre energien. I dette tilfellet antas $c_v(T)$ å være konstant, slik at man oppnår forholdet

$$\Delta u = c_v \Delta T \quad (3.14)$$

Ved å si at gassen er ideell, kan man bruke at $p\hat{V} = RT$. Denne omgjøringen fra den generelle gassloven kan sees i [24]. Da ved å sette dette inn i ligning 3.11 får man entalpien for ideell gass:

$$h = u + RT \quad (3.15)$$

Den spesifikke entalpien er da en funksjon av temperaturen. [9] definerer den spesifikke varmen $c_p(T)$ som

$$dh = c_p(T)dT \quad (3.16)$$

Ved å si at $c_v(T)$ er konstant, blir endringen i entalpi gitt som

$$\Delta h = c_p \Delta T \quad (3.17)$$

For å beskrive sammenhengen mellom c_v og c_p tas det utgangspunkt i ligning 3.15. Endring i entalpien beskrevet på denne måten gir følgende ligning:

$$dh = du + RdT \quad (3.18)$$

Ved å sette inn 3.16 og 3.13 får man en sammenheng mellom c_v og c_p som gjelder for alle ideelle gasser

$$c_p(T) = c_v(T) + R \quad (3.19)$$

Forholdet mellom c_v og c_p defineres som κ , [9]:

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v} \quad (3.20)$$

For luft er $\kappa = 1.4$

Flere sammenhenger mellom de spesifikke varmekapasitetene blir brukt senere for enklere uttrykk. Følgende uttrykk er nyttige for arbeid med ideelle gasser:

$$\frac{R}{c_v} = \frac{c_p - c_v}{c_v} = \frac{\frac{c_p}{c_v} - 1}{1} = \kappa - 1 \quad (3.21)$$

og

$$\frac{R}{c_p} = \frac{c_p - c_v}{c_p} = \frac{\frac{c_p}{c_v} - 1}{\frac{c_p}{c_v}} = \frac{\kappa - 1}{\kappa} \quad (3.22)$$

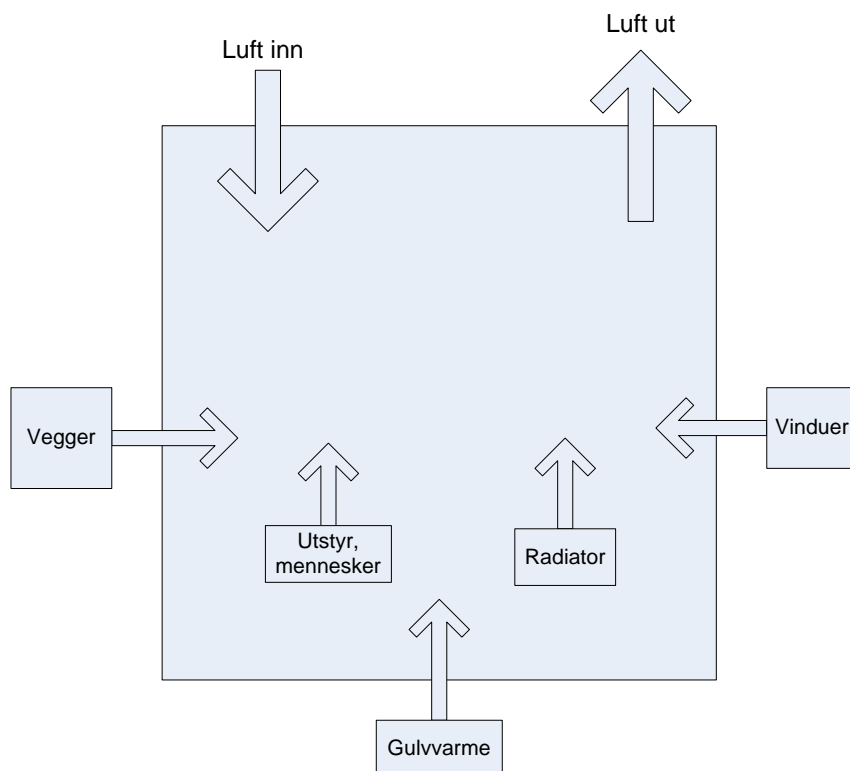
Energiligningen for et rom med hensyn på temperatur

Etter å ha gått i gjennom den viktigste teorien for modellering av energibalansen i et generelt kontrollvolum, kan dette nå brukes til sette opp en energibalanse for et rom med luft. Ved å konsentrere seg om et enkelt rom som kontrollvolum, hvor trykkforandringer ikke utgjør noe vesentlig energiforandring, ender man opp med en forenklet energibalanse, hvor endring i energien beskrives som endring i temperaturen av luften.

Figur 3.2 viser en prinsipptegning av hvordan energi endres i et rom. På denne tegningen utgjør summen av alle påvirkningene varmekraften inn og ut av rommet, kalt j_Q . Ventilasjonen er ikke en del av dette, da dette kommer inn under konveksjonsleddet i 3.12. Rommet har et gitt volum som ikke endres, fylt av luft som antas å være en ideell gass i dette tilfellet, med en tetthet ρ . Videre antas det at luften i rommet fordeles jevnt, slik at det er samme temperatur T i hele rommet til enhver tid. Dette er en forenkling, men ikke urealistisk da ventilasjonsluften blåses nedover mange steder. Trykket er det samme overalt, og rommet utsettes ikke for forandringer i trykket. Luften som kommer inn i bygget har temperaturen T_i og kommer inn i rommet med en masseflyt $\omega_i = \rho q_i$ hvor q_i er den volumetriske strømmen inn i rommet. På samme måte strømmes det luft ut av rommet med romtemperaturen T med masseflyten $\omega_u = \rho q_u$ hvor q_u er den volumetriske strømmen ut av rommet.

Med opplysningene om rommet gitt, brukes dette sammen med teorien i tidligere avsnitt for å danne energiligningen for det aktuelle rommet. Mengden med luft i rommet endres som følge av hva som kommer inn og hva som kommer ut. Det brukes at luften skiftes gjennom bruk av ventilasjonsanlegget, og massebalansen kan settes opp som det er gjort i ligning 3.4 med de opplysningene som er gitt:

$$\frac{d}{dt}m = \omega_i - \omega_u \quad (3.23)$$



Figur 3.2: Endring av energien i et rom som funksjon av forskjellige påvirkninger

Videre tas det utgangspunkt i energibalansen gitt i ligning 3.12. Det antas at den kinetiske og potensielle energien er null, slik at all energi betegnes som indre energi. Siden det ikke er noen store forandringer i trykket i rommet, slik at trykkets arbeid utgjør svært lite på energien, settes dette til null. Da kan energibalansen for et rom som presentert i teksten over og i figur 3.2 skrives på følgende måte:

$$\frac{d}{dt}(mu) = h_i\omega_i - h\omega_u + j_Q \quad (3.24)$$

hvor j_Q er den totale varmekraften mellom rommet og omgivelsene. Det er ønskelig å uttrykke energiligningen med hensyn på temperatur, og bruker fra teorien om gass med ligningene 3.14 og 3.17 at $u = c_v T$ og $h = c_p T$. Det er da antatt at de spesifikke varmekapasitetsverdiene c_v og c_p er konstante. Med disse sammenhengene blir ligning 3.24 skrevet om til

$$\frac{dm}{dt}c_v T + mc_v \dot{T} = c_p T_i \omega_i - c_p T \omega_u + j_Q \quad (3.25)$$

Så brukes massebalansen fra ligning 3.23, og settes inn i energibalansen

$$c_v T(\omega_i - \omega_u) + mc_v \dot{T} = c_p T_i \omega_i - c_p T \omega_u + j_Q \quad (3.26)$$

Litt omrokninger gir

$$mc_v \dot{T} = c_p T_i \omega_i - [c_v \omega_i + (c_p - c_v) \omega_u] T + j_Q \quad (3.27)$$

Til slutt brukes det at luften er en ideell gass, som lar en bruke sammenhengene funnet i forrige avsnitt, funnet i 3.20 og 3.21. Ved bruk av dette oppnår man til slutt energibalansen på formen til temperaturendring

$$\dot{T} = \frac{\kappa \omega_i}{m} T_i - \frac{\omega_i + (\kappa - 1) \omega_u}{m} T + \frac{1}{mc_v} j_Q \quad (3.28)$$

Denne energiligningen danner grunnlaget for modelleringen av hele bygget til Prediktor. Dette gjøres ved å ta for seg del for del, hvor hver del har sin energibalanse. Ulike tekniske installasjoner, sammensetning og størrelse kan da tilpasses hver del. Forskjellene i varmefluksene mellom delene kommer til syne ved bruk av forskjellig j_Q . I de neste avsnittene settes j_Q opp for hver effekt som påvirker bygget.

3.2.2 Gulvvarme

I gulvet i glasshallen og i kontorene i første etasje er det gulvvarme, i form av varmt vann som er oppvarmet av varmen som kommer fra fjernvarmeanlegget Prediktor er tilkoblet, forklart mer i avsnitt 2.2.1. Dette systemet leverer varme ved at det ligger rør i betongen, og disse rørene er varme på grunn av det varme vannet som strømmer inne i rørene. Alle rørene er koblet sammen, og dette vil i praksis si at de leverer mest varme jo kortere avstand det er fra varmeveksleren. Men dette tas det ikke hensyn til i denne omgang, da dette blir for detaljert for denne oppgaven. I stedet brukes det at gulvvarmeanlegget leverer lik varme i hele gulvet til enhver tid. Anbefalt tykkelse på materiale over rørene er 5cm, [26]. En forenkling er å si at dette materiallaget holder mer eller mindre samme temperatur som oppleves rundt rørene. Ved å bruke overgangsfaktoren $G_{golv} = 10W/m^2K$, [26], oppnår en da at gulvet oppfører seg som et varmeelement. Varmefluksen j_Q for gulvvarme beskrives på følgende måte matematisk:

$$j_Q = G_{golv} A_{golv} (T_{golv} - T) \quad (3.29)$$

hvor A_{golv} er arealet som det er gulvvarme i, mens T_{golv} er temperaturen i gulvet.

Dette gir et noe uriktig bilde av gulvets påvirkning, da det ikke er tatt hensyn til gulvets treghet som følge av temperaturendringer i rørene. Men med tiden og detaljnivået som brukes i denne oppgaven er det vurdert til å være tilfredsstillende, da fokuset er på modelleringen av lufttemperaturen. Ved å si at gulvet har en gitt temperatur reagerer innetemperaturen på dette som beskrevet i 3.29. For senere arbeid kan det være fokus på å modellere varmedynamikken i et betonggulv med vannbåren varme i.

For å få med gulvvarmen i energiligningen 3.28, settes 3.29 inn i nevnte ligning, sammen med eventuelle andre varmekstrakter i henhold til [1], [10] og [25].

3.2.3 Radiatorvarme

Radiatorer regnes forståelig nok som varmelementer i rommet. Det vil si at de holder en varme selv, og denne varmen overføres til luften ved konveksjon og stråling, [10]. Dette gjøres teoretisk med et generelt varmeovergangstall mellom radiator og luft. Arealet som omfatter radiatorens effekt på innetemperaturen er det samlede arealet av alle radiatorer i hver del. Det brukes at hver radiator har en overflate på 1 m^2 , og det totale arealet på det felles radiator-varmeelementet i hver del er da likt antall radiatorer i hver del i m^2 . Varmefluksen fra radiatorer beskrives da som:

$$j_Q = G_{rad} A_{rad} (T_{rad} - T) \quad (3.30)$$

hvor G_{rad} er varmeovergangstallet, A_{rad} er det totale arealet av radiatorer og T_{rad} er temperaturen som radiatorer holder. Som nevnt i 2.2.1 er denne temperaturen diskutabel da hver radiator kan ha forskjellig temperatur ettersom de er manuelt innstilte. Men siden det brukes at hver del er åpen og har samme temperatur, er det legitimt å si at radiatorer avgir en samlet snittvarme til rommet.

Dynamikken til temperaturen i radiatorer som funksjon av varmtvannstrømming er ikke modellert her, på samme måte som gulvvarmen. Det antas ganske enkelt at radiatorer avgir den varmen brukeren ønsker, noe som stilles inn ved å åpne eller lukke en ventil som slipper inn varmtvann.

3.2.4 Vinduer

Vinduer i et bygg er en svært viktig faktor for hvordan energiflyten påvirkes av været ute. Vinduer er mindre isolerte enn vegger, slik at det skal være mulig å se ut gjennom dem, og lys kommer inn i bygningen. Dette gjør at en betydelig del av varmekstrakten skjer nettopp gjennom vinduene. Dette har både med vinduets u -verdi, som kan forstås som termisk motstand og som sier noe om hvor mye energi som slippes gjennom et vindu, og karmene rundt selve vinduet hvor det ofte er glipper og materiale som ikke isolerer så godt. For praktiske problemer settes det ofte en u -verdi på hele vinduet med karm, altså blir all energimotstand tatt med i ett tall. Vindusleverandører opptrer med slike u -verdier, og i denne oppgaven brukes det u -verdier av denne typen. U -verdien er også kalt varmegjennomgangskoeffisient og tar da både hensyn til varmeledning, konveksjon og stråling, [10].

En u-verdi regnes ut med hensyn på den termiske motstanden til hvert enkelt materiale som varmen må gjennom. For et trelags glass med gass i mellom hvert glasslag regnes motstanden, R , ut som summen av alle motstandene for hvert materiale og gass, da både med hensyn på varmeledningsegenskapene til stoffet, konveksjonen og strålingen. U-verdien er da beskrevet som $U = \frac{1}{R}$, [1]. Detaljer om denne utregningen kan sees i flere bøker, blant annet i [1], [10] og [25]. Ettersom data for hvilke typer vinduer som er brukt hos Prediktor ikke har vært tilgjengelig, blir det brukt standard verdier etter anbefalinger fra NS 3031 som er norske standarder for bygninger, [10]. For vinduer er denne u-verdien satt til $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Varmefluksen gjennom et vindu med areal A_{vin} og u-verdien U_{vin} som en funksjon av temperaturen ute, T_{ute} , beskrives som

$$j_Q = U_{vin}A_{vin}(T_{ute} - T) \quad (3.31)$$

Dette er i samsvar med [10]. Her brukes det at arealet A_{vin} er summen av arealet til alle vinduene som befinner seg i en del. På den måten dekkes alle vinduene av denne ligningen, noe som er gyldig da det ikke oppleves som store forskjeller i lufttemperaturen på forskjellige sider av bygget.

Ligning 3.31 tar kun hensyn til temperaturen ute. En annen svært viktig faktor er den effekten solen leverer. I og med at vinduene er laget som de er, slipper en viktig del av soleffekten inn i bygget og varmer opp gulv og vegger på innsiden. Solens innstråling gis som effekt i Watt, noe som kan brukes direkte i energibalansen, da benevnelsen på j_Q er Watt. Solens innvirkning på innnetemperaturen er gitt ved ligningen

$$j_Q = \sum [I_\alpha \cdot A_{vin} \cdot S \cdot a] \quad (3.32)$$

hvor I_α er midlere strålingsfluks gitt i W/m^2 mot utsiden av et vindu med orientering α og areal A_{vin} . S er vindusrutens solfaktor med verdi mellom 0 og 1, som sier noe om hvor mye som slipper gjennom av sollyset som treffer ruten. a er skjermingsfaktoren, som sier noe om hvor mye sollys som i det hele tatt treffer vinduet.

Solfaktoren S settes til 0,26, mens avskjermingsfaktoren, a , settes til 0,6, i henhold til anbefalinger fra [10]. Solens effekt kan oppnå en maksverdi i Norge på 1000 W/m^2 , [10], men dette gjelder for en flate nitti grader på solens innstrålingsvinkel. I følge 1. amanuensis Kjell Kolsaker er maksverdien av soleffekten på et vanlig vindu på en vertikal vegg ca 700 W . Solinnstrålingen vil selvfølgelig være en faktor av årstid, døgntid og skydekke. Modellering av solens endringer som følge av disse faktorene er ikke gjort, da dette er et stort og vanskelig felt. Det eksisterer flere oppslagsverk hvor solens effekt vises i tabeller som funksjon av forskjellige parametre. I denne oppgaven settes solens verdi til en konstant verdi, noe som kan være gjennomsnittsstrålingen gjennom en dag eller døgn for eksempel.

Det gjøres bare forskjell på byggets nordside og sørside, da det er her det er mest vinduer, og her det er størst forskjell i solens effekt. På sørsiden er det mye sol hele dagen, mens nordsiden kun opplever skygge og liten innstråling. Men siden det ikke gjøres forskjell på nord- og sørside innvendig i hver del, brukes det kun en gjennomsnittsverdi for total solinnstråling, da vinduene er like på alle sider. Da kan varmefluksen for vinduene settes opp på følgende måte:

$$j_Q = U_{vin} A_{vin} (T_{ute} - T) + I_\alpha \cdot A_{vin} \cdot S \cdot a \quad (3.33)$$

hvor da I_α er gjennomsnitteffekten fra solen. Dette er et grovt overslag, men tar hensyn til at det er jevn temperatur inne i hver del, som i og for seg også er en forenkling. A_{vin} er nå det totale vindusarealet i den delen det modelleres.

3.2.5 Vegger og tak

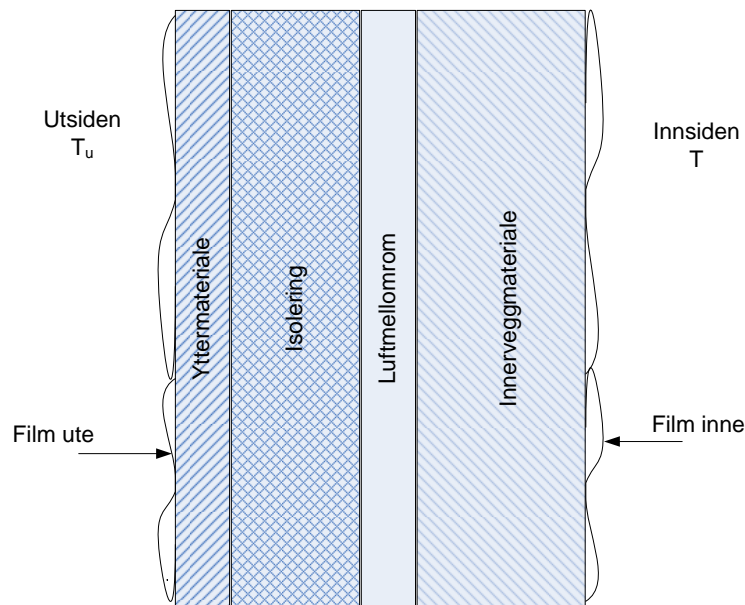
Vegger i et rom utgjør som vinduer et element som hindrer varmefluks mellom utetemperatur og innetemperatur. Ytterveggene er satt opp nettopp for å hindre at temperaturen inne blir for mye påvirket av utetemperatur. Derfor er disse veggene skikkelig isolerte. Med en god sammensetning av forskjellige kledninger, isolerende materiale og luft hindres varmefluksen i stor grad. Men noe slipper alltid gjennom, som skjer, som for vinduene, ved varmeledning, konveksjon og stråling. I og med at veggene er relativt tette og mørke, slipper ikke sollyset gjennom en vegg på samme måte som ved vinduer, og soleffekten som oppleves gjennom vinduer er ikke så tydelig i veggene. Solens effekt tas heller med i u-verdien til veggen.

U-verdien for en vegg finnes på akkurat samme måte som for et vindu, en tar og summerer de termiske motstandene for hvert materiale i veggen, og u-verdien er altså det inverse. Figur 3.3 viser en typisk vegg hvor veggen består av et materiale ytterst, så med isolering med stor termisk motstand, en luftspalte for å hindre varmeledning mellom isolasjonen og innerste del av veggen. Både på utsiden og innsiden ligger det en film med luft som også fungerer som en del av veggen, og dette må også tas med i beregningen av u-verdien til veggen. Se [1] for forståelse og utregning av u-verdi i vegg.

Som for vinduene er det ikke kjent hvordan veggene hos Prediktor ser ut, og derfor kan ikke eksakt u-verdi beregnes. Derfor brukes det en u-verdi som følger byggeforskriftenes krav, og er hentet fra [10]. Denne u-verdien er $0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$ for yttervegger når temperaturen er over 20°C inne. Ligningen for varmefluksen gjennom en vegg blir

$$j_Q = U_{vegg} A_{vegg} (T_{ute} - T) \quad (3.34)$$

hvor A_{vegg} er det samlede arealet til veggene som grenser mot uteluft. Tilsvarende modelleres varmefluksen gjennom vegger som grenser mot andre deler, da byttes T_{ute} ut med temperaturen på luften i den delen det grenses mot. På



Figur 3.3: En seksjon av en vegg bestående av flere materialer.

samme måte legges varmekraften gjennom tak til, nå med u -verdi lik $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$. Det er ikke tatt hensyn i denne oppgaven til eventuelle kuldebroer i veggene eller taket. For vegger som finnes mellom de forskjellige delene er det brukt at disse ikke er like isolerte som ytterveggene, og er da gitt en u -verdi på $0,5 \text{ W/m}^2$.

3.2.6 Personer, utstyr og belysning

I tillegg til den varmen de tekniske installasjonene leverer, og det som tapes til eller skapes av omgivelsene, genereres det varme av personer, utstyr og belysning i bygningen. Med utstyr regnes alle slags apparater som drives elektrisk i et typisk kontorbygg, som pc'er, skrivere, scannere og lignende. Ved første tanke kan det virke som ubetydelige bidrag, men ved nærmere ettersyn viser det seg at mengden av de nevnte komponentene utgjør en god del av varmetilførselen.

Et menneske produserer ca 1000 Watt ved konveksjon, men mottar ca 900 Watt fra omgivelsene. Netto varmeproduksjon av ett menneske er altså da 100 Watt, [10]. Med 60 personer i bygget gjør dette 6000 Watt, som kan legges direkte til i energibalansen. Videre brukes det at i et kontorbygg i snitt genereres varme av utstyr med 7 W/m^2 , mens belysning genererer 8 W/m^2 , [8]. Med store areal blir også disse bidragene betydningsfulle.

Med denne energien lagt til i energibalansen, er de viktigste faktorene tatt hånd om, og en modell er klar til å implementeres i MATLAB.

3.2.7 Tekniske installasjoner

Som det tidligere har blitt nevnt, har ikke modellering av selve de tekniske komponentene blitt gjort. Dette kommer av at dette er nokså kompliserte prosesser i seg selv, og krever mye kunnskap og tid. Ettersom det viktigste i første omgang er å kunne modellere hvordan temperaturen inne i bygget endrer seg som funksjon av diverse faktorer, har dette blitt prioritert. Dermed er det sagt at de tekniske installasjonene leverer konstante verdier. I et videre arbeid vil det være naturlig å se mer på modelleringen av de tekniske installasjonene, slik at et styresystem etter hvert kan dannes.

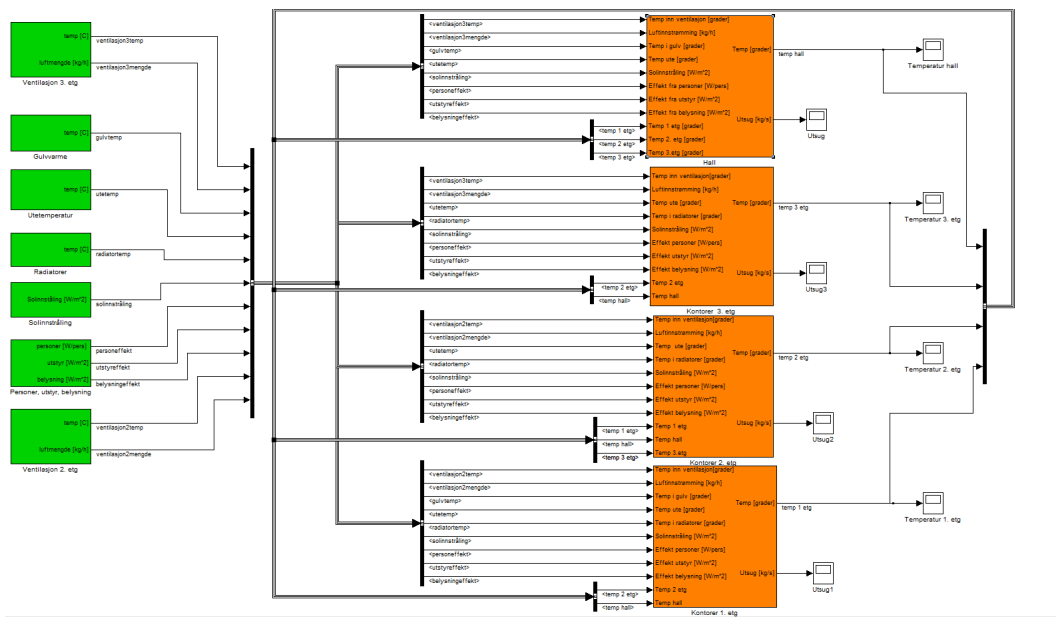
3.3 Klimaanlegget i SIMULINK

For å kunne se og forstå det man har modellert teoretisk, er det en god idé å simulere modellene over en viss tidsperiode. MATLAB er et kraftig matematisk verktøy som lar en simulere matematiske ligninger over en periode på svært kort tid på en Pc. MATLAB er spesielt godt tilpasset til dette bruket ved å bruke SIMULINK. Dette er en del av MATLAB, og lar brukeren sette opp matematiske ligninger ved bruk av blokker, slik at intuitive blokkdiagrammer kan beskrive modellene. Dette gjør at det er lettere for en bruker å få oversikt over systemet, og spesielt dersom det er et litt stort system. Det er med et SIMULINK diagram enkelt å se avhengigheter, og noe av det mest praktiske er å kunne lage undersystemer for enkelte deler av modellen, slik at en ikke mister oversikten så fort.

3.3.1 Blokkdiagrammer

For å simulere de matematiske ligningene presentert i modelleringsdelen, 3.2, er SIMULINK/MATLAB benyttet. Figur 3.4 viser oversiktsbildet over hele systemet som er implementert. Der kan man se at bygget er delt opp i fire deler i henhold til avsnitt 3.1, med en glasshall og tre kontordeler delt opp etter etasje. Hver del beskrives for seg selv, og blir påtrykket de effekter som hører til hver del, for eksempel er det bare glasshallen og kontorene i første etasje som er koblet til gulvvarmen. De påtrykte effektene vises i de grønne boksene helt til venstre i figuren. For tiden viser de kun konstante verdier, men disse boksene er laget for at det skal gå an å beskrive hver komponent på en mer avansert måte. For eksempel kan det modelleres at solen har en høyere verdi midt på dagen i forhold til midt på natten.

Det er svært mange signaler som er tilgjengelige, og ikke alle skal kobles til hver boks. Dermed er det benyttet busser, slik at alle påtrykte effekter samles i en buss, se figur 3.5, og så velges det ved hver bygningsdel hvilke av signalene

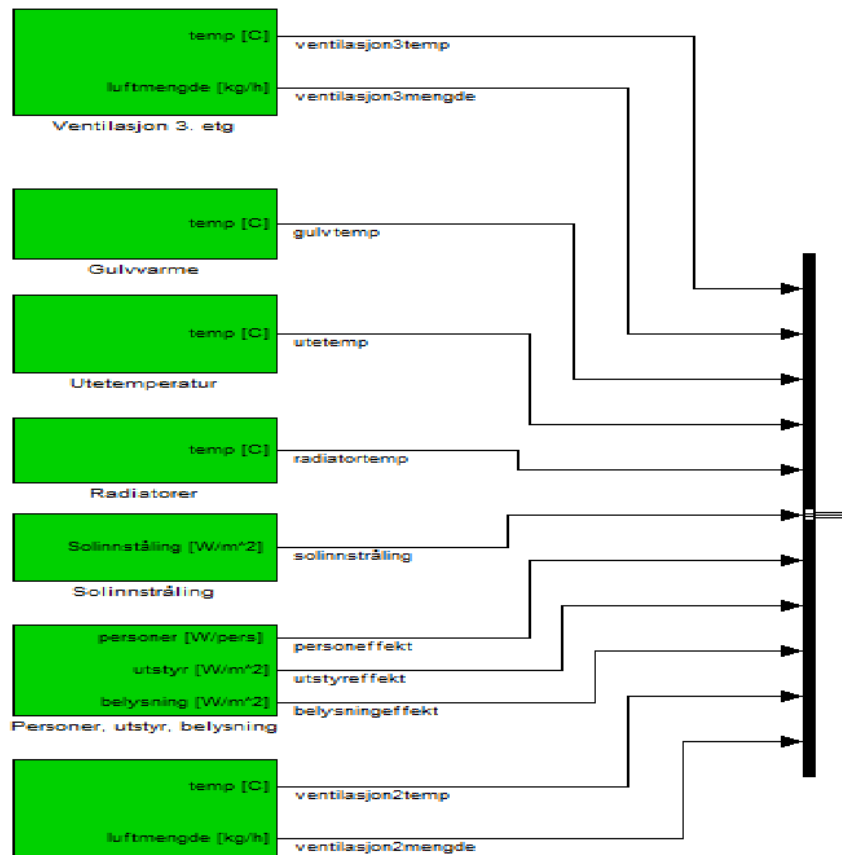


Figur 3.4: Oversiktsbilde over hele systemet i SIMULINK. De grønne boksene utgjør de effektene som påtrykkes bygget. De oransje boksene viser del for del av bygget, med glasshallen øverst, og så de tre etasjene under, fra tredje til første nederst. Det er benyttet busser for å holde styr på alle de forskjellige signalene

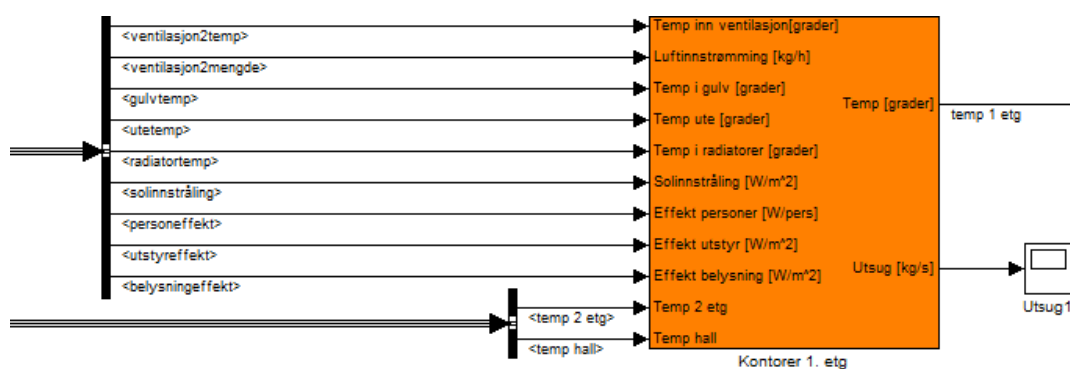
på bussen som skal påtrykkes på den aktuelle delen. På samme måte er det gjort med temperaturene som regnes ut i hver del. Dette er utgangen av hver del, og disse samles i en ny buss, og så velges det hvilke temperaturer som skal ha noe å si for de andre delene. For eksempel påvirkes kontorene i 1. etasje kun av temperaturen i glasshallen og av temperaturen i kontorene i 2. etasje. Et eksempel på dette og alle effektene som påvirker kontorene i 1. etasje er vist i figur 3.6. På samme måte er det gjort for alle bygningsdelene, og hver del kobles til de parametrene som utgjør en del av energibalansen i den respektive delen. Hvordan disse parametrene brukes inne i hver blokk kan observeres ved å gå inn i den enkelte blokken.

De forskjellige bygningsdelene er alle bygget opp på samme måte, og de eneste forskjellene er hvilke effekter som påvirker den spesifikke delen, og hvilke verdier på konstanter som benyttes, som at arealer av vinduer, vegger gulv og lignende ikke er likt i alle deler og så videre. Derfor brukes bare en del som eksempel i denne forklaringen av oppbygningen. I dette tilfellet fortsettes det med å bruke kontorene i 1. etasje som eksempel.

I figur 3.7 ser man hvordan energibalansen ser ut som blokkdiagram. Det er tydelig at det er et komplekst system med mange parametre som påvirker temperaturen, men hvert enkelt ledd er allikevel ikke så komplekst, jamfør avsnitt 3.2. De grønne boksene til venstre i figuren er inngangene til systemet, hvor

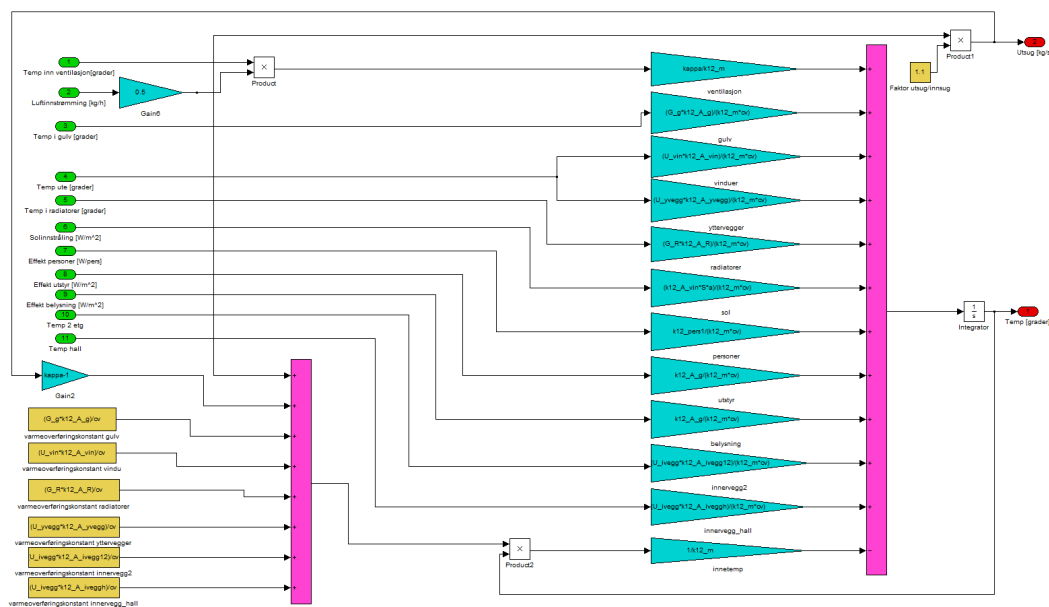


Figur 3.5: Nærbilde av de påtrykte effektene, og hvordan signalene samles i en buss.



Figur 3.6: Nærbilde av hvordan de spesifikke signalene hentes fra bussene, og kobles til kontorer 1. etasje -blokken. I selve blokken ser man alle parameterne som påvirker kontorene i 1. etasje.

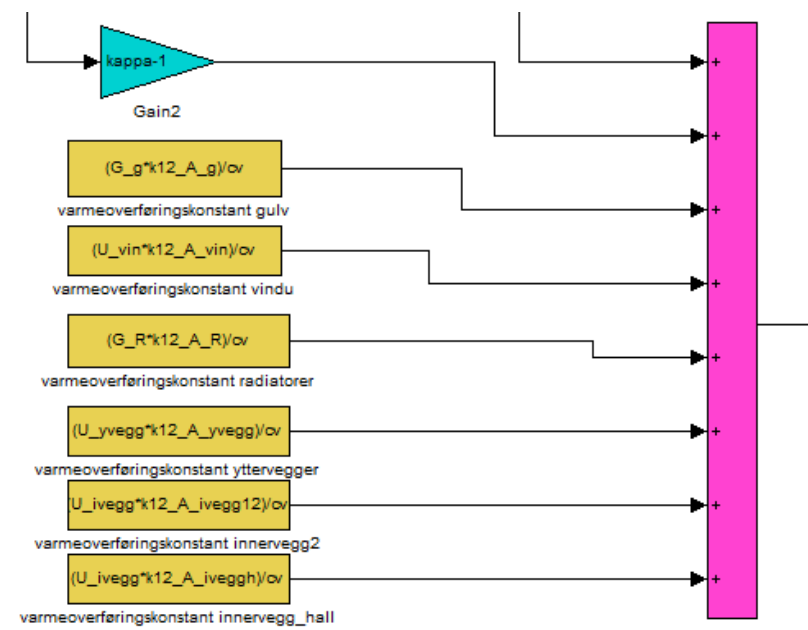
de utvalgte effektene fra bussene som tidligere omtalt kommer inn i systemet. Denne delen av bygget er påvirket av ventilasjonsanleggets luftmengde og temperatur, og temperaturene i gulvet, ute, radiatorene, glasshallen og kontorene i 2. etasje. I tillegg kommer varmen tilført av solen, menneskene i 1. etasje, utstyret og belysningen. Alle temperaturene som kommer inn i systemet påvirker temperaturen i rommet i samhandling med denne temperaturen. Det er dette som tas hensyn til med de gule boksene nederst til venstre. Innholdet i disse boksene kan sees i figur 3.8. Disse verdiene legges sammen og ganges med temperaturen i rommet, som igjen trekkes fra den energien som skapes. Slik tas det hensyn til temperaturforskjellene mellom romtemperaturen og eksterne temperaturer.



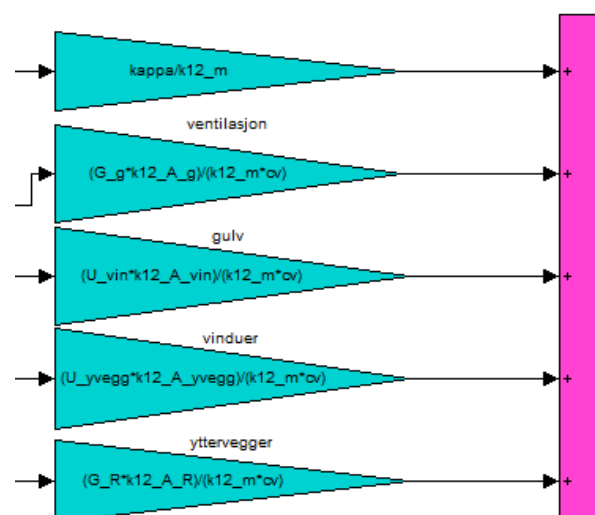
Figur 3.7: Oversiktsbilde over hvordan energibalansen for kontorene i 1. etasje er implementert i SIMULINK.

Samlingen med de blå trekantene i figur 3.7 er den delen av ligningene som regner ut hvor mye hver parameter har å legge til i temperaturbalansen. Figur 3.9 viser et utsnitt av disse bidragene. Ved å legge sammen alle bidragene får man den totale energibalansen, uttrykt ved temperaturendring. Dermed er den totale temperaturendringen beskrevet, og ved å integrere dette får man temperaturen på det spesifikke tidspunktet. Ved integrering over en tidsperiode er det mulig å se hvordan temperaturen i hver del endrer seg.

Det som er beskrevet i de siste avsnittene gjelder for kontorene i 1. etasje, men de andre delene av bygget er beskrevet på akkurat samme måte med de parametere som gjelder for den aktuelle delen. På denne måten får man oversikt over alle delene i bygget med hver sin temperatur. Slik systemet er laget er det modulært, det vil si at hver blokk i figur 3.4 kan endres uten å ødelegge



Figur 3.8: Detaljer av konstantene som ganges med innetemperaturen for å få med temperaturforskjellene.



Figur 3.9: Et detaljert utsnitt av konstantene som ganges med påtrykte signaler, før de summeres til å danne temperaturendringen.

resten av systemet, så lenge man følger konvensjonene og enhetene. Med et slikt system kan både enkle og mer avanserte reguleringsprinsipper testes på systemet. Dette vil da bli en sløyfe utenfor det som er vist i denne delen. Som nevnt er det ikke modellert noe i de grønne boksene, altså komponentene som påvirker bygget. Det kan med fordel tas hensyn til treghet i oppvarmingen av gulvet, og reguleringen som gjøres i ventilasjonsaggregatene. Slik det er nå antas det at en endring i en av disse komponentene skjer umiddelbart, noe som er en forenkling av virkeligheten. Leseren oppfordres til å gå inn i blokkdiagrammene for å få en mer forståelse av hvordan systemet er bygget opp.

3.3.2 Simuleringer

Med arbeidet gjort i avsnitt 3.3.1 er det nå mulig å simulere hvordan temperaturene i de forskjellige delene endrer seg med tiden. Før en simulering må det defineres mange parametere, som størrelser på forskjellige arealer, u-verdier og egenskaper for luft. Det må også settes hvor mange mennesker det er forventet at det er i hver del i det tidsrommet det er ønsket å simulere. Dette gjøres i filen *run.m*, som både fungerer som oppstartsrutine, kjøring av simulatoren og tegning av grafer. Leseren oppfordres til å ta i bruk MATLAB/SIMULINK og kjøre *run.m*, og endre verdier for å se endringer i grafene. Selve verdiene på de påtrykte effektene gjøres i blokkdiagrammene i SIMULINK ved å gå inn i hver effektblokk. Der kan temperatur eller effekt endres på den gitte parameter. En endring her vil utgjøre en forskjell på de resulterende grafene. Her følger den delen av m-filen som setter opp de forskjellige verdiene som brukes i utregningene i SIMULINK:

```
%Generelle data for hele bygget
cp=1005/3600;      %spesifikk varmekapasitet til luft ved konst volum
cv=718/3600;      %spesifikk varmekapasitet til luft ved konst trykk
kappa=cv/cp;      %forholdet mellom cv og cp
rho_luft=1.2041;   %tettheten til luft ved normal romtemperatur
G_g=0;            %overgangstall for varme fra gulv til luft
G_R=0;            %overgangstall for varme mellom radiator og luft
U_vin=1.4;        %u-verdien til vinduene
U_yvegg=0.22;     %u-verdien til yttervegger
U_ivegg=0.5;      %u-verdien til innervegger
U_tak=0.15;       %u-verdien til tak
S=0.26;          %vinduenes solfaktor
a=0.6;           %avskjermingsfaktor

%Data for hall
hall_A_g=300;      %areal gulv
hall_A_vin=260;    %areal vinduer
hall_A_yvegg=72;   %areal yttervegger
```

```

hall_A_ivegg1=45;           %areal innervegg til 1. etg
hall_A_ivegg2=45;           %areal innervegg til 2. etg
hall_A_ivegg3=250;          %areal innervegg(tak) til 3.etg
hall_A_pc=5;                %areal hvor det er utstyr
hall_h=6;                   %høyde
hall_pers=5;                %antall personer
hall_V=hall_A_g*hall_h;     %totale luftvolum
hall_m=rho_luft*hall_V;     %totale luftmassen

%Data for kontorer i 1. og 2. etg
k12_A_g=600;                %areal gulv
k12_A_vin=150;              %areal vinduer
k12_A_yvegg=140;            %areal yttervegger
k12_A_ivegg12=600;          %areal innervegg(tak/gulv) 1 og 2 etg
k12_A_ivegg3=500;           %areal innervegg(tak) til 3.etg
k12_A_iveggh=45;            %areal innervegg til hall
k12_h=3;                    %høyde
k12_pers1=20;               %antall personer i 1. etg
k12_pers2=25;               %antall personer i 2.etg
k12_V=k12_A_g*k12_h;        %totale volum
k12_m=rho_luft*k12_V;       %totale luftmasse
k12_A_R=32;                 %totalt radiatorareal

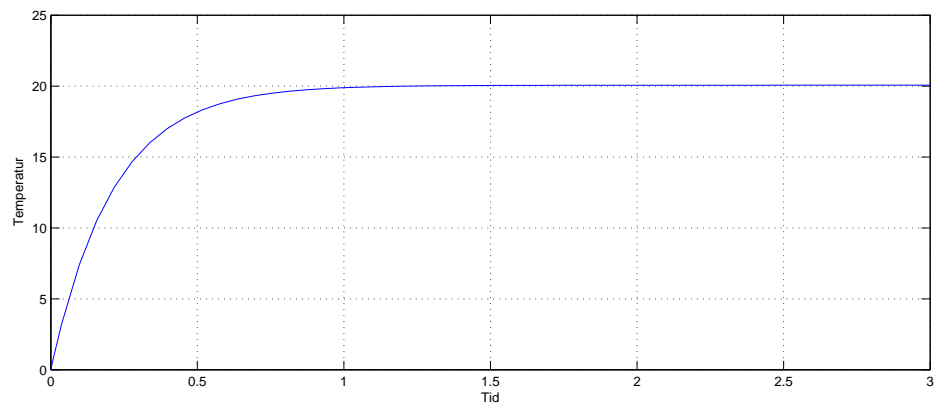
%Data for kontorer i 3.etg
k3_A_g=600;                 %areal gulv
k3_A_vin=200;               %areal vinduer
k3_A_yvegg=200;             %areal yttervegger
k3_A_ivegg2=500;            %areal innervegg(gulv) til 2.etg
k3_A_iveggh=250;            %areal innervegg(gulv) til hall
k3_A_tak=600;               %areal tak
k3_h=3;                     %høyde
k3_pers=15;                 %antall personer
k3_V=k3_A_g*k3_h;           %totale volum
k3_m=rho_luft*k3_V;         %totale luftmasse
k3_A_R=40;                  %totalt radiatorareal

```

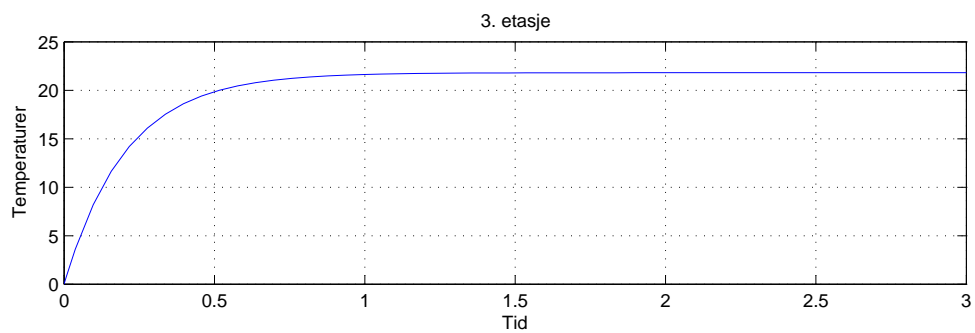
Det kan bemerkes at kontorene i 1. og 2. etasje har samme parametere, da disse to delene er svært like i utforming. Eneste forskjell er at det er brukt at det er flere personer i 2. etasje enn det er i 1. etasje.

Med de verdiene som er gitt i *run.m* er det blitt kjørt en simulering for en periode på tre timer. Temperaturen i bygget ved start av simuleringen er satt til 0 grader Celsius. Det har videre blitt brukt at ventilasjonsanleggene blåser inn 9720 kg med luft hver time, hvor temperaturen holder 10 grader. Gulvtemperaturen og radiatorene er satt til ikke å ha noen virkning, da utetemperaturen er satt til 20 grader. I tillegg sender sola en snitteffekt på 350 Watt per kvadratmeter, og effekt fra personer, utstyr og belysning er satt i henhold til avsnitt 3.2.6. Disse innstillingene gir resultatene vist i figur 3.10.

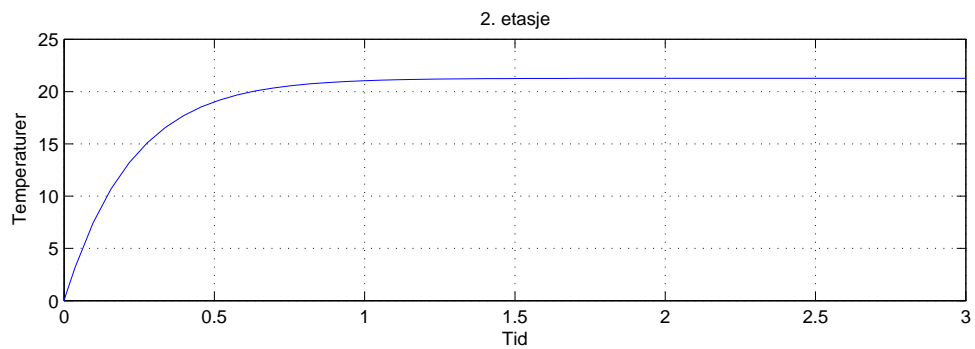
Flere resultater og kommentarer av disse vil bli presentert i analysedelen i kapittel 5. Der vil også de teoretiske resultatene bli vurdert opp mot data som er målt i bygget, slik at en vurdering av modellens troverdighet kan gis.



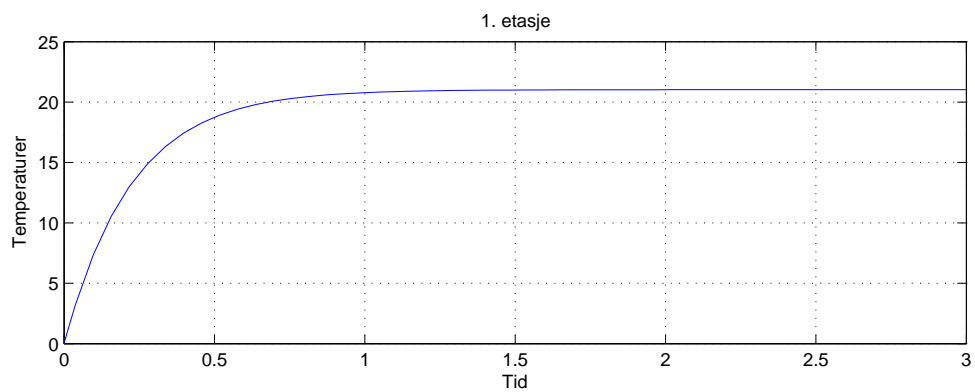
(a) Glasshallen



(b) Kontorene i 3. etasje



(c) Kontorene i 2. etasje



(d) Kontorene i 1. etasje

Figur 3.10: Temperaturendringene i bygget. Starttemperaturen er satt til null grader, og simuleringstiden er tre timer.

Kapittel 4

Datainnsamling

For å kunne forstå prosessen man jobber med, er det helt nødvendig å kunne samle inn en del viktige data. Dette gjøres for å få en oversikt over hvordan forskjellige faktorer faktisk påvirker prosessen, som siden kan sammenlignes med den teoretiske modellen som er blitt laget. For å kunne foreta den ønskede datainnsamlingen, må det implementeres sensorer som kan måle dataene, og det må være mulig å få tak i disse dataene på en tilfredsstillende måte, slik at man kan få en oversikt på en datamaskin.

I dette kapitlet presenteres det hvilke data som måles, hvordan disse måles og hvordan det er mulig å aksessere disse dataene. Det gis også en generell beskrivelse av APIS som plattform for innsamling av dataene og visuell presentasjon i form av trender og ASCII verdier.

Til slutt i dette kapitlet vil noen måleserier bli presentert og kommentert, noe som gir en større forståelse av hvordan forskjellige faktorer påvirker klimaanleggstylingen.

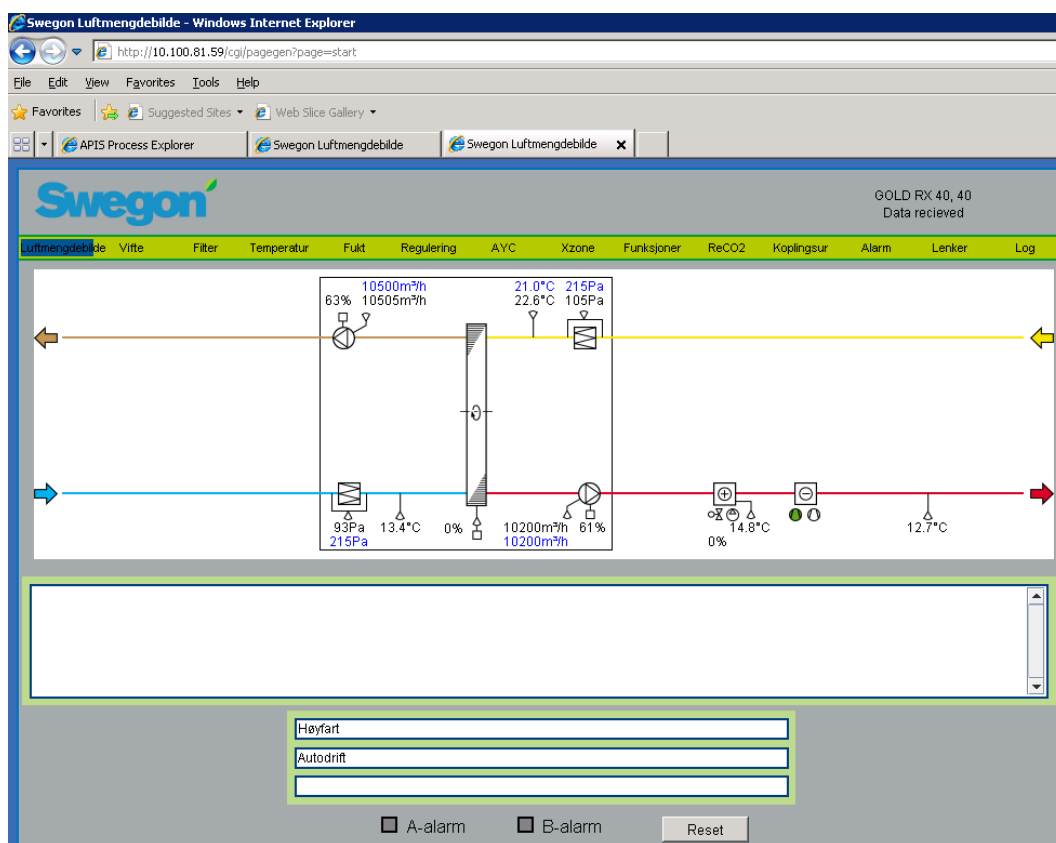
4.1 Måleutstyr

Som nevnt er det nødvendig med flere sensorer i Prediktors bygg, for på den måten kunne måle essensielle data som temperaturer, aktuelle aktuatorer, været og forbruk av energi. Fra før eksisterer det en del sensorer gjennom det utstyret som allerede er implementert, men enkelte andre ønskelige data kan ikke måles med det som finnes fra før. Derfor er det også nødvendig å implementere nye sensorer i bygget, slik at den totale oversikten kan finnes. Det er også et stort poeng å kunne kommunisere med de aktuelle sensorene og aktuatorene, slik at data kan leses og skrives fra en PC.

4.1.1 Eksisterende sensorer

Ved oppstart av dette arbeidet finnes det allerede en god del utstyr som kan nyttiggjøres. Ved presentasjonen av hva som allerede eksisterer, er det da naturlig å starte med ventilasjonsanlegget produsert av Swegon, som utgjør den største delen av Prediktors totale klimaanlegg.

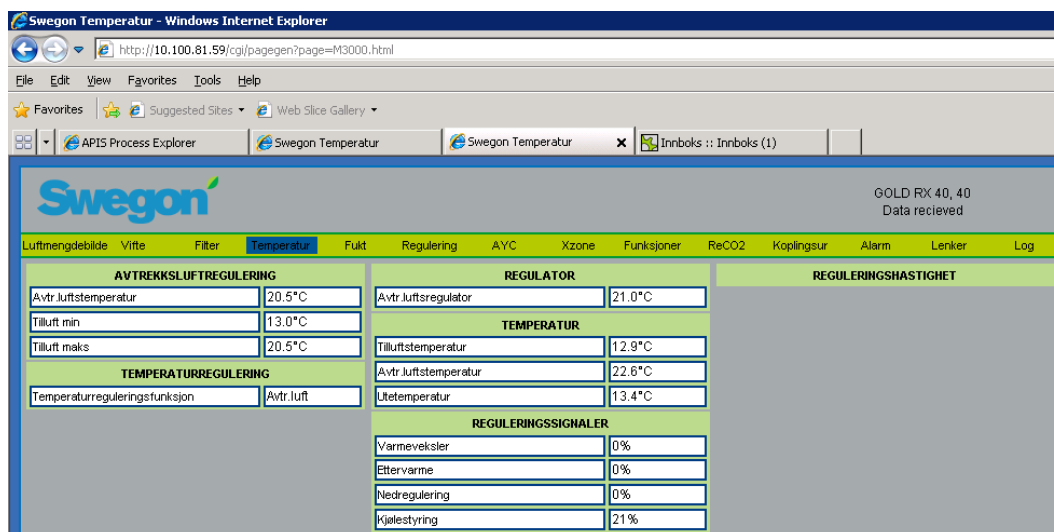
Swegon ventilasjonsanlegg er et avansert system med mange sensorer og aktuatorer, og det er implementert mye software, slik at det er enkelt for en bruker å bruke systemet. Les mer i avsnitt 2.2.1 for beskrivelse av virkemåte. Ventilasjonsanlegget er lagt opp slik at man kan aksessere systemet ved å logge seg på med en IP adresse via det lokale nettverket. Da får man tilgang til programmet laget av Swegon, med mulighet til å lese av data, og eventuelt skrive data dersom en er pålogget som administrator. Dette programmet viser status og diverse målinger i forbindelse med ventilasjonsanlegget, og viser dette med tall, men det er også en grafisk framstilling av ventilasjonsanlegget, med et utvalg av målinger og settpunkt, se figur 4.1 og figur 4.2 for eksempler.



Figur 4.1: Oversiktsbilde over ventilasjonsanlegget i 3. etasje. Tilsvarende skjermbilde for ventilasjon i 2. etasje. Denne siden oppdaterer seg kontinuerlig med de nyeste målinger.

Fra figur 4.1 ser man at det finnes målinger av utetemperatur, temper-

atur på luften som blåses inn i bygget og temperatur på avtrekksluften. Det finnes også målinger på hvor mye varmeveksleren brukes, luftmengde inn og ut av bygget og trykk over viftene. Som nevnt har disse Swegon anleggene svært mange sensorer tilgjengelig, noe som gjør instrumenteringsarbeidet lettere. Oversikt over hva som kan måles finnes i [23].



Figur 4.2: Eksempel på skjermbilde i Swegons program, i dette tilfellet målinger og settinger som omhandler temperatur

Det finnes også noen måleinstrumenter i fjernvarmeanlegget, som sørger for målinger av temperatur av tur- og returvannet fra fjernvarmeanlegget, strømningsmengde av dette vannet, og tilhørende energiforbruk. Disse dataene er i utgangspunktet kun tilgjengelig via en liten skjerm påmontert på anlegget, men som kan lastes trådløst ned av eierne av fjernvarmeanlegget for å kartlegge energibruken. I tillegg finnes det noe instrumentering i golvvarmeanlegget, slik at regulering av golvvarmen er mulig. Disse dataene er ikke direkte tilgjengelig for brukere.

4.1.2 Nye sensorer

For å få en bedre oversikt over hva som foregår i bygget, har det vist seg nødvendig å implementere noen flere sensorer. Ventilasjonsanlegget med sine sensorer er nok for luftsituasjonen, men det som foregår i golvvarmeanlegget trenger å overvåkes, både for en oversikt over hvor mye energi som brukes i gulvet, men også for å hjelpe modelleringen av oppvarming av gulvet. I tillegg er det ønskelig å implementere sensorer for å få oversikt over hvor mye energi som brukes i radiatorene. Hvor mye energi som brukes i form av fjernvarmeanlegget i ventilasjonsanlegget må også måles. Og selvfølgelig det totale forbruket av energi fra fjernvarmeanlegget fra Prediktors side. Videre er det ønskelig å kunne

måle enkelte parametere i været, da det ikke er mulig å få en høy nok oppløsning på data fra værmeldingene på *yr.no*. Det siste forklares nærmere i avsnitt 4.1.3

Varmtvann

Som nevnt er det svært interessant å kunne måle energibruket i form av fjernvarme i gulv, radiatorer og ventilasjonsanlegg. Å måle energibruk direkte er ikke så lett, men ved å måle temperaturen i tur- og returvannet til hvert enkelt delsystem, er temperaturfallet et mål på hvor mye energi som er gått med på å varme opp omgivelsene. Med dette som grunnlag er det blitt implementert temperaturfølere i alle rør med varmt vann som strømmer rundt i bygget for oppvarming. For å unngå at det blir noe varmetap i det området hvor temperaturføleren sitter, er det blitt isolert rundt hver føler med glava isolasjon, se figur 4.3. Dette gir en mer stabil og troverdig måling av temperaturen på vannet. Avlesing av disse dataene gjøres med en Phoenix Contact PLS.



(a) Isolering av følere på rørene til radiatorene.



(b) Isolering av følere på hovedrørene

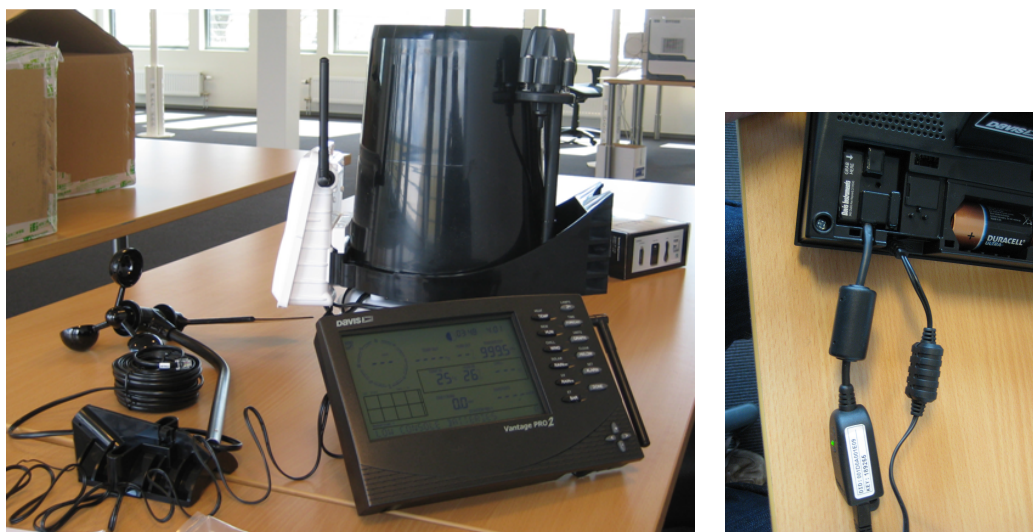
Figur 4.3: Eksempler på hvordan det er isolert rundt følere for å beskytte temperaturmålingene for målestøy.

Værstasjon

Noe av det største problemet med temperaturregulering i et bygg er de ytre påvirkningene som temperatur, vindstyrke, vindretning og ikke minst innstråling fra solen. For å kunne ta hensyn til dette i reguleringen av byggtemperaturen, er det nødvendig å ha noen målinger som sier noe om vær situasjonen. Opprinnelig var det et ønske at dette kunne gjøres kun basert på de data som *yr.no*

tilbyr alle gratis, men oppløsningen på disse dataene var for dårlig til at de kunne brukes alene, se mer om dette i avsnitt 4.1.3. Dermed var det ønskelig å kjøpe inn en værstasjon som kan måle diverse parametere, og de viktigste av disse er vindstyrke, vindretning og solinnstråling, da det allerede er mulig å måle utetemperaturen ved hjelp av ventilasjonsanlegget.

Etter en studie av muligheter på nett, falt valget på en *Davis Vantage Pro 2 Plus*, levert av Wewind AS. Dette er en værstasjon som måler alle de ønskede parameterne, i tillegg til mange andre data. Stasjonen består av en ISS (Integrated Sensor Suite) som er samlingen med sensorer som måler været ute, en konsoll til å ta imot dataene fra ISS'en og vise dataene på skjerm, og en WeatherLinkIP Logger som henter dataene fra konsollen, lagrer de for en periode og gjør de tilgjengelig på ethernet.



(a) Oversiktsbilde av værstasjonen. I front står konsollen (b) WeatherLinkIP datalogger som tar imot data fra ISS'en, til venstre ligger vindmåleren, ger koblet til konsollen for å mens bak står kjerneenheten til ISS'en med påmontert få dataene på ethernet. solinnstrålingsensor på toppen og SIM (hvit med antenne).

Figur 4.4: Oversikt over det som utgjør hele værstasjonen. Til venstre er konsollen og ISS'en vist, mens til høyre ser man dataloggeren som gjør dataene tilgjengelige for brukeren.

ISS'en består av en kjerneenhet som er rammeverket for værstasjonen, eksterne sensorer som kan kobles til kjerneenheten, samt en Sensor Interface Module (SIM), [2], [7]. Kjerneenheten ser utenfra ut som en stor bøtte, stående på en belg. Denne enheten inneholder sensorer som måler nedbør, temperatur, fuktighet og trykk. Bøtta brukes for å fange opp nedbør, mens belgen er en beskyttelsesbelg, slik at temperatur- og fuktighetsmålinger ikke skal påvirkes av materiell varmestråling, samt stråling fra solen. Andre måleinstrumenter kan festes til denne kjerneenheten. Måling av solinnstråling og UV-stråling gjøres med to separate sensorer, som festes på selve kjerneenheten, mens vind-

måleren kan monteres fritt fra kjerneenheten, da det følger med en 12,2 meter lang kabel. For oppkobling av ISS, se [2].

Til sist sitter SIM'en på selve kjerneenheten, se figur 4.5. Denne modulen er 'hjernen' til ISS'en, og alle sensorkontakter samles her, [2]. Modulens oppgave er å jevnlig hente værdata fra de forskjellige sensorene på ISS'en, og sende dem til konsollen via radioen. Senderen i SIM'en og mottageren i konsollen kommuniserer ved hjelp av CE godkjent lisensfri spredt spektrum frekvenshopping (FHSS), [7]. I Europa sendes dette i frekvensområdet 868.0 - 868.6 MHz. Det finnes mulighet for åtte unike ID koder, slik at hver konsoll kan hente data fra åtte forskjellige sendere. Med bruk av FHSS oppnås sikrere kommunikasjon over større lengder, noe som gjør at SIM og konsoll kan ha en avstand på opp til 300 meter i fri luft, mens avstanden kan være opptil 60 - 120 meter dersom det er vegger imellom. SIM'en får strøm fra et solcellepanel, samt et Lithium batteri dersom det ikke er nok sol til å drive stasjonen. Uten sollys kan dette batteriet drive stasjonen i åtte måneder.

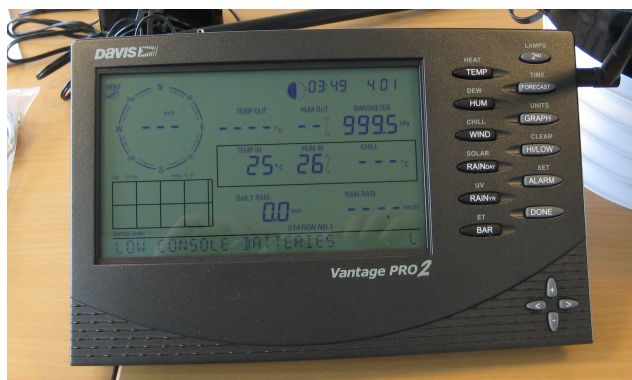


(a) SIM påmontert kjerneenheten til ISS. (b) Innsiden av SIM, hvor alle sensorer kobles til.

Figur 4.5: Utsiden og innsiden av SIM. Denne modulen er festet på selve kjerneenheten til ISS'en, og drives av solpanel. SIM'en samler alle sensordata og sender de til konsollen via radiosender.

Til å ta imot alle dataene som sendes fra ISS'en brukes konsollen, se figur 4.6. Med radiomottageren får den tilgang til alle data, og viser disse enten direkte på skjermen, eller bruker de til å beregne en verdi som er forståelig for brukeren. Kombinasjoner av værdata gjøres om til nye data, og basert på

hvordan været har vært den siste tiden, forsøker konsollen å varsle hvordan været kommer til å bli i løpet av de neste tolv timene. Inne i selve konsollen sitter det også en temperaturmåler og en fuktighetsmåler, slik at det er mulig å se forskjell på ute- og inneverdier. Det finnes svært mange innstillinger på konsollen, for full oversikt over dette henstilles leseren til å se i manualen for konsollen [4]. Ved å legge inn lengdegrad og breddegrad til det stedet konsollen skal stå, får man klokkeslettet for soloppgang og solnedgang, og ved å legge inn høyden konsollen står på, kan det riktige barometriske trykket regnes ut. Konsollen har også mulighet til å sette flere alarmer alt etter brukers innstillinger. Konsollen kan tas med rundt i bygget og kan drives kun av batteriene, men det er anbefalt at strømforsyning fra el-nettet brukes ved bruk av WeatherLinkIP. Ved dette bruket er det også anbefalt å koble WeatherLinkIP dataloggeren til ethernet med en statisk IP adresse. Dette er nødvendig for at lesing av konsollen fra en PC skal være enklest og kjappest mulig, noe som gjør at konsollen bør stå på samme sted til enhver tid dersom den skal kobles til ethernet.



Figur 4.6: Davis Vantage Pro2 Plus konsollen.

Som nevnt tidligere er det mulig å få tak i alle data fra konsollen via WeatherLinkIP datalogger, se figur 4.4(b). Denne dataloggeren henter dataene fra konsollen, lagrer de over en periode, og gjør disse dataene tilgjengelig på ethernet. En beskrivelse av dette finnes i spesifikasjonen til WeatherLinkIP, [5]. Dataloggeren kobles fysisk til konsollen og til en ethernetport. En slik datalogger brukes for to muligheter; å få dataene tilgjengelig på PC, og tilgjengelig på nettsidene til WeatherLink.

For å få dataene tilgjengelig på en PC kreves det at det er et program som tar imot datastrømmen som kommer fra ethernet. WeatherLink leverer med dataloggeren software som tolker datastrømmen som kommer, og setter opp forskjellige bilder for å kunne se dataene på ulike hensiktsmessige måter. Figur 4.7 viser noen eksempler på hvordan dette ser ut. Oppsettet av denne softwaren vises i manualen, [6]. Det som er viktig å få med seg for å få WeatherLink softwaren til å kommunisere med dataloggeren, er at dataloggeren må være koblet til en ethernet port med statisk IP adresse. Dette fordi IP adressen må angis manuelt i oppsettet av WeatherLink software. WeatherLink programmet

er installert på den samme virtuelle PC'en som APIS kjører på, se avsnitt 4.3.2. For å kunne få tak i dataene uten bruk av det kommersielle programmet, se avsnitt 4.2.

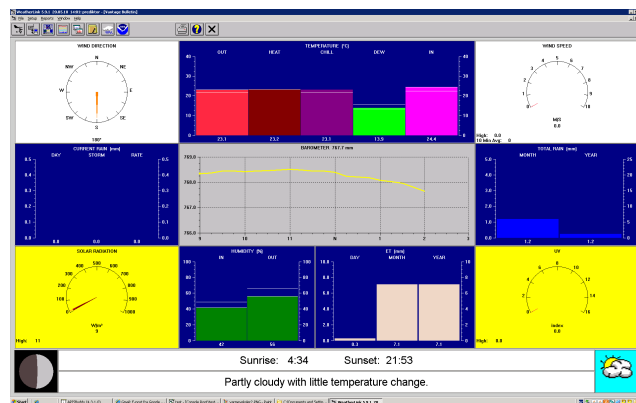
Den andre muligheten er å vise værdataene på internett. Dette er 'plug and play', det vil si at idet dataloggeren er koblet til konsollen og ethernet, er det mulig å få værdata presentert på internett uten noe mer konfigurasjon. Det eneste som er nødvendig er å registrere en brukerprofil på <http://www.weatherlink.com>, hvor DID (Device ID) og nøkkelen som finnes på dataloggeren må legges inn for identifikasjon. Fra da av kan alle som vil gå inn på <http://www.weatherlink.com/user/prediktor> for å se værdataene fra værstasjonen plassert hos Prediktor. I figur 4.8 kan man se de to bildene som er tilgjengelig på nettsidene til WeatherLink. Dataene lagres på webservere satt opp av Davis Instruments, hvor det er stor lagringsplass. Dette er en fordel dersom man benytter seg av WeatherLink programmet til å laste ned data fra disse serverne. Data fra serverne kan også brukes til opplasting av værdata til enkelte værprogrammer som CWOP (<http://www.wxqa.com>) og Globe (<http://www.globe.gov>).

Ved hjelp av den nye værstasjonen kan man altså få god oversikt over været på stedet, og dette er data som kommer mye kjappere enn det som kommer fra *yr.no*, og disse dataene er også mye mer nøyaktig. Ved å ha en oversikt over hvordan været er i nåtid, kan man bruke dette i reguleringssystemet, og ta hensyn til vind, sol og temperatur. Ved å kombinere dette med data som kommer fra *yr.no* kan man også danne seg et bilde hvordan været er i ferd med å forandre seg, noe som også kan brukes til langtidsreguleringen. I avsnitt 4.2 er det beskrevet hvordan det er mulig å hente dataene fra dataloggeren uten bruk av kommersiell software.

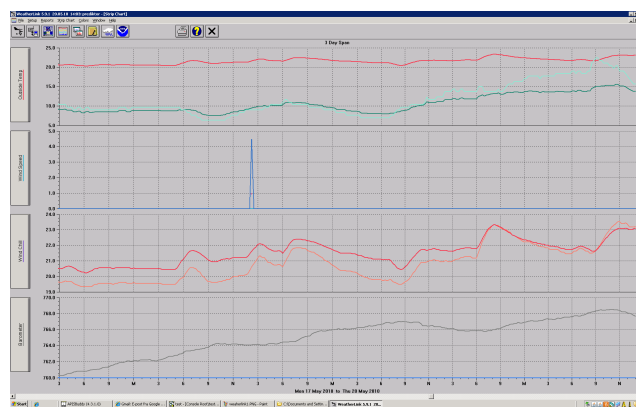
4.1.3 Bruk av *yr.no*

For å kunne la temperaturen i et bygg være jevn og stabil over lengre perioder, er det veldig nyttig å vite hvordan været vil utvikle seg i framtiden. Ved å vite noe om framtidige temperaturer, vinder og solinnstrålinger kan effekten forskjellig vær utgjør på bygget motvirkes. Når man også får en indikasjon på når væromslag kommer, gir dette en mulighet til å kunne regne ut optimal oppvarming eller nedkjøling i forkant av et slikt værphenomen. Slike framtidige værdata er tilgjengelig via *yr.no*.

yr.no er en nettside med værmelding for mer enn 7 millioner steder i hele verden. Disse sidene er et samarbeid mellom NRK og Meteorologisk institutt, som gir værvarsel for mange steder over forskjellige perioder. Det er mulig å finne værvarselet for over 700.000 steder i Norge. Disse værvarslene er basert på måledata fra mange forskjellige værstasjoner rundt om i landet, og avanserte



(a) Grafisk visning.



(b) Utvalgte trender

	Units	Current	Today's Highs		Today's Lows	
Inside Temp	[°C]	24.4	24.4	12:18	22.4	7:51
Outside Temp	[°C]	23.2	23.2	14:03	21.6	8:26
Inside Heat Index	[°C]	24.1				
Heat Index	[°C]	23.3	23.3	10:43		
THW Index	[°C]	23.3				
Wind Chill	[°C]	23.2			21.7	3:38
Inside Hum	[%]	42	49	8:35	42	13:49
Outside Hum	[%]	56	66	8:45	56	13:38
Inside Dew Point	[°C]	10.7				
Dew Point	[°C]	13.9	15.6	9:52	13.3	0:00
Wind Speed	[m/s]	0.0	0.0	----		
10 Min Avg Speed	[m/s]	0.0				
Wind Direction		180	S			
Barometer	[mm]	767.7	768.5	10:45	766.9	0:01
Bar Trend		Falling Slowly				
Rain Rate	[mm/hr]	0.0	0.0	----		
Solar Rad	[W/m²]	9	11	12:03		
UV	[index]	0.0	0.0	----		

		1 min	2 min	5 min	10 min
Avg Wind Speed	[m/s]	0.0	0.0	---	---
High Wind Speed	[m/s]	0.0	0.0	---	---

		Daily	Storm	Month	Year	1 Hour	24 Hours
Rain	[mm]	0.0	0.0	1.2	1.2	0.0	0.0
ET	[mm]	0.3		7.1	7.1		

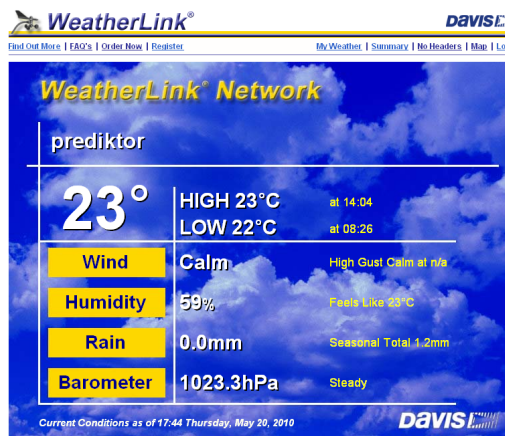
Sunrise: 4:34 Sunset: 21:53 Moon Phase: First Quarter

Console Message:

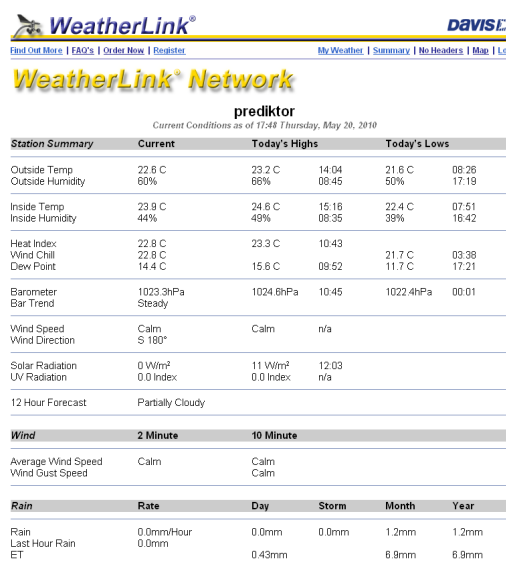
Forecast: Partly cloudy with little temperature change.

(c) Oversikt med tallverdier

Figur 4.7: Eksempler på skjermbilder det er mulig å få av WeatherLink, som gir brukeren en oversikt over nåværende og historiske værdata.



(a) Enkelt oversiktsbilde.



(b) De fleste nåværende data med dagens høyeste og laveste verdi

Figur 4.8: De to skjermbildene som er tilgjengelige på nett. Disse kan aksesseres av alle fra hvor som helst i verden.

matematiske modeller blir brukt for å estimere hvordan været vil utvikle seg i hele landet til forskjellige tidspunkt [28].

Det finnes en funksjon på *yr.no* sine sider hvor hvem som helst kan få tak i værdata for et spesifikt sted. Dette er tjeneste som er gratis fra *yr.no* sin side, og en bruker kan velge å bruke ferdiglagde applikasjoner i Java, ferdig PHP-script hvor individuelle tilpasninger kan gjøres, eller det er mulig å få dataene i et XML format. Mer informasjon om hvordan data kan leveres i forskjellige språk kan finnes på [28] under fanen 'Gratis værdata', se figur 4.9.

I denne masteroppgaven er det mest hensiktsmessig å kunne bruke dataene fritt, uten bruk av applikasjoner og script som er ferdiglaget, og dermed er det XML-formatet som er det mest interessante. Ved å bruke dataene fra dette formatet står brukeren fritt til å hente de data som trengs, og disse kan representeres på ønskelige måter, som symboler, tall, med eller uten historikk og som trender. XML versjonen av værmeldingen finnes ved å skrive *varsel.xml* i adresselinja etter valgt sted, se figur 4.10.

Denne figuren viser hvordan framtidige værdata gis i XML-formatet, og strukturen på det hele. Det som er vist i figuren er værvarselet for periode 3. Periodene som *yr.no* opererer med er gjengitt i tabell 4.1. Nye værdata forventes rundt starten av hver periode, men usikkerhet i systemet gjør at oppdateringene kan komme både noe før og noe etter overgang til ny periode.

For hver periode oppgis det forventet temperatur, vindstyrke og vindret-



Figur 4.9: Skjerm bilde fra *yr.no* hvor valgene for ulike presentasjoner av værdata er vist. I masteroppgraden falt valget på XML-varsel.

ning, nedbørsmengde, trykk og værtype, gitt ved et symbolnummer og et tilhørende navn. Figur 4.11 viser sammenhengen med symbolnummer og tegning, men også hva slags vær dette vil si. En fullstendig liste over alle symbolene er å finne på *yr.no*. Med tilgang på alle disse dataene kan framtidig vær bestemmes og tas hensyn til i et reguleringsystem. Som alle andre data er det nødvendig å få disse inn i APIS, hvor det kan analyseres og brukes videre. Hvordan dette gjøres, blir beskrevet i avsnitt 4.3.



Figur 4.10: Eksempel på hvordan værmeldingen for Øra i Fredrikstad ser ut i XML-format. Den gjeldende perioden er periode 3, altså fra kl 18:00 til 00:00.

Ettersom døgnet er delt opp i fire perioder, hvor hver periode er seks timer lang, er det noe vanskelig å bruke dataene. Slik det er lagt opp av *yr.no* så er værsymbolene og nedbørsmengden det man kan forvente i snitt gjennom hele perioden. Det vil si at dersom det først i perioden er regn og grått, men at det mot slutten av perioden er meldt opphold og sol, vil snittverdien avgjøre om

symbolet blir sol eller regn. Når det gjelder temperatur-, trykk- og vindvarsel så er de dataene som er oppgitt de verdiene man kan forvente ved periodestart. Så dersom det er kaldt og mye vind i starten av perioden vil *yr.no* gi disse dataene, selv om resten av perioden er varm og vindstille. Det er viktig å være oppmerksom på disse detaljene, slik at man kan forstå dataene som gis. En mulighet er å se på neste periode hva som er forventet der, og eventuelt interpolere mellom dataene, slik at en trend er mulig å oppdage. Men med bare fire oppdateringer i døgnet er det klart at disse dataene ikke gir det fulle bildet av hva som skjer med værsituasjonen.

Periode	Fra klokkeslett	Til klokkeslett
0	00:00:00	06:00:00
1	06:00:00	12:00:00
2	12:00:00	18:00:00
3	18:00:00	00:00:00















Tabell 4.1: De fire sekstimers periodene *yr.no* opererer med.

I utgangspunktet var det ønskelig å kunne benytte seg av disse dataene til å få værdata for hver time ca ett døgn i forveien. Men med den oppløsningen som leveres av *yr.no* med fire oppdateringer i døgnet lar dette seg vanskelig gjøre. Det er mulig å interpolere mellom de verdiene som gis, men det blir for grovkornet, og vil bare gi en liten pekepinn om trendene i værsituasjonen. Dermed er det nødvendig å supplere disse beregnede verdiene med faktiske måleverdier, slik at eksakt værsituasjon til en hver tid er tilgjengelig, samt at man kjenner noe til hvordan været vil utvikle seg i framtiden.

4.2 Kommunikasjon

Data fra ulike sensorer og applikasjoner er mulige å få tak i på forskjellige måter. I dette kapittelet blir de ulike kommunikasjonsprotokollene belyst. Hvordan aksessering av data gjøres danner grunnlaget for å kunne bruke data fra målinger, og lar også brukeren sette verdier på aktuatorer. De forskjellige systemene som danner klimaanlegget har ulike måter å levere data på, noe som krever tilpasning til det enkelte system.

Data fra ventilasjonsanlegget leses og skrives via en protokoll kalt Modbus. Temperatur fra varmtvannet logges med en Phoenix Contact PLS, og data er tilgjengelig via OPC. Værdata fra *yr.no* er tilgjengelig på deres websider i XML-format, mens data fra værstasjonen gjøres aksessible gjennom ethernet via en IP datalogger.

	Dag	Natt	Mørketid
Sol/klarvær Sol/kjårvær Sun/clear sky	 Symbolnr. 1	 Symbolnr. 1	 Symbolnr. 16
Lettskyet Lettskya Fair	 Symbolnr. 2	 Symbolnr. 2	
Delvis skyet Delvis skya Partly cloudy	 Symbolnr. 3	 Symbolnr. 3	 Symbolnr. 17
Skyet Skya Cloudy	 Symbolnr. 4	 Symbolnr. 4	 Symbolnr. 4
Regnbyger Regnbyer Rain showers	 Symbolnr. 5	 Symbolnr. 5	 Symbolnr. 18

Figur 4.11: Eksempel på hvordan symbolnumrene korresponderer til kjente værstsituasjoner. Fullstendig liste finnes på yr.no

4.2.1 Ventilasjonsanlegget

Data til og fra ventilasjonsanlegget til Swegon finnes på formatet Modbus. Modbus er en protokoll som hører til på datalinklaget i OSI modellen. OSI modellen er en referansemodell for datakommunikasjon definert av den internasjonale standardiseringsorganisasjonen ISO, og er en måte å beskrive de forskjellige lagene i et nettverk. Datalinklaget utfører tjenester for nettverkslaget, og leverer tjenester til det fysiske laget. Mye mer om kommunikasjon og nettverk kan leses i [15], som tar for seg alle lagene i detalj. Oppgaven til Modbusprotokollen er altså å samle inn og sende enere og nullere fra den fysiske linjen, og pakke dette inn i et dataformat som kan tolkes og brukes i nettverkslaget. I dette tilfellet sendes Modbus-dataene via IP i nettverkslaget, for så å bli sendt som TCP i transportlaget. På denne måten er man garantert at dataene kommer riktig fram. En APIS modul kalt APISModbus utviklet av Prediktor tar seg av datahåndteringen av Modbus-data slik at de blir tilgjengelige i APIS. Mer om dette finnes i avsnitt 4.3.

Selve Modbusprotokollen er definert i [17],[18],[23], med en oversikt over alle adresser og hva de representerer. Modbus kan aksessere en enkelt adresse eller flere samtidig. Data som leses eller skrives kan enten være enkle bit, eller 16 bits verdier. Både data og adresser kan ha de nevnte størrelsene. I tabell 4.2 ser man de viktigste typene data man kan aksessere. For å lese av måldata fra

systemet er det Input Registeret som må aksesseres. For å lese eller sette faste verdier, som maksimum- og minimumgrenser eller settpunkt, er det Holding Registeret som må aksesseres. For de to andre er det diskrete verdier som gjelder, slik at statuser kan leses og settes.

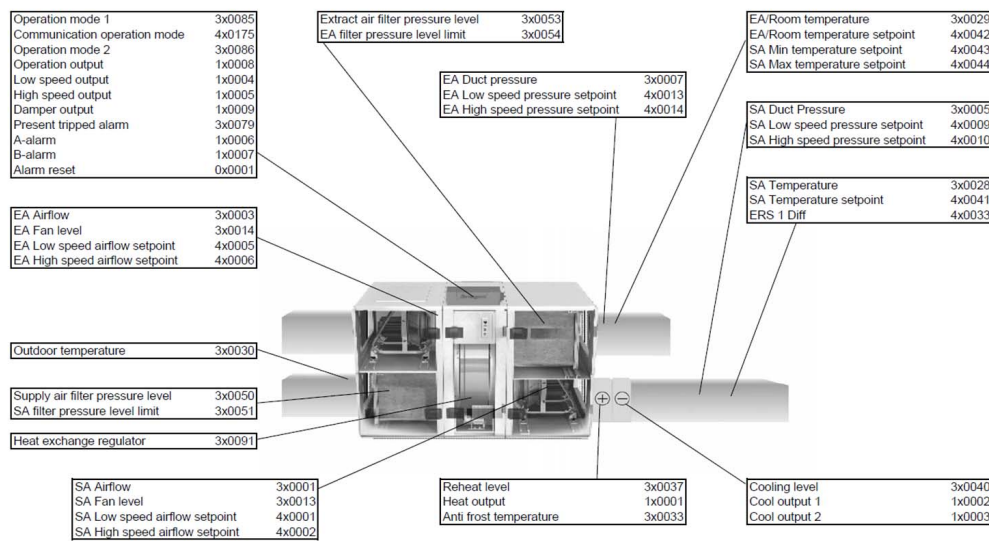
Modbus Type	Description	Reference
Coil Status	Discrete Output	0x
Input Status	Discrete Input	1x
Holding Register	16-bit Output Register	4x
Input Register	16-bit Input Register	3x

Tabell 4.2: De fire viktigste typene brukt for å aksessere Modbus data. Materiale fra [23].

I figur 4.12 kan man se en oversikt over noen av parametrene som finnes i ventilasjonsanlegget, og hvilken adresse hver enkelt parameter har i Modbus-formatet. Første tallet i adressen forteller hva slags type Modbusdata det er, mens de fire siste utgjør den enkelte parameters adresse i sitt register. Som eksempel kan man se at romtemperaturen som måles i returluften har adresse 3x0029. Dette forteller oss at dette er en 16 bits data fra Input Registeret, altså at dette er noe som bare kan leses. Videre ser vi at settpunktet for ønsket romtemperatur har adresse 4x0042. Vi vet da ut ifra adressen at dette er en 16 bits data fra Holding Registeret, og dermed er en data vi kan lese eller skrive. På den måten kan man sette settpunktet for romtemperaturen, og lese den målte temperaturen. Det finnes svært mange parametere tilgjengelig på Modbus, og i Modbusspesifikasjonen fra Swegon,[23], finnes den komplette listen med alle adresser. Dersom leseren ønsker å arbeide videre med det som er gjort i denne oppgaven og eventuelt bruke nye målinger, oppfordres denne til å bruke spesifikasjonen,[23], for å finne nye adresser og muligheter for datainnsamling.

4.2.2 Varmtvann

Varmtvannet som kommer fra fjernvarmeanlegget måles med en del leverandørspesifikke instrumenter, med tilhørende kommunikasjon, som ikke er tilgjengelig direkte for en bruker utenom via et display. Dette displayet sitter på en målerboks fra produsenten Kamstrup. Via dette displayet kan man bla seg gjennom sanntids måleverdier, og noen verdier for sum av brukt energi etc. Å lese av fra et display er greit dersom det eneste ønsket er å kunne ha en liten oversikt mens man er i fjernvarmerommet. Men dersom denne dataen skulle kunne brukes til noe annet er det nødvendig å kunne aksessere de dataene som leveres. Det sitter en radiosender i boksen fra Kamstrup, som leverandøren av fjernvarmen benytter med en mottager for å lese av totalt energibruk. Denne mottageren er tilgjengelig for salg, og Prediktor har kjøpt inn en slik USB mottager. Denne mottageren kan lese av data fra alle Kamstrupmålere som har



Figur 4.12: Prinsipptegning av ventilasjonsanlegget fra Swegon. Noen eksempler på avlesbare data er markert, med tilhørende adresse i Modbusformatet. Hentet fra Modbus spesifikasjonen [23].

en radiomodul med EU frekvenssender. For å kunne få disse dataene må mottageren være i nærheten av senderen, i Prediktors lokaler fungerer mottageren overalt.

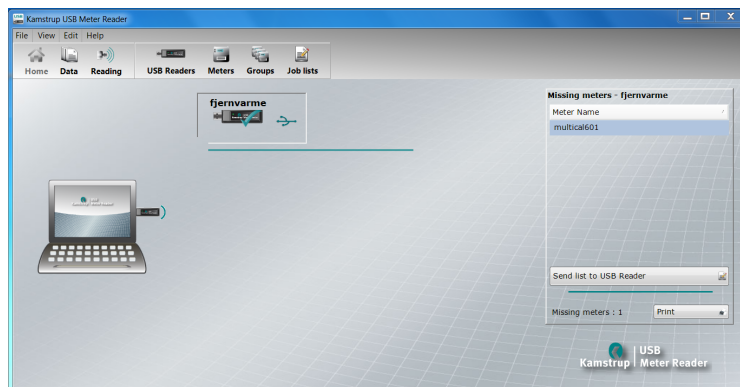
Mottageren som brukes, og som kan sees i figur 4.13, er en USB stick som tar imot data trådløst. Denne kan enten brukes direkte i PC'en, eller den kan brukes i sammenheng med en såkalt 'Power Pack'. En slik 'Power Pack' kan



Figur 4.13: Kamstrups USB Meter Reader som brukes for å laste ned energibruk fra fjernvarmeanlegget.

brukes som en mobil datalagringsenhet, slik at det er mulig å laste ned dataene uten å ta med seg en PC. Denne enheten kan også brukes som en sender for å kunne nå moduler som er plassert langt unna. Siden dataene kan nås med en USB stick overalt i bygget til Prediktor, er det ikke nødvendig å bruke den lille bærbare 'Power Pack'en'. Bruk av Kamstrups USB Meter Reader forklares i spesifikasjonen,[13]. Programvare til USB leseren lastes ned fra hjemmesidene

til Kamstrup. Bilde av hvordan dette programmet ser ut for brukeren er gjen-gitt i figur 4.14. Der er det definert en leser som er kalt fjernvarme, og det er også satt opp en målestasjon kalt multical601. Multical601 er navnet på en av målerne Kamstrup tilbyr. For å få kontakt med denne spesifikke måleren er det nødvendig å legge inn serienummeret til måleren i programmet.



Figur 4.14: Bilde av hvordan programmet ser ut for en bruker. Her ser man at det er en leser kalt fjernvarme, og en måler kalt multical601.

Data som måles og som vises til brukeren er det totale energiforbruket, total volumstrøm, energi i tur- og returvann i form av $m^3 * T$ og det totale antall timer måleren har gått. Det vises også energiforbruket og volumstrøm målt siste dag i siste måned og siste år. Slik kan man holde orden på hva leverandøren samler inn av data, og sette opp årsforbruk. Figur 4.15 viser hvordan disse dataene er presentert i Kamstrups program. Disse dataene kan også eksporteres ut i forskjellige filformater, som Excel, PDF, DFF eller CSV, slik at disse dataene kan brukes videre i eventuelle andre programmer.

6336925 - multical601		
Basic Information:		
Receive time	31.03.2010 13:32	
Meter type	MC601	
Consumption type	Heat	
Actual data:		
Date	31.03.2010	
Energy - E1	241,801 MWh	
Volume - V1	6499,88 m3	
Energy - E8 (m3*T1)	532579 m3°C	
Energy - E9 (m3*T2)	322372 m3°C	
Info	0	
Operating hour counter	9558 h	
Monthly data:		
Date	28.02.2010	
Energy - E1	219,075 MWh	
Volume - V1	5978,79 m3	
Yearly data:		
Date	31.12.2009	
Energy - E1	153,404 MWh	
Volume - V1	4603,2 m3	

Figur 4.15: Bilde av avlesningen av Multical601. Målinger av totalt energiforbruk og volumstrøm er gitt, samt månedlige og årlige avlesninger.

Når det gjelder temperaturer målt på de spesifikke rørene som fordeler det innomhus oppvarmede vannet som forklart i avsnitt 4.1.2, leses disse sensorene som nevnt av en Phoenix Contact PLS. Denne PLS'en er satt opp til å lese av de sensorene som er implementert, og bruker en OPC server. På denne måten er det enkelt å hente inn dataene i APIS, da OPC er en server med åpen tilkobling og åpen standard. En OPC server fungerer på den måten at den oversetter mellom forskjellige språk, slik at en klient kan spørre OPC serveren om å få lese av en spesifikk temperaturmåler koblet til en PLS. OPC serveren oversetter dette ønsket til det språket som må til for å få lese av PLS'ens verdi for den ene føleren. For mer om OPC, se for eksempel [21]. Når avlesing er gjort oversettes resultatet til den standarden klienten ønsker. De forskjellige følerne er blitt gitt tagnavn som er gjengitt i tabell 4.3.

Tag	Adresse	Beskrivelse	Område
TT_001	U4.1_Ch.1	Hovedkrets tur temperatur	0-100 °C
TT_001	U4.1_Ch.1	Hovedkrets retur temperatur	0-100 °C
TT_001	U4.1_Ch.1	Gulvvarmekrets tur temperatur	0-100 °C
TT_001	U4.1_Ch.1	Gulvvarmekrets retur temperatur	0-100 °C
TT_001	U4.1_Ch.1	Ventilasjonsaggregater tur temperatur	0-100 °C
TT_001	U4.1_Ch.1	Ventilasjonsaggregater retur temperatur	0-100 °C
TT_001	U4.1_Ch.1	Radiatorer tur temperatur	0-100 °C
TT_001	U4.1_Ch.1	Radiatorer retur temperatur	0-100 °C

Tabell 4.3: Listen over følere med tagnavn, adresse og en beskrivelse av hva de måler. Utarbeidet av Prediktor.

4.2.3 Værdata

Dataene som kan hentes fra *yr.no* leveres som tidligere nevnt på XML-format. Ved å kunne lese gjennom en slik XML fil vil man kunne finne alle data som trenges, og bruke dem fritt senere i en applikasjon. Ved at formatet er så enkelt, er det veldig greit å få tak i disse dataene ved bruk av en XML modul i APIS. Mer om hvordan denne modulen konfigureres kan sees i avsnitt 4.3.

Værstasjonen beskrevet i avsnitt 4.1.2 måler værparametere med sine sensorer på ISS'en, sender disse dataene til konsollen, som igjen via en WeatherLinkIP datalogger gjør målte og beregnede data tilgjengelig på ethernet. Tidligere nevnt er det at disse dataene er mulig å få tak i ved hjelp av internettsidene til WeatherLink og ved bruk av den dedikerte programvaren WeatherLink. Disse to måtene er praktiske og gode for å se hvordan været er, men problemet er at disse dataene ikke kan brukes av brukeren til annet enn observasjon. Dersom dette skal brukes videre til for eksempel analyser og beregninger, er det nødvendig å kunne hente dataene uten bruk av kommerisielle programmer.

På Davis sine hjemmesider www.davisnet.com finnes det en side hvor protokoller, dokumentasjon og filer er gjort tilgjengelig for gratis nedlasting. Dette er laget for personer/bedrifter som ønsker å programmere sine egne applikasjoner for å hente værdata fra Vantage Pro og Vantage Pro2 systemer. Det er flere forskjellige nedlastingsmuligheter, men den som virker som den beste for ønsket bruk er mappen Vantage DLL 2.42. Denne inneholder flere DLL filer, en del demoer og drivere, noe som gjør det enklere for en utvikler å komme i gang.

Det er god mulighet for utvikling i Visual Basic ved bruk av denne mappen, noe som er gunstig da Prediktor baserer seg på utvikling i Visual Basic. DLL filene lar brukeren få tilgang til ferdig definerte konstanter, strukturer og funksjoner, dette letter utviklingen mye. Funksjonene er tilpasset Vantage Pro systemet, både for seriell, usb og IP kommunikasjon. Ettersom den versjonen som er kjøpt inn til Prediktor er basert på IP kommunikasjon, er det TCPIP funksjonene som er aktuelle å bruke. Det finnes funksjoner som henter ut definerte verdier, men det er også laget funksjoner som kan hente ut enkelte char (1 byte). Med installering av Vantage DLL 2.42 mappen skal det være relativt enkelt å få tilgang til dataene fra WeatherLinkIP dataloggeren. For full forklaring av mappens innhold og dokumentasjon av funksjoner, strukturer og konstanter, se [3].

4.3 Innsamling av data i APIS

En stor del av masteroppgaven er å kunne få kontakt med de forskjellige komponentene som påvirker temperaturen i Prediktors lokale, og logge de viktigste parameterne. Det er et poeng at dette skal gjøres ved hjelp av Prediktors egenutviklede programvare APIS. Ved å gjøre data aksessible i et program kan data sammenlignes, settes opp i mot hverandre, og de kan brukes videre i algoritmer. APIS lar brukeren gjøre alt dette og mere til. I denne delen blir APIS kort forklart, med fokus på de deler som brukes i denne oppgaven. Bruken av APIS moduler forklares for å kunne gjøre de ting som kreves.

4.3.1 APIS

APIS er Prediktors egenutviklede software-sett for bruk i industriell IT. Denne pakken består av mange moduler, hvor hver modul har sine oppgaver med forskjellig funksjoner. APIS er ment som en verktøykasse for å kunne danne et komplett datasystem for industrien, med signalbehandling, alarmhåndtering, logging, analyser, styring og presentasjon, for å nevne noe. Med bruk av APIS skal kunden få et komplett system som handler i sanntid, men også tar vare på data for muligheter for historikk og analyser.

APIS Hive er basen for bruk av APIS modulene, også kalt bier (bees). Hive betyr bikube, og gir på denne måten et bilde av hvordan APIS fungerer; En bikube har mange bier, og det finnes mange forskjellige typer bier med hver sine oppgaver. På denne måten kan man se på APIS Hive som samlingspunktet, det stedet man samler alle modulene/biene. De forskjellige modulene kan gjøre sine oppgaver, og bruke hverandre til å få ut det ønskede produktet. Det er mulig å opprette flere slike APIS Hive instanser, slik at hver instans kan ha sitt hovedområde. Kommunikasjon mellom disse instansene er mulig via OPC, slik at et nettverk av instanser kan bygges, og hvor hver instans har mange moduler som arbeider med hver sin oppgave. Slik kan innsamling, og setting av data gjøres mens analysering og regulering gjøres. Alt kan logges i databaser, samtidig som sanntidsdata kan vises på en skjerm.

APIS har mange moduler og er svært omfattende å sette seg inn i. I denne oppgaven er bare noen få av modulene brukt. Derfor vil det være naturlig å ta for seg hvordan de enkelte brukte modulene fungerer, og hvordan de blir brukt for å oppnå de ønskede resultatene. Det meste som gjøres i denne oppgaven i APIS er å samle inn data fra hele systemet, slik at dette videre kan brukes til analyse og regulering. I neste avsnitt forklares det hvilke moduler som brukes, og hvordan disse er konfigurert for å tilfredsstille de oppgavene som det er ønsket systemet skal gjøre.

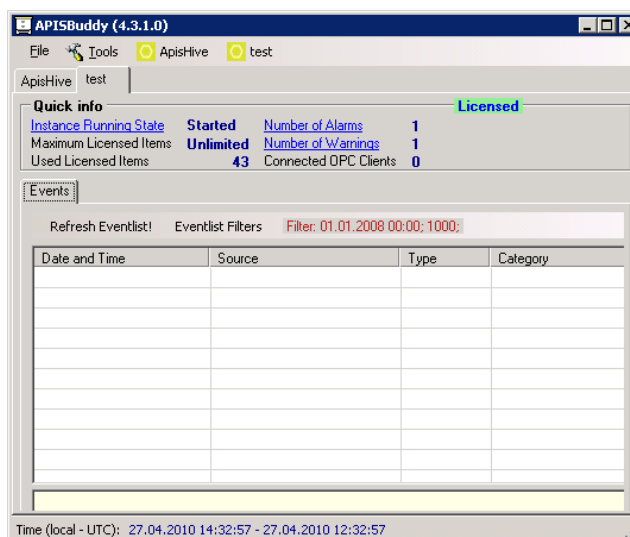
Informasjonen om APIS er hentet fra Prediktors hjemmeside, [22] og fra produktkurspermen for APIS, [20]. Mer utfyllende informasjon kan finnes i de nevnte kildene. For installering, oppsett og lisensiering av APIS vises leseren til å kontakte Prediktor for veiledning og hjelp.

4.3.2 Bruk av APIS for avlesing av måledata

For at det skal være mulig for flere brukere å kunne aksessere og bruke APIS instansen som står og samler inn data og logger dette, kalt test, er det opprettet en virtuell datamaskin som denne instansen kjører på. Det vil si at alle som har brukerrettigheter på denne maskinen kan logge seg på ved hjelp av tilkobling til eksternt skrivebord (Remote Desktop) fra Prediktors nettverk. På denne måten er programmet uavhengig av hvem som er brukeren, og det trenges ingen fysisk maskin som brukeren må sitte ved. Dette letter tilgjengeligheten, og oppfyller også ønsket om at hvilken som helst bruker som fungerer som drifter av klimaanlegget kan logge seg på hvor som helst og følge med på hva som skjer, og eventuelt gjøre endringer, så lenge han har nettilgang.

Den virtuelle maskinen kjører Microsoft Windows Server 2003 R2 som operativsystem, og har installert APIS Hive versjon 4.4.0.6. I tillegg er APIS Process Explorer installert, slik at virtualisering av dataene kan gjøres enkelt, se avsnitt 4.3.4. For å administrere forskjellige APIS Hive instanser, brukes APISBuddy, se figur 4.16. Det er i APISBuddy at brukeren starter og stopper

instanser, eller skaper nye. Det er også herfra man kan starte konfigurering av hver instans, det vil si gå inn i hver instans og sette den opp til å gjøre det den spesifikke instansen skal gjøre. Menyen for hva en kan gjøre med hver instans fåes opp ved å klikke på instansnavnet.



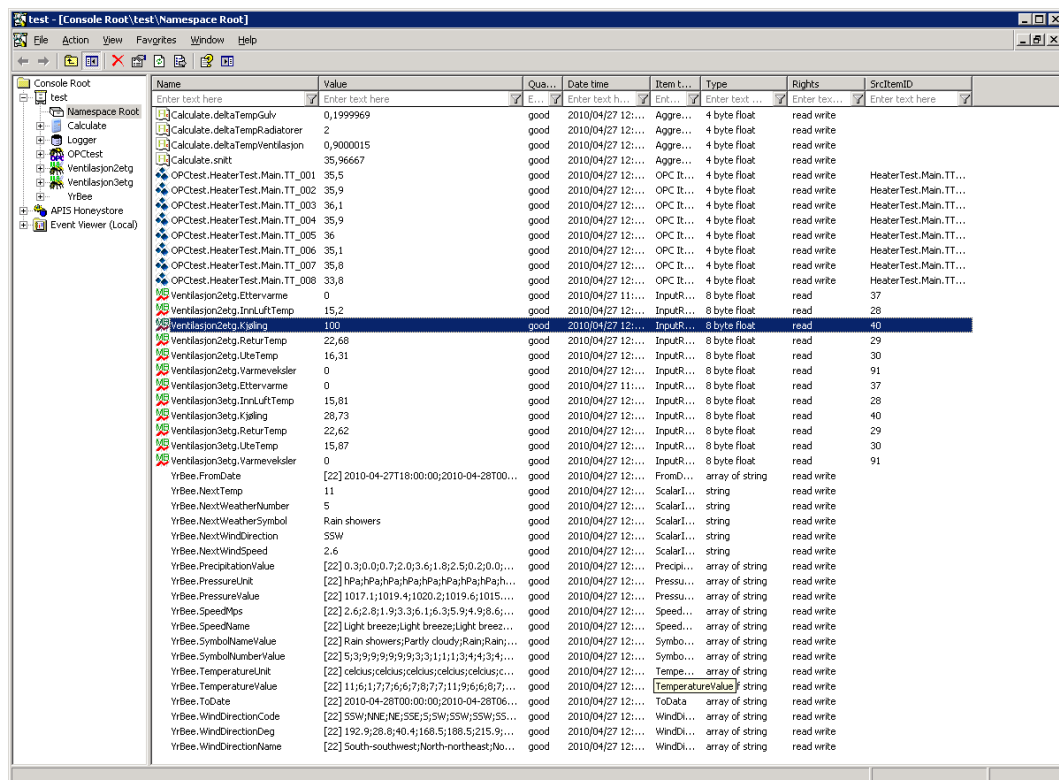
Figur 4.16: Vinduet til APISBuddy. Her kan man se at det er opprettet to APIS Hive instanser, og figuren indikerer at instansen ‘test’ er startet og kjører.

Konfigurasjonen til ‘test’ instansen er vist i figur 4.17. Denne figuren viser en oversikt over de funksjonene som er implementert, og de dataene som hver funksjon leverer. Hver og en av modulene som disse funksjonene hører til vil bli tatt for seg videre. Det er i konfigurasjonen hele instansen blir satt opp, med hvilke moduler som trengs, og under der hvilke konkrete funksjoner som skal gjøre spesifikke oppgaver.

Ventilasjon

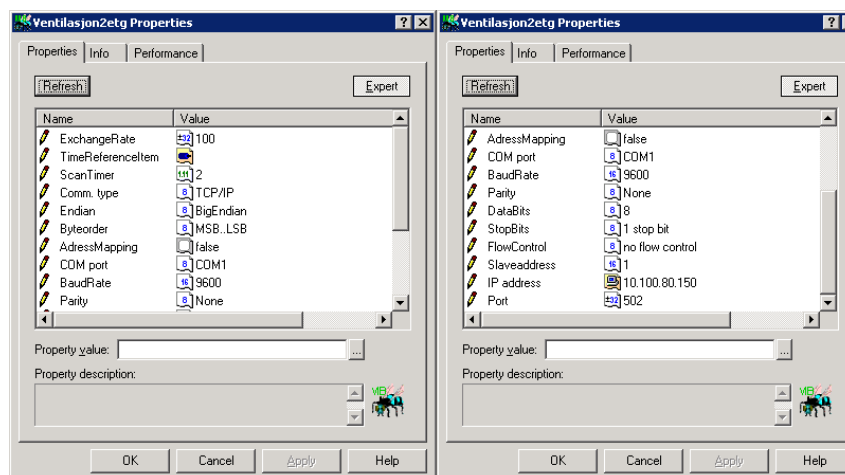
Fra avsnitt 4.2.1 er det gitt at data fra ventilasjonsanlegget finnes på formatet Modbus. For å kunne få tak i de dataene og legge dem inn i APIS, er det nødvendig å benytte seg av en modul som kan lese data fra Modbusformatet. Prediktor har en slik Modbus bie/modul som er blitt justert noe for bruk til denne oppgaven. Denne modulen er satt opp med egenskapene vist i figur 4.18. Egenskapene er satt slik at det tilfredsstiller formatet fra ventilasjonsanlegget i 2. etasje, men samme egenskaper gjelder for ventilasjonsanlegget i 3. etasje, bare med en annen IP adresse.

Det viktigste å få med seg av egenskapene er IP adressen, at kommunikasjonstypen er TCP/IP og at exchange rate må settes for å få data. Mange av egenskapene er standard for Modbus, og oppsettet er gjort i henhold til spesifikasjonene, [17],[18],[23].



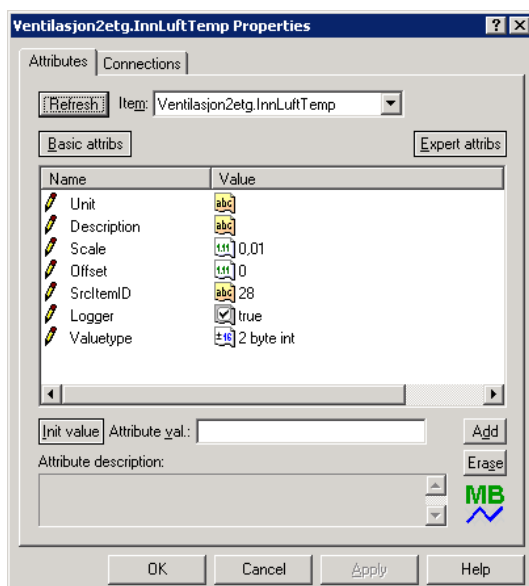
Name	Value	Qual...	Date time	Item t...	Type	Rights	SrcItemID
Calculate.deltaTempGulv	0,1999969	good	2010/04/27 12:...	Aggre...	4 byte float	read write	
Calculate.deltaTempRadiatorer	2	good	2010/04/27 12:...	Aggre...	4 byte float	read write	
Calculate.deltaTempVentilasjon	0,9000015	good	2010/04/27 12:...	Aggre...	4 byte float	read write	
Calculate.snitt	35,96667	good	2010/04/27 12:...	Aggre...	4 byte float	read write	
OPCtest.HeaterTest.Main.TT_001	35,5	good	2010/04/27 12:...	OPC It...	4 byte float	read write	HeaterTest.Main.TT...
OPCtest.HeaterTest.Main.TT_002	35,9	good	2010/04/27 12:...	OPC It...	4 byte float	read write	HeaterTest.Main.TT...
OPCtest.HeaterTest.Main.TT_003	36,1	good	2010/04/27 12:...	OPC It...	4 byte float	read write	HeaterTest.Main.TT...
OPCtest.HeaterTest.Main.TT_004	35,9	good	2010/04/27 12:...	OPC It...	4 byte float	read write	HeaterTest.Main.TT...
OPCtest.HeaterTest.Main.TT_005	36	good	2010/04/27 12:...	OPC It...	4 byte float	read write	HeaterTest.Main.TT...
OPCtest.HeaterTest.Main.TT_006	35,1	good	2010/04/27 12:...	OPC It...	4 byte float	read write	HeaterTest.Main.TT...
OPCtest.HeaterTest.Main.TT_007	35,8	good	2010/04/27 12:...	OPC It...	4 byte float	read write	HeaterTest.Main.TT...
OPCtest.HeaterTest.Main.TT_008	33,8	good	2010/04/27 12:...	OPC It...	4 byte float	read write	HeaterTest.Main.TT...
Ventilasjon2etg.Ettersvarme	0	good	2010/04/27 11:...	InputR...	8 byte float	read	37
Ventilasjon2etg.InniLuftTemp	15,2	good	2010/04/27 12:...	InputR...	8 byte float	read	28
Ventilasjon2etg.Kjelling	100	good	2010/04/27 12:...	InputR...	8 byte float	read	40
Ventilasjon2etg.ReturTemp	22,68	good	2010/04/27 12:...	InputR...	8 byte float	read	29
Ventilasjon2etg.UteTemp	16,31	good	2010/04/27 12:...	InputR...	8 byte float	read	30
Ventilasjon2etg.Varmeveksler	0	good	2010/04/27 12:...	InputR...	8 byte float	read	91
Ventilasjon2etg.Ettersvarme	0	good	2010/04/27 11:...	InputR...	8 byte float	read	37
Ventilasjon2etg.InniLuftTemp	15,81	good	2010/04/27 12:...	InputR...	8 byte float	read	28
Ventilasjon2etg.Kjelling	28,73	good	2010/04/27 12:...	InputR...	8 byte float	read	40
Ventilasjon2etg.ReturTemp	22,62	good	2010/04/27 12:...	InputR...	8 byte float	read	29
Ventilasjon2etg.UteTemp	15,87	good	2010/04/27 12:...	InputR...	8 byte float	read	30
Ventilasjon2etg.Varmeveksler	0	good	2010/04/27 12:...	InputR...	8 byte float	read	91
YrBee.FrontDate	[22] 2010-04-27T18:00:00;2010-04-28T00:...	good	2010/04/27 12:...	FromD...	array of string	read write	
YrBee.NextTemp	11	good	2010/04/27 12:...	ScalarI...	string	read write	
YrBee.NextWeatherNumber	5	good	2010/04/27 12:...	ScalarI...	string	read write	
YrBee.NextWeatherSymbol	Rain showers	good	2010/04/27 12:...	ScalarI...	string	read write	
YrBee.NextWindDirection	SSW	good	2010/04/27 12:...	ScalarI...	string	read write	
YrBee.NextWindSpeed	2,6	good	2010/04/27 12:...	ScalarI...	string	read write	
YrBee.PrecipitationValue	[22] 0,3;0,0;0,7;2,0;3,6;1,8;2,5;0,2;0,0;...	good	2010/04/27 12:...	Precipi...	array of string	read write	
YrBee.PressureUnit	[22] hPa;hPa;hPa;hPa;hPa;hPa;hPa;hPa;h...	good	2010/04/27 12:...	Pressu...	array of string	read write	
YrBee.PressureValue	[22] 1017,1;1019,4;1020,2;1019,6;1015,...	good	2010/04/27 12:...	Pressu...	array of string	read write	
YrBee.SpeedMps	[22] 2,6;2,8;1,9;3,3;6,1;6,3;5,9;4,9;8,6;...	good	2010/04/27 12:...	Speed...	array of string	read write	
YrBee.SpeedName	[22] Light breeze;Light breeze;Light breez...	good	2010/04/27 12:...	Speed...	array of string	read write	
YrBee.SymbolNameValue	[22] Rain showers;Partly cloudy;Rain;Rain;...	good	2010/04/27 12:...	Symbo...	array of string	read write	
YrBee.SymbolNumberValue	[22] 5;3;9;9;9;9;9;3;3;1;1;1;3;4;3;4;...	good	2010/04/27 12:...	Symbo...	array of string	read write	
YrBee.TemperatureUnit	[22] celsius;celsius;celsius;celsius;c...	good	2010/04/27 12:...	Tempe...	array of string	read write	
YrBee.TemperatureValue	[22] 11,6;11,7;7,6;6;7,8;7,7;11,9;6;6;8;7;...	good	2010/04/27 12:...	Temper...	array of string	read write	
YrBee.ToDate	[22] 2010-04-28T00:00:00;2010-04-28T06:...	good	2010/04/27 12:...	ToData...	array of string	read write	
YrBee.WindDirectionCode	[22] SSW;WNE;NE;SSE;S;SW;SSW;SSW;SS...	good	2010/04/27 12:...	WindD...	array of string	read write	
YrBee.WindDirectionDeg	[22] 192,9;28,6;40,4;168,5;186,5;215,9;...	good	2010/04/27 12:...	WindD...	array of string	read write	
YrBee.WindDirectionName	[22] South-southwest;North-northeast;No...	good	2010/04/27 12:...	WindD...	array of string	read write	

Figur 4.17: Konfigurasjonen til APIS Hive instansen 'test', som er instansen som samler inn og logger data fra klimaanlegget.



Figur 4.18: Egenskapene til Modbusmodulen som gjør data fra ventilasjonsanlegget i 2. etasje tilgjengelig. Gjengitt to ganger for å få med alle egenskapene.

Hver modul kan inneholde flere funksjoner. For tilfellet med henting av data fra ventilasjonsanlegget ved hjelp av Modbus, er det i henhold til protokollen mulig å hente ut fire typer data som forklart i avsnitt 4.2.1. Dette betyr at for hver data som skal hentes, må det opprettes en egen funksjon med riktig type. Etter opprettelse av en slik type funksjon, kan denne konfigureres til å hente data fra den riktige adressen, funnet i Swegons beskrivelse,[23]. Ettersom det er bestemt allerede ved opprettelsen av funksjonen hva slags type funksjon det er, kan adressen i tallform skrives rett inn i adresseegenskapen, kalt SrcItemID i APIS. Dataene kommer som 2 byte heltall og dette må settes som egenskap. Fordi dataene er gitt som heltall, må tallet som kommer ut skaleres for å få riktig størrelsesorden. Figur 4.19 viser oppsettet av egenskapene til funksjonen som henter temperaturen på luften som blåses inn i bygget fra ventilasjonsanlegget i 2. etasje. For forskjellige data lages nye Modbus funksjoner, som alle mer eller mindre følger samme egenskaper og prosedyrer.

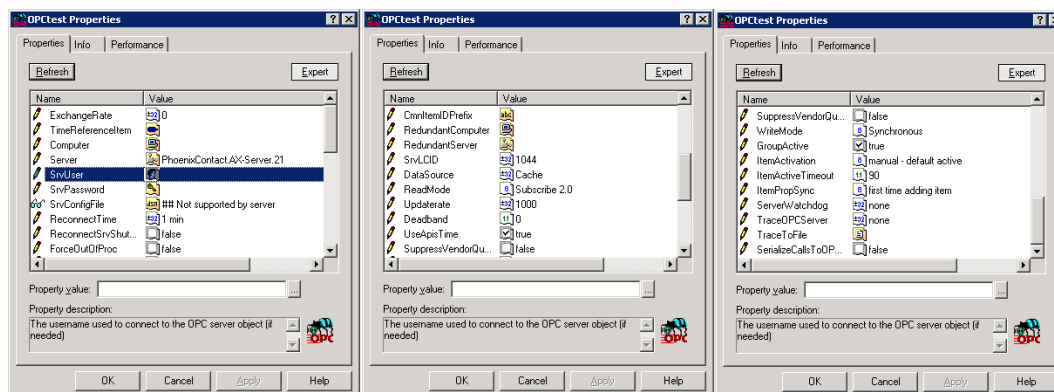


Figur 4.19: Egenskapene til Modbusfunksjonen som henter temperaturen til luften som blåses inn i bygget fra ventilasjonsanlegget i 2. etasje.

Varmtvann

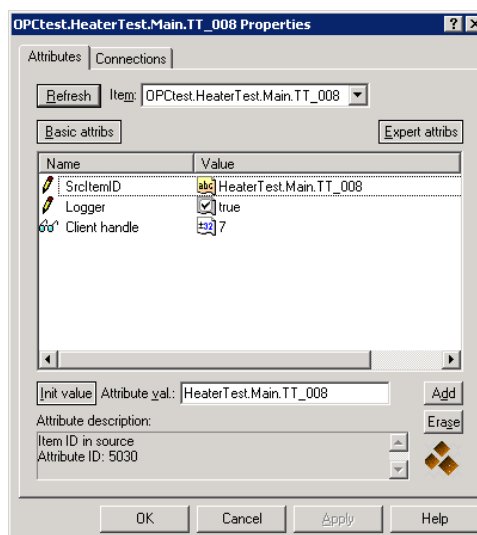
Temperaturfølerene som måler temperaturen på tur- og returvannet til de forskjellige delene i bygget logges av en Phoenix Contact PLS, som forklart i avsnitt 4.2.2. APIS kan da hente data fra denne PLS'en via OPC. Dette gjør det ganske enkelt, da APIS er bygget opp rundt OPC prinsippene. Blant alle modulene som finnes i APIS, finnes APISOPC modulen. Dette er en modul som, på liknende måte som Modbusmodulen, setter opp kommunikasjonen i samsvar med hvilken protokoll det er snakk om, og hvor data kan finnes. OPC modulen settes altså med de egenskapene som en kan se i figur 4.20. Faktisk er

det bare adressen som trengs å legge inn, da alle de andre egenskapene er standardverdier for OPC. Adressen er oppgitt som PhoenixContact.AX-Server.21, som er navnet på PLS serveren.



Figur 4.20: Egenskapene til OPC modulen for å kommunisere med Phoenix Contact PLS serveren.

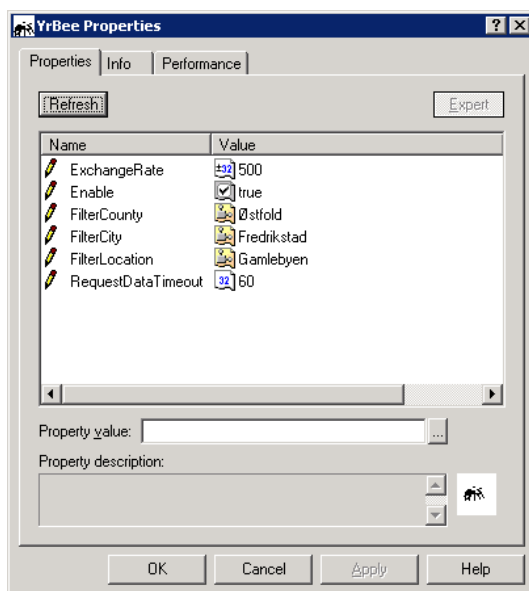
Med OPCmodulen oppe og går, kan man nå legge inn OPC funksjoner for å lese av de forskjellige temperaturmålingene. Hver føler har sin egen adresse, som gjengitt i tabell 4.3. I OPC oppsettet på PLS'en, hvor OPC prosjektet er gitt navnet HeaterTest, er tagnavn linket opp mot faktiske adresser. På den måten kan man aksessere og lese temperaturen av en føler ved å bruke adressen HeaterTest.Main.'tagnavn'. Figur 4.21 viser i dette tilfellet at det er temperaturen på returvannet fra radiatorene som skal brukes i APIS, jamfør tabell 4.3. Det er opprettet én funksjon for hver temperaturføler.



Figur 4.21: Egenskapene til OPC funksjonen som henter temperatur på returvannet fra radiatorene.

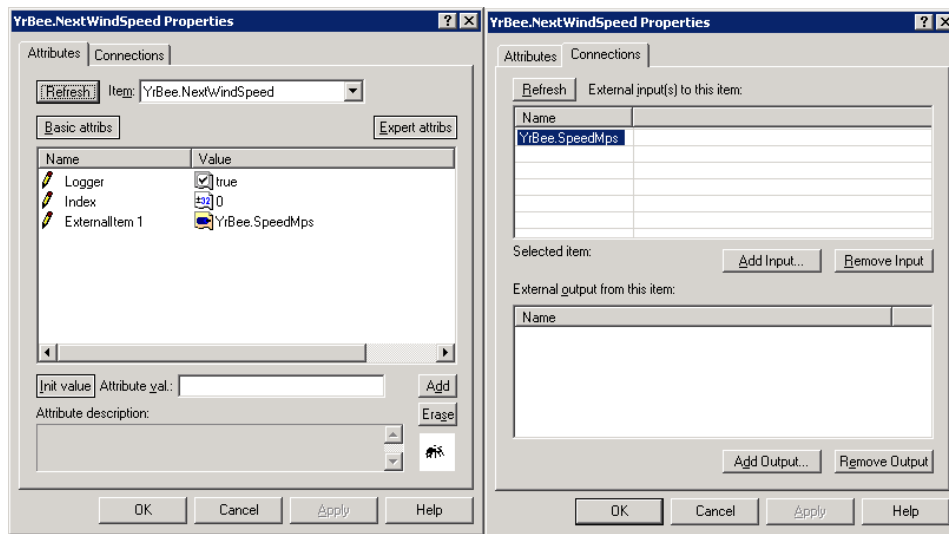
yr.no

I avsnitt 4.1.3 ble det gjort klart at man kan få data fra *yr.no* på XML-format. For å få disse dataene inn i APIS er det nødvendig å bruke en modul som kan aksessere XML-formatet, og hente ut de ønskede dataene. I denne forbindelsen er det blitt utviklet en ny APIS modul av Prediktor som er skreddersydd *yr.no* sine websider, kalt YrBee. Denne modulen er også programmert slik at den henter ut de dataene som er relevante for klimaanlegget. Ved opprettelsen av en YrBee modul må egenskaper som sted settes til ønsket sted for værmeldingen. Det er også nødvendig å sette 'exchangeRate' og hvor ofte den skal aksessere *yr.no* for å få nye oppdateringer. Det siste er viktig å være oppmerksom på, da *yr.no* ikke tillater for stor datatrafikk. Det er da heller ikke nødvendig å aksessere *yr.no* veldig ofte, da oppdateringen bare skjer fire ganger i døgnet.



Figur 4.22: Egenskapene til YrBee modulen. Stedet er valgt til å være Øra i Fredrikstad, og dataene blir oppdatert én gang i timen.

I denne modulen må man også sette modulen i gang ved å sette 'enable' til 'true'. Figur 4.22 viser egenskapene til YrBee som henter værvarselet for Øra i Fredrikstad. Denne modulen gir ut 13 tabeller, hver av de med 22 varsler fram i tid. Hver tabell består av én værparameter, som for eksempel vindstyrke, temperatur og så videre. For å kunne hente ut værdata for en spesifikk periode, er det laget en funksjon i YrBee, hvor man kobler seg til den ønskede tabellen, og setter så hvilken indeks som er ønsket. Dette er vist i figur 4.23, hvor funksjonen er koblet til YrBee.SpeedMps, som er tabellen som gir vindvarselet. Tabellene er null indekserte, så ved å velge indeks lik null får man altså den vinden som er varslet for neste sekstimers periode. En funksjon kan hente ut ett varsel for en parameter.



Figur 4.23: Egenskapene og koblingen til en skalar vindverdi. Denne henter vindvarsel nummer null fra vindvarseltabellen.

Værstasjon

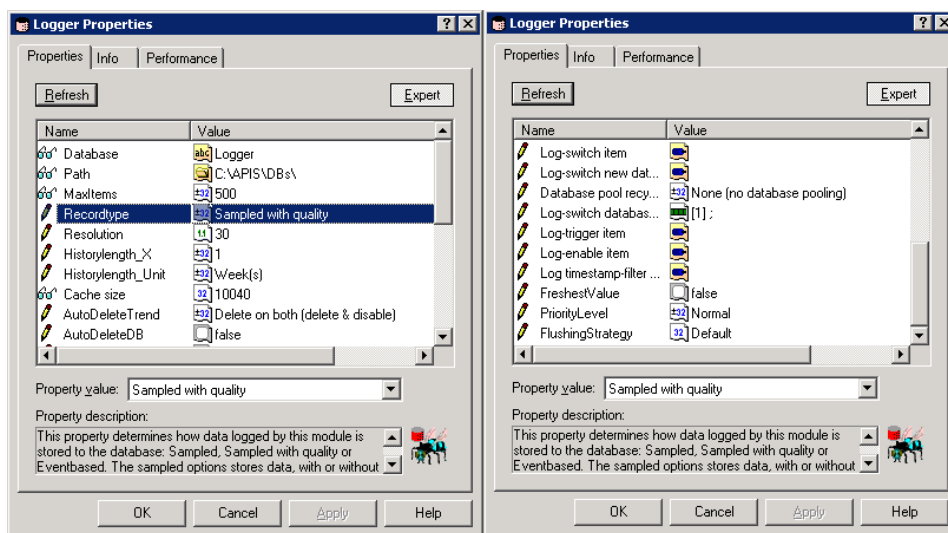
Som beskrevet i avsnitt 4.2.3 går det an å hente ut dataene fra WeatherLinkIP dataloggeren, både nåverdier og historiske data. For at dette skal kunne brukes i APIS er det nødvendig å lage en APIS modul (bie) som kan benytte seg av de funksjonene og DLL filene som finnes i nedlastingsmappen VantagePro DLL 2.42. Grunnet sen levering av værstasjonen har ikke tiden eller ressursene tillatt programmering av denne modulen. Dette gjør at det ikke er aktuelt å bruke værstasjonsdataene i APIS i løpet av denne masteroppgaven. Dette er noe som kan gjøres på et senere tidspunkt. Det vil da kreves kunnskaper i programmering i Visual Basic .NET, og også kunnskaper om APIS.

Kamstrup

Kommunikasjonen til Kamstrup er beskrevet i avsnitt 4.2.2. I motsetning til Davis har ikke Kamstrup gjort kommunikasjonsprotokollene tilgjengelig for brukerne, og det er ikke mulig å hente dataene uten bruk av Kamstrups programvare. Det er heller ikke mulig å få til en automatisk logging av fjernvarme-dataene, med mindre en er villig til å betale store summer for et system som er alt for omfattende for et enslig bygg. Dette gjør at dataene for energiforbruket fra fjernvarmeanlegget ikke kan gjøres tilgjengelige i APIS. Dermed kan en bruker kun observere energiforbruket ved å bruke Kamstrup program.

4.3.3 Logging av data; Honeystore

Fram til nå er det bare beskrevet hvordan data fra forskjellige systemer kan hentes inn i APIS. For at det skal være mulig å kunne analysere disse dataene, er det ønskelig å kunne ha en historikk over de viktigste dataene. Da kan data over tid sees på og sammenlignes med hverandre, slik at man får et bilde av hvordan ting henger sammen. For å kunne få en slik historikk, er det nødvendig å lagre alle relevante data som systemene gir ut. APIS er basert på dette, og lar brukeren enkelt lagre data i en database, kalt 'Honeystore' i APIS terminologien. Det lages en slik database ved å opprette en ny modul kalt APISLogger. Egenskapene til loggeren er vist i figur 4.24, og disse er standardverdiene til en slik database.

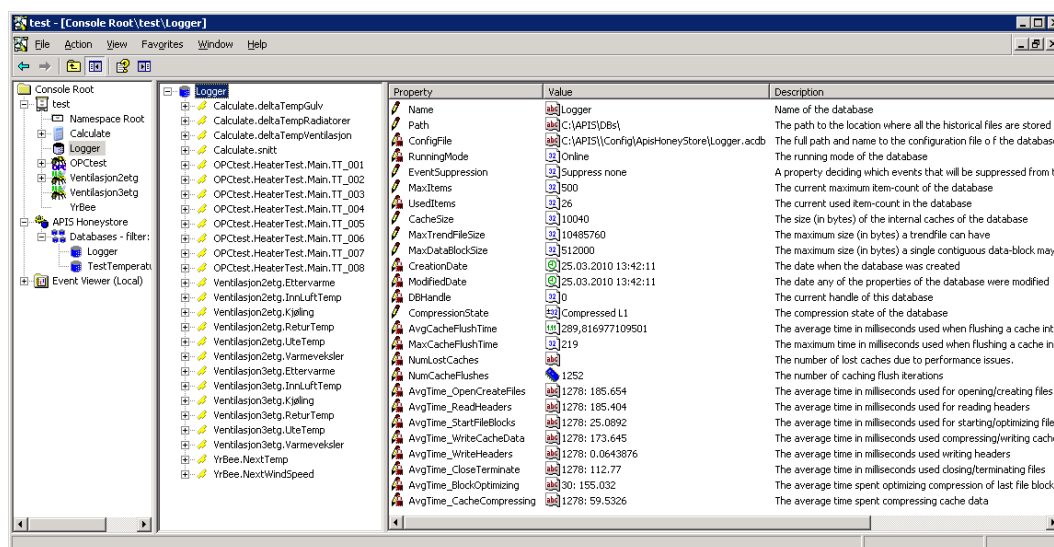


Figur 4.24: Egenskapene til databaseloggeren 'Logger'. Satt opp med standardverdier.

Med en slik database opprettet, er det nå mulig å logge alle verdier som systemet tar inn, det vil si hver data som genereres av en funksjon. For å kunne lagre data i databasen, er det nødvendig å sette verdien i egenskapen 'Logger' til 'True' i hver eneste funksjon. Dette kan sees i figurene av funksjonsegenskapene i forrige avsnitt, hvor disse funksjonene er satt til å bli logget i databasen. Figur 4.25 viser listen over de innsamlede dataene som logges i databasen. Data fra denne databasen er da tilgjengelig for andre moduler som bruker historiske data, til for eksempel analyse eller visualisering.

4.3.4 Visualisering av data; APIS Process Explorer

Det er svært vanskelig for mennesker å tolke data som kommer i tallform, ett og ett sample om gangen. Og det er så og si umulig å følge med på flere



Figur 4.25: Listen over hvilke funksjonsverdier loggeren lagrer i databasen.

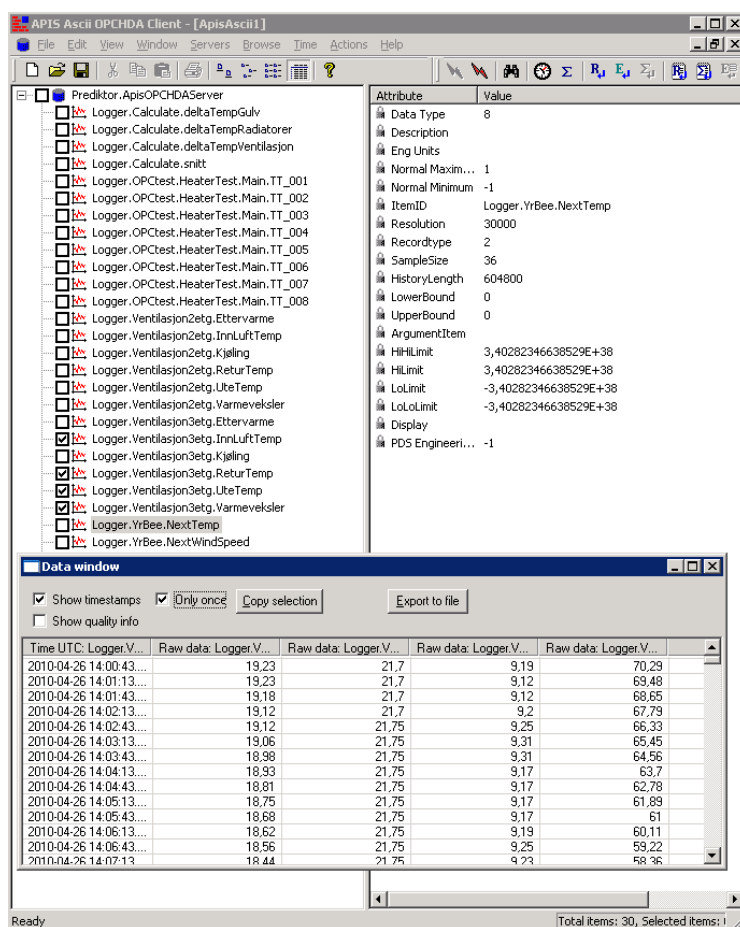
datastrømmer samtidig. Det er også ganske sannsynlig at det kommer flere data over en tid enn det mennesker klarer å oppfatte. For å gjøre det enklere å tyde hva slags data som kommer, og hvordan disse har utviklet seg over tid er det praktisk med et visualiseringverktøy. Mer nøyaktig er det ønskelig å kunne få se en serie med historiske data i form av en graf, eller trend.

Med installasjonen av APIS, følger det med et program kalt APIS Ascii OPCHDA Client, se figur 4.26. Dette er et program som via OPC kobler seg opp mot tilgjengelige databaser opprettet i APIS Hive. Når oppkoblet, er det mulig å velge ut de datatrendene som ønskes vist, og videre for hvilken tidsperiode det skal vises data for. Det APIS Ascii gjør, som navnet tilsier, er å hente data fra databasen og gjøre dem tilgjengelig i Ascii-format. På den måten får man tabeller med Ascii-verdier tilgjengelige, som videre kan brukes i forskjellige program. Et eksempel er å importere dataene inn i Microsoft Excel, og lage grafer der, slik som det er gjort i figur 4.27.

Fordelen med denne måten å gjøre det på er at man kan lagre data i form av ASCII verdier i en eller annen slags fil, og siden importere dataene fra denne filen inn i svært mange programmer som støtter lesing av ASCII-filer. Videre derfra kan dataene bearbejdes. Ulempen er at det er tungvint å fysisk måtte gå inn i APIS Ascii, plukke ut ønskede data og tidspunkter for så å eksportere disse dataene til en fil, og så importere disse dataene inn i et nytt program. Så når en kun ønsker å kjapt bytte mellom forskjellige data til forskjellige tidspunkter for å se trender, er APIS Ascii metoden tungvint.

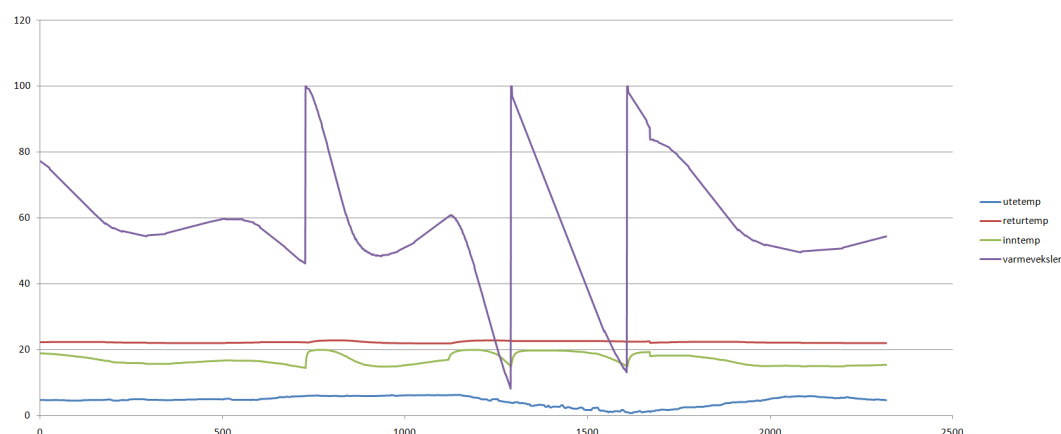
En betraktelig lettere måte å gjøre dette på er å bruke APIS Process Explorer (PE). Dette er Prediktors egenutviklede måte å presentere historiske data på. APIS Process Explorer er nettbasert, og selve programmet kjøres i en

nettleaser. Dette gjør at det er enkelt for brukere å kunne se trender av loggede data fra forskjellige steder. APIS PE kommuniserer med APIS Hive og APIS Honeystore via OPC. For brukeren er det da svært enkelt, når APIS PE først er installert, å finne tilgjengelige databaser med loggede data. Ved å skrive inn oppstartsadressen for APIS PE i adresselinjen i nettleseren starter programmet, og tilgjengelige APIS databaser vises øyeblikkelig. Dermed er det bare å klikke seg inn i den databasen man ønsker data fra, og klikke på de dataene man ønsker å se. Da dukker den historiske trenden for denne dataen for en gitt periode opp i hovedvinduet. Flere dataer kan legges inn samtidig, slik at man kan se sammenhenger mellom forskjellige dataer. Det er også mulig å hente data fra forskjellige databaser samtidig.



Figur 4.26: Historiske data fra databasen presentert i APIS Ascii. Et utvalg av dataer er gjort om til en tabell med ASCII verdier. En slik tabell kan brukes videre i andre programmer for analyser eller visualisering.

I APIS PE er det ikke muligheter for sanntidsdata, altså oppdateres det ikke med de nyeste data automatisk, men viser data over en ønsket periode. Perioden som vises kan velges av brukeren. Sluttiden settes med dato og klokkeslett,

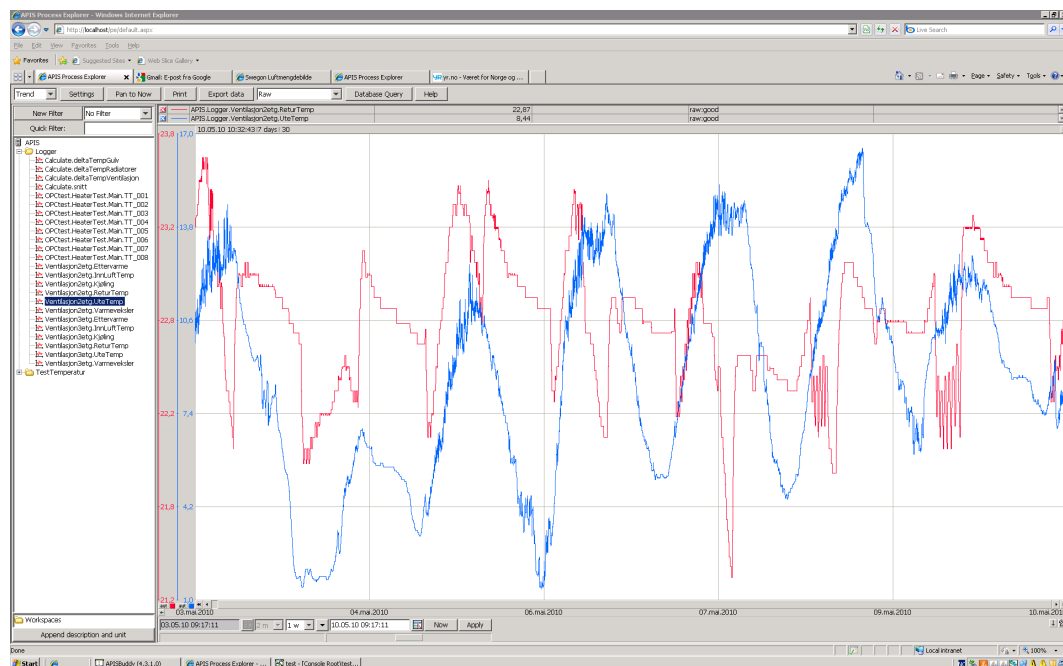


Figur 4.27: Trend laget i Excel av data importert fra APIS Ascii.

og så kan det velges hvor langt bakover i tid man ønsker data, som timer, dager, uker, måneder og opp til ett år. Det finnes også en funksjon som kjapt setter sluttiden til nåværende tidspunkt. Det er også mulig å få alle verdiene til de ønskede trendene ved et gitt tidspunkt, ved å bruke musa til å markere et tidspunkt.

Figur 4.28 viser et typisk skjermbilde av hvordan APIS PE ser ut for brukeren. De tilgjengelige databasene med sine lagrede dataer vises til venstre i figuren, mens hovedbildet viser trendene til utvalgte dataer. Tidsperioden er valgt under hovedbildet til å være en uke fram til 10. mai. Dette plottet viser altså ukestrenden til romtemperaturen og utetemperaturen målt av ventilasjonsanlegget til Swegon som står i 2 etasje. Det er nå mulig å få opp trendene til alle dataene som logges i databasen 'Logger', som innebefatter blant annet data fra ventilasjonsanleggene og fjernvarmesystemet.

Med dette programmet er det altså mulig å få se hvordan forskjellige målinger endrer seg over tid, og man kan sammeligne forskjellige målinger på et tidspunkt, og eventuelt avgjøre hvordan enkelte effekter påvirker andre målinger. Process Explorer har innebygd funksjonalitet slik at det er mulig å justere aksene automatisk eller manuelt, og det er mulig å eksportere dataene til en tekstfil som igjen kan brukes til andre analyser.



Figur 4.28: Skjerm bilde av APIS Process Explorer. Alle tilgjengelige data fra databaser vises i venstre marg, mens selve trendene til de utvalgte dataene vises i hovedbildet.

Kapittel 5

Analyse

I kapittel 3 ble en teoretisk modell funnet og implementert i MATLAB for mulighet til simulering av modellen. I kapittel 4 ble de fysiske sensorene presentert og implementert på anlegget, og samlet i APIS for logging med mulighet for å lage trender. Felles for begge kapitlene er at de presenterer det som er gjort, men noen kvalitativ analyse av resultatene har ikke blitt gjort i noen større grad. Dette kapitlet har til hensikt å analysere resultatene som oppnås fra begge de foregående kapitlene, både de teoretiske og de fysiske. Kvaliteten på hvert av resultatene blir kommentert, for så å bli satt i sammenheng med hverandre. Ved å gjøre dette kan det sies noe om hvorvidt den teoretiske modellen stemmer overens med de fysiske målte dataene. Grafene som analyseres i dette kapitlet er stort sett å finne i appendiks A for simuleringer, og i appendiks B for målinger. Dette er gjort for at grafene ikke skal ta for mye plass i teksten, da store figurer gjør det enklere å lese av.

Først i dette kapitlet analyseres resultatene fra simuleringene og de fysiske målingene hver for seg. Det kommenteres om hva som kan forbedres, før en vurdering av hvordan teoretiske simuleringer samsvarer med målingene presenteres.

5.1 Analyse av simuleringene

5.1.1 Simuleringer med kommentarer

I kapittel 3 ble en gjennomgang av de fysiske prinsippene som danner energibalansen i Prediktors bygg gitt. Valg av verdier og prinsipper med de antagelsene som er brukt ble presentert. Det hele ble implementert i simuleringssverktøyet MATLAB/SIMULINK, med forklaringer om hvordan ligningene brukes i SIMULINK, og hvordan alt fungerer som helhet. En simulering ble

kjørt som eksempel. Resultatene fra denne kan sees i figur 3.10. Den umiddelbare konklusjonen er at temperaturen i alle delene ligger rundt 20 grader, litt over i kontorene. Den konfigurasjonen som er valgt tilsier at alle er på jobb, det er en varm dag med 20 grader i luften og sola skinner fra en skyfri himmel. For å klare å holde denne temperaturen inne er derfor temperaturen på luften som blåses inn i bygget fra ventilasjonsanleggene satt til 10 grader. Dette kan virke noe kjølig, men eneste måte å senke temperaturen på er ved hjelp av ventilasjonen, og det genereres mye varme fra solen og utetemperaturen, i tillegg til det personer, utstyr og belysning gjør. Ved slike temperaturer ute er gulvvarmen og radiatorene slått av.

Ved å sette opp en konfigurasjon som gjelder en mørk og kald vinterdag, med like mange personer på jobb som i forrige eksempel, er det nødvendig å sette opp ventilasjonsvarmen. Først settes begge ventilasjonsanleggene til å levere luft med 20 grader. I denne simuleringen er det ikke brukt gulvvarme eller radiatorvarme. Resultatene sees i figur A.1. Det som er tydelig er at en ventilasjonsluft på 20 grader er nok til å holde over 20 grader innetemperatur i kontorene i 1. og 2. etasje. For de delene som er mer eksponert mot uteluften holder ikke denne ventilasjonsvarmen, og i kontorene i 3. etasje er temperaturen rundt 19 grader, mens i glasshallen er det bare ca 17 grader.

Ved å slå på gulvvarmen og radiatorene, oppnås temperaturene som oppgitt i figur A.2. Temperaturen er løftet mye i glasshallen, og det er nå ca 19 grader her. I de andre delene er det kun små temperturhevinger. Det som kommer tydeligst ut av disse grafene er at det tar mye mindre tid å varme opp de delene hvor det er gulvvarme, da denne varmen er svært effektiv. Dette er under forutsetningen at det ikke er noen tidsforsinkelse på gulvvarmen. En ser nå at dersom det er ønskelig at det skal være over 20 grader i alle delene, må temperaturen på ventilasjonsanlegget i 3. etasje settes opp. Med en konfigurasjon lik som forrige simulering, men med en temperatur på 23 grader i luften som blåses inn av ventilasjonsanlegget i 3. etasje, oppnås resultatene i figur A.3. Nå er temperaturen i kontorene i 3. etasje litt over 20 grader, mens temperaturen i glasshallen er rundt 20 grader. Dersom det er ønskelig å øke temperaturen i glasshallen uten å øke temperaturen i 3. etasje, kan golvtemperaturen skrus opp. Men da vil det selvfølgelig også bli varmere i kontorene i 1. etasje, noe som ikke er ønskelig.

Resultatene hittil har vært basert på at det er en temperatur på null grader ved start av simuleringene, og at påtrykte effekter er konstante. Resultatene i figur A.4 viser et scenario der det ved starten av simuleringen er 21 grader, og temperaturen som leveres fra ventilasjonsanleggene får et sprang fra 21 til 15 grader. Dette gjøres etter tre timer i ventilasjonsanlegget i 2. etasje, mens det gjøres et sprang i ventilasjonsanlegget i 3. etasje etter fem timer. Fra figur A.4 ser man hvordan temperaturen i hver del påvirker de andre delene.

Tilsvarende gjøres et sprang i gulvvarmen, mens alle andre effekter er kon-

stante. Dette gir tydelige utslag i temperaturen i 1. etasje og i glasshallen, men en kan også se en endring i 2. og 3. etasje som følge av temperaturendringene i de andre delene, selv om disse to etasjene ikke har gulvvarme direkte. Se figur A.5 for resultatene.

En siste simulering vist i denne oppgaven i figur A.6 viser hvordan temperaturen endres dersom alle personene på jobb skrur av alle lys og alt utstyr, og drar hjem på likt. Det som er tydelig her er hvor mye det har å si for temperaturen i 2. og 3. etasje, hvor det ikke er noen gulvvarme. Gulvvarmen er satt til 21 grader, og sørger derfor at det er relativt god varme i glasshallen og i 1. etasje. Denne simuleringen er tatt for en kald vinterdag med -20 grader som utetemperatur. Dersom det er varmere ute merkes denne effekten mindre. Men det er interessant å se hvor mye varme som skapes av personer, utstyr og belysning.

Det er nå gjort en del simuleringer for å vise noe av modellens muligheter. Det finnes svært mange flere måter å sette opp konfigurasjonene på, og hver påtrykte effekt på bygget utgjør forskjellig resultat ettersom hvilke andre påtrykte effekter som virker eller ikke virker på bygget. Det er ikke hensiktsmessig å presentere alle mulige kombinasjoner i denne rapporten, da dette blir svært omfattende. Men det utvalget som er gjort gir et bra bilde på hvordan modellen oppfører seg. Leseren oppfordres til å ta i bruk simulatoren og sette inn forskjellige verdier for de påtrykte effektene, for å få en bedre forståelse av modellens dynamikk.

5.1.2 Kommentarer om modellen

Med grunnlag i det som er gjort i forrige avsnitt, kan man danne seg et bilde av hvordan den matematiske modellen oppfører seg. Det er viktig å presisere at alle simuleringene er gjort uten noen form for styring, det er kun byggets dynamikk som simuleres. Ved første øyekast ser modellen troverdig ut. En økning i utetemperaturen sørger for økning i innetemperaturen i alle deler, og da mest i de delene som er mest utsatt for denne uteluften, som glasshallen og 3. etasje. Det samme gjelder for solinnstrålingen, da mye sol gir høy innetemperatur, mens 'overskyet vær' gir lavere temperatur. Simuleringer viser at mennesker, utstyr og belysning bidrar til en høyere innetemperatur. Også endringer i gulvvarmen gir markante endringer i innetemperaturen. Det er også tydelig at temperaturen i en del påvirker temperaturen til de delene som ligger inntil, ved varmeledning og konveksjon gjennom veggene.

Kompleksiteten i systemet vises i de forskjellige avhengighetene, og at hver del reagerer på de påtrykte effektene på ulik måte, alt etter størrelse, plassering i forhold til hverandre og sammensetning av vegger og vinduer. Mer vinduer gir som forventet mer følsomhet for været ute, det være seg temperatur og solstråling. Dette gjør seg spesielt gjeldene for glasshallen, hvis vegger består

av svært mye glass. Kontorene i 3. etasje er også mer utsatt for været ute, da alle fire veggene samt taket vender ut mot fri luft. Kontorene i 1. og 2. etasje ser ikke ut til å bli påvirket i samme grad som de to andre delene av været, da mye areal grenser mot andre deler av bygget.

Ellers kan det kommenteres at gulvvarmen utgjør en veldig rask respons. Dette kommer av det høye overgangstallet som er brukt i Uponors håndbok for gulvvarme, [26]. Det kan kanskje diskuteres om dette overgangstallet kan være noe høyt. Men samtidig er det klart at gulvvarmen bør møte lite motstand på veien mot luften. Det er viktig å være klar over at det er to måter å se på hvordan gulvvarmen virker. Den ene er å se på hvordan varmen sprer seg fra varmtvannet i rørene til betongen, og videre utorver i selve betongen. Den andre måten er å se på hvordan varmen går fra betongen til luften. I denne oppgaven har kun varmen fra betongen til luft blitt modellert, ikke varmespredning fra varmtvann til betong. Dermed kan en høy verdi på overgangen forsvares, fordi det antas at betongen allerede holder den temperaturen som settes. Det tas altså ikke hensyn til at det er en treg prosess å varme opp betongen med varmtvannet som flyter i rørene. Dette er blitt gjort fordi det har vært fokus på dynamikken i selve bygget, og ikke i komponentene som produserer varmen. Det har ikke blitt funnet tid til å utvide modellen til å inkludere denne effekten. Det samme gjelder for ventilasjonsanlegget.

De forskjellige effektene påvirker innetemperaturen med forskjellige tidskonstanter. Simuleringene viser at de fleste tidskonstantene ligger mellom en halvtime og en time. Dette kan i utgangspunktet synes å være noe kort. Men dersom man tar hensyn til hvor mye luft som blåses inn og ut av bygget av ventilasjonsanlegget, får man et annet syn på det. Kontorene i 1. og 2. etasje antas å ha et flateareal på $600m^2$, og en høyde på $3m$. Dette gir et volum på $1800m^3$, og med en tetthet på luften får man en masse på litt under 2200 kg. Ventilasjonsanleggene er satt til å blåse inn 9720 kg luft per time hver, og deles dette på to deler vil det si at det kommer 4860 kg med ny oppvarmet luft hver time inn i hver del, og tilsvarende suges ut. Med dette regnestykket i bakhånden ser man at all luftmasse byttes ut etter omtrent en halv time. Da er det forutsatt at all gammel luft suges ut før den nye har fylt rommet. Tallene fra dette regnestykket er som tidligere nevnt omtrentlige, da eksakte mål på bygningen ikke er gitt. Men luftmengden som kommer fra ventilasjonsanleggene er tatt fra en vanlig driftsituasjon hos Prediktor.

Videre noen kommentarer om værfaktorer. Solinnstrålingen er som nevnt i kapittel 3 tatt som et snitt av total solinnstråling, det vil si snittet av det som kommer på sørveggen og det som kommer på nordveggen, da disse to arealene er like. Dette gir at dersom en regner med at det kommer en soleffekt på $600W/m^2$ på sørsiden, og $100W/m^2$ på nordsiden, brukes det at det stråler med en effekt på $350W/m^2$ på hvert vindu, uavhengig av retning. Eksakte målinger av soleffekt er nødvendig for å bekrefte disse tallene, noe som kan gjøres med den nye værstasjonen som er kjøpt inn, 4.1.2, når den er montert

på et korrekt sted. Når det kommer til vind, har dette ikke blitt tatt med i modelleringen. For å kunne si noe om vindens påvirkning på temperaturen inne, kreves det en test av bygget som viser hvor mye varmetap som oppleves på grunn av trykkforskjeller ute og inne. En slik test har ikke blitt gjort da det krever spesielle måleinstrumenter som blant annet infrarødt kamera. Det har ikke lyktes å finne generelle verdier for slikt, og vind er altså utelukket fra modellen. Et videre arbeid bør finne en måte å få tak i informasjon om vindens påvirkning, og legge det inn i modellen, da en vet av erfaring at kald vind ute fører til at det blir noe kjøligere inne.

Til slutt noen kommentarer om implementeringen av modellen i MATLAB/SIMULINK. Ettersom alle data for bygget er samlet i filen *run.m*, er det enkelt for en bruker å endre data. Der kan størrelsesmål endres, og overgangstall og u-verdier kan endres dersom ønskelig. Det er også mulig i denne filen å endre antall personer i hver del. For simuleringens del kan initialtemperaturen i bygget endres, og tegningen av grafene som gjøres i slutten av filen kan gjøres om for tegning av andre grafer. Dersom det er ønskelig å endre verdiene på de påtrykte effektene, gjøres dette enkelt ved å aksessere *prediktor.mdl*, og klikke seg inn i den ønskede effekten. Der er det da bare å endre konstantenes verdier, før en simulering gjøres ved å kjøre *run.m*. Siden alt er modulært kan dette gjøres enkelt og greit, og dynamikken til hver effekt kan implementeres inne i den aktuelle boksen.

Med dette kan det sies at det er utviklet en modell av temperaturdynamikken i bygget til Prediktor som viser seg å gi forståelige simuleringer. De fysiske prinsippene er lagt i grunnen, og omtrentlige parameterverdier er brukt. Ut ifra forskjellige simuleringer viser modellen at den samsvarer med det som en forventer. Simulatoren er modulær, og endringer lar seg enkelt gjøre for å tilpasse systemet enda mer med virkeligheten. For en fullstendig vurdering av modellens troverdighet er det nødvendig å sammenligne simuleringene med fysiske målinger gjort i bygget.

5.2 Analyse av målingene gjort hos Prediktor

I kapittel 4 ble det presentert hvilke sensorer som er tilgjengelige hos Prediktor, og hvordan data kan leses av disse, slik at de kan brukes i APIS. Som det ble poengtert der er det ikke mulig å få energimålingene fra Kamstrups sensorer inn i APIS, og data fra værstasjonen er ikke tilgjengelige, da det må utvikles et interface mellom WeatherLinkIP dataloggeren og APIS først. I så måte er ikke målesystemet komplett, men andre målinger er tilgjengelige, og noen er blitt logget over tid, slik at det er mulig å lage trender av disse dataene, ved hjelp av APIS Process Explorer, se avsnitt 4.3.4.

5.2.1 Ventilasjonsanlegget

Figur B.1 viser fire grafer som har et tidsperspektiv på en uke. Dette er data levert av ventilasjonsanlegget i 2. etasje, og grafene er vist i APIS Process Explorer. Den røde grafen viser utetemperaturen målt av anlegget, og en kan tydelig se forskjell på natt og dag. Den blå grafen viser temperaturen på luften som kommer fra avtrekkene i hallen og i kontorene i 3. etasje. Dette blir da snittemperaturen i de to delene. Hver dag klokken sju på morgenen settes anlegget i full drift, det vil si at viftene kjører den luftmengden som er satt, om natten kjøres den for halv maskin. Når viftene går for fullt, rekker ikke systemet å varme opp all luften til riktig temperatur, og kjølig morgenluft blåses inn i bygget. Ettersom det er liten aktivitet i kontorene så tidlig på morgenen, blir romtemperaturen senket kraftig, før systemet begynner å varme luften opp igjen, og personer kommer inn i bygget.

Ellers kan det observeres at temperaturen inne stiger mer i løpet av dagen når det er større svingninger i temperaturen ute. Den grønne grafen viser temperaturen på luften som blåses inn i bygget, og denne varierer mye. Dette kommer av at varmeveksleren, som er vist i lilla farge, varierer mye på grunn av reguleringen som gjøres. Ved små temperaturendringer ute, som i begynnelsen av den viste uka, klarer den å regulere romtemperaturen noenlunde bra. Men mot slutten av uka ser man at varmeveksleren får svingninger, noe som gir ustabil temperatur på luften som kommer inn i bygget, som igjen gir høyere romtemperatur.

Ved å se på de to siste dagene av uken ovenfor nærmere, kommer det fram mer detaljer. Figur B.2 viser dette, med grafen med kjøling lagt oppå i gult. Dette viser at kjølingen brukes som et supplement når varmeveksleren står stille og ikke kan gi kaldere luft. Kjølingen bidrar til at luften som blåses inn blir kaldere, som igjen senker innetemperaturen til ønsket temperatur. Men som man kan se i figuren kan også kjølingen stå og svinge, som bidrar til den ustabile temperaturen på luften som blåses inn. På grunn av dette stiger innetemperaturen igjen. Det ser altså ut til at den reguleringen som gjøres i ventilasjonsanleggene ikke er optimal, og dermed klarer heller ikke systemet å regulere temperaturen i bygget på en tilfredsstillende måte. Denne uheldige effekten kommer tydeligst til syne når det er stor temperaturendring ute, og når det er mye sol. Det med sol er ikke målt, men observert ved å være i bygget og overvåke situasjonen. Det samme problemet gjelder også for ventilasjonsanlegget i 2. etasje, se figur B.3. Trendene i denne figuren er relativt like de fra 3. etasje. Men som en ser av grafen for kjølingen, er kjølingen i perioder kjørt maksimalt. Dette vil være et problem dersom det blir enda varmere ute og mye sol. Da har ikke systemet kapasitet til å kjøle ned mer enn det som vises her, og temperaturen inne i bygget vil dermed stige mer. Fra grafene ser man at romtemperaturen ofte ligger rundt 24 grader, og dette er varmere enn det som er anbefalt romtemperatur og hva som oppleves som

behagelig, 2.

Enkelte dager gir særdeles dårlig regulering av innnetemperaturen, se figur B.4. Dette er data fra to dager tidlig i mai, hvor ønsket innnetemperatur er satt til 21 grader, i motsetning til ønsket temperatur som er satt til 23,5 grader i de foregående målingene. Figur B.4 viser at varmeveksleren svinger voldsomt for å prøve å regulere temperaturen ned, og er ustabil. Dette gir igjen en svært stor variasjon i temperaturen som blåses inn i bygningen, og romtemperaturen blir da altfor høy. Det som da utpeker seg er at et lavt settpunkt for innnetemperaturen, som krever mer av reguleringssystemet, fører til at varmeveksleren blir ustabil, og ikke klarer å nedjustere temperaturen. Dette er et reguleringsproblem som stammer fra innstillinger av ventilasjonsanleggene, noe leverandøren bør kunne hjelpe til med. Kontakt har blitt tatt med Swegon, uten at konkrete løsninger har løst problemet. Med et ventilasjonssystem som ikke fungerer optimalt er det vanskelig å tolke dataene i detalj.

5.2.2 Varmtvannsanlegget

Utenom dataene fra ventilasjonsanleggene har også data fra varmtvannssystemet blitt lagt inn i APIS og logget der. Det sitter åtte temperaturmålere i systemet, som hver måler sitt rør. En beskrivelse av hvordan sensorene er plassert og logget finnes i kapittel 4. Disse sensorene måler altså temperaturen på vannet som går inn i hver del, og på vannet som kommer tilbake igjen etter å ha blitt brukt til oppvarming. Systemet er delt opp i tre delsystemer, det ene er oppvarming via gulvvarme, det andre er oppvarming via radiatorer, mens det tredje er oppvarming via ventilasjonsaggregatene. Til slutt er det et sensorpar som måler temperaturen på tur og returvannet på hovedrørene, som siden fordeler seg til de tre delsystemene.

Et eksempel på hvordan dataene kan se ut i APIS Process Explorer er vist i figur B.5. Denne figuren viser hvordan temperaturen i vannet som hører til gulvvarmekretsen endrer seg i løpet av to døgn. Den blå grafen viser temperaturen på vannet som sendes inn i gulvvarmekretsen, mens den røde viser returtemperaturen. Returtemperaturen ligger noe lavere enn turtemperaturen, noe som viser at varme har blitt avgitt til omgivelsene via gulvvarmesystemet. Selve kvaliteten på målingene er litt dårlig, da målingene endrer seg veldig fort og relativt mye per sample, da grafene viser rådataene. Ved å bruke en funksjon i Process Explorer kalt 'average' vises grafen som et snitt av målingene, noe som gir en mye mer stabil og anvendelig graf, se figur B.6. Denne figuren viser akkurat det samme som figur B.5, med snittfunksjonen aktivert.

Implementeringen av disse temperaturfølerne er gjort for å kunne ha en oversikt over hvor mye energi som brukes, og hvordan denne energien fordeles i bygget. På denne måten er det interessant å se på differansen mellom tur- og returtemperaturene i de forskjellige delsystemene. Et eksempel, som også

går over to døgn, vises i figur B.7. I denne figuren er temperaturforskjellen, kalt ΔT , i hvert delsystem vist. Den grønne grafen viser ΔT for ventilasjonsanlegget, den blå viser ΔT for radiatorsystemet, mens den røde viser ΔT for gulvvarmesystemet. En høy verdi på en ΔT viser at det er stor forskjell mellom tur- og returtemperatur, og at det da følgelig er avgitt mye varme til omgivelsene. Liten ΔT betyr at det er lite varme som er avgitt. Dette gir at det brukes lite varme i ventilasjonsanlegget. For radiatorsystemet og gulvvarmesystemet blir det brukt mer varme, og da spesielt om natten. Om dagen er bruket minimalt, da utetemperatur i tillegg til alle andre effekter gir mer varme i bygget. Selv om det ikke brukes noe varme i et system, vil det kunne måles en ΔT . Dette er fordi rørene som er plassert rundt i bygget ikke er perfekt isolert, og noe varme tapes på veien uansett. Dette er avhengig av hvor lange rørene er.

Kvaliteten og usikkerheten på temperaturmålingene kan kommenteres. Figur B.8 viser turtemperaturen på alle de fire rørene, tre delsystemer og en fra hovedkretsen. Normalt sett burde temperaturen på alle disse rørene være tilnærmet like, da vannet i hvert rør stammer fra samme hovedrør, og avstanden mellom sensorene er svært kort. Men som en kan se i figuren er temperaturene så og si like for de tre delsystemene, mens hovedrøret ligger noe under i temperatur, vist i rød graf. Det er vurdert til at det er målingene fra hovedrøret som er noe feil, da de tre andre temperaturene er såpass like. Som en løsning på dette er temperaturen på hovedrøret satt til å være lik snittverdien til de tre andre, noe som gir forståelige data.

Til slutt er det viktig å være klar over at temperaturen på vannet som er tilgjengelig til å sendes ut i bygget er regulert etter utetemperaturen, noe B.9 viser. Dersom utetemperaturen stiger, se gul graf, senkes temperaturen på varmtvannet, og omvendt. Denne reguleringen av vanntemperaturen er ikke behandlet i denne oppgaven.

5.3 Vurdering av systemene

Den teoretiske modellens resultater er kommentert og forklart, det samme er de resultatene som har blitt oppnådd fra det fysiske klimaanlegget. En sammenligning mellom teori og virkelighet er allikevel vanskelig, da resultatene fra klimaanlegget er påvirket av at ventilasjonsaggregatene ofte er ustabile på grunn av reguleringen som gjøres innad i anlegget. På grunn av slike vanskeligheter med målingene er det heller ikke blitt utført tester og sprangresponser på det fysiske anlegget. Dette er også noe som krever mye planlegging, da det ikke ville vært veldig populært å kjøre slike tester mens folk er på jobb. Men for at det skal være mulig å kunne sammenligne de teoretiske resultatene med det som måles i bygget, er slike tester nødvendig. Da må også reguleringen i ventilasjonsaggregatene fungere tilfredsstillende.

Det som kan sies ut ifra de resultatene som er oppnådd, er at selve målingene som gjøres fra ventilasjonsanleggene stort sett kan brukes som de er. Det kan være en fordel å bruke et slags filter på dataene som kommer fra varmtvannet, som det er gjort i visualiseringen, da verdier ofte varierer rundt en middelvei. Dersom en antar at ventilasjonsanleggene fungerer tilfredsstillende har man data fra disse tilgjengelige, sammen med data for energibruk av varmtvannet. I tillegg er data fra *yr.no* tilgjengelige, disse er gitt som tabeller av stringer, men ved å hente ut første element i hver værparametertabell får man forventet vær i neste sekstimersperiode. Når det er laget en modul som leser av dataene fra værstasjonen og legger dette inn i APIS, kan værinformasjonen brukes for tester. Med alle disse dataene tilgjengelig går det an å danne et sentralstyrt klimaanlegg, basert på de målte verdiene.

Modellen som er utviklet er basert på fysiske lover, med en del forenklinger. Resultatene fra denne virker lovende, selv om de ikke har blitt direkte sammenlignet med målingene fra det fysiske anlegget. Men prinsippene om at kaldere luft ute krever mer varme inne og omvendt fungerer. Og fra modellen er det ingen resultater som virker usannsynlige. Det ble kommentert at tidskonstantene så ut til å være litt korte utifra hva man tenker seg er logisk. Men med det som kan leses ut fra målingene fra klimaanlegget ser man at en rask endring i temperaturen på luften som blåses inn i bygget har en tilnærmet lik tidskonstant på romtemperaturen som i modellen. Dette bekrefter modellens troverdighet. Ved å legge inn eksakte verdier i modellen er det forventet at denne vil oppføre seg enda likere det virkelige bygget. Med en modell som beskriver virkeligheten kan reguleringsprinsipper testes på modellen før en fysisk implementering.

En usikkerhet i modellen er solens påvirkning, hvor snittverdier er brukt. En veldig lærerik test hadde vært og sammenlignet modellens resultater med det fysiske anleggets resultater, med et fokus på effekt levert av solen. En slik test forutsetter nok en gang at ventilasjonsanleggene fungerer tilfredsstillende. Det er helt nødvendig at ventilasjonsanleggene virker som det skal, før noen tester for sammenligninger med modellen kan gjøres.

Kapittel 6

Diskusjon

Med en teoretisk modell utviklet i kapittel 3, og implementering av et system som samler inn data i kapittel 4, ble resultatene og løsningene kommentert i kapittel 5. I dette kapittelet tas kommentarene litt lenger, og det fungerer som en oppsummering av punkter det er noe å utsette på.

Styresystem

I denne oppgaven er det tatt som utgangspunkt å danne et sentralstyrt driftsanlegg (SD) hos Prediktor. Et SD anlegg bruker innsamlede data fra hele bygget og kombinerer dette med kunnskap om systemegenskapene for å styre temperaturen i bygget på en optimal og energieffektiv måte. Dette er beskrevet i mer detalj i teorikapittelet, kapittel 2. En annen måte å basere reguleringen av temperaturen på, som også er nevnt i kapittel 2, er behovstyrt regulering. Det vil si at regulering av temperaturen gjøres kun der det er behov for det, altså der det oppholder seg personer. Dersom det ikke er personer i et rom, trenger det heller ikke å bruke energi på en optimal temperatur i det rommet. Det kunne faktisk være en god måte å regulere på hos Prediktor, da det er mange små og mellomstore rom i bygget, og det er sjelden at alle rommene blir brukt samtidig. På den måten kunne energi ha blitt spart, ved å kun regulere der det er folk. For at dette systemet skal fungere er det nødvendig å ha sensorer i alle rom som kan detektere om det er noen i rommet eller ikke, dører må være lukket og det må også være noe som fysisk stenger varme og luft som skal inn i rommet. Dette er en dyr løsning, men effektiv ifølge flere veiledere og bøker, [10].

Det kunne også ha blitt styrt mer etter hvordan solen skinner på bygningen. Den ene langsiden av bygget vender mot sør, mens den andre langsiden da vender mot nord. På grunn av denne plasseringen vil alle som har kontorer på sørsiden av bygget oppleve mye større effekt av solen enn de som sitter på nordsiden. Dette fører til at det blir mye varmere sør i bygget enn nord i

bygget. Med et klimaanlegg som kun tar hensyn til hele etasjer vil det kun sees på snittemperaturen. Dersom det skal tas hensyn til varmen som oppleves på sørsiden vil det bli kaldt på nordsiden, og omvendt. En løsning hadde vært og delt opp ventilasjonsanlegget på en annen måte enn det er nå, slik at ett aggregat virker på sørsiden med ett settpunkt, mens ett annet aggregat virker på nordsiden med et annet settpunkt. Dette er nå ikke mulig, da ventilasjonsanleggene ikke er lagt inn på den måten hos Prediktor, og en endring er også svært dyrt.

Videre er det litt problematisk at glasshallen og kontorene i 1. etasje deler samme gulvvarmesystem, men ikke samme ventilasjonsanlegg, som beskrevet i kapittel 2. Dette gjør at endringer som gjøres i en del påvirker andre deler mer enn ønskelig. Dersom gulvvarmen hadde vært delt opp i to kretser hadde slike problemer vært unngått. Men som i de foregående situasjonene er dette svært kostbart å gjøre i etterkant av byggingen.

Den teoretiske modellen

Modellen som ble utviklet i kapittel 3 er kommentert i analysen i kapittel 5. Der kom det fram at modellen oppfører seg på en måte som samsvarer med det en forventer og hva som erfares. Men det er viktig å legge seg på minnet at de fysiske målene av de ulike delene er svært unøyaktige, da det ikke har blitt brukt noen plantegninger av bygget under modelleringen. Dette fører til at størrelser som areal og ikke minst volum fort kan avvike mye fra hva som faktisk er tilfelle. Volumstørrelsene har mye å si på hvor fort oppvarmingen går, og hvor mye energi som trengs for å holde en jevn temperatur.

Omtrentlige og unøyaktige verdier er også blitt brukt for materialer i vegger, vinduer, tak og gulv. Det har i modellen blitt brukt generelle og veiledende verdier, slik at dette samsvarer med kravene fra byggeveiledere. I tillegg har det blitt gjort en kvalifisert gjetning på u-verdien til vegger og gulv/tak som grenser mot andre deler. Grunnlaget er tatt på at innervegger ikke trenger å være like godt isolert som yttervegger, og derfor har en noe høyere u-verdi enn det som ytterveggene har. For en eksakt u-verdi er det nødvendig med god kjennskap til alle materialer som er brukt, med varmeledningstall, konveksjonstall og strålingstall, for så å matematisk regne ut u-verdien. Endringer i u-verdien vil påvirke temperaturendringene inne i bygget, men med bruk av anbefalte verdier er det antatt at dette gir rimelige estimer på de faktiske verdiene.

Vindens effekt på temperaturen er ikke tatt med i det hele tatt, på grunn av manglende data og verdier som sier noe om hvor mye varmetap som oppleves på grunn av trykkforskjellene vinder skaper. For å utføre en test som kan finne disse verdiene er det nødvendig med et infrarødt kamera som måler hvor og hvor mye varme som tapes, når det er et overtrykk inne i bygningen. Å legge

til en vindfaktor vil helt klart være med på å forbedre modellen, da erfaring tilsier at det blir kjøligere inne når det blåser kalde vinder ute.

De påtrykte effektene er modellert som konstante verdier, eventuelt som sprang. For å simulere temperaturendringer over et døgn er det nødvendig å definere forskjellige scenarioer, som at det er en dag med mye sol og høy temperatur, eller at det er grått og kaldt. Da må også nattverdier legges inn. Dette er fullt mulig slik modellen er laget i SIMULINK.

Det som mangler for å gjøre modellen nærmest komplett er å modellere de tekniske installasjonene, og få med tregheten i oppvarmingen av elementene. Fokuset i denne rapporten har vært å modellere dynamikken i bygget. Men dersom et reguleringssystem skal testes på modellen, er det nødvendig å ha kjennskap til hvordan de tekniske installasjonene reagerer på endringer i settpunkt. Da må det modelleres hvordan gulvets varme endres som funksjon av endring i ønsket gulvvarme, noe som det er kjent tar lang tid. Det samme gjelder for radiatorene, selv om tidskonstanten her er mye mindre enn for gulvet. I tillegg må ventilasjonsanlegget modelleres, noe som kan være litt arbeid, da selve aggregatene reguleres innad etter ulike prinsipper. I framtiden må det avgjøres om et innebygd reguleringssystem skal brukes, eller om alt skal lages på nytt i et SD anlegg.

Datainnsamling

Oppsettet og forklaringene av sensorer og innsamlingen av dataene fra disse sensorene er gitt i kapittel 4, mens eksempler på målinger er gitt i kapittel 5 med kommentarer om kvaliteten på dem. Fra disse kapitlene er det klart at man har målinger tilgjengelig i APIS formatet fra ventilasjonsanlegget og fra varmtvannsystemet, samt fremtidige værmeldinger fra *yr.no*. Det som mangler er målinger av været i nåtid. Der er sensorsystemet klart, men det gjenstår en konvertering av dataene fra WeatherLinkIP dataloggeren til APIS før disse dataene kan brukes.

Målingene fra ventilasjonsanlegget er påvirket av at reguleringssystemet innad i ventilasjonsanlegget ikke fungerer tilfredsstillende. Ustabil regulering av varmeveksleren gir store og hyppige svingninger i temperaturen på luften som blåses inn i bygget, noe som igjen påvirker innetemperaturen i stor grad. Fra målingene blir det for varmt i bygget i forhold til hva som er ønsket. Ved å sette opp ønsket innetemperatur blir reguleringen mer stabil, men det er ikke ønskelig å ha fast en temperatur på rundt 24 grader. Dette problemet kan danne grunnlaget for hvorvidt systemet selv skal styre reguleringen, eller om dette bør omfattes i reguleringen gjort i et komplett SD anlegg.

Det finnes ingen direkte måling av brukt energi i varmtvannsanlegget, og det er heller ikke noen tilgang til temperaturmålinger i gulv eller radiatorer. Eneste målinger er temperaturen på vannet inn og ut av et oppvarmingssystem.

Dette gir da en oversikt over hvor mye varme som er avgitt i systemet, og et mål indirekte på hvor mye energi som er brukt. Dette kan senere brukes både til energiregnskap, men også som faktorer i temperaturreguleringen i et SD anlegg. Selve målingene bør filtreres noe slik at store variasjoner i målingene ikke blir brukt i reguleringen direkte, men at den hovedgående tendensen som virker over lang tid heller blir brukt. Det er også viktig å få med seg at temperaturmålingen på hovedrøret ikke samsvarer helt med de andre målingene, og at denne målingen må gis en liten 'offset' verdi, eventuelt bruke snittemperaturen fra de tre andre sensorene som et mål på temperaturen.

Nedlastingen av data fra *yr.no* til APIS opplever noen ganger oppdateringsproblemer, slik at den værmeldingen som vises som neste sekstimers varsel egentlig viser varselet fra noen dager tilbake i tid. Dette løses ved å manuelt oppdatere modulen, men dette er ikke tilfredsstillende i et automatisk reguleringssystem, og er noe som må rettes opp på før disse dataene kan brukes. Her oppfordres det til å ta kontakt med Hans Øyvind Kvilesjø som er personen som har utviklet APISYrBee modulen.

Målingene av energibruket fra fjernvarmen som er tilgjengelige fra Kamstrups Meter Reader er ikke mulig å få tak i uten bruk av Kamstrups software, og det finnes ingen automatisk loggefunksjon. Derfor må det vurderes hvorvidt dette kan brukes, og om det er mulig å sette inn egne sensorer for måling og bruk i et SD anlegg.

Kapittel 7

Konklusjon

Det har i denne oppgaven blitt utviklet en matematisk modell for endring av temperaturen inne i Prediktors kontorbygg. Denne modellen er basert på fysiske prinsipper som masse- og energibalanser, med varmeledning gjennom materialer som påvirkninger. Det har blitt tatt hensyn til hvordan forskjellige tekniske installasjoner påvirker temperaturen, samt hvordan været ute har betydning for endringen av temperaturen. I tillegg er det tatt med hvordan personer, utstyr og belysning avgir effekt til systemet, noe som er med på å heve temperaturen. Med dette implementert i MATLAB/SIMULINK har flere simuleringer blitt gjort. Resultatene fra disse simuleringene viser hvordan temperaturen endres som følge av forskjellige påvirkninger.

Selv med noen upresise verdier på fysiske størrelser av bygget og materialer brukt i vegger, vinduer, gulv og tak viser simuleringene svært lovende resultater. Innnetemperaturen stiger og synker ettersom utetemperaturen endres, og mer solinnstråling gir høyere temperatur inne. Temperaturen inne kan fint kontrolleres av felles bruk av ventilasjon, gulvvarme og radiatorer. Og det er vist at en endring i temperaturen i én del påvirker temperaturen i de andre delene. Det er også vist at personer, utstyr og belysning faktisk utgjør en relativt stor forskjell i produsert varme.

Det er også utviklet et sensoravlesningssystem i APIS. Det er satt opp en konfigurasjon som leser av data fra ventilasjonsanleggene og fra varmtvannsanlegget. I tillegg er det mulig å hente data om framtidig vær fra *yr.no*. De dataene som er tilgjengelige i APIS kan brukes i flere systemer, som utregninger, analyser og logisk styring for å nevne noe. I denne oppgaven er dataene brukt til å bli logget og presentert i APIS Process Explorer, slik at det er mulig å se på de historiske trendene, gjerne flere data samtidig for sammenligninger. Fra analysene av disse dataene er det funnet at det er et reguleringsproblem i ventilasjonsanleggene fra Swegon, da varmeveksleren er ustabil. Dette fører til ustabil temperatur på luften som blåses inn i bygget, og romtemperaturen blir på grunn av dette altfor høy. For å kunne bruke disse dataene til et styresystem

må dette problemet løses. Data fra varmtvannsanlegget viser tur- og returtemperaturer på vannet som strømmer i de forskjellige delene i bygget. Differansen mellom tur- og returtemperaturen gir et mål på hvor mye varme som er avgitt til omgivelsene, og dermed et mål på forbrukt energi.

I tillegg er det kjøpt inn en værstasjon som skal måle forskjellige parametere i været. Denne stasjonen er konfigurert og virker, men leverer ikke noen data til APIS systemet. Med en slik værstasjon har man full oversikt over hvordan været er til enhver tid.

Det som er gjort i denne oppgaven danner et godt grunnlag og basisen for et SD anlegg. Videre arbeider kan da konsentreres mest om selve styringssystemet basert på de data som er gjort tilgjengelig i denne oppgaven, og den kunnskapen om modellen som er gitt.

Kapittel 8

Framtidig arbeid

Et stort arbeid er blitt gjort med matematisk modellering og implementering av modellen i SIMULINK for å kunne forstå dynamikken i energibalansen i bygget til Prediktor. Dette tjener også som en simulator hvor reguleringsprinsipper kan testes. Det er også gjort mye arbeid for å få samlet alle sensorverdier i en konsoll i APIS. Dette er gjort for å kunne logge data og lage historiske trender, men mest av alt er det gjort for å danne grunnlaget for et Sentralstyrt Driftsanlegg. Med det arbeidet som er gjort er det nå klargjort for videre utvikling av et system som kan regulere temperaturen hos Prediktor på en mer tilfredsstillende måte enn slik det gjøres nå.

Men det er enkelte ting som gjenstår for å kunne starte på reguleringssystemet. Først av alt er det nødvendig å programmere en APISmodul som kan lese av data fra WeatherLinkIP dataloggeren. I avsnitt 4.2.3 er framgangsmåten beskrevet.

Den teoretiske modellen kan med fordel utbedres for å ligne mer på det fysiske bygget. Dette gjelder som tidligere kommentert å bruke eksakte størrelser på vegger, gulv, vinduer og så videre. Videre kan eksakte u -verdier regnes ut for de veggene og glassene som er i bygget ved å finne de riktige materialene og deres termiske egenskaper. For å gjøre modellen for bygget komplett bør vindens påvirkning legges inn. Denne kan finnes ved relativt krevende tester med infrarødt kamera. Det er også mulig at dette kan finnes i plantegningene av bygget.

I tillegg er det nødvendig å legge til enkelte ting i modellen før en eventuell reguleringsalgoritme kan testes i SIMULINK. Dette innebærer en modellering av aktuatordynamikken, det vil si hvordan varmen sprer seg i betonggulvet, hvordan radiatorene fungerer og hvordan oppvarming av luft gjøres i ventilasjonsanlegget. En forståelse for dette vil hjelpe ved design av reguleringsystemet, og kan også hjelpe ved sammenligningstester med de fysiske dataene.

Flere tester bør gjøres både av det fysiske systemet og den teoretiske mod-

ellen, slik at et godt sammenligningsgrunnlag kan legges. Dette krever i midlertidig at ventilasjonsanlegget fungerer, og dermed må ustabiliteten i reguleringen innad i systemene fjernes. Ved et fungerende ventilasjonssystem og måldata fra værstasjonen kan tester utføres, og sammenlignes med tilsvarende tester i simulatoren.

Til slutt gjenstår det som er selve målet med hele systemet, nemlig å designe et reguleringssystem som kan brukes hos Prediktor. Dette systemet bør gi en mest mulig optimal temperatur til enhver tid, med et fokus på energieffektivitet. Da kan det tas hensyn til de forskjellige systemene som varmer, og været ute kan også brukes for å sette optimale verdier inne. I tillegg bør man måle energiforbruk, slik at et energiregnskap kan vises. Det er også naturlig å legge inn alarmer som sier ifra dersom noen temperaturgrenser nåes, eventuelt at det er noe galt med noe i systemet. Et forslag er å kunne sende disse alarmene på sms eller mail til den som er driftssansvarlig.

Forkortelser

APIS - Advanced Plant Information System
ASCII - American Standard Code for Information Interchange
BAS - Byggnings Automatiserings System
CE - Conformité Européenne
DID - Device ID
DLL - Dynamic Link Library
FHSS - Frequency-Hopping Spread Spectrum
ID - IDentifikasjon
IP - Internet Protocol
IT - InformasjonsTeknologi
ISS - Integrated Sensor Suite
K - Kelvin
MHz - MegaHertz
MPC - Model Predictive Control
NRK - Norsk RiksKringkasting
NTNU - Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet
OLE - Object Linking and Embedding
OPC - OLE for Process Control
OSI - Open System Interconnection Reference Model
PC - Personal Computer
PE - Process Explorer
PHP - PHP: Hypertext Preprocessor
PID - Proporsjonal-Integral-Derivat
PLS - Programmerbar Logisk Styring
SD - Sentralt Driftskontroll
SIM - Sensor Interface Module
TCP - Transmission Control Protocol
UV - Ultra Violet
VVS - Varme-, Ventilasjons- og Sanitærteknikk
W - Watt
XML - Extensible Markup Language

Bibliografi

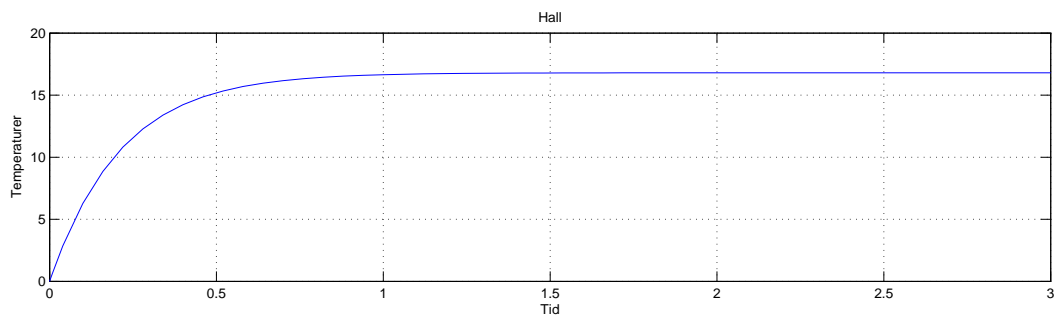
- [1] CLIFFORD, G. E. *Modern Heating & Ventilating Systems Design*. Regents/ Prentice Hall, Inc, 1993.
- [2] DAVIS. Integrated Sensor Suite Installation Manual. Manual for bruk av Vantage Pro2 Plus værstasjon. Tilgjengelig på davisnet.com.
- [3] DAVIS. Technical Documentation for VantagePro Dll 2.42. Dokumentasjon for DLL konstanter, funksjoner og strukturer, med eksempler. Filen heter readme.htm.
- [4] DAVIS. Vantage Pro2 Console Manual. Manual for bruk av Vantage Pro2 Plus konsoll. Tilgjengelig på davisnet.com.
- [5] DAVIS. WeatherLink for Vantage Pro and Vantage Pro2. Spesifikasjonen av WeatherLinkIP. Tilgjengelig på davisnet.com.
- [6] DAVIS. WeatherLink: Getting Started Guide. Oppstartsguide for oppsett av WeatherLink. Tilgjengelig på davisnet.com.
- [7] DAVIS. Wireless Vantage Pro2 Vantage Pro2 Plus Stations. Spesifikasjon av Vantage Pro2 Plus ISS. Tilgjengelig på davisnet.com.
- [8] DOKKA, T. H., AND THYHOLT, M. *Passiv klimatisering. Vurdering av termisk komfort, luftkvalitet, dagslys og energibruk på kontorbygget 'Pyn-ten'*. SINTEF Bygg og miljø, Arkitektur og byggteknikk, 2002.
- [9] EGELAND, O., AND GRAVDAL, J. T. *Modeling and Simulation for Automatic Control*. Marine Cybernetics AS, 2002.
- [10] HANSEN, S. T., THUE, J. V., SKARSTEIN, O., GJERSTAD, F. O., AND NOVAKOVIC, V. *Enøk i bygninger. Effektiv energibruk*. Sintef Universitetsforlaget, 1996.
- [11] HARSVIK, K. F., AND KILVÆR, R. *Building Control: En studie av markeds- og konkurransesituasjonen i Norge for etablering av Teleca Wireless Solutions AS som leverandør av intelligente styringssystemer til byggautomatiseringsanlegg*. Masteroppgave, Høgskolen i Agder, 2005.

- [12] HOLM, S., CHRISTIANSEN, T., EMILSEN, J., SCHAUG, E., AND SYVERSEN, G. Terminologihefte for Bygningsautomatisering. Tech. rep., Arbeidsgruppen for teknisk terminologi for NVEF's Gruppe for Bygningsautomatisering, 2. utgave 1999.
- [13] KAMSTRUP. Datablad Kamstrup Meter Reader. Spesifikasjon av Kamstrups USB Meter Reader. Tilgjengelig på kamstrup.no.
- [14] ØKOBYGG. Bygg for framtiden - med intelligente styringssystemer. Veileder for byggherrenes valg av BAS, byggautomasjonssystemer, 2002.
- [15] KUROSE, J. F., AND ROSS, K. W. *Computer Networking: A Top-Down Approach, 4th Edition*. Addison-Wesley, 2007.
- [16] LARSEN, B. T. *Behovsstyring - veien å gå for lavere energikostnader*. Stiftelsen Vekst, Vekst Teknologi AS.
- [17] MODBUS.ORG. MODBUS Application Protocol Specification V 1.1b. Spesifikasjon av Modbusprotokollen.
- [18] MODBUS.ORG. MODBUS Messaging on TCP/IP Implementation Guide V1.0b. Spesifikasjon av Modbus ved bruk av TCP/IP.
- [19] MYSEN. *Behovsstyrt ventilasjon - Når er det lønnsomt?* Norsk VVS.
- [20] PREDIKTOR. Apis produktkurs 2007. Kursperm for opplæring i APIS.
- [21] PREDIKTOR. Opc kurs. Kursperm for opplæring i OPC.
- [22] PREDIKTOR. Prediktors hjemmeside. Tilgjengelig på prediktor.no.
- [23] SWEGON. Modbus RTU/TCP GOLD sizes 04-80, program version 1.05 and newer versions. Spesifikasjon av Modbus protokollen for Swegon ventilasjonssystemer. Tilgjengelig på swegon.com.
- [24] TIPLER, P. A., AND MOSCA, G. *Physics for Scientists and Engineers, fifth edition*. W.H. Freeman and Company, 2004.
- [25] UNDERWOOD, C. P. *HVAC Control Systems: Modelling, analysis and design*. E & FN Spon, an imprint of Routledge, 1999.
- [26] UPONOR. *Håndbok for prosjektering og legging av vannbåren gulvvarme*. Uponor VVS Gulvvarme Håndbok, 2006.
- [27] WHITE, F. M. *Fluid Mechanics, Sixth Edition*. The McGraw-Hill Companies, Inc, 2008.
- [28] YR.NO. Værvarslingstjeneste på nett levert av NRK og Meteorologisk institutt. www.yr.no.

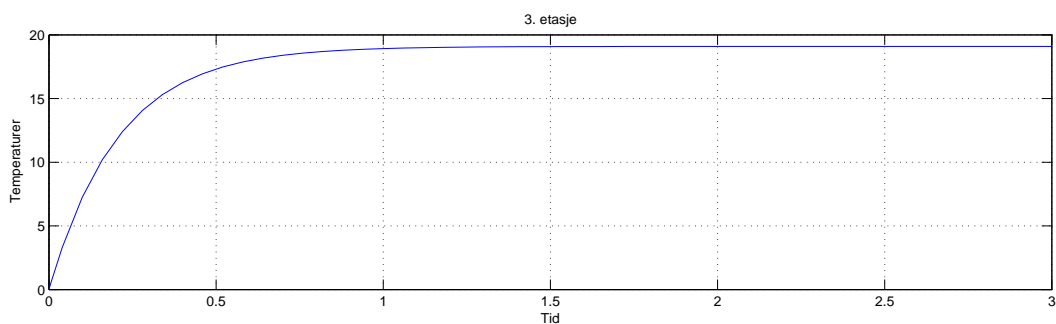
Tillegg A

Resultater simuleringer

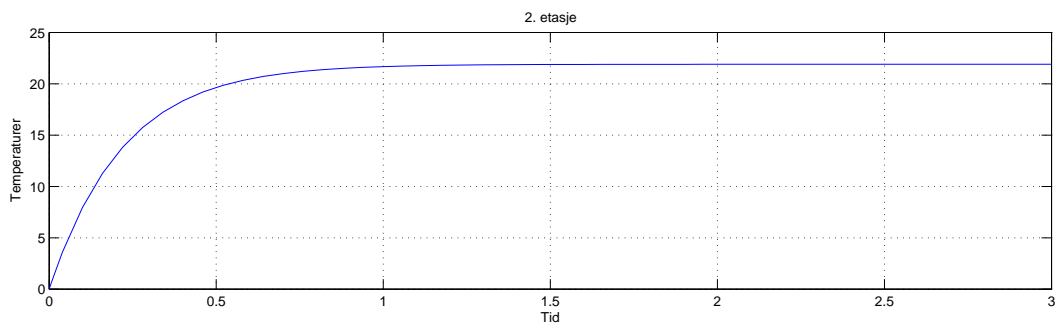
På de neste sidene følger grafer fra forskjellige simuleringer. Hver side har grafer for en simulering. Hver simulering er et resultat av forskjellige konfigurasjoner, gitt i avsnitt 5.1.



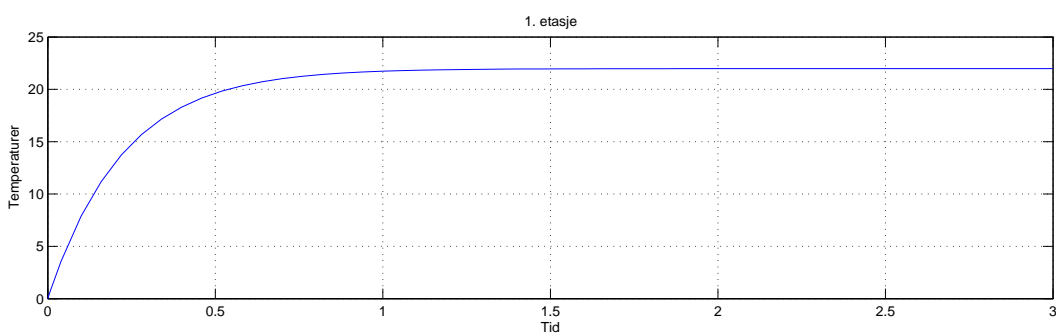
(a) Glasshallen



(b) Kontorene i 3. etasje

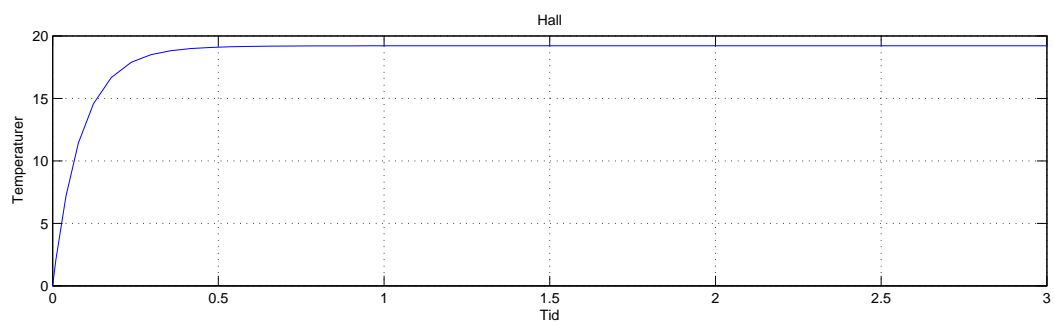


(c) Kontorene i 2. etasje

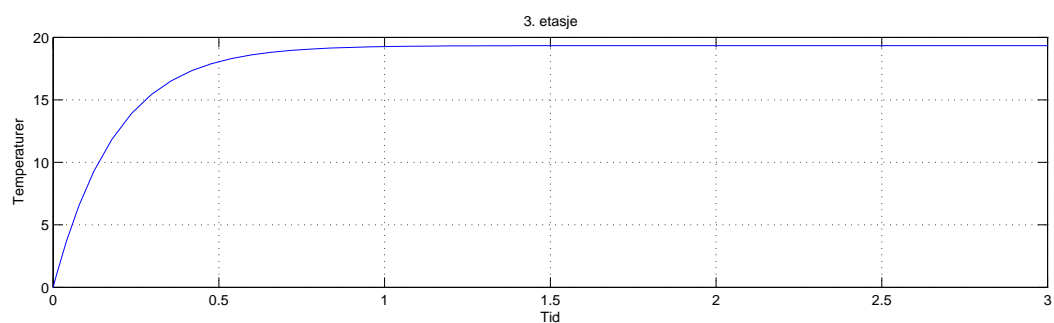


(d) Kontorene i 1. etasje

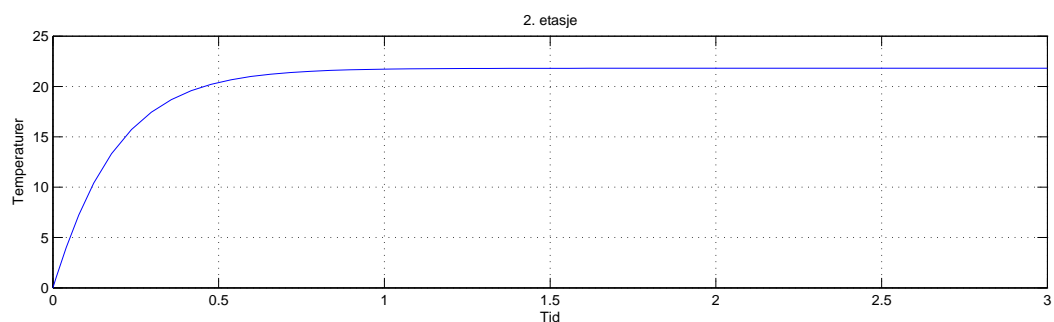
Figur A.1: Temperaturendringene i bygget. Simulering med mørke og kulde, uten bruk av golvvarme og radiatorer.



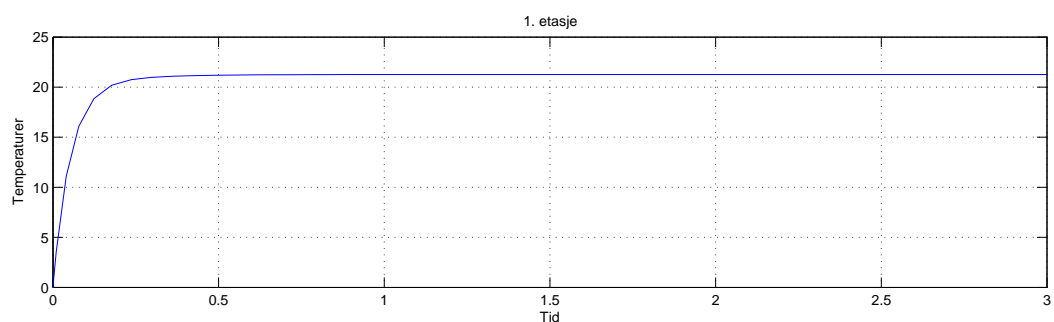
(a) Glasshallen



(b) Kontorene i 3. etasje

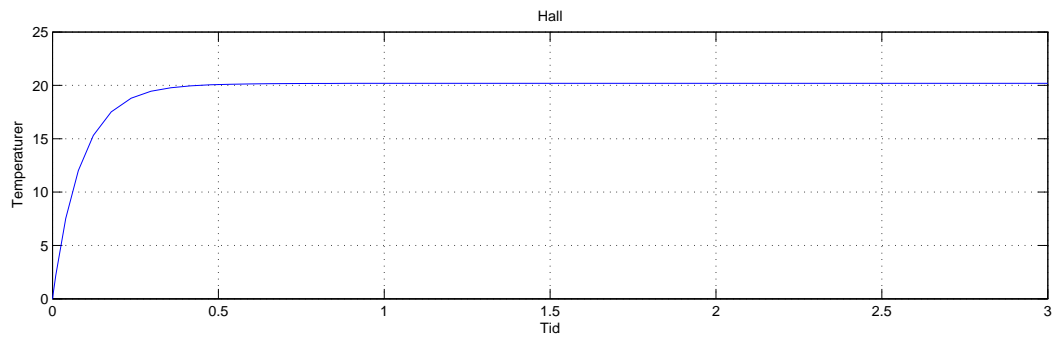


(c) Kontorene i 2. etasje

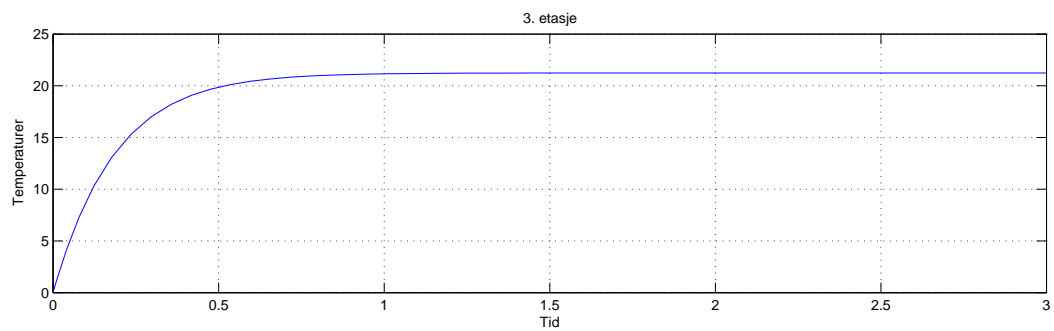


(d) Kontorene i 1. etasje

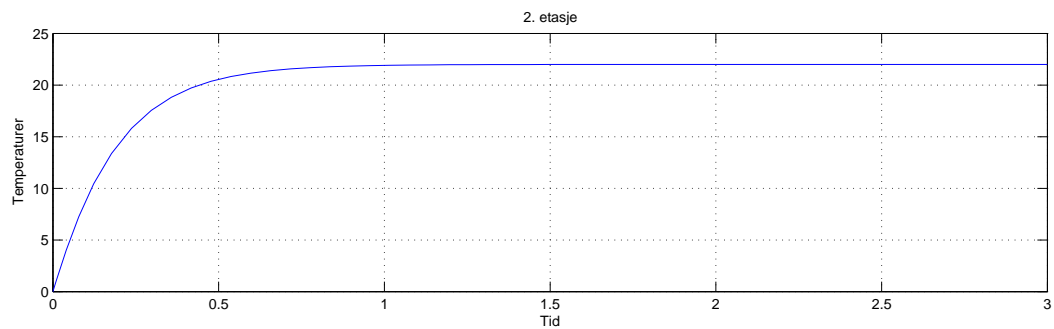
Figur A.2: Temperaturendringene i bygget. Simulering med mørke og kulde, med bruk av golvvarme og radiatorer.



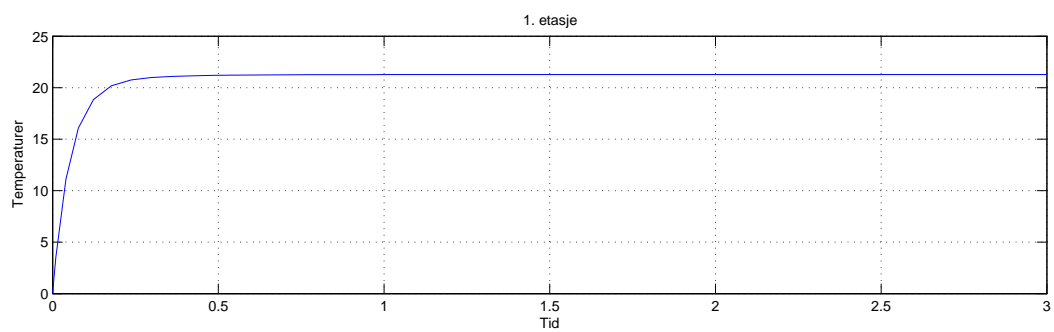
(a) Glasshallen



(b) Kontorene i 3. etasje

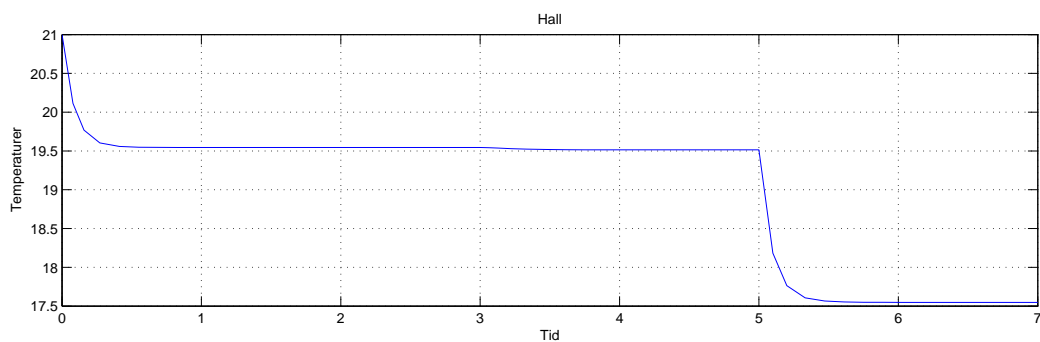


(c) Kontorene i 2. etasje

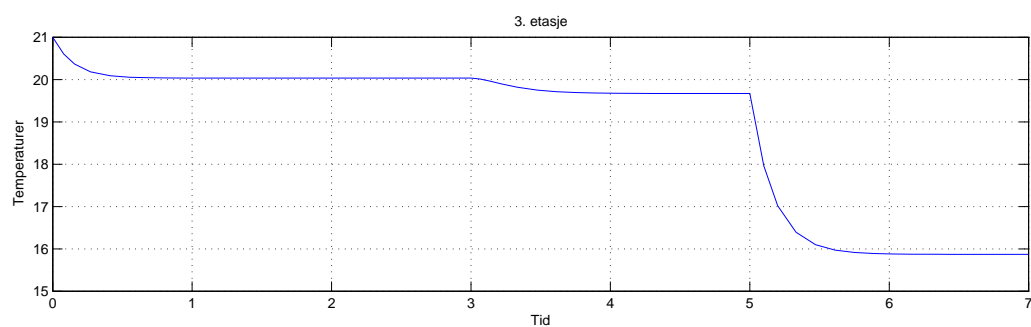


(d) Kontorene i 1. etasje

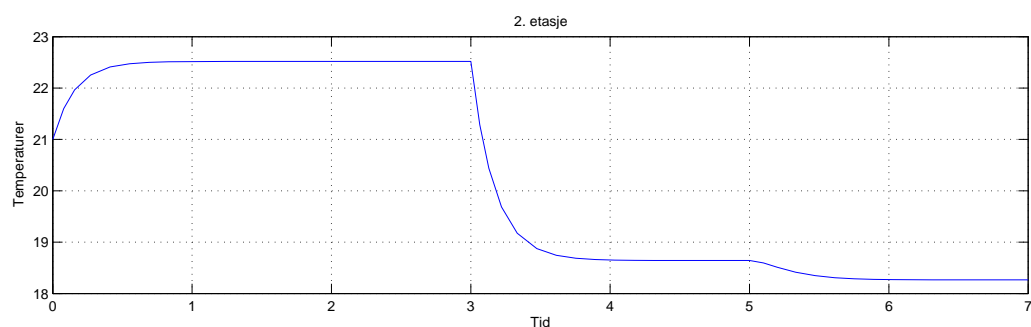
Figur A.3: Temperaturendringene i bygget. Simulering med mørke og kulde, med bruk av gulvvarme og radiatorer. Ventilasjonsanlegget i 3. etasje avgir mer varme.



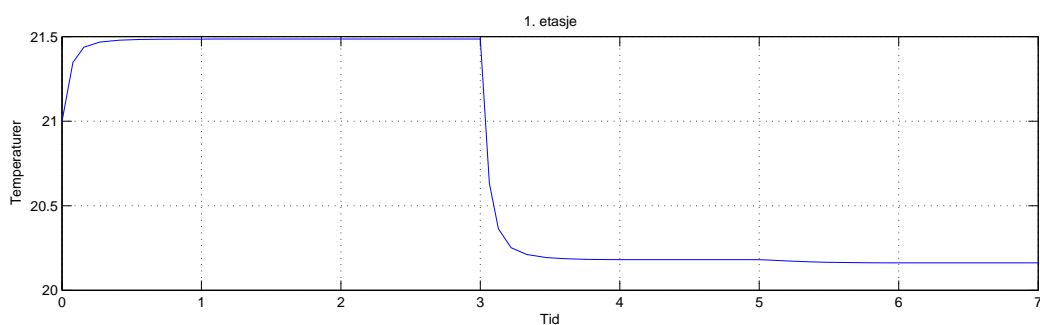
(a) Glasshallen



(b) Kontorene i 3. etasje

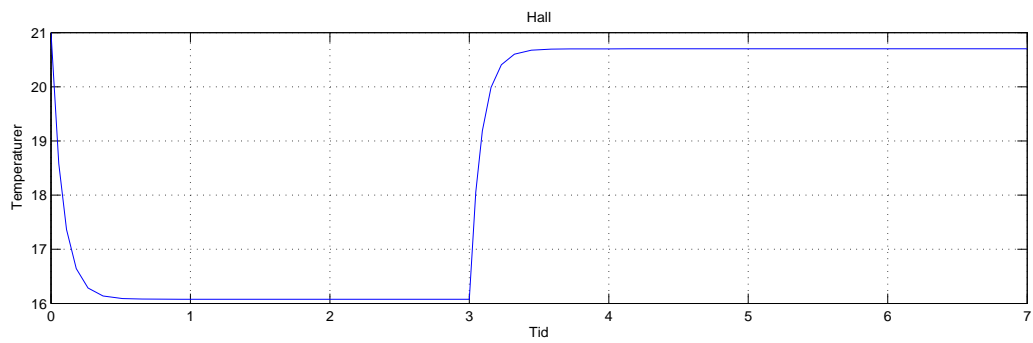


(c) Kontorene i 2. etasje

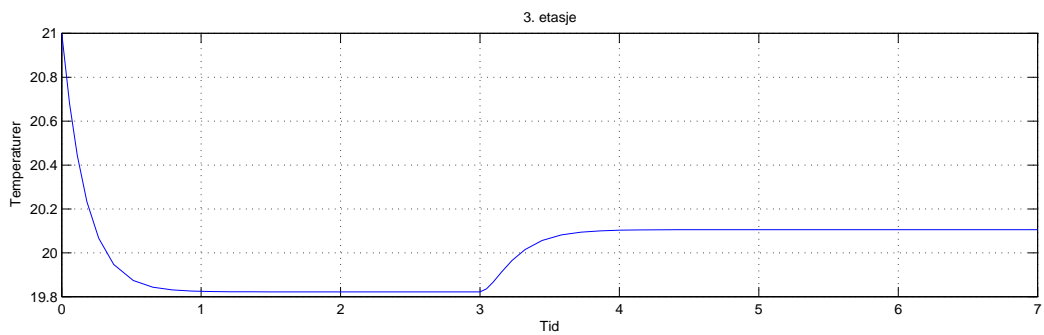


(d) Kontorene i 1. etasje

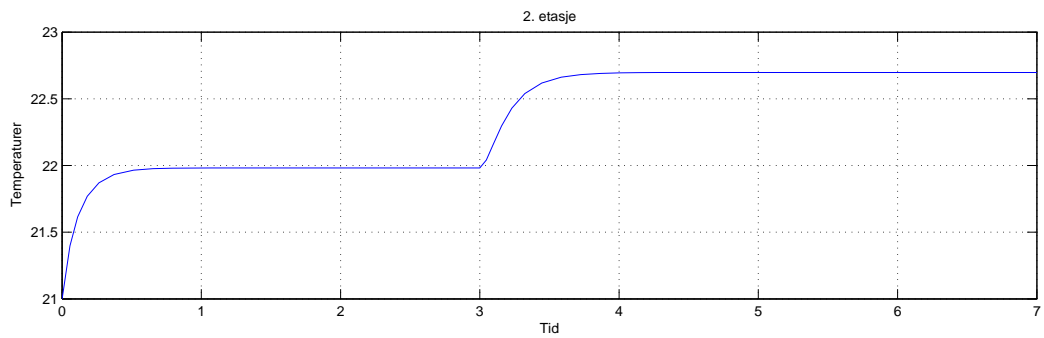
Figur A.4: Temperaturendringene i bygget. Simulering med mørke og kulde, med bruk av gulvvarme og radiatorer. Temperaturen fra ventilasjonsanlegget i 2. etasje gjør et sprang ved tid=3, mens det gjøres et sprang i det andre ventilasjonsanlegget ved tid=5.



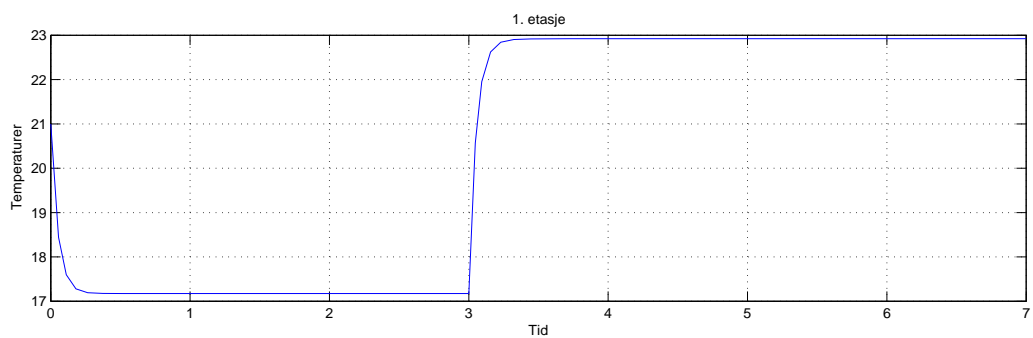
(a) Glasshallen



(b) Kontorene i 3. etasje

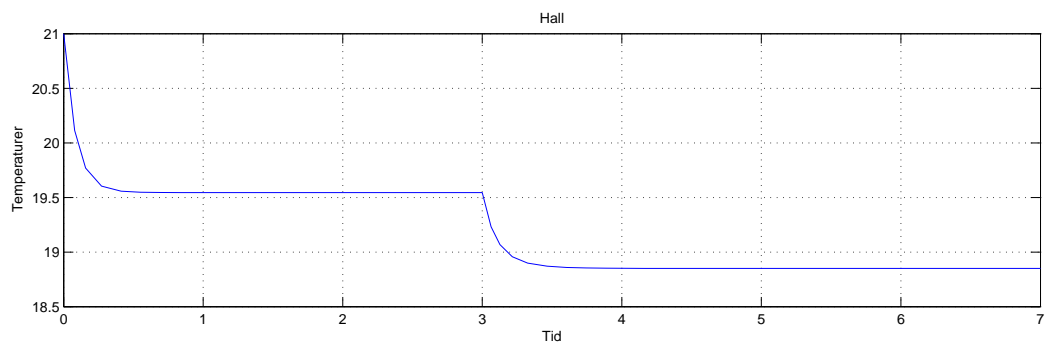


(c) Kontorene i 2. etasje

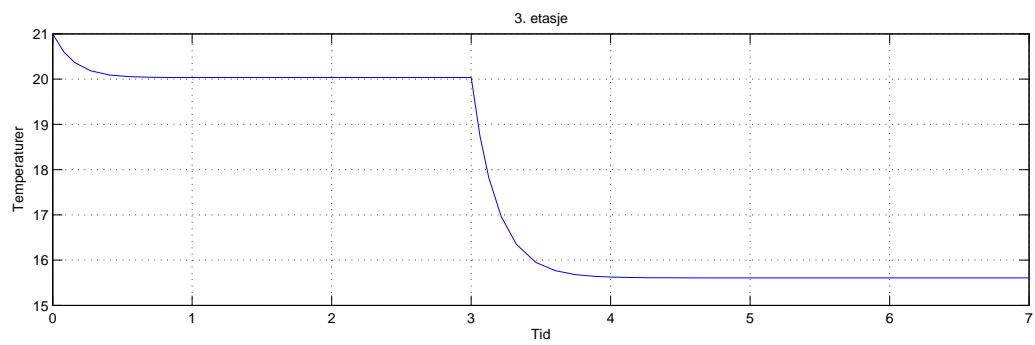


(d) Kontorene i 1. etasje

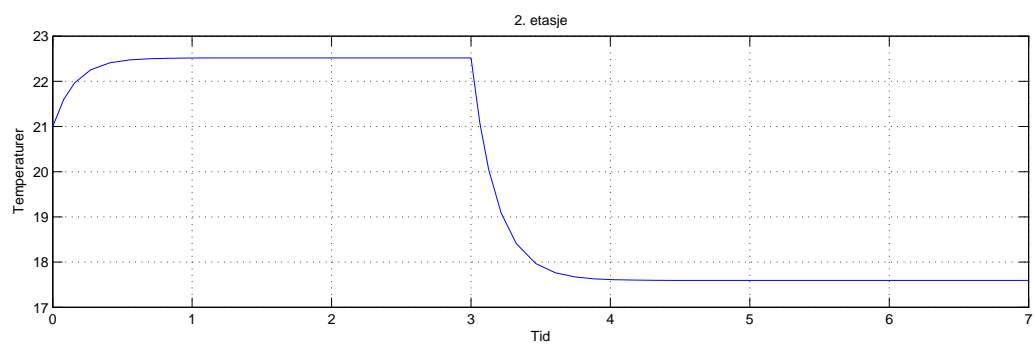
Figur A.5: Temperaturendringene i bygget. Simulering med mørke og kulde, med bruk av gulvvarme og radiatorer. Temperaturen fra gulvvarmen gjør et sprang fra 15 til 23 grader ved tid = 3.



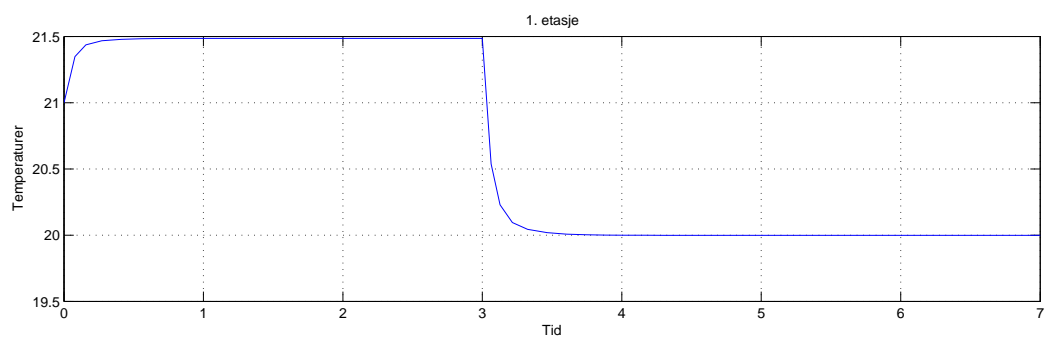
(a) Glasshallen



(b) Kontorene i 3. etasje



(c) Kontorene i 2. etasje



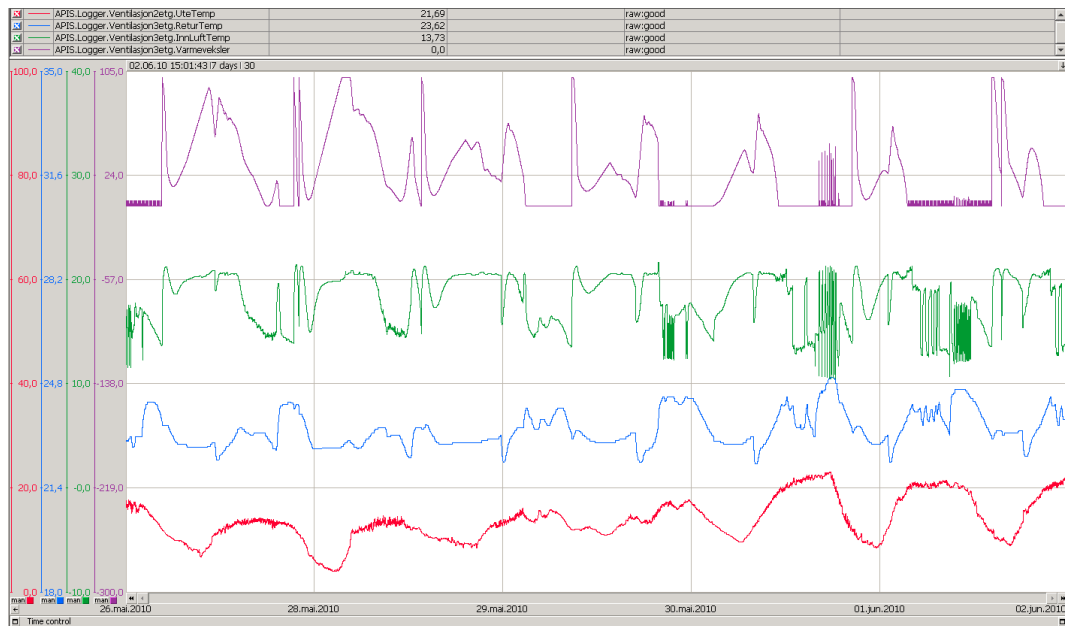
(d) Kontorene i 1. etasje

Figur A.6: Temperaturendringene i bygget. Simulering med mørke og kulde. Alle personer drar hjem på likt, og slår av alt utstyr og lys.

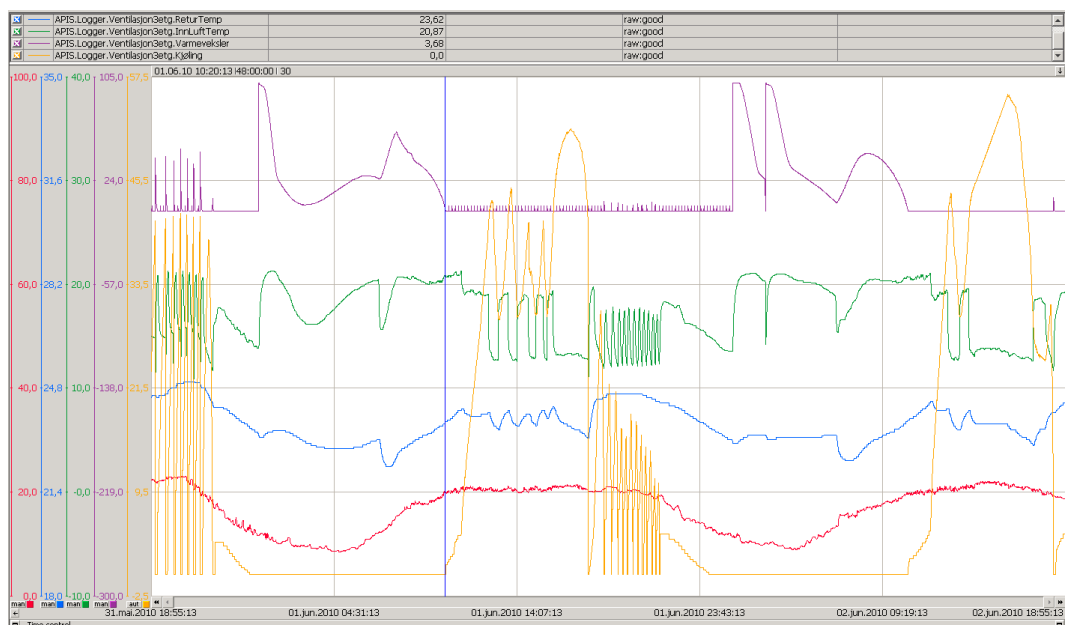
Tillegg B

Resultater målinger

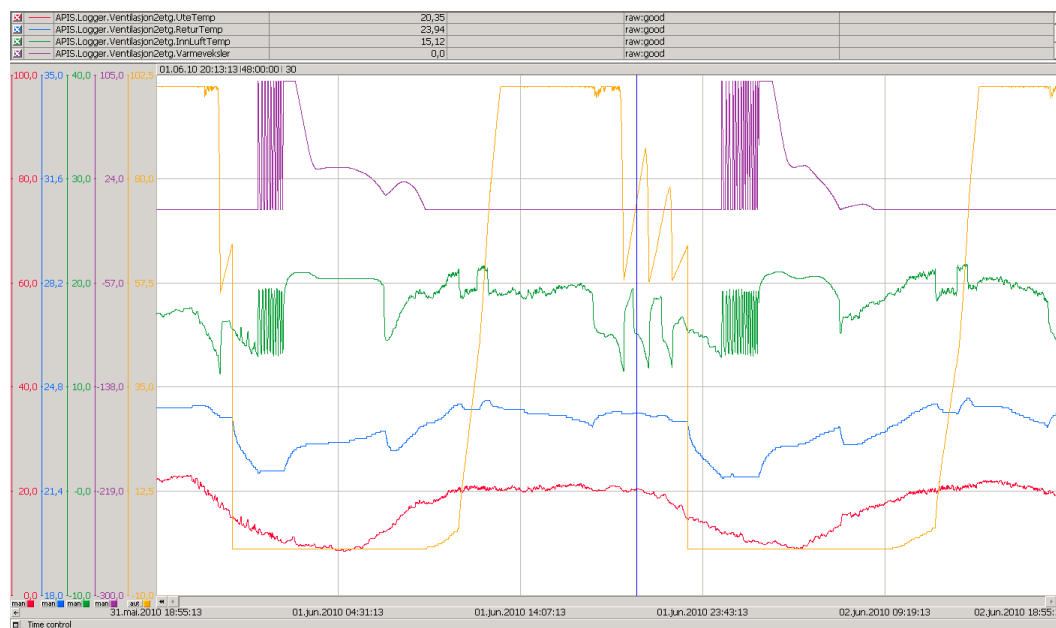
På de neste sidene følger grafer fra forskjellige målinger. Hver side har grafer for en måleserie. Målingene kommenteres i avsnitt 5.2.



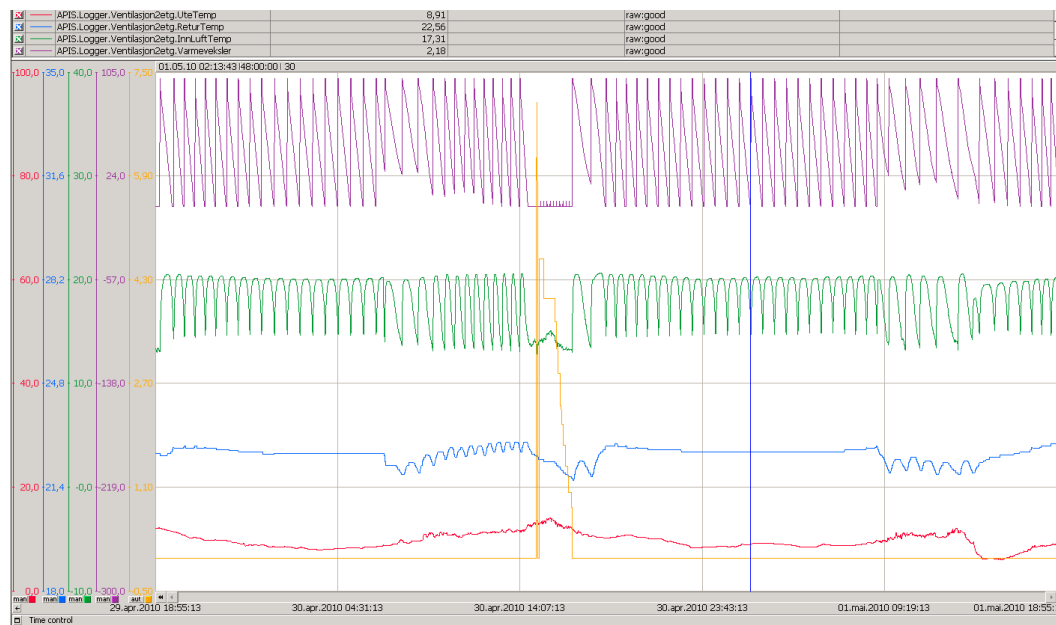
Figur B.1: Denne figuren viser fire måleserier over samme tid, som er en uke lang. Alle dataene er tatt fra ventilasjonsanlegget i 3. etasje. Rød farge angir utetemperatur, blå angir romtemperaturen, grønn viser temperaturen på luften som blåses inn, mens lilla viser hvordan varmeveksleren brukes.



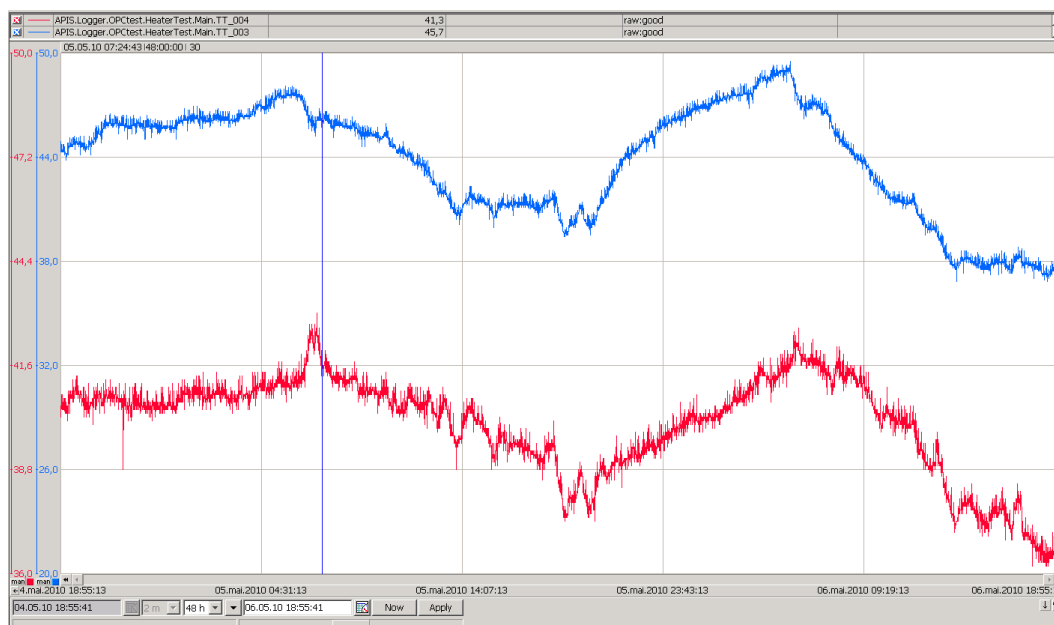
Figur B.2: Data fra ventilasjonsanlegget i 3. etasje over to dager. Rød er utetemperatur, blå er romtemperatur, grønn er temperaturen på luften som blåses inn, lilla er varmevekslerene mens gul er kjøling.



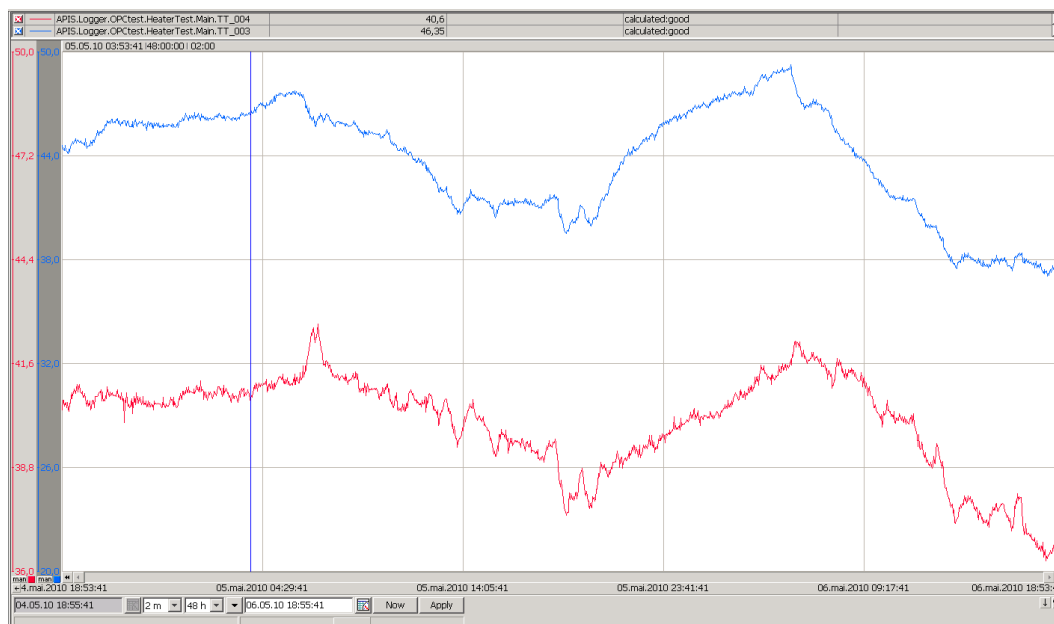
Figur B.3: Data fra ventilasjonsanlegget i 2. etasje over to dager. Rød er utetemperatur, blå er romtemperatur, grønn er temperaturen på luften som blåses inn, lilla er varmevekslerene mens gul er kjøling.



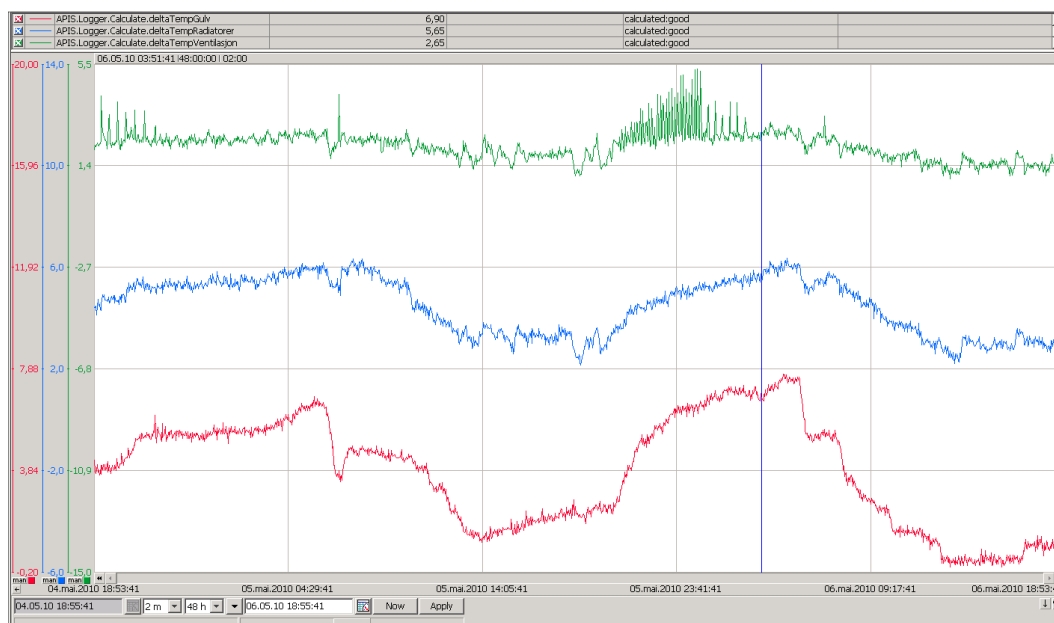
Figur B.4: Data fra ventilasjonsanlegget i 2. etasje over to dager i mai. Rød er utetemperatur, blå er romtemperatur, grønn er temperaturen på luften som blåses inn, lilla er varmevekslerene mens gul er kjøling.



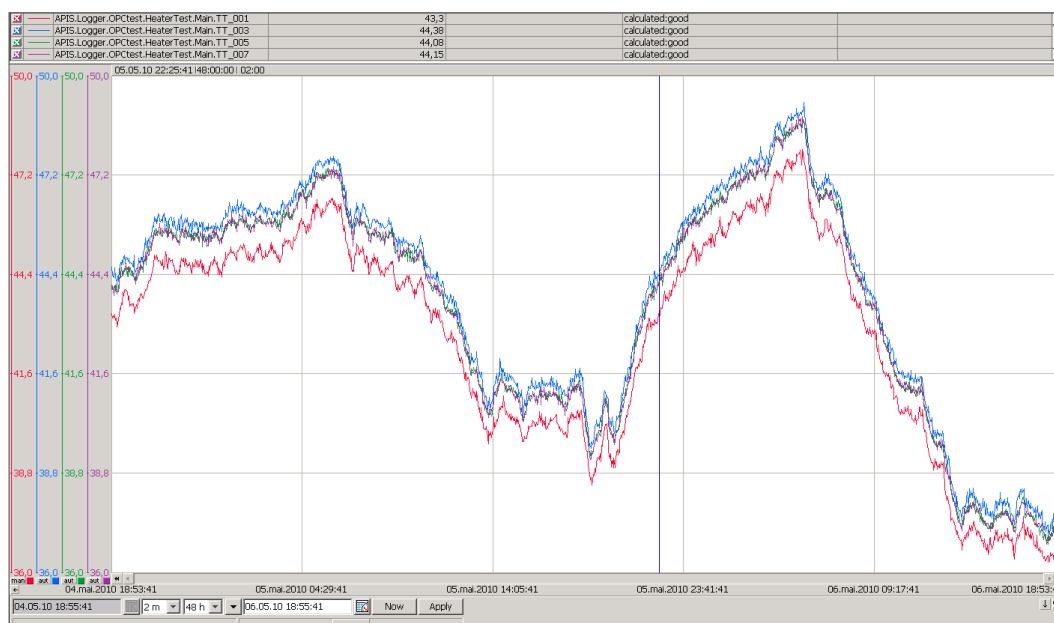
Figur B.5: Data fra varmtvannanlegget over to dager. Blå er turtemperaturen på vannet som går til gulvvarmekretsen. Rød er returtemperaturen på varmtvannet som kommer fra gulvvarmekretsen. Disse dataene er rådataene, og varierer relativt ofte og mye.



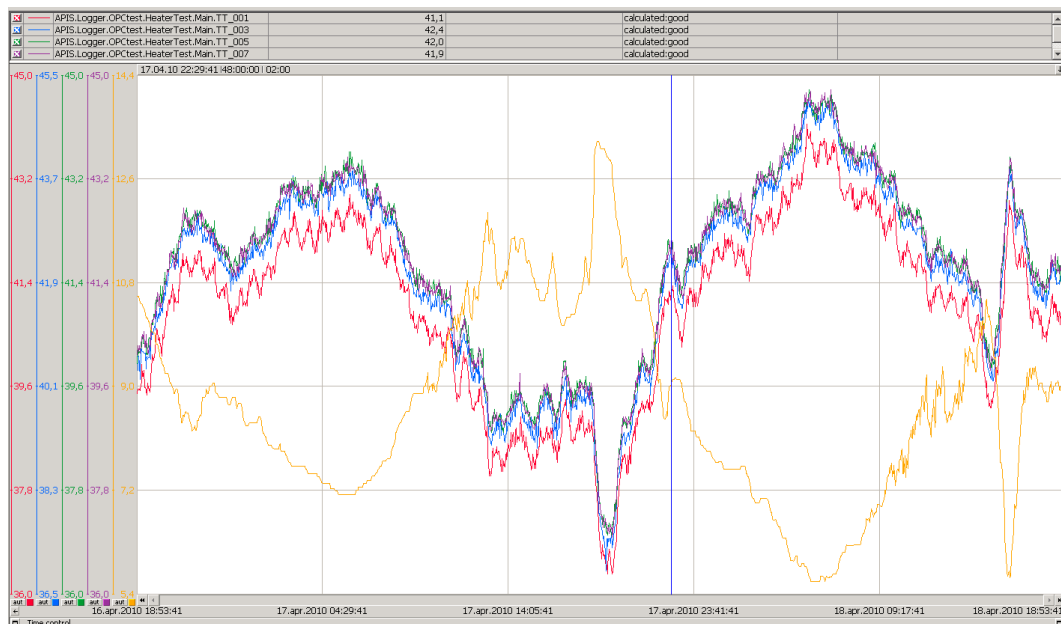
Figur B.6: De samme dataene som i figur B.5, vist med snittdataene i stedet for rådataene. Dette gjør det enklere å lese av trendene.



Figur B.7: Temperaturforskjellene på tur- og returtemperaturene på varmtvannet i de forskjellige kretsene. Grønn viser temperaturforskjellen på varmtvannet som går i ventilasjonskretsen, blå viser forskjellen i radiatorkretsen og rød viser forskjellen i gulvkretsen.



Figur B.8: Temperaturene på turvannet til alle kretsene, også hovedkretsen vist i rødt. Her er temperaturmålingen i hovedkretsen lavere enn de andre kretsene.



Figur B.9: Temperaturene på turvannet til alle kretsene, sammen med temperaturen ute som er vist i gult.

Tillegg C

Matlab kode

run.m:

```
close all;
clear all;

start_temp=21;    %temperaturen i bygget ved oppstart av simulering

%Generelle data for hele bygget
%cv=20.85;        %spesifikk varmekapasitet til luft ved konst volum
%cp=29.19;        %spesifikk varmekapasitet til luft ved konst trykk
cp=1005/3600;     %spesifikk varmekapasitet til luft ved konst volum
cv=718/3600;      %spesifikk varmekapasitet til luft ved konst trykk
kappa=cp/cv;      %forholdet mellom cv og cp
rho_luft=1.2041;  %tettheten til luft ved normal romtemperatur
G_g=0;            %overgangstall for varme fra gulv til luft
G_R=0;            %overgangstall for varme mellom radiator og luft
U_vin=1.4;        %u-verdien til vinduene
U_yvegg=0.22;     %u-verdien til yttervegger
U_ivegg=0.5;      %u-verdien til innervegger
U_tak=0.15;       %u-verdien til tak
S=0.26;           %vinduenes solfaktor
a=0.6;            %avskjermingsfaktor

%Data for hall
hall_A_g=300;      %areal gulv
hall_A_vin=260;    %areal vinduer
hall_A_yvegg=72;   %areal yttervegger
hall_A_ivegg1=45;  %areal innervegg til 1. etg
hall_A_ivegg2=45;  %areal innervegg til 2. etg
hall_A_ivegg3=250; %areal innervegg(tak) til 3.etg
hall_A_pc=5;       %areal hvor det er utstyr
hall_h=6;          %høyde
hall_pers=5;       %antall personer
hall_V=hall_A_g*hall_h; %totale luftvolum
```

```

hall_m=rho_luft*hall_V;           %totale luftmassen

%Data for kontorer i hver 1. og 2. etg
k12_A_g=600;                      %areal gulv
k12_A_vin=150;                    %areal vinduer
k12_A_yvegg=140;                  %areal yttervegger
k12_A_ivegg12=600;               %areal innervegg(tak/gulv) 1./2. etg
k12_A_ivegg3=500;                %areal innervegg(tak) til 3.etg
k12_A_iveggh=45;                 %areal innervegg til hall
k12_h=3;                          %høyde
k12_pers1=20;                    %antall personer i 1. etg
k12_pers2=25;                    %antall personer i 2.etg
k12_V=k12_A_g*k12_h;             %totale volum
k12_m=rho_luft*k12_V;            %totale luftmasse
k12_A_R=32;                      %totalt radiatorareal

%Data for kontorer i hver 3.etg
k3_A_g=600;                      %areal gulv
k3_A_vin=200;                    %areal vinduer
k3_A_yvegg=200;                  %areal yttervegger
k3_A_ivegg2=500;                 %areal innervegg(gulv) til 2.etg
k3_A_iveggh=250;                 %areal innervegg(gulv) til hall
k3_A_tak=600;                   %areal tak
k3_h=3;                          %høyde
k3_pers=15;                      %antall personer
k3_V=k3_A_g*k3_h;               %totale volum
k3_m=rho_luft*k3_V;             %totale luftmasse
k3_A_R=40;                      %totalt radiatorareal

%Kjører simulering
sim prediktor

%Lager plot av temperaturene
scrsz = get(0, 'ScreenSize');
figure('Position',[1 scrsz(4)/2 scrsz(3)/2 scrsz(4)/2])
plot(tid,temperaturer(:,1))
grid on
ylabel('Temperaturer')
xlabel('Tid')
title('Hall')

figure('Position',[1 scrsz(4)/2 scrsz(3)/2 scrsz(4)/2])
plot(tid,temperaturer(:,2))
grid on
ylabel('Temperaturer')
xlabel('Tid')
title('3. etasje')

figure('Position',[1 scrsz(4)/2 scrsz(3)/2 scrsz(4)/2])
plot(tid,temperaturer(:,3))
grid on
ylabel('Temperaturer')

```

```
xlabel('Tid')
title('2. etasje')

figure('Position',[1 scrsz(4)/2 scrsz(3)/2 scrsz(4)/2])
plot(tid,temperaturer(:,4))
grid on
ylabel('Temperaturer')
xlabel('Tid')
title('1. etasje')
```