

**TEKNOLOGISK
INSTITUT**



TILSTANDSBASERET SERVICEKONCEPT FOR STØRRE VENTILATIONSANLÆG BASERET PÅ IoT OG ENERGIDATA

Marts 2020

Indholdsfortegnelse

	Side
1 Sammenfatning	3
2 English summary	3
3 Baggrund	4
4 Potentiale vurdering	5
5 Servicekoncept for tilstandsbaseret vedligehold	5
5.1 Vedligehold	5
5.1.1 Afhjælpende vedligehold	6
5.1.2 Forebyggende vedligehold	6
5.1.3 Forudbestemt vedligehold	7
5.1.4 Tilstandsbaseret vedligehold	7
5.2 VENT-ordningen	7
5.3 Oplæg til IoT målepunkter på ventilationsanlæg	9
5.3.1 Luftflow i indblæsning, udsugning og eventuel recirkulationskanal	11
5.3.2 Effektoptag for indblæsnings- og udsugningsventilatorerne	11
5.3.3 Lufttemperaturer	13
5.3.4 Luftkvalitet	13
5.3.5 Differenstryk over filtre	13
5.3.6 Varmeveksler	16
5.3.7 Temperaturvirkningsgrad	16
5.3.8 Typer af fejl på varmevekslere	17
5.3.9 Ventilatorer	18
5.3.10 Køle og varme flader	19
6 Kravspecifikation for IoT sensorer i ventilationsanlæg	19
6.1 Luftflowmålere	19
6.2 Effektmålere	20
6.3 Temperaturfølere	20
6.4 CO ₂ måler	21
6.5 Trykdifferensmålere	21
6.6 Økonomi	21
7 Demonstration af IoT	21
7.1 IDA Mødecenter A/S	22
7.1.1 Beskrivelse af VE03 Køkkenanlæg	22
7.1.2 Dataopsamling og -transmission	25

7.1.3	MODBUS COMi-USB / MODBUS moduler generelt	26
7.1.4	Målekomponenter	27
7.1.5	Erfaringer fra demonstration	28
7.2	DEAS	29
7.2.1	Beskrivelse af anlæg VE05	30
7.2.2	Forsøgsopstilling	30
7.2.3	Opsætning af forsøgsopstilling	31
7.2.4	Erfaringer fra demonstration	32
7.3	Generelle erfaringer i forbindelse med målemetode	35
7.3.1	Måling af temperaturer med Bluetooth sensorer	35
7.3.2	Måling af temperatur med ReMoni trådløse sensorer	36
8	Hjemmesider	36
8.1	Hjemmeside udviklet af IBM	37
8.1.1	Oversigtsbillede	37
8.1.2	Visning af parametre	39
8.1.3	Alarmer	41
8.2	Hjemmeside udviklet af Teknologisk Institut	42
8.2.1	Oversigtsbillede	42
8.2.2	Visning af parametre	44
8.2.3	Alarmer	47
9	Formidling	48
9.1	Artikler	48
9.2	Temadage og -møder	48
10	Nomenklatur	48
	Referencer	48

1 Sammenfatning

Nærværende projekt har haft til formål at udvikle et servicekoncept for optimal og energieffektiv tilstandsbaseret drift af større ventilationsanlæg. Konceptet er baseret på online driftsdata, der gøres tilgængelige gennem indbyggede sensorer og et IoT baseret styrings- og overvågningssystem. Ved IoT overvågning får eksempelvis virksomhedens egen serviceorganisation eller et servicefirma online drifts- og energidata for det enkelte ventilationsanlæg, og kan dermed til stadighed følge driftskonditionerne for de komponenter, der har energimæssig betydning og derved sikre at ventilationsanlæggene driftes energioptimalt.

Projektet har udviklet, testet, demonstreret og evalueret IoT baseret driftsovervågning, som led i et ressourcebesparende servicekoncept til eksisterende og nye ventilationsanlæg. Gennem IoT og løbende overvågning af ventilationsanlæggets komponenter og energiforbrug, er det muligt i langt højere grad end nu at sikre stabil og energioekonomisk drift af ventilationsanlæggene. Det bliver f.eks. muligt for den driftsansvarlige og dermed serviceteknikeren at få besked i passende tid inden et filterskift, baseret på en beregning af restlevetid ud fra aktuelt tryktab. Tilsvarende muligheder vil være til stede for de øvrige anlægskomponenter som blæsere, remme, lejer, pumper og ventiler. Desuden udnyttes IoT sensorerne på en sådan måde, at de sikrer energieffektiv drift, idet virkningsgrader og korrekt funktion af ventilationsanlæggenes komponenter såsom blæsere, køle- og varmeplader og varmegenvinding overvåges, så der kan gribes ind ved fejlfunktion af f.eks. plader og varmegenvinding, eller ved faldende virkningsgrad af blæsere. Til det formål er der udviklet et diagnoseværktøj, der online giver den driftsansvarlige meddelelser om uregelmæssigheder, der har energimæssig konsekvens, den sandsynlige årsag hertil, samt forslag til handling der optimerer anlægdriften, så ventilationsanlæggene til stadighed driftes energioptimalt.

Resultaterne fra projektet er løbende formidlet til danske virksomheder, energirådgivere og leverandører gennem artikler og deltagelse i møder og temadage.

Projektet er finansieret af ELFORSK programmet med projektnr. 350-025, og er udført af følgende projektdeltagere i perioden 1. april 2018 til 31. marts 2020:

Søren Draborg	Teknologisk Institut
Kai Borggreen	Teknologisk Institut
Danny Olsen	Teknologisk Institut
Lars Hansen	Teknologisk Institut
Claus Klint	IBM Danmark A/S
Henrik Muxoll Dahlqvist	IDA Mødecenter A/S
Thorkild Steen Andersen	JT3 A/S
Ulrik Sloth Christensen	DEAS A/S

2 English summary

The project has developed a new service concept for operational and maintenance monitoring. Through IoT monitoring, the company's own service organization or a service company receives online operating and energy data for the individual ventilation systems, thus changing time-based maintenance to state-based maintenance.

Through IoT and continuous monitoring of the ventilation system's components and energy consumption, it is possible to ensure stable and energy-efficient operation of the ventilation plants

to a greater degree than now. It will be, for example, allow the service technician to be notified in due time before changing filters based on a calculation of residual life based on current pressure losses. Corresponding possibilities will be present for the other plant components such as blowers, belts, bearings, pumps and valves. The concept includes a diagnostic tool that online provides the company and service technician with reports of irregularities, and the likely cause, as well as suggestions for action that optimize plant operations to simplify and optimize the service process.

The project has developed, tested and demonstrated at existing CAV and VAV ventilation systems.

In future the IoT based operational monitoring concept can be used for energy efficient, and cost and resource saving service for ventilation systems.

3 Baggrund

Internet of Things (IoT) med tilhørende IKT løsninger (IKT-løsninger er en forkortelse af informations- og kommunikationsteknologi) giver enestående muligheder for dataopsamling, -analyse og -udnyttelse og forventes at være den største forretningskatalysator som en del af Industri 4.0. I dag er der allerede installeret over 14 milliarder IoT-enheder på verdensplan og i de kommende år, forventes dette at stige til 36 milliarder enheder. Sensorer og IT-infrastrukturer er på et højt modenhedsniveau, som gør det interessant for de fleste virksomheder. Med en forholdsvis lav investering kan virksomheder i dag implementere trådløse sensorer i produkter og systemer, med løsninger som understøttes af alle former for elektroniske produkter fra PC'er, tablets og mobiltelefoner. Sensorer kan kombineres og f.eks. samle overvågningen af temperatur, tryk og fugtighed i én sensor.

Servicekoncepter baseret på løbende dataopsamling fra de nye generationer af trådløse sensorer med til hørende IoT baseret overvågning, giver enestående muligheder for proaktiv drift af bl.a. tekniske installationer. Ved, som i nærværende projekt, at overvåge ventilationsanlæg kan virksomhedens driftspersonale eller dennes servicepartner rettidigt servicere og eventuelt fejlmelde anlægget inden det bryder ned. Overvågningen af ventilationsanlæggets komponenter og energiforbrug gør det dermed muligt for serviceteknikeren i langt højere grad end nu at sikre stabil og energioptimal drift af ventilationsanlæggene.

Uregelmæssigheder der vil kunne identificeres, er f.eks. forøget tryktab over varmeplader og vekslere, fejlfunktion af varmegenvinding samt fejlfunktion af ventiler og pumper, der alle medfører unødigt energiforbrug, forringet komfort eller begge dele.

I ventilationsanlæg kan IoT løsningen dermed muliggøre overgang fra tidsbaseret vedligehold, til effektiv og ressourcebesparende tilstandsbaseret vedligehold, og åbne for helt nye muligheder for proaktivt at sikre energioptimal drift af ventilationsanlæg ud fra registrerede driftsdata. IoT mulighederne har dermed en indbygget effektiviserings- og optimeringsdagsorden.

Servicevirksomhederne får både mulighed for at effektivisere deres forretning, og udvikle helt nye konkurrencedygtige ydelser.

Samlet set sikres ventilationsbranchen, branchens kunder samt rådgiverne ny viden til at realisere betragtelige energieffektiviseringer, hvor der tages udgangspunkt i de faktiske behov for service af ventilationsanlæg ud fra et energimæssigt og totaløkonomisk synspunkt.

4 Potentiale vurdering

Det årlige elforbrug til ventilationsanlæg i erhvervslivet og den offentlige sektor er ca. 1.958 GWh_{el}¹, svarende til ca. 10% af det samlede elforbrug. Tilsvarende er det årlige varmeforbrug til ventilationsanlæg opgjort til ca. 4.698 GWh_{varme}². Det samlede mulige sparepotentiale forventes at udgøre ca. 294 GWh_{el} og 940 GWh_{varme}, svarende til henholdsvis 15% af elforbruget og 20% af varmeforbruget, ved blot at sikre, at de fungerer efter hensigten og ved at drifte anlæggene så ydelsen passer til det faktiske behov.

Hvis der tages udgangspunkt i den nuværende værdi af rettigheder til realiserede energibesparelser, repræsenterer det ovennævnte potentiale en samlet værdi på over 290 mio. kr., som kan medfinansiere komponenter, installation, rådgivning og service, der anvendes i forbindelse med optimeringen af ventilationsanlæg.

5 Servicekoncept for tilstandsbaseret vedligehold

Dette kapitel indeholder en beskrivelse af servicekonceptet for tilstandsbaseret vedligehold af større ventilationsanlæg. Kapitlet beskæftiger sig udelukkende med anlægskomponenter installeret i ventilationsaggregat.

Hovedformålet har været at udvikle et servicekoncept for optimal og energieffektiv tilstandsbaseret drift og vedligehold af større ventilationsanlæg. Konceptet er baseret på online driftsdata, der gøres tilgængelige gennem indbyggede sensorer og et IoT baseret styrings- og overvågningssystem. Den serviceansvarlige får løbende meddelelser om uregelmæssigheder, og den sandsynlige årsag, samt via et diagnoseværktøj gives forslag til optimering af anlægsdriften, så processen for servicering forenkles og optimeres.

Til bestemmelse af relevante målepunkter i forbindelse med dette projekt er der bl.a. taget udgangspunkt i VENT-ordningens standardiserede serviceeftersyn, se <https://vent.dk/>.

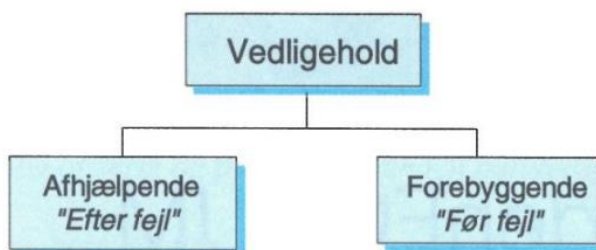
5.1 Vedligehold

Dette kapitel beskriver forskellige vedligeholdstyper og deres fordele og ulemper.

¹ Kortlægning af energiforbrug i virksomheder Energistyrelsen 2015; Teknologikatalog – energibesparelser i den offentlige sektor Energistyrelsen 1995

² Optimering af væskekoblede batterier ELFORSK 2017

Helt grundlæggende kan vedligehold deles op i to hovedgrupper, hvor den første gruppe drejer sig om afhjælpende vedligehold og den anden om forebyggende vedligehold. Dette er skitseret på Figur 5.1.1.



Figur 5.1.1 Hovedgrupper af vedligehold

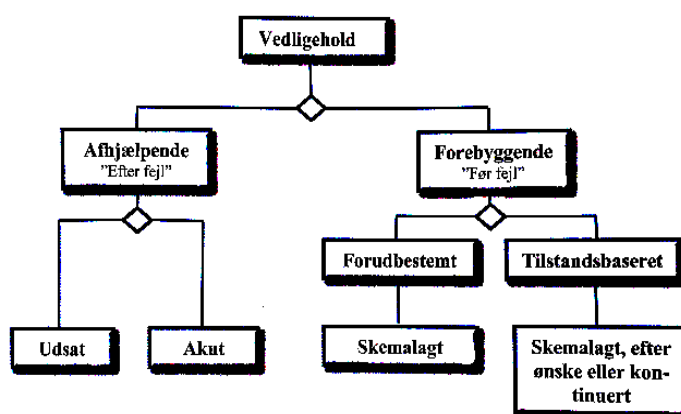
5.1.1 Afhjælpende vedligehold

Afhjælpende vedligehold er defineret som at være vedligehold, som udføres, efter at en fejlrant tilstand er opdaget med det formål at bringe enheden i en tilstand, hvor det kan udføre en krævet funktion.

Det betyder at der ved denne vedligeholdelsestype, ventes til der registreres fejl eller nedbrud af en komponent, før fejlen udredes. Fordelen er man her kan få det fulde udbytte af en komponent, men ulempen er at der samtidig må regnes med nedetid i produktionen, fra fejlen konstateres til den er udredt. Herunder skal iberegnes arbejdstid til reparation og evt. bestilling af ny komponent. Da ventilationssystem skal fungere hele tiden, er denne vedligeholdelses form ikke at fortrække.

5.1.2 Forebyggende vedligehold

Hvis det findes uhensigtsmæssigt at lade udstyr svigte, så kan forebyggende vedligehold benyttes. Dette er defineret som vedligehold, som udføres med forudbestemte intervaller eller i henhold til fastlagte kriterier, og som har til formål at reducere sandsynligheden for fejl eller nedsettelse af en enheds funktion. Denne form for vedligehold kan ske henholdsvis som forudbestemt vedligehold eller tilstandsbaseret vedligehold. Et samlet overblik over vedligeholdelsestyper ses på Figur 5.1.2.



Figur 5.1.2 Samlet overblik over vedligeholdelsestyper

5.1.3 Forudbestemt vedligehold

Forudbestemt vedligehold er kendetegnet ved at være forbyggende vedligehold, som udføres i overensstemmelse med fastlagte tidsintervaller eller besluttet antal anvendelser, men uden forudgående tilstandsvurdering. Der er en del vedligehold der er egnet til denne type, specielt med hensyn til smøring, rengøring og lignende. Ved forudbestemt vedligehold, ønskes det at skifte komponenten før fejlen indtræffer, med samtidig må der regnes med at der i visse tilfælde udskiftes komponenter, der ikke er 100% udtjent.

5.1.4 Tilstandsbaseret vedligehold

Tilstandsbaseret vedligehold er defineret som forbyggende vedligehold, der omfatter en kombination af tilstandsovervågning og/eller inspektion og/eller prøvning, analyse og de medfølgende vedligeholdshandlinger. Herved at komponenten kan udskiftes med baggrund i en evaluering af komponentens tilstand samt vurdering af, hvornår dette ville kompromittere funktionen. Følgende fordele kan herved opnås:

- Mindre arbejdsbelastning til udskiftninger
- Mindre forbrug af komponenter
- Større tilgængelighed på anlægget

Der er dog omkostninger forbundet herved, da det er ressourcekrævende at forudsige udstyrets tilstand i forhold til funktionen.

5.2 VENT-ordningen

VENT-ordningen udbyder serviceeftersyn, som udføres af certificerede firmaer. VENT-firmaers teknikere er specialister med høj faglig viden erhvervet gennem efteruddannelse og med bestået VENT-eksamen. VENT-service er det eneste standardiserede serviceeftersyn i Danmark og der tages derfor udgangspunkt i VENT-ordningens tjekliste for serviceeftersyn, bestående af 10 tjekpunkter, beskrevet med Figur 5.2.1.



Beskrivelse af de 10 tjekpunkter for VENT-Basis

<p>1. Kontrol og rensning af aggregat</p> <ul style="list-style-type: none"> • Spjæld • Varmegenvinding • Køleflade • Varmeflade • Ventilator/motor • Aggregathus • Indtag-og afkastriste 	<p>6. Kontrol af ventilatorer og motorer</p> <ul style="list-style-type: none"> • Slid på evt. remtræk • Evt. udskiftning af kileremme • Tilstand på svingningsdæmpere • Tilstand af evt. fleksible forbindelser • Tilstand for lejer • Rotationsretningen
<p>2. Kontrol og justering af spjæld</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fysisk visuel inspektion af spjældgang (0-90 og 90-0 grader) • Overensstemmelse mellem spjældgang og pilvisning på aggregat • Tæthed 	<p>7. Funktionsafprøvning af start og stop</p> <ul style="list-style-type: none"> • Spjæld lukker • Cirkulationspumpe til køle- og varme-flade lukker
<p>3. Kontrol og eventuel udskiftning af filter</p> <ul style="list-style-type: none"> • Type og størrelse • Visuel vurdering af tæthed mellem filter og ramme • Differenstryk målere 	<p>8. Funktionsafprøvning af frost-automatik</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ventilator stopper • Spjæld lukker • Ventil til varmekøleflade åbner • Cirkulationspumpe starter
<p>4. Kontrol af varmegenvinding</p> <ul style="list-style-type: none"> • Afløbsforhold • Tilstand af remme og rotationsretning • Måling af frostsikringstemperatur • Kontrol af by-pass spjæld/blandespjæld 	<p>9. Funktionsafprøvning af brand-termostat</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ventilator stopper • Spjæld lukker
<p>5. Kontrol af køle- og varmekøleflade</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kontrol af evt. beskadigede lameller • Kontrol af afløbsforhold 	<p>10. Kontrol af regulering</p> <ul style="list-style-type: none"> • Visuel kontrol af driftstider / ur • Umiddelbare visuelle observationer

Figur 5.2.1 Beskrivelse af VENT-ordningens 10 tjekpunkter.

De ventilationsanlæg der er omfattet af systematisk vedligehold, som kan være baseret på VENT ordningens kontrolpunkter, serviceres ofte hvert halve år, hvor filtrene skiftes hvert halve år og anlæggenes komponenter kontrolleres in situ hvert år.

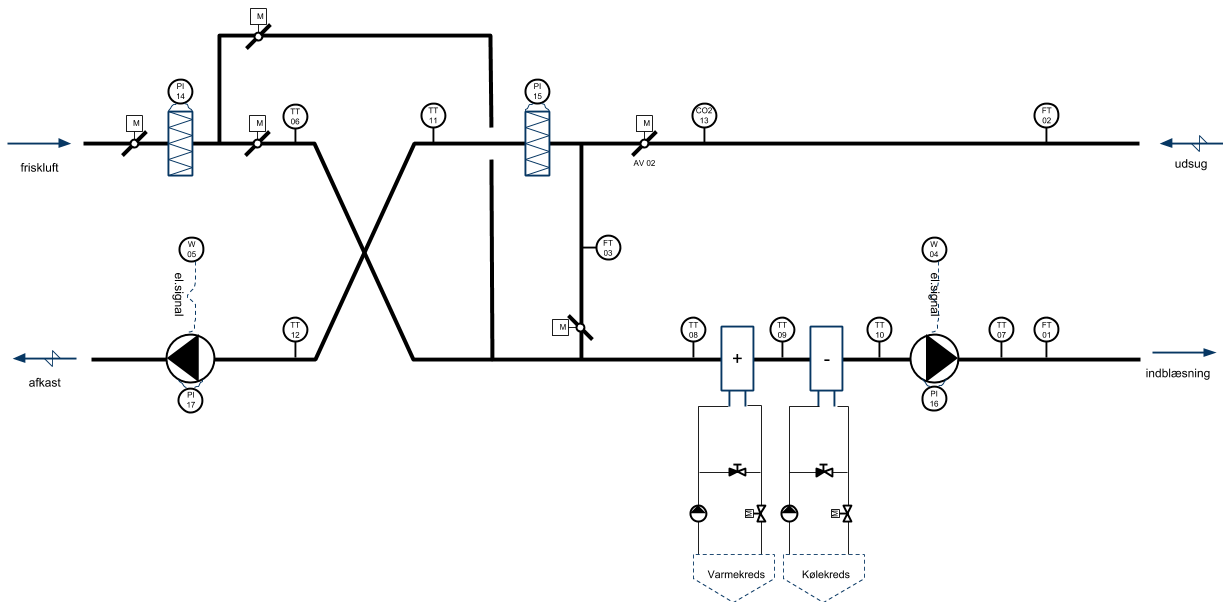
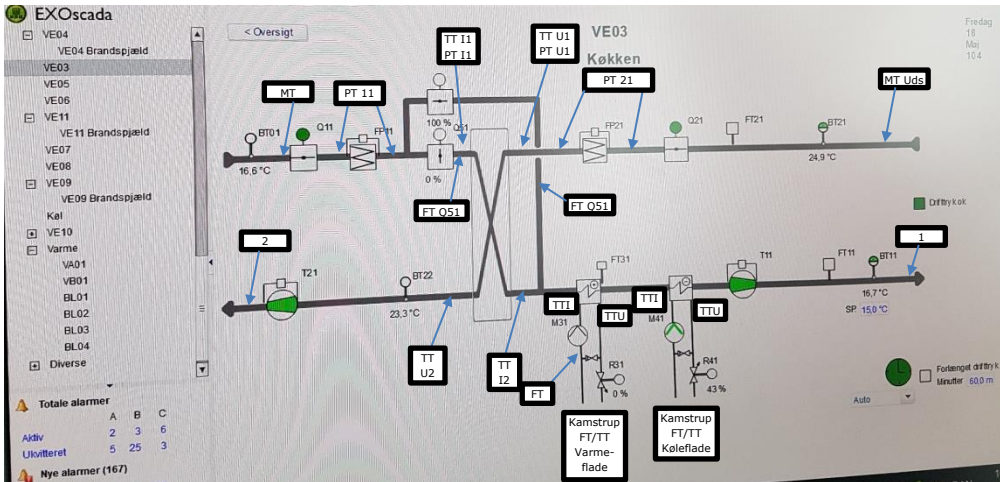
Erfaringen er at f.eks. filtrene i ventilationsanlæg har meget forskellig levetid alt efter placeringen og brugen (driftstiden) af det enkelte ventilationsanlæg. Et ventilationsanlæg der er placeret tæt på en befærdet vej har f.eks. oftere behov for service end andre anlæg, ligesom anlæg der betjener lokaler med støvudvikling kan have behov for hyppig service. Desuden viser erfaringen at filtre i mange ventilationsanlæg har ret lav støvbelastning, og at de derfor ofte har langt længere levetid end et halvt år. I dette projekt er der foretaget langtidstests med to ventilation, - ét anlæg for et kantinekøkken hvilket antages at være forholdsvis hårdt belastet, og ét anlæg

for et kontormiljø der antages at have lav eller middel belastning. I begge tilfælde viser kontinuerede målinger af filtrenes tryktab, at filtrenes reelle levetid er langt længere end et halvt år, - måske op mod 1½-2 år. Erfaringen herfra passer med den subjektive erfaring fra ventilationsanlæg til komfortformål i almindelighed. Det antages derfor at der vil kunne realiseres en betydelig økonomisk gevinst ved udskifte filtre ud fra en behovsstyret tilgang i stedet for efter fastsatte intervaller. Der kan være behov for at udskifte filtre der anvendes i ventilationsanlæg i f.eks. svømmehaller eller andre steder med høj luftfugtighed i indblæsningsluften ofte af hensyn risiko for bakterievækst i filtermaterialet. Der findes ingen fastsatte regler om eller anvisninger for udskiftningsfrekvensen for filtre, da dette helt og holdent afhænger af den aktuelle anvendelse.

Det foreslås, at lade den nødvendige udskiftningsfrekvens for ventilationsanlæggets filtre bestemme hvor tit ventilationsanlægget serviceres, dvs. at de kontrolpunkter der er anført i figur 5.2.1 udføres samtidig med filterskift.

5.3 Oplæg til IoT målepunkter på ventilationsanlæg

Med udgangspunkt de erfaringer som projektdeltagerne JT3 og Teknologisk Institut har med ventilationsanlæg og den service der er påkrævet samt de fejl der typisk opstår, som har væsentlig energimæssig konsekvens er der opstillet nedenstående liste over de målepunkter, der som minimum bør etableres.



Figur 5.3.1 Diagram over ventilationsaggregat og tilhørende målepunkter ud fra nedenstående liste.

- 1 Luftflow i indblæsningen
- 2 Luftflow i udsugning
- 3 Luftflow i recirkulationskanalen (hvis den er etableret)
- 4 Effektoptag af indblæsningsventilatoren
- 5 Effektoptag af udsugningsventilatoren
- 6 Udelufttemperatur (målt i indtaget)
- 7 Indblæsningstemperatur
- 8 Indblæsningstemperatur før varmeplade
- 9 Indblæsningstemperatur efter varmeplade
- 10 Indblæsningstemperatur efter køleplade (hvis den er etableret)
- 11 Udsugningstemperatur før aggregatet (målt i kanalen)
- 12 Udsugningstemperatur efter aggregatet (målt i kanalen)
- 13 Luftkvalitet (CO₂ målt i udsugningskanalen)

- 14 Differenstryk over indblæsningsfilter
- 15 Differenstryk over udsugningsfilter
- 16 Trykdifferens over indblæsningsventilatoren
- 17 Trykdifferens over udsugningsventilatoren

5.3.1 Luftflow i indblæsning, udsugning og eventuel recirkulationskanal

Det er nødvendigt at kende luftflowet for såvel indblæsningen og udsugningen, hvis det skal være muligt at beregne og forudse tryktabene i ventilationsaggregatets indblæsnings- og udsugningsfiltre. Desuden er det nødvendigt at kende luftflowene når virkningsgraden af ventilationsanlæggets ventilatorer og anlæggets SFP faktor skal beregnes. Hvis ventilationssystemet er udrustet med recirkulering er det gavnligt at kende luftflowet i recirkulationskanalen, så mængden af recirkuleret luft kan sammenholdes med luftkvaliteten i udsugningen og sammenholdes med spjældstillingen af recirkulationsspjældene.

5.3.1.1 Beregning af den specifikke ventilatoreffekt

SFP defineres således:

$$SFP = \frac{P_{ind} + P_{ud}}{q_v}$$

hvor

P_{ind} = indblæsningsventilatorens effektoptag [kW]

P_{ud} = udsugningsventilatorens effektoptag [kW]

q_v = den største værdi af den indblæse eller udsugede volumenstrøm $\left[\frac{m^3}{s} \right]$

5.3.2 Effektoptag for indblæsnings- og udsugningsventilatorerne

Effektoptaget for indblæsnings- og udsugningsventilatorerne overvåges med det formål at kunne beregne og overvåge ventilationsanlæggets SFP faktor, se kapitel 5.3.1.

Et næste skridt kunne være at måle trykstigningen over indblæsnings- og udsugningsventilatorerne for herved at kunne beregne og overvåge virkningsgraden af ventilationsaggregatets ventilatorer beregnes. Herved er det muligt at overvåge og ventilatorernes virkningsgrad forringes f.eks. som følge af tilsmudsning. Det er nedenstående vist hvor ventilatorernes virkningsgrad bestemmes.

5.3.2.1 Beregning af ventilatorers virkningsgrad³

Ventilatorens virkningsgrad kan beregnes med følgende formler, der alle er beskrevet herunder og slutteligt reduceret til en enkelt ligning.

$$\eta_{ventilator} = \frac{\eta_{total}}{\eta_{motor} \cdot \eta_{drev}}$$

hvor

$\eta_{ventilator}$ = ventilatorens virkningsgrad

³ (Den lille blå om ventilation)

η_{total} = ventilationsaggregatets totale virkningsgrad

η_{motor} = ventilatormotorens virkningsgrad

η_{drev} = drevets virkningsgrad (remtræk eller frekvensomformer)

$$\eta_{total} = \frac{\Delta p_{total} \cdot q_v}{P_{motor}}$$

hvor

η_{total} = ventilationsaggregatets totale virkningsgrad

Δp_{total} = totale differenstryk over ventilator [Pa]

$$q_v = \text{indblæste volumenstrøm} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

P_{motor} = optagen motoreffekt [W]

$$\Delta p_{total} = (p_{s,efter} + p_{d,efter}) - (p_{s,før} + p_{d,før})$$

hvor

Δp_{total} = totale differenstryk over ventilator [Pa]

$p_{s,før}$ = statisk tryk før ventilator [Pa]

$p_{s,efter}$ = statisk tryk efter ventilator [Pa]

$p_{d,før}$ = dynamiske tryk før ventilator [Pa]

$p_{d,efter}$ = dynamisketryk efter ventilator [Pa]

$$p_{d,efter} = 0,5 \cdot \rho_{luft} \cdot \left(\frac{q_v}{A_{udløb}} \right)^2$$

hvor

$p_{d,efter}$ = dynamiske tryk efter ventilatoren

$$\rho_{luft} = \text{luftens densitet} \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$q_v = \text{indblæste volumenstrøm} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$A_{udløb}$ = ventilatorens udløbsareal [m²]

Samles ventilatorens virkningsgrad i en enkelt ligning med alle målepunkter, kan den regnes vha. understående udledte formel.

$$\eta_{ventilator} = \frac{\left((p_{s,efter} + 0,5 \cdot \rho_{luft} \cdot \left(\frac{q_v}{A_{udløb}} \right)^2) - (p_{s,før} + p_{d,før}) \right) \cdot q_v}{P_{motor}} \cdot \eta_{remtræk}$$

hvor

$\eta_{ventilator}$ = ventilatorens virkningsgrad

$p_{s,efter}$ = statisk tryk efter ventilator [Pa]

ρ_{luft} = luftens densitet $\left[\frac{kg}{m^3} \right]$

q_v = indblæste volumenstrøm $\left[\frac{m^3}{s} \right]$

$A_{udløb}$ = ventilatorens udløbsareal [m^2]

$p_{s,før}$ = statisk tryk før ventilator [Pa]

$p_{d,før}$ = dynamiske tryk før ventilator [Pa]

q_v = indblæste volumenstrøm $\left[\frac{m^3}{s} \right]$

P_{motor} = optagen motoreffekt [W]

η_{motor} = ventilatormotorens virkningsgrad

$\eta_{remtræk}$ = remtrækkets virkningsgrad

5.3.3 Lufttemperaturer

Samtlige temperaturer før og efter varmegenvindingen, varmefladen og eventuel køleflade skal måles, så det er muligt at overvåge temperaturforløbet at luften i både indblæsningen og udsugningen med det formål at opdage fejltilstande, som f.eks. defekt varmegenvinding samt samtidig varme- og køletilførsel. Desuden muliggør temperaturfølerne at virkningsgraden af varmegenvindingen kan beregnes og overvåges.

5.3.3.1 Defekt varmegenvinding

Varmegenvindingen er defekt, hvis temperaturen efter varmefladen er højere end temperaturen efter varmegenvindingen på tilgangssiden samtidig med at temperaturstigningen på tilgangssiden er nul eller næsten nul.

5.3.4 Luftkvalitet

Funktionen af ventilationsanlæg, herunder funktionen af eventuel recirkulering, kan overvåges ved at måle CO₂ indholdet i udsugningsluften.

5.3.5 Differenstryk over filtre

Det ønskes at kunne forudsige hvornår et filter har behov for at blive skiftet. På nuværende tidspunkt består en filtervagt af en differenstryksmåler, henover et filter, som udelukkende monitorere på trykdifferencen. Filtervagten er manuelt indstillet til at give besked, hvis trykfaldet

over filteret har overskredet den indstillede værdi. Dette betyder at brugeren først får besked når filteret bør skiftes og ikke har mulighed at planlægge udskiftningen af disse. Normalt vedligeholdes filtre tidsbaseret og der opnås derfor ikke nødvendigvis fuldt udbytte af filtrenes levetid.

Udskiftning af filtre er forbundet med en betydelig udgift. Derfor er det en fordel at kende kontamineringsgraden af filtrene, så filtrene udskiftes tilstandsbaseret i stedet for at tidsbaseret. Hvis det kan forudses hvornår det er optimalt at udskifte samtlige filtre i ventilationsanlæggene i en given bygning, - det kan f.eks. være hver 8 måned, kan vedligeholdelsen optimeres og billiggøres i forhold til at filtrene udskiftes hver 6 måned som nu, uanset om det er nødvendigt ud fra et vedligeholdelses- og energimæssigt synspunkt.

Når det optimale udskiftningstidspunkt for filtre i VAV anlæg (Variable Air Volume) skal bestemmes er det nødvendigt at kunne forudse det fremtidige tryktab korrigeret for variationer i luftflowet. Volumenstrømmen gennem filtrene er ofte højere om sommeren i forhold til om vinteren, da der er brug for større luftflow for at modvirke varme fra højere udetemperatur og solindfald. Derfor skal der udarbejdes beregningsrutiner og/eller rutiner for machine learning, der på baggrund af det øjeblikkelige tryktab og dagen på året, udetemperaturen eller anden parameter er i stand til forudse hvornår det er optimalt at udskifte filtret.

5.3.5.1 Beregninger vedrørende differenstryk og kontamineringsgrad

Differenstrykket over et filter beregnes med følgende formel, hvorigennem det kan udledes at differenstrykket har direkte sammenhæng med volumenstrømmen i en given potens.

$$\Delta p = k \cdot v^n$$

hvor

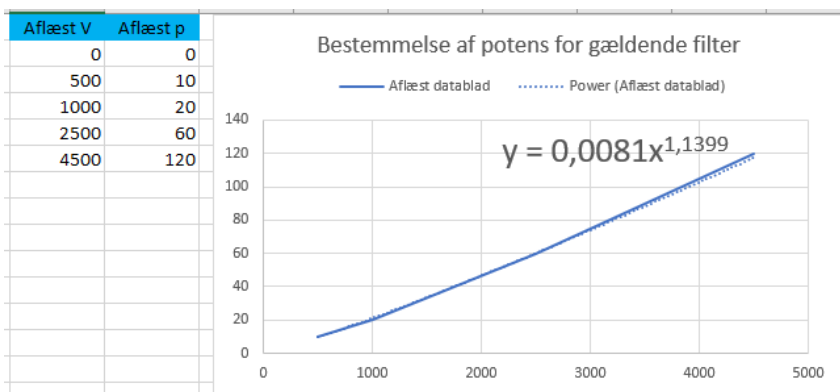
$\Delta p = \text{differenstryk over filter [Pa]}$

$k = \text{konstant}$

$v = \text{lufthastighed } \left[\frac{m}{s} \right]$

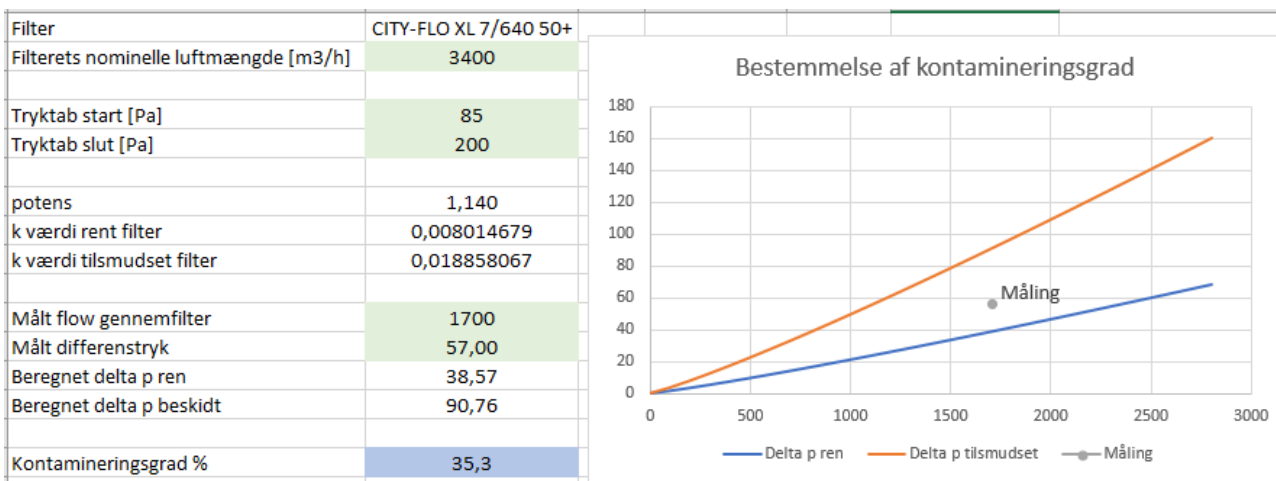
$n = \text{potens}$

n er forskellig fra filter til filter og denne kan bestemmes ved hjælp en regressionsanalyse i f.eks. MS Excel, hvor data for filtret indtastes på baggrund af et datablad for filtret. På Figur ses et eksempel på en funktion i Excel, som er udledt fra aflæste målepunkter.



Figur 5.3.2 Estimeret funktion udledt af Excel, fra aflæste værdier fra filterets datablad.

Kontamineringsgraden kan bestemmes ud fra målt flow $q_{v,måling} \left[\frac{m^3}{h} \right]$ og målt differenstryk over filteret $\Delta p_{måling} [Pa]$. Dette gøres overordnet ved at beregne tryktabet ved en give volumenstrøm for henholdsvis et rent og et tilsmudset filter. Herefter kan det målte differenstryk, ved samme volumenstrøm, stilles i relation til det rene og tilsmudsede filter og ved interpolation kan kontamineringsgraden bestemmes. Dette er vist på Figur 5.3.3.



Figur 5.3.3 Beregning i Excel af kontamineringsgrad for "City-Flo XL 7/640 50+" ved en fiktiv måling. Kontamineringsgraden er beregnet ved interpolering mellem rent og tilsmudset filter.

K-værdi for et **rent** filter beregnes

$$k_{ren} = \frac{\Delta p_{start}}{q_{v,nominel}^n}$$

K-værdi for et **tilsmudset** filter beregnes

$$k_{tilsmudset} = \frac{\Delta p_{slut}}{q_{v,nominel}^n}$$

Differenstrykket beregnes for rent og tilsmudset filter i henhold til målte volumenstrøm igennem filteret. Kontamineringsgrad baseret på målt flow og målt differenstryk beregnes herefter:

$$\text{kontamineringsgrad [\%]} = \frac{\Delta p_{\text{målt}} - \Delta p_{\text{start}}}{\Delta p_{\text{slut}} - \Delta p_{\text{start}}} \cdot 100$$

Prognosen for hvornår et filter opnår en kontamineringsgrad på 100% sker ved at opstille en funktion for kontamineringsgrad ud fra opsamlede data over tryktabet. Funktionen beskriver filterets kontamineringsgrad som funktion af tiden.

$$y = a^n$$



Ligningen løses for a vha. CAS-værktøjet WordMat.

$$a = y^{n^{-1}}$$

hvor

$y =$ kontamineringsgrad i %

$n =$ eksponentiel faktor

$a =$ filtrets totale levetid

I dette eksempel findes antallet af uger det tager før filtrets kontamineringsgrad når 100%:

$$100 = a^{1,8}$$



Ligningen løses for a vha. CAS-værktøjet WordMat.

$$a = 12,92 \text{ uger}$$

For at finde ud af hvor lang tid filteret har igen, må man trække filterets alder fra i uger. Hvis f.eks. filtret er 5 uger gammelt kan følgende udledes:

$$\text{resterende levetid} = a - \text{alder}_{\text{filter}} = 12,92 - 5 = 7,9 \text{ uger}$$

I forbindelse med projektet er der holdt et møde med en førende leverandør af filtre. Leverandørens repræsentant var af den opfattelse at det er nødvendigt at udskifte filtre tidbaseret som følge af risiko for skimmelvækst på filterfladen og af frygt for at filtret kollapser. Der er imidlertid ikke erfaringer blandt dette projekts partnere, at der skulle opstå ovenstående problemer hvis filtre udskiftes når de når sluttryktabet. De nævnte problemer bør dog holdes for øje for ventilationsanlæg, der overgår fra tidsbaseret til tilstandsbaseret vedligehold.

5.3.6 Varmeveksler

Alle ventilationsanlæg skal ifølge Bygningsreglementet udstyres med en varmeveksler og der stilles ligeledes krav til virkningsgraden af disse. Dette kapitel gennemgår målepunkter omkring varmeveksleren og hvorfor det ønskes at monitorere på netop disse.

Da der findes forskellige typer varmevekslere, som rotationsvekslere og krydsvekslere m.m., beskrives det kort, hvilke typiske fejl der ses.

5.3.7 Temperaturvirkningsgrad

Ved at overvåge temperaturvirkningsgraden, kan det konstateres om veksleren fungerer efter hensigten og systemet kan herefter notificere den anlægsansvarlige person.

5.3.7.1 Beregning af temperaturvirkningsgrad

Herunder er beskrevet hvordan temperaturvirkningsgraden bestemmes

$$\eta_t = \frac{t_2 - t_1}{t_3 - t_1}$$

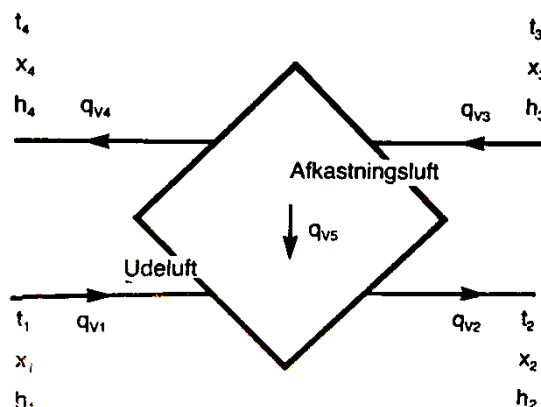
hvor:

η_t er temperaturvirkningsgraden

t_1 er udeluftens temperatur før veksleren [°C]

t_2 er udeluftens temperatur efter veksleren [°C]

t_3 er udsugningsluftens temperatur før veksleren [°C]



Figur 5.3.4 Varmevexler skitseret med tilhørende benævnelser.

Der bør lægges alarmgrænser ind, så der gives alarm ved for lav virkningsgrad. Alarmgrænser fastsættes ud fra en konkret vurdering af effektiviteten af en given varmegenvindingsenhed, men bør være omtrent:

Krydsveksler: 50%

Roterende veksler: 65%

Væskekoblede batterier: 40%

Alarmen aktiveres kun hvis der er behov for 100% ydelse af varmegenvindingsenheden, dvs. at:

- indblæsningstemperaturen efter varmebladen - indblæsningstemperaturen før varmebladen > 0°C

5.3.8 Typer af fejl på varmevekslere

5.3.8.1 Krydsveksler

Hvis virkningsgraden er under det forventede, kan det her være et tegn på:

- Defekte spjæld
- Tilsmudsede varmeoverføringsflader

5.3.8.2 Roterende varmeveksler

Hvis virkningsgraden er under det forventede, kan det her være et tegn på:

- Defekt kilerem
- Defekt motor til rotation af veksleren
- Tilsmudset rotorveksler

5.3.8.3 Væskekoblet varmeveksler

Hvis virkningsgraden er under det forventede, kan det her være et tegn på:

- Defekt blandeventil
- Defekt cirkulationspumpe
- Tilsmudsede varmeoverføringsflader

5.3.9 Ventilatorer

Ventilatorers effektoptag beregnes af følgende udtryk:

$$P_{ventilator} = \frac{V \cdot \Delta P_{total}}{\eta_{ventilator} \cdot \eta_{motor} \cdot \eta_{drev}}$$

hvor:

$P_{ventilator}$ = effektoptag [W]

V = flowmængde [m^3/s]

ΔP_{total} = total trykstigning over ventilatoren [Pa]

$\eta_{ventilator}$ = ventilatorvirkningsgrad [-]

η_{motor} = motorvirkningsgrad [-]

η_{drev} = virkningsgrad af remtræk eller frekvensomformer

Der foretages målinger af luftflowet for både friskluft- og udsugningsventilatoren samt tilhørende målinger af effektoptaget.

Virkningsgraden for elmotoren og eventuel tilhørende frekvensomformer forringes ikke over tid. Hvis ventilatorerne er forsynet med remtræk vil dette løbende slides (remme og skiver), hvorved virkningsgraden forringes lidt over tid indtil remme og eventuelt ligeledes skiver udskiftes. Endelig vil selve ventilatorhjulet blive tilsmudset over tid indtil det i givet fald renses.

Med de målinger der i udgangspunktet er til rådighed, er det ikke muligt at beregne og overvåge om virkningsgraden af ventilatorerne forringes, idet trykstigningen over ventilatorerne ikke overvåges. Til gengæld er det muligt at beregne ventilationsanlæggets SFP faktor, og dermed overvåge om anlæggets energiforbrug set i forhold til luftflow forringes. SFP faktor beregnes af:

$$SEL = SFP = \frac{P_{ind} + P_{ud}}{q_v}$$

hvor:

P_{ind} = indblæsningsventilatorens effektoptag [kW]

P_{ud} = udsugningsventilatorens effektoptag [kW]

q_v = den største værdi af den indblæse eller udsugede volumenstrøm $\left[\frac{m^3}{s} \right]$

Hvis SFP faktoren forringes skyldes det, at:

- Blæsernes virkningsgrader forringes som følge af tilsmudset eller slidte remtræk (hvis disse er til stede)
- Forøgede tryktab (i filtre, køle-/varmefflader, kanaler etc.)

5.3.10 Køle og varmeflader

Køle- og varmeflader kan blive tilsmudset så de varmeoverførende egenskaber forringes, og der kan samles sig luft i fladerne hvis ikke aflufterne er funktionsduelige. Disse fejl opstår normale over længere tid og vil derfor blive opdaget ved den planlagte service. Til gengæld kan der opstå pludselige fejl ved ventilreguleringen for køle- og varmefladerne som gør, at der sker u hensigtsmæssig opvarmning (for lidt eller for megen opvarmning) af indblæsningsluften. Desuden kan defekt ventilregulering føre til samtidig køle- og varmetilførsel. Defekt ventilregulering skyldes ofte at de beslag der forbinder ventilspindlen og ventilmotoren er defekt. Den type fejl opdages ikke med mindre at temperaturforløbet gennem ventilationsanlæggets friskluftdel overvåges. Følgende er udtryk for en defekt og skal overvåges:

- Temperaturforskellen mellem udetemperaturen og indblæsningstemperaturen før varmebladen $> 0^{\circ}\text{C}$ samtidig med temperaturforskellen mellem indblæsningstemperaturen før varmebladen og indblæsningstemperaturen efter kølebladen (hvis etableret) $> 0^{\circ}\text{C}$
- Temperaturforskellen mellem indblæsningstemperaturen efter varmeblade og indblæsningstemperaturen før varmebladen $> 0^{\circ}\text{C}$ samtidig med temperaturforskellen mellem indblæsningstemperaturen før kølebladen (hvis etableret) og indblæsningstemperaturen efter kølebladen $> 0^{\circ}\text{C}$

6 Kravspecifikation for IoT sensorer i ventilationsanlæg

I det følgende kapitel er der opstillet krav til de IoT sensorer, der skal anvendes i forbindelse med ventilationsanlæg. Der er taget udgangspunkt i listen over de sensorer der er nødvendige for en basal overvågning af den energi- og servicemæssige tilstand af et ventilationsanlæg, se kapitel 4.

6.1 Luftflowmålere

En central parameter i forbindelse med den foreslåede overvågning af ventilationsanlæggets energi- og servicemæssige tilstand er måling af luftflowene i både indblæsning og udsugning. Målingerne skal anvendes til at beregne og følge blæsernes effektivitet med det formål at forudsige om blæserhjulene tilsmudses. Desuden skal luftflowene anvendes til at korrigere tryktabene over ventilationsanlæggenes filtre til en referencetilstand ved nominelt flow, så filtrenes tilsmudsingsgrad og restlevetid kan forudses. I praksis er der to metoder til at måle/beregne luftflow i ven-



Figur 6.1.1 Glødetrådsanemometer



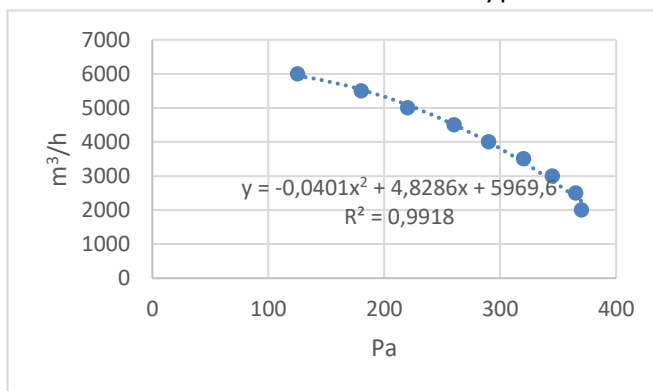
Figur 6.1.2 Pitotrørsmåler

tilationsanlæg. Enten kan lufthastigheden måles med pitotrør eller glødetrådsanemometer og multipliceres med kanaltværsnittet, eller også kan luftflowet bestemmes ved at sammenholde trykstigningen over blæserne med blæserkarakteristikkerne. Det mest almindelige er at anvende

enten pitotrørsmåling eller glødetrådsmåling. Der findes mange forskellige udgaver af begge typer af målere, men fælles for dem alle er, at lufthastigheden måles i ét udvalgt punkt i luftkanalerne. Det er derfor vigtigt at dette punkt er nøje udvalgt og at værdien for luftflowet som måleren registrerer er kalibreret ud fra en luftflowmåling, der er udført på hele kanalværsnittet. Hvis det er muligt at montere en pitotrør- eller glødetrådsmåler, således at der er et passende langt, lige kanalstykke før måleren så hastighedsprofilen er homogen måles luftflowene rimeligt præcist. I praksis har det vist sig at målingerne fra især glødetrådsanemometre har det med "skride" over tid, hvilket formentlig skyldes tilsmudsning af føleretlementet. Under alle omstændigheder bør flowmålerne kontrolleres og kalibreres med regelmæssige mellemrum ligesom alt andet måleudstyr.

De fleste nye ventilationsanlæg, - specielt til komfortformål, har indbygget udstyr til måling af luftflowene. Det sker ved at måle trykdifferensen over indløbstragten til blæserne, der har en entydig sammenhæng med luftflowet. Denne mulighed er kun anvendelig for ventilationsanlæg, der er udrustet med kammerblæsere. Men princippet med at måle et tryk over blæserne under visse forudsætninger kan også med rimelig præcision anvendes for andre blæsertyper. For alle

blæsertyper er det således at der er en entydig sammenhæng mellem trykstigningen over blæseren, blæserens omdrejningstal og luftflowet, så hvis trykstigningen over blæseren og dennes omdrejningstal er kendt, er det muligt ud fra blæserkarakteristikken at bestemme blæserens luftflow. For CAV anlæg (Constant Air Volume), hvor blæseren kører med fast omdrejningstal, kan luftflowet beregnes ud fra blæserkurven for det aktuelle omdrejningstal. Men for VAV anlæg (Variable Air Volume) er det nødvendigt det beregningsudtryk der opstilles for luftflowet indeholder omdrejningstallet. Figur 6.1.3 viser et eksempel på et beregningsudtryk for luftflowet som funktion af trykstigningen over blæseren.



Figur 6.1.3 Beregningsudtryk for luftflowet som funktion af trykstigningen over blæseren.

Det er ikke muligt at fastsætte krav til præcisionen af flowmålingen for eksisterende ventilationsanlæg, da mulighederne for måling afhænger af de aktuelle forhold. For nye ventilationsanlæg bør flowmålingen udføres med en usikkerhed på under $\pm 5\%$.

6.2 Effektmålere

Effekttaget til ventilationsanlægget bør måles med to separate elmålere, - én for indblæsnings- og én for udsugningsblæseren, så den aktuelle værdi for effekttaget af hver blæser kan sammenholdes med det aktuelle luftflow. Herved kan blæsernes virkningsgrad følges så eventuel forringet virkningsgrad som følge af tilsmudsning eller øget tab i transmissionen opdages. Elmålerne skal kunne registrere aktuelt effekttag samt totalt forbrugt energiforbrug, hvilket er standard for elmålere.

Elmålere bør være minimum klasse B efter EN50470 1/3.

6.3 Temperaturfølere

Der skal etableres et større antal temperaturfølere for at kunne følge temperaturprofilen gennem såvel indblæsnings- som udsugningsdelen af ventilationsanlægget. Temperaturfølerne skal være

rimelig præcise, men må fremfor alt ikke "skride" i indstilling da de indbyrdes værdier anvendes til at følge bl.a. virkningsgraden af varmegenvindingen.

Det anbefales, at der anvendes pt100 følere efter EN60751 klasse A.

6.4 CO₂ måler

I forbindelse med ventilationsanlæg for lokaler med høj personintensitet kan det være en ide at overvåge CO₂ niveauet i udsugningsluften.

Det anbefales, at der anvendes en CO₂ sensor med et måleområde på 0-2.000 ppm. Dette er tilstrækkeligt i forhold til at måle indenfor gældende indeklimastandarder. Et større måleområde medfører lavere præcision af måleren.

CO₂ sensorer skal kalibreres med regelmæssige mellemrum, - f.eks. én gang årligt. Det skal desuden bemærkes, at CO₂ sensorer bedst anvendes til at følge udviklingen i CO₂ niveauet over en periode og ikke er velegnede til at fastslå det præcise absolutte niveau. Det er helt almindeligt, at CO₂ sensorer har en betydelig usikkerhed. Den CO₂ sensor der er anvendt i dette projekt har en usikkerhed på $\pm(2\%$ af det totale måleområde + 2% af den aktuelle værdi), hvilket er rimelig lavt.

6.5 Trykdifferensmålere

I forbindelse med overvågningen af tilstanden af ventilationsanlægget skal der foretages måling af differenstrykket over såvel ventilationsanlæggets blæsere som filtre, med det formål af kunne følge udviklingen i trykket.

Måleområdet for differenstryksensorerne til ventilationsanlæggets blæsere skal naturligvis udvælges, så de passer til det normalt forekommende differenstryk. Men i de fleste tilfælde bør måleområdet være 0-1.000 Pa, da trykstigningen over blæserne typisk er mellem 400-800 Pa. I ventilationsanlæg for særlige anvendelser, f.eks. laboratorieventilation, hvor der er filtre med meget høje tryktab (HEPA-filtre) er trykstigning over udsugningsblæseren meget høj.

Måleområdet for differenstryksensorerne over ventilationsanlæggets filtre bør være mellem 0-500 Pa. Det er tilstrækkeligt hvis differenstryksensorerne har en usikkerhed på mindre end $\pm 1\%$ af det totale måleområde, da sensorer primært anvendes til at følge udviklingen i tryktabet over filtrene.

6.6 Økonomi

Der er etableret anlægsovervågning efter det koncept og med de sensorer, der er vist med figur 5.3.1 på et ventilationsanlæg i Ingeniørforeningens hus (IDA Mødecenter) og på ét ventilationsanlæg hos DEAS. Omkostningerne til målere og sensorer var kr. 10-12.000,- pr. ventilationsanlæg, og hertil kom tidsforbrug til montage og opsætning af hjemmeside. Det antages, at omkostningerne til udstyr vil blive en del lavere, såfremt det monteres på et stort antal ventilationsanlæg.

7 Demonstration af IoT

I det følgende beskrives forsøgs- og demonstrationsanlæg for IoT, der er etableret på ét ventilationsanlæg i Ingeniørforeningens hus (IDA Mødecenter) og på ét ventilationsanlæg hos DEAS.

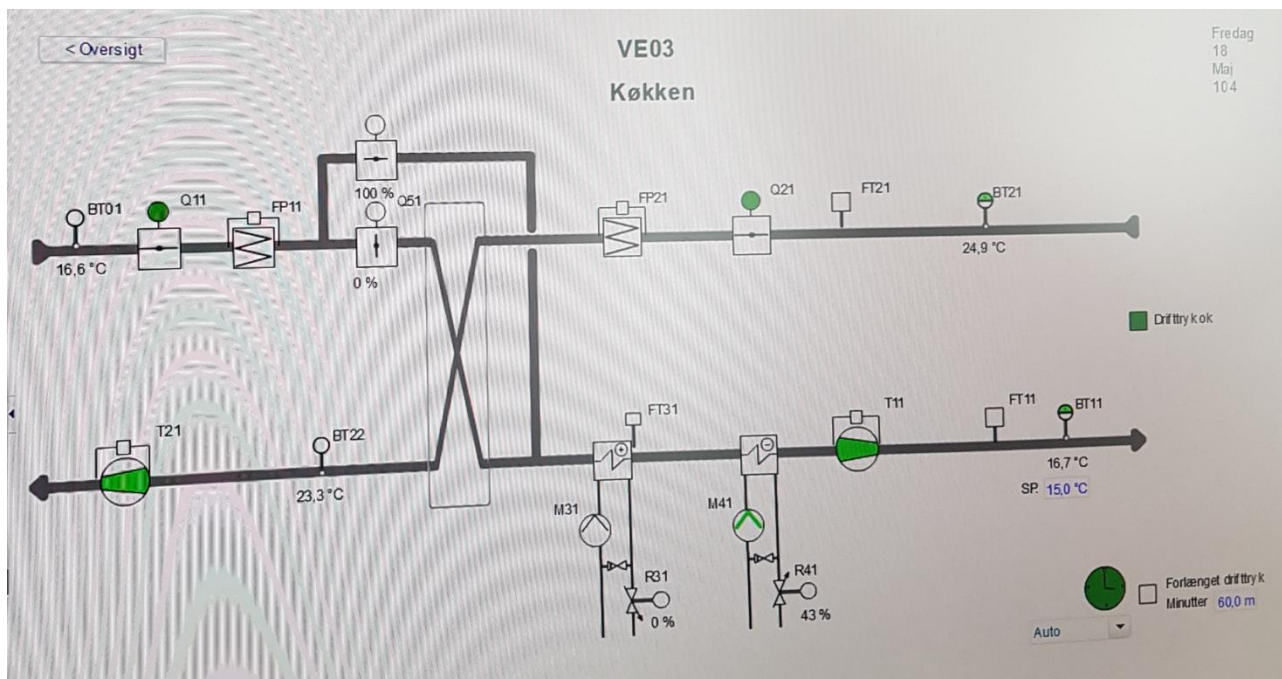
7.1 IDA Mødecenter A/S

IDA Mødecenter, der er Ingeniørforeningens konferencecenter, anvendes til kurser, konferencer, møder, produktpræsentationer, symposier, modeshows, udstillinger etc. Bygningen der huser IDA Mødecenter (IDA Huset) er opført i 1997, og der er installeret et stort antal ventilationsanlæg til at sikre et godt indeklima i bygningen.

I dette projekt er der taget udgangspunkt i et ventilationsanlæg, der betjener IDA Huset's køkken. Anlægget er nærmere beskrevet i det følgende.

7.1.1 Beskrivelse af VE03 Køkkenanlæg

Ventilationsanlægget for køkkenet er et Novenco Climaster ZCQ-13/8 aggregat. Ventilationsanlægget er med krydsvarmeveksler, køle- og varmeblæser foruden blæsere og filtre. Anlægget er i drift på hverdage mellem kl. 7 -23 med konstant luftmængde. Da registreringerne af ventilationsanlægget blev påbegyndt medio september 2018 var aggregatets krydsveksler i brug, men der var ikke varme på varmeblæden.



Figur 7.1.1 CTS skærbillede af IDA husets VE03 køkkenanlæg.

Filtrene er af fabrikat Camfil og indblæsningsfilteret er type HI-FLO II XLS 7/520 class F7 og udsugningsfilter er type HI-FLO II XLS 5/370 class M5. Camfils beskrivelse af hvorledes sluttryktabet over filtrene bestemmes starttryktab + 100 Pa eller starttryktab x 3, hvorefter den mindste værdi vælges som sluttryktab.

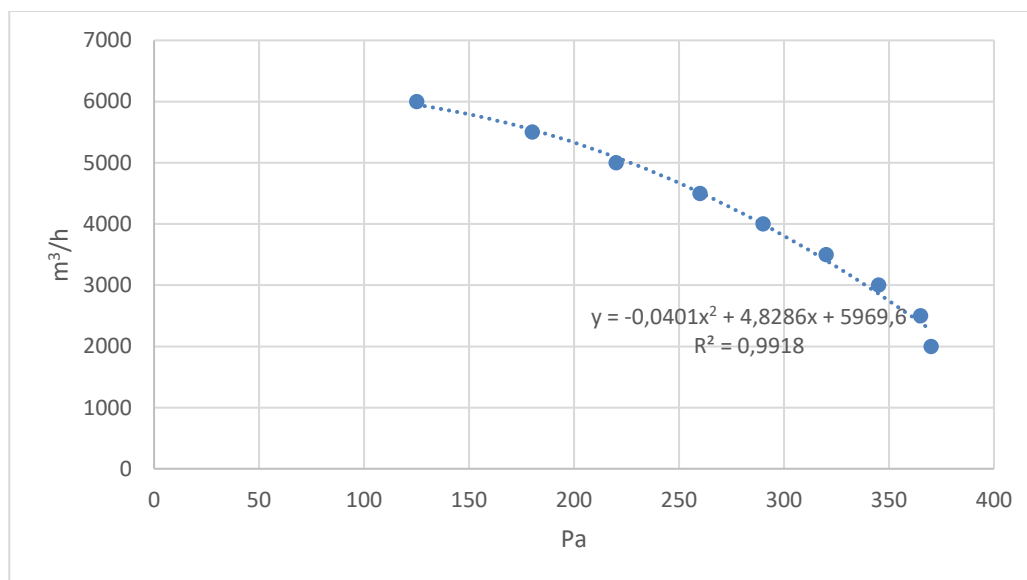
Ventilationsaggregatets blæsere i såvel indblæsning som udsugning er af fabrikat Comefri type THLZ355, der er en centrifugalblæser med dobbelthjul og bagudkrummede skovle. Begge blæsere er remtrukne af 2,2 kW elmotorer med 1.380 omdr/min., idet blæseren i indblæsningen har en udveksling på 1/1 (dvs. blæser og elmotor har samme omdrejningstal) og blæseren i udsugning har en udveksling på 1/1,667 (dvs. blæseren kører med 1,6667 gange flere omdrejninger end elmotoren).

Indblæsnings- og udsugningsmængden er medio september 2018 målt til henholdsvis 4.850 m³/h og 7.330 m³/h. Der er ikke i balance mellem den indblæste og udsugede luftmængde, hvilket er helt normalt da der tilstræbes et lille undertryk i køkkenet så madlugt ikke breder sig fra køkkenet. Der er desuden målt nedenstående tryk over aggregatet. Som det ses, holdes der et rimeligt højt undertryk i udsugningskanalen, hvilket skyldes at udsugningen fra køkkenet sker gennem en emhætte.

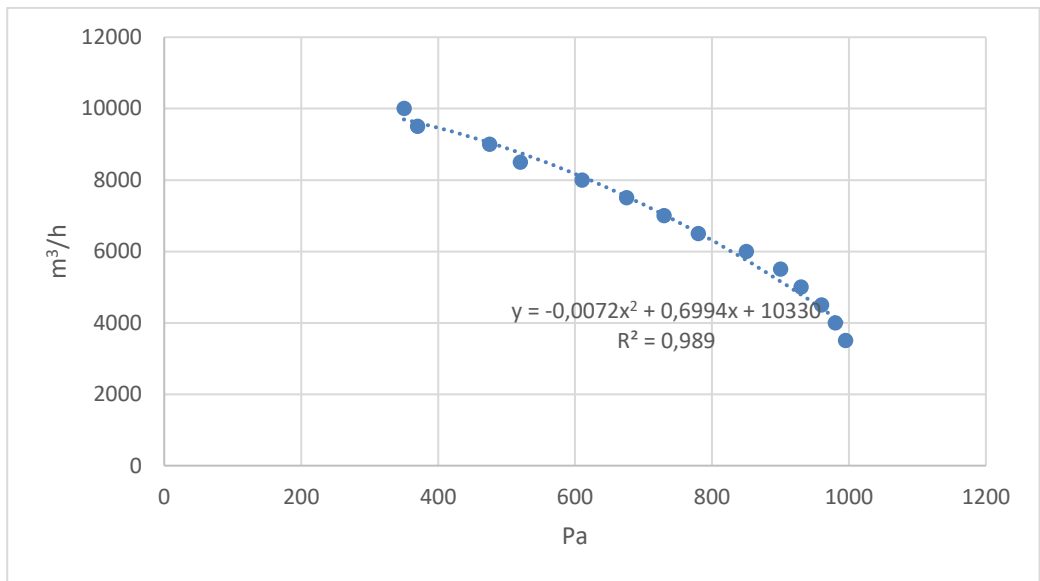
	Før filter	Efter filter	Før blæser	Efter blæser
	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
Indblæsning	-30	-103	-210	56
Udsugning	-330	-365	-495	45

Tabel 7.1.1 Trykforhold i VE03.

På baggrund af den af fabrikantens udarbejdede blæserkarakteristik og de udførte målinger, er der opstillet nedenstående kurver og beregningsudtryk for luftflow, som funktion af trykstigningen over blæseren. Beregningsudtrykkene bruges til at konvertere de trykstigninger der måles med de monterede differenstrøksensorer til luftflow, for herigennem at overvåge bl.a. tilsmudsningens graden af ventilationsaggregatets filtre.



Figur 7.1.2 Indblæsning



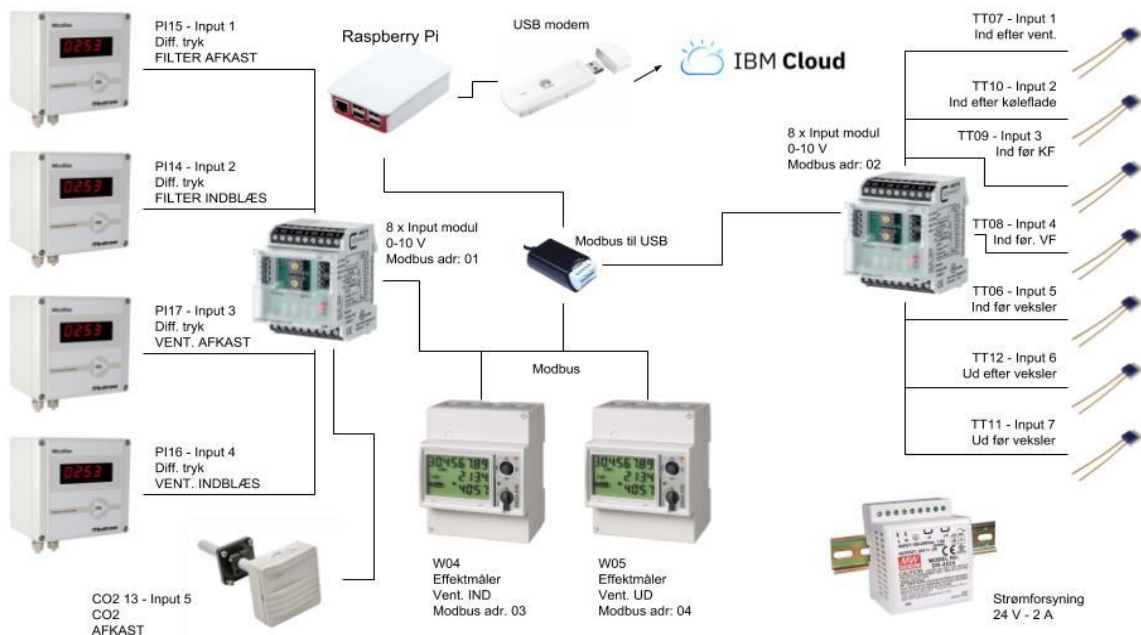
Figur 7.1.3 Udsugning

Det bemærkes, at der fin overensstemmelse mellem det flow der beregnes ud fra blæserkarakteristikken fra fabrikanten og det faktisk målte luftflow for indblæsningen.

Ventilationsanlægget er styret og overvåget af IDA Huset's CTS anlæg.

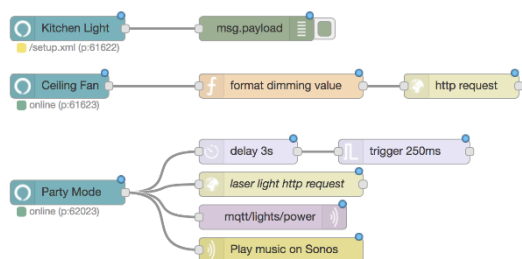
7.1.1.1 Overblik over målekomponenter i forsøgsopstillingen

Som det fremgår af **Figur** sendes data enten til inputmodulerne eller direkte til "modbus til USB". Herfra læses data af Raspberry Pi og sendes via et USB modem over mobilnettet til IBM Cloud.



Figur 7.1.4 Overblik over komponenter, som er monteret på VE03 (køkkenanlægget) i forbindelse med dataopsamling.

Raspberry Pi har et open source styresystem kaldet Debian GNU/Linux installeret. Der er skrevet kode i Python programmeringssprog, som via MODBUS kommunikationsprotokol, kan kommunikere med de forskellige hardware moduler, som indgår i opstillingen. Et eksempel på Python kode ses på Figur 7.1.6. Python koden gemmer opsamlet data i en tekstfil, som indlæses i et visuelt flow programmeringsværktøj, der let kan videresende data til IBM Cloud. På Figur 7.1.5 ses et eksempel på hvorledes node-Red programmering typisk ser ud.



Figur 7.1.5 Eksempel på Node-RED kode.

```
def readMR_AI8(modbus_adr): #Læser input fra MR-AI8 og gemmer værdie
    dev_name = "MR-AI8"

    # MR-AI8_1 Setting up modbus
    MR_AI8_1 = minimalmodbus.Instrument(port=modbus_port, slaveaddress
    MR_AI8_1.serial.baudrate=9600
    MR_AI8_1.serial.timeout=1
    MR_AI8_1.serial.parity='N'
    MR_AI8_1.debug=False

    #Variables
    inputnr = 0 #To number the inputs on connected device
    inputnumbers = [] #To save all input numbers in array
    inputvalues = [] #To save all input values in array
```

Figur 7.1.6 Eksempel på Python kode.

7.1.2 Dataopsamling og -transmission

Der er monteret en Raspberry Pi mini-computer med HDMI skærmudgang, 4 USB porte m.m., der har til formål at indsamle og videresende data fra ventilationssystemet til IBM cloud. Den kører et gratis open-source Linux operativsystem, som man let kan afvikle Python programmer på. Det gør det bl.a. muligt at kommunikere med MODBUS komponenter, som også er benyttet i forsøgsopstillingen. Raspberry Pi kommer med en gratis version af VNC fjernskrivebord, som



Figur 7.1.7 Vægkasse med DIN skinne og monterede komponenter.

gør det muligt at tilgå computerens skrivebord over internettet. Dette er specielt fordelagtigt, hvis der skal rettes i opsætningen af hvordan dataopsamlingsprogrammet kører, eller hvis evt. fejl skal rettes, da det ikke er nødvendigt fysisk at være til stede ved softwaremæssige problemer. Raspberry Pi fungerer "plug and play" med det benyttede USB modem. Dertil er det relativt let at installere node-RED, som benyttes til at videresende data til IBM cloud.

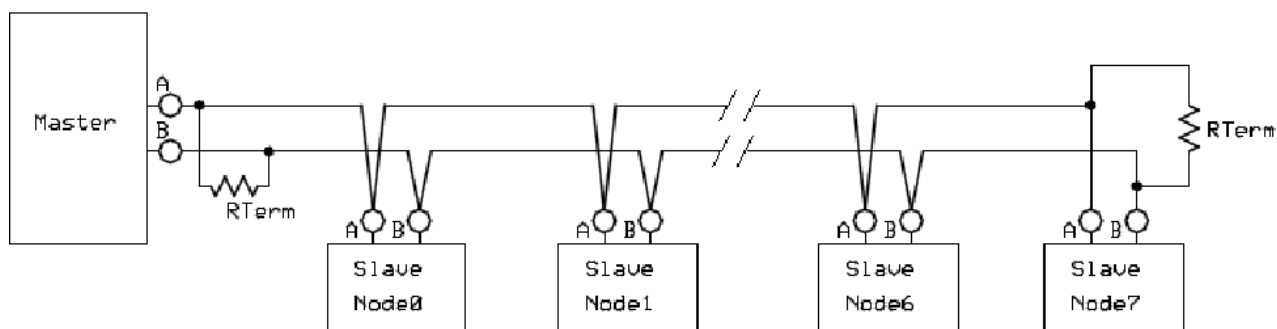
Raspberry Pi er sat op til at logge data i UTC tid. Logningen bliver fortaget en gang i minuttet og Raspberry Pi er programmeret til at reboote kl. 00.00 en gang pr. døgn, for at sikre at den ikke går i stå ved eventuelle fejlprocesser eller fejl som fylder den interne hukommelse.

Modemet er af typen ZTE MF823 4G, er forsynet med almindeligt datakort til mobilnettet og fungerer "plug and play" med Raspberry Pi.

Raspberry Pi som skal sørge for at sende måledata til IBM cloud er ved flere lejligheder i projekt perioden gået offline, og det har været nødvendigt at genstarte den, før nye måledata kan uploades til IBM cloud. Det er ikke klart hvad årsagen har været, men en mulig grund kan være at usb modemmet i IDA huset, har været tilkoblet Raspberry Pi's usb port direkte og der derfor har været et for højt strømforbrug på porten, som har resulteret i problemer. En anden mulighed er micro SD kortet, som fungerer som Raspberry Pi's harddisk. Der er været eksempler at på forbindelsen mellem SD kortet og Raspberry Pi har været dårlig, som igen kan have ført til problemer. Derfor er der både SD kort blevet udskiftet, og usb modemmet er i stedet er tilkoblet en usb hub med egen strømforsyning. Der er herefter ikke registreret fejl på Raspberry i IDA huset.

7.1.3 MODBUS COMi-USB / MODBUS moduler generelt

På Figur 7.1.7 (billedet til venstre) ses et sort kabel gå fra Raspberry Pi's usb-port placeret oven på vægboksen og ned til bunden og ind i vægboksen. Ser man på Figur 7.1.7 (billedet til højre) går det sorte kabel ind til en lille sort boks nederst i højre hjørne. Denne lille boks er den Raspberry Pi bruger til at kommunikere med MODBUS modulerne. Dette gøres over to ledere som er benævnt A- og B+. Dvs. alle MODBUS moduler sidder parallelt over hinanden, som vist på Figur 7.1.8. Dette betyder at alle MODBUS komponenter "lytter" med på den samme linje og derfor



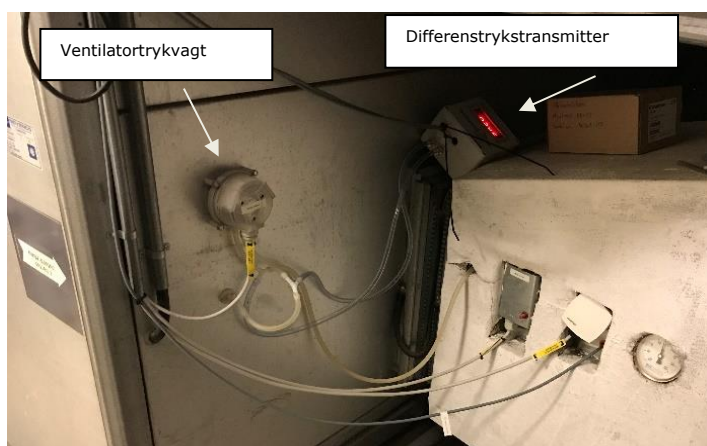
Figur 7.1.8 Eksempel på opbygning af et MODBUS netværk.

må have individuelle adresse, så modulerne er klar over hvem informationerne på linjen sendes til. Adressen til moduler indstilles i de enkelte MODBUS moduler.

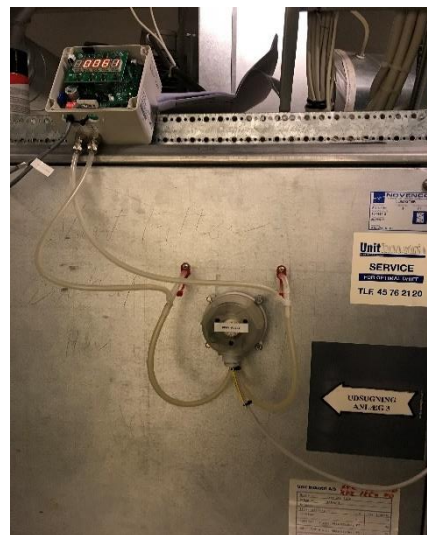
7.1.4 Målekomponenter

7.1.4.1 Differenstryktransmittere

Micatrone differenstryktransmittere er benyttet til måling af differenstryk over indblæsning- og udsugningsfiltre, samt over indblæsnings- og udsugningsventilator. De leverer et 0-10 V til Metz input moduler, som er placeret i vægboksen. Monteringen af målingen over filtrene er gjort ved at koble dem pa-



Figur 7.1.9 Differenstryktransmitter koblet parallelt over ventilatortrykvagten på indblæsningen.



Figur 7.1.10 Parallelkobling af differenstryktransmitter over filtervagt.

rallelt over filtervagterne, som vist på Figur 7.1.9. Differenstryktransmittere til måling over ventilatorerne er koblet parallelt over ventilatortrykvagten vist på Figur 7.1.10.

7.1.4.2 CO2 transmitter

CO2 transmitteren er monteret i udsugningskanalen, som vist på Figur 7.1.11. Sensoren sender et output mellem 0-10 V, der refererer til lineært til en CO2 koncentration mellem 0-2000 ppm.

7.1.4.3 Temperatursensorer

På Figur 7.1.13 ses en af de installerede temperatursensorer. Sensoren er en 2x2,3 mm sensor loddet på et 2-leder 0,25mm² kabel, som herefter er forseglet med krympeflex og lim. Figur 7.1.12 giver et overblik af hvorledes, sensorerne er monteret på anlægget.



Figur 7.1.11 CO2 føler monteret i udsugningskanalen efter aggregat og udsugningsfilter.



Figur 7.1.12 Temperatur sensorer monteret på køkkenanlægget i IDA huset.



Figur 7.1.13 PT100 sensor loddet på kabel og afdækket med krympeflex.

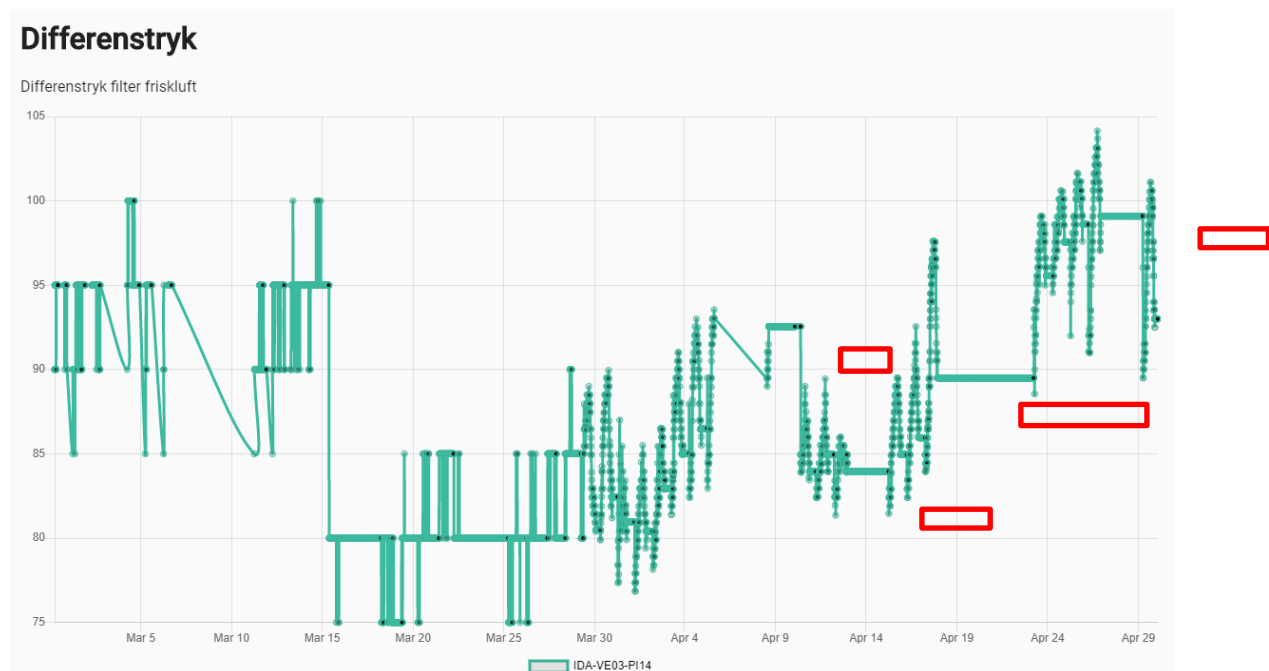
7.1.5 Erfaringer fra demonstration

7.1.5.1 Udfald af Raspberry og problemer med logning af data

Raspberry der uploader data til IBM databasen har været gået offline ved et par lejligheder. Årsagen er uklar, men der er blevet skiftet SD kort i Raspberry og USB-modemet er blevet flyttet til en separat USB-hub med egen strømforsyning i stedet for at USB-modemet, tager strøm direkte fra Raspberry. Raspberry har ikke været offline siden februar måned 2020.

7.1.5.2 Lav opløsning ved måling af differenstryk

Grundet afkøringsfejl i programkode, er opløsningen af målt differenstryk over filtre og ventilatorer begrænset til 5 Pa. Dette er rettet sidst i marts og som det ses nedenstående er opløsningen herefter bedre.



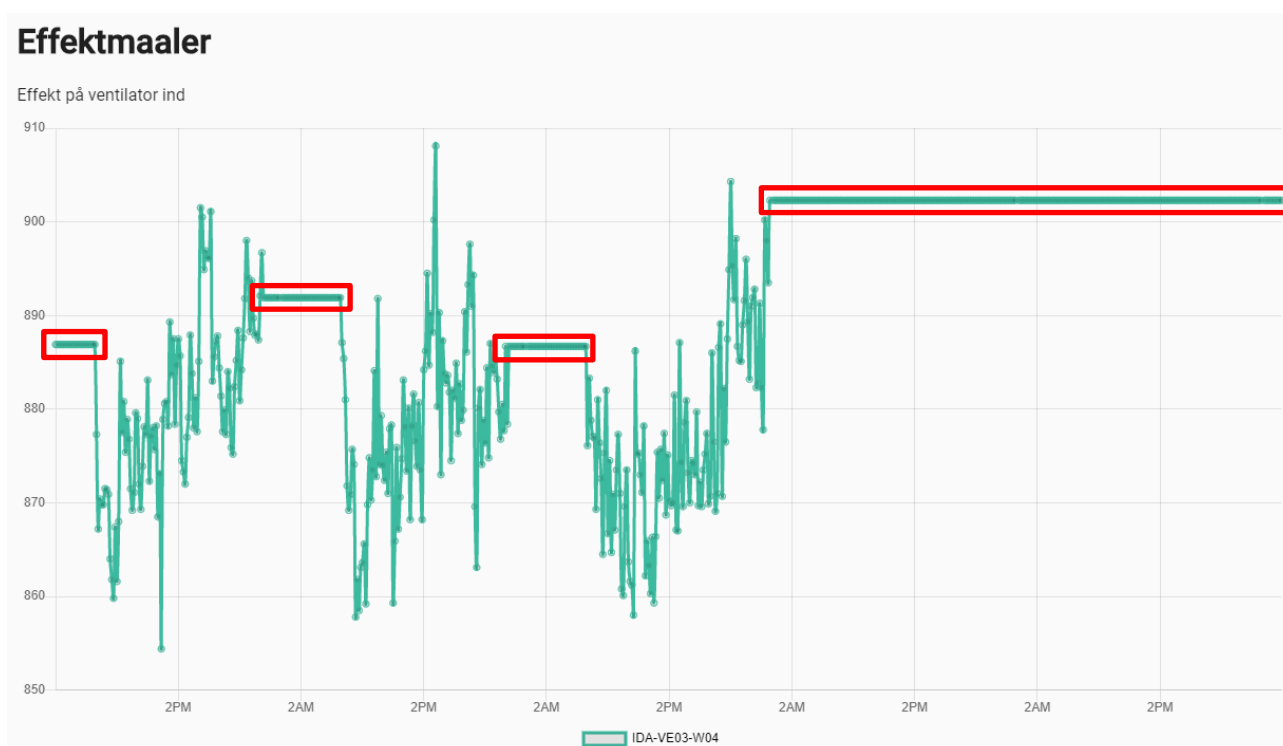
Figur 7.1.14 Billede som viser en højere måle opløsning efter marts måned, som følge af rettelse i programkode. De røde firkanter viser data som formentligt at logget forkert og skal efterses. Dette er beskrevet i følgende afsnit.

7.1.5.3 Ukorrekt logning når ventilatorerne er slukket

Der er en softwaremæssig udfordring i at logge alle måledata korrekt. Det resulterer f.eks. i at der bliver registreret et effektforbrug selvom anlægget er slukket. Problemet hænger sammen med at modbusmodulerne, der måler effekten fra ventilatorerne også får afbrudt strømmen når anlægget slukkes. Det er aftalt at korrigere data i databasen efterfølgende. Data der skal efterses og korrigeres, er følgende:

- Effekt over begge ventilatorer
- Differenstryk over begge filtre og ventilatorer

Dette gøres ved at kigge på dataværdier, som er logget efter hinanden med nøjagtig samme værdi f.eks. 3 gange i træk. På Figur 7.1.15 ses loggede værdier over en effektmåler, hvor anlægget har været slukket om natten, men der alligevel er logget et effektforbrug i nattetimerne. Værdier markeret med røde firkanter skal sættes til 0.



Figur 7.1.15 Visning af forkert loggede værdier, som skal rettes til 0 i databasen. Identificeringen af de forkerte værdier, sker ved at identificere målinger som er ens over en bestemt periode.

7.1.5.4 Målefejl over friskluftfilter pga. differenstryktransmitter

Filtertrykket er omkring 1. juli 2019 øjeblikkeligt steget med ca. 50 Pa. Dette er registreret 12. august og er siden blevet rettet. Dette medfører at målingerne i denne periode ligger 50 Pa for højt. Differenstryktransmitterens kalibreringsnulpunkt var af ukendte årsager skredet med ca. 50 Pa.

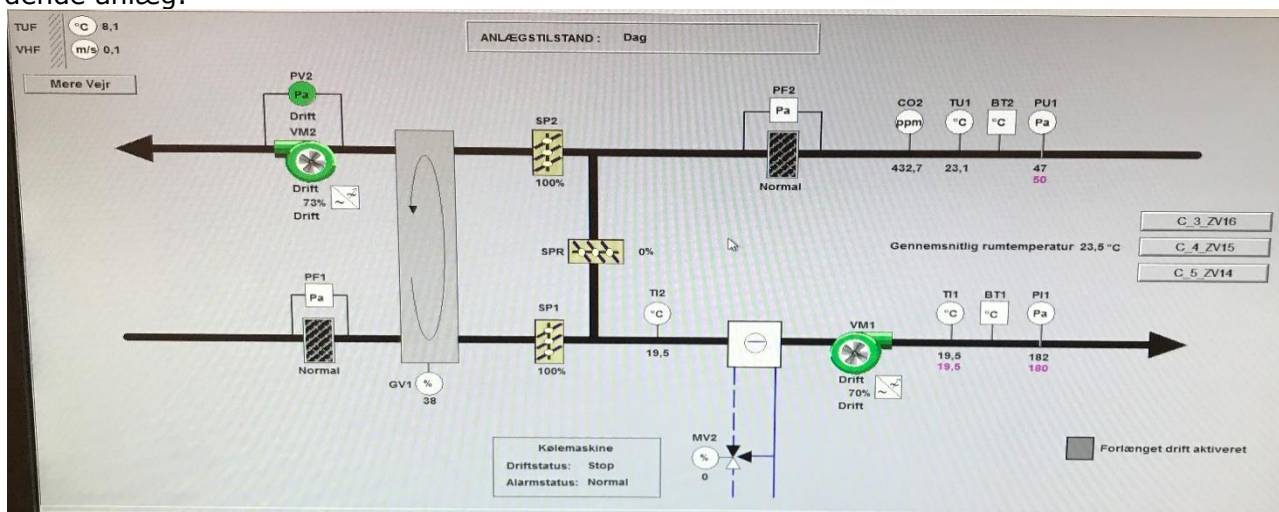
7.2 DEAS

DEAS er Danmarks førende ejendomsforvaltningsselskab med aktiviteter i hele landet. DEAS forvalter en ejendomsportefølje på mere end 2.200 erhvervs- og boligejendomme, som hovedsagelig ejes af institutionelle investorer, private investorer samt ejer- og andelsboligforeninger.

DEAS afdeling i København er lokaliseret på Dirch Passers Allé 76, 2000 Frederiksberg og er en 5 etagers bygning med et stort antal storrumskontorer, som ventileres af 8 ventilationsanlæg placeret på taget af bygningen.

7.2.1 Beskrivelse af anlæg VE05

Ventilationsanlægget hos DEAS ventilerer en del af kontorområderne (bygning C, 3-5. sal). Anlægget er et Novenco Climaster ZCN-18/15L aggregat. Ventilationsanlægget er med roterende varmeveksler, køleflade foruden blæsere og filtre. Endelige er der etableret mulighed for recirkulering, således at ventilationsanlægget kan recirkulere i perioder uden ventilationsbehov, men hvor der er varmebehov i bygningen. Anlægget er i drift alle dage mellem kl. 7 - 18 med varierende luftmængde efter behovet, der fastsættes ud fra rumtemperaturen og CO₂ niveauet i kontorområderne. Anlægget er således et VAV anlæg og kører trykstyret, som resulterer i et varierende effektoptag på ventilatorerne. Herunder ses et billede taget af CTS systemet for pågældende anlæg.



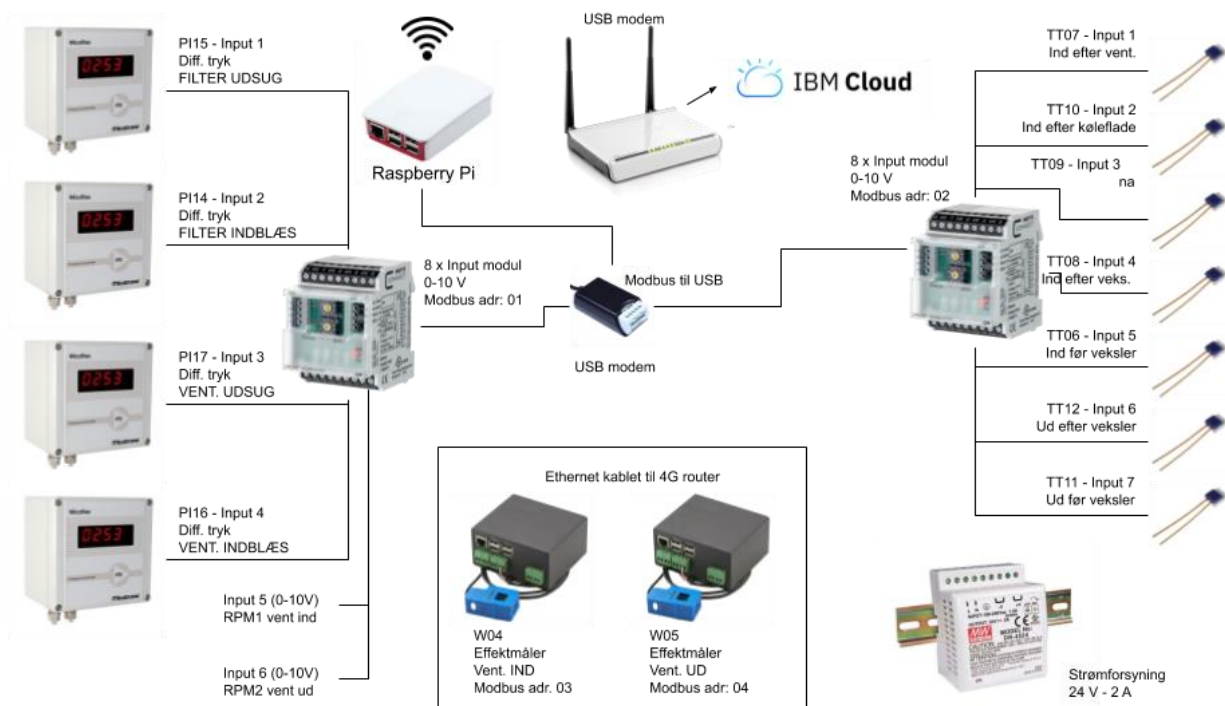
Figur 7.2.1 CTS skærbillede af DEAS's ventilationsanlæg VE05.

Ventilationsaggregatets blæsere i såvel indblæsning som udsugning er af fabrikat ZerAx type ACN710-350, der er en aksialblæser. Begge blæsere er direkte trukne af 7,5 kW elmotorer med 2.980 omdr./min., idet blæserne er forsynet med frekvensregulering for justering af omdrejningstallet i forhold det aktuelle behov (trykket i hhv. indblæsnings- og afkastkanalen).

7.2.2 Forsøgsoptstilling

Opstillingen er magen til opstillingen på IDA huset, bortset fra at det er fravalgt at måle på CO₂ niveauet i hovedkanalen, da det vurderes at denne måling er overflødig for projektet. Effektmåling på ventilatorer bliver foretaget med 2 stk. Raspberry Pi med et påmonteret modul kaldet SmartPi 2.0 og ikke EM24-DIN modulerne, som i IDA huset. Fordelen ved SmartPi modulerne er at strømmålingerne her gøres med clamps, så det ikke er nødvendigt at klippe kabler over ved installation. Dertil kommer SmartPi allerede med node-red installeret og data kan derfor let transmitteres til IBM cloud.

Der indgår tre Raspberry Pi's i denne opstilling og det er derfor valgt at opsætte et mobilt lokalnetværk vha. en 4G router, som kan kommunikeres med via wi-fi. Et overblik over opstillingen ses på Figur 6.2.2.



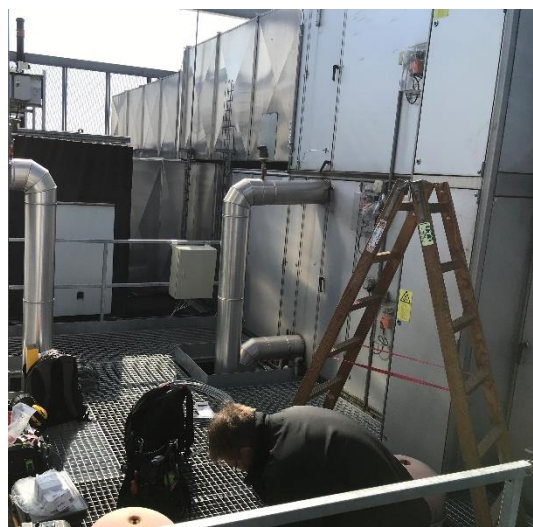
Figur 7.2.2 Oversigt over komponenter i DEAS opstillingen og hvorledes de er monteret på modbus indgangsmodule.

7.2.3 Opsætning af forsøgsopstilling

Forsøgsopstillingen er opsat på taget af DEAS bygningen. På Figur 7.2.4 ses det meste af anlægget til højre på billedet. De to SmartPi's til effektmåling samt 4G routeren er monteret og installeret i elskabet tilhørende de allerede opsatte ventilationsanlæg og den Raspberry der opsamler data fra temperatursensorer er placeret i et mindre elskab, som er påhængt gelænderet. Begge elskabe er vist på Figur 7.2.3.

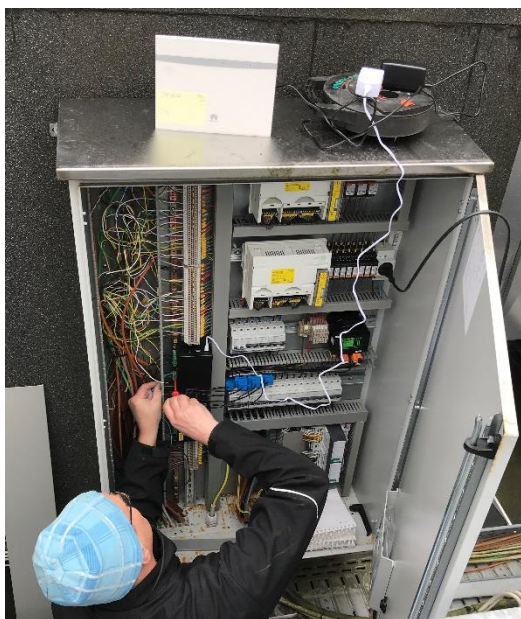


Figur 7.2.3 Billedet viser de to elskabe som indeholder Raspberry Pi's til måleopstillingen.



Figur 7.2.4 Billedet viser DEAS anlæg 05 til højre.

Figur 7.2.5 er viser installationen af SmartPi's i det store elskab og Figur 7.2.6 viser installationen i det lille elskab.



Figur 7.2.5 Installationen af SmartPi's.



Figur 7.2.6 Elinstallationen.

7.2.4 Erfaringer fra demonstration

7.2.4.1 Udfald på effektmålinger

Der har været problemer med udfald af de Raspberry's, som måler på ventilatoreffekten på DEAS anlægget. Det er uklart præcist hvad der har forårsaget udfaldene, men det kan skyldes at 4G routeren og de to Raspberry's der måler ventilatoreffekten, er installeret i metalelskabet til ventilationsanlægget og alle kommunikerer vha. trådløse signaler. Man kan forstille sig at signalerne resonere og skaber for meget støj i skabet, som fører til transmissionsproblemer.

Den. 19. august 2019 er wi-fi slået fra og Raspberry's i elskabet er blevet forbundet med et ethernet kabel. Der er siden ikke registreret udfald.

I fejlsøgning i forbindelse med udfaldene er der også udskiftet både Raspberry og SD-kort i Raspberry, men dette forbedrede ikke stabiliteten.

7.2.4.2 Timestamp fra opsamlet data på forskellige Raspberry's skaber problemer

Data fra DEAS anlægget bliver opsamlet sendt til databasen af tre forskellige Raspberry's og data kan så blive gemt i databasen med forskellige timestamps. Hvis målinger fra forskellige Raspberry's ikke har samme timestamp og man f.eks. gerne vil sammenholde effekten på et givent tidspunkt fra en Raspberry med omdrejningstallet på samme tidspunkt fra en anden Raspberry og disse ikke er logget nøjagtigt samtidigt, kan dette give problemer når der skal visualiseres. Data der skal sammenholdes bør derfor lægges op i databasen samtidigt.

7.2.4.3 Natkøling søndag til mandag har negativ indflydelse på udregnet kontamineringsgrad

Figur 7.2.7 viser peaks som alle søndage. Ved nærmere undersøgelse af data ses det, at anlæggets indblæsningsventilator kører med et langt højere omdrejningstal end udsugningsventilatoren. Om søndagen til mandag morgen er det konstateret at udsugningsventilatoren kører i området 40-50% og indblæsningen kører i området 80-85%. På almindelige hverdage ligger ventilatorerne mere balanceret og som regel inden for de samme 10% forstået på den måde, at udsugning f.eks. ligger på 62% og indblæsningen på 71%. Grundet den forholdsmæssigt forøgede indblæsning skabes der ubalance i forholdet mellem udsugningsventilatoren og trykket over afkastfiltret.

Figur 7.2.8 viser forskellen mellem ventilatorerne i procent over tid. Alle peaks på grafen er søndage og viser at indblæsningsventilatoren kører med markant højere belastning end udsugningsventilatoren på disse dage. Værdierne der er plottet i grafen er gennemsnitsværdier for hele kalenderdage i de tidsperioder, hvor anlægget har været aktivt.

Det er derfor valgt at se bort fra søndage og fokusere på hverdage med normale driftsforhold, når der kigges på kontamineringsgraden.

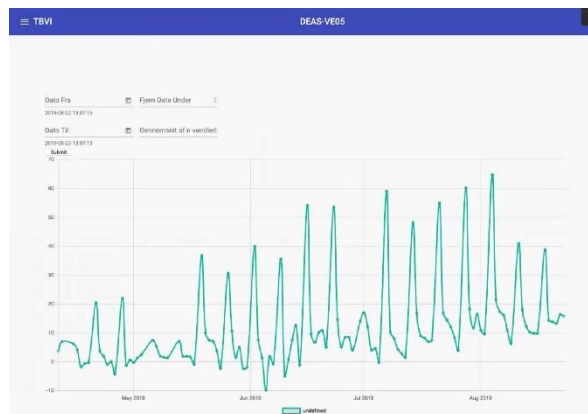
Den udregnede kontamineringsgrad bliver tydeligt påvirket af forskellen mellem indblæsnings- og udsugningsventilatorens indbyrdes aktivitetsforhold og der kan argumenteres for, at kontamineringsgraden udelukkende skal beregnes på baggrund af loggede værdier, hvor ventilatorerne har kørt tilnærmelsesvis balanceret, f.eks. hvis de har ligget på et niveau inden for 10% af hinanden.

Skal kontamineringsgraden bestemmes fortløbende selv med store forskelle i driftsniveauet, må der yderligere beregninger til, hvor der tages hensyn til ventilatorernes forskellige aktivitetsniveau.

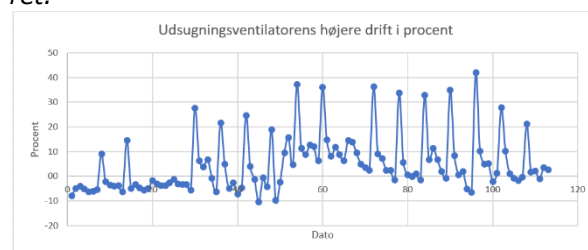
7.2.4.4 Bestemmelse af kontamineringsgrad

Anlægget hos DEAS trykstyret og derfor varierer omdrejningstallet på ventilatorerne. Når ventilatorernes omdrejningstal ændrer sig, ændrer flowet sig over filtrene, hvilket resulterer i varierende differenstræk. Derfor kan kontamineringsgraden ikke baseres alene på ændringer i differenstrækket og der må derfor også tages hensyn til flowet over filtrene. Det har vist sig at være for problematisk at bestemme flowet på anlægget med rimelig præcision pga. dårlige målepunkter, bøjninger og afgreninger i systemet. Derfor er det valgt at basere kontamineringsgraden ud fra en række antagelser og i sidste ende basere kontamineringsgraden på ventilatoromdrejningerne i %.

Antagelserne er som følger:



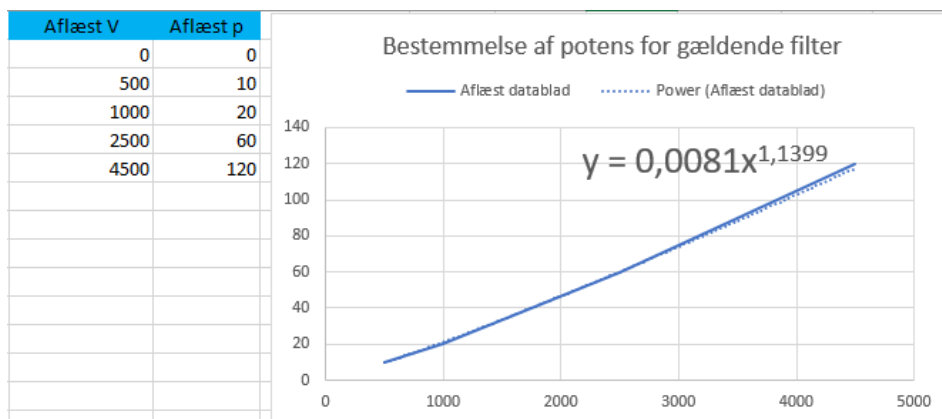
Figur 7.2.7 Peaks om søndagen ved udregning af kontamineringsgrad af udsugningsfiltret.



Figur 7.2.8 Graf viser hvor meget højere indblæsningsventilatoren ligger i procent i forhold til udsugningsventilatoren.

- Der er en lineær sammenhæng mellem flow og ventilatoromdrejninger i systemet
- Anlægget kører tilnærmelsesvist balanceret
- 100 procent ventilatoromdrejninger er lig nominelt filterflow

Af datablade for filtre er det konstateret at trykstigningen er meget svagt eksponentielt stigende i forhold til flowet gennem filtret. På Figur 7.2.9 ses hvordan en eksponentiel funktion er bestemt vha. excel regneark.



Figur 7.2.9 Aflæsning og plotning af filterdatablad til bestemmelse af eksponentiel ligning for differenstryk over filter som funktion af flow.

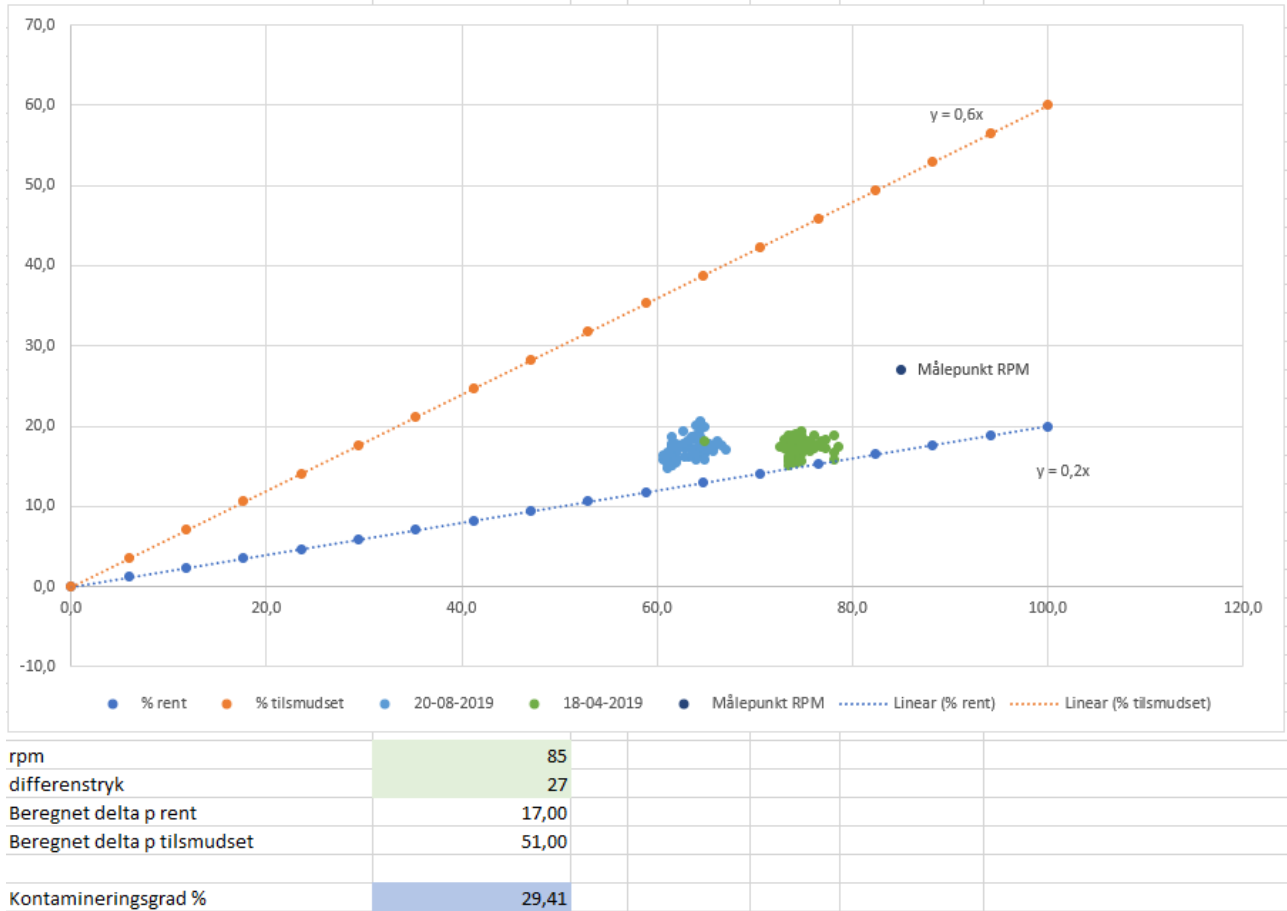
Da funktionen er svagt eksponentiel, antages funktionen til at være lineær. Bestemmelse af kontamineringsgraden bestemmes ud fra en måling som plottes mellem to grafer, hvoraf den ene er den lineære graf for et rent filter, som viser udviklingen differenstryk som funktion af ventilatoromdrejninger i procent og hvor den anden er en lineær graf for et tilsmudset filter. For at kunne bestemme et starttryktab og en funktion herfor er målinger plottet for en dag i starten af måleperioden. Her er valgt en hverdag, hvor data er vurderet til at være mest pålidelige og hvor der er normal kalenderstyring, dvs. ikke en weekend. Det antages at filteret her er helt rent og punkterne bruges her til at finde en den lineære funktion for et rent filter, som tangerer undersiden disse punkter. Disse punkter er markeret med grøn på Figur 7.2.10. Sluttryktabet kan herefter bestemmes vha. filterproducentens definition som er den mindste værdi der fremkommer ved udregning af $3 \times \text{starttryktabet} + \text{starttryktab} + 100$. I dette tilfælde er det starttryktab $\times 3$. De blå målepunkter på Figur 7.2.10 målinger taget 4 måneder senere og det at de som forventet ligger i stykke over starttryktabsgrafen, som indikere at kontamineringsgraden er steget. På samme figur er et målepunkt RPM indtegnet og beregnet i kolonnerne under grafen, for at visualisere princippet omkring kontamineringsgraden.

$$\text{kontamineringsgrad \%} = \frac{\text{målt tryktab} - \text{starttryktab}}{\text{sluttryktab} - \text{starttryktab}} * 100$$

Hvor start- og sluttryktab i dette eksempel er:

$$\text{starttryktab} = 0,2 * \text{ventilator\% for målepunkt}$$

$$\text{sluttryktab} = 0,6x * \text{ventilator\% for målepunkt}$$



Figur 7.2.10 Eksempel af hvordan tryktabsgrafen for rent- og tilsmudset filter bestemmes, samt bestemmelse af kontamineringsgrad

7.3 Generelle erfaringer i forbindelse med målemetode

7.3.1 Måling af temperaturer med Bluetooth sensorer

Følgende kapitel giver forslag til at gøre det lettere at lave forsøgsmålinger og ikke et forslag til en permanent opstilling.

Efter opsætning af eksisterende kablede målepunkter på forsøgsopstillingerne, er der fundet nogle bluetooth temperatur sensorer med tilstrækkelig rækkevidde til at kunne have målt på ventilationsanlæggene forbindelse med dette projekt. Sensorerne hedder "SensorBug" og produceres af BlueRadios og ses på Figur 7.3.1.



Figur 7.3.1 Billede af SensorBug og dennes indpakning.

Den kablede løsning er tidskrævende da der skal monteres kabler og samtidig er det nødvendigt at borer huller i anlægget, så sensorerne kunne komme ind i luftstrømmen. Dertil kommer montering af temperatursensorerne på kablerne som også tager tid. Sensorerne stikkes ind gennem borede huller og man har her ikke fuld mulighed for præcist at vælge hvor man vil måle. Bluetooth sensoren kan opsættes hurtigt i de ønskede målepunkter uden træk af kabler.

Problematikken omkring trådløse sensorer er selvfølgelig at de er batteridrevet og at disse batterier løber tør for strøm på et tidspunkt. Derfor egner de sig ikke til en permanent opstilling, da vedligehold i form af batteriskift umiddelbart ikke er ønskeligt.

Bluetooth løsningen består af BLE (Bluetooth Low Energy) sensorer der kører på knapcellebatterier.

Rækkevidde i uhindret luftbane er 100 m ifølge producentens datablad. Det er dertil testet at sensoren kan transmittere gennem væggene på ventilationsanlæg, hvilket det konkluderes at den kan. Med hensyn til temperatur kan sensoren måle temperaturer med $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ præcision.

Data kan f.eks. aflæses med en Raspberry Pi vha. af dens indbyggede Bluetooth LE modul.

7.3.2 Måling af temperatur med ReMoni trådløse sensorer

En anden løsning mht. måling af temperaturer kunne være en gateway samt temperatur sensorer. Denne løsning er dog forbundet med en større udgift end bluetooth sensorerne, men batterilevetiden siges fra producentens side at være 15 år, med et transmissionsinterval på 5 minutter og en rækkevidde defineret som 3 x wi-fi rækkevidde. Batterilevetiden her så lang at det kan overvejes om disse kan indgå i en permanent opstilling.

Data fra sensorerne skal hentes via et API kald til producentens cloudløsning.

8 Hjemmesider

I projektet er der opbygget to hjemmesider, der kan anvendes til tilstandsbaseret vedligehold og til at stille diagnosen for eventuelle driftsfejl. Den ene hjemmeside er opbygget af IBM med de systemer og værktøjer, som IBM anvender når der skal løses denne type kundeopgaver. I dette tilfælde er der taget udgangspunkt i en situation, hvor kunden skal have leveret en komplet driftsklar løsning uden selv at skulle gøre andet at specificere hjemmesidens indhold i samarbejde med leverandøren af softwareløsningen, i dette tilfælde IBM. Den anden hjemmeside der er vist opbygget med det forholdsvis simple kommercielt tilgængelige værktøj MS Power BI, som IT kyndige brugere selv kan anvende og dermed er det også muligt for kunden (eller dennes servicefirma) selv vedligeholde hjemmesiden. I dette tilfælde har Teknologisk Institut forestået programmeringen af hjemmesiden.

De to hjemmesider kan tilgås på nedenstående adresser:

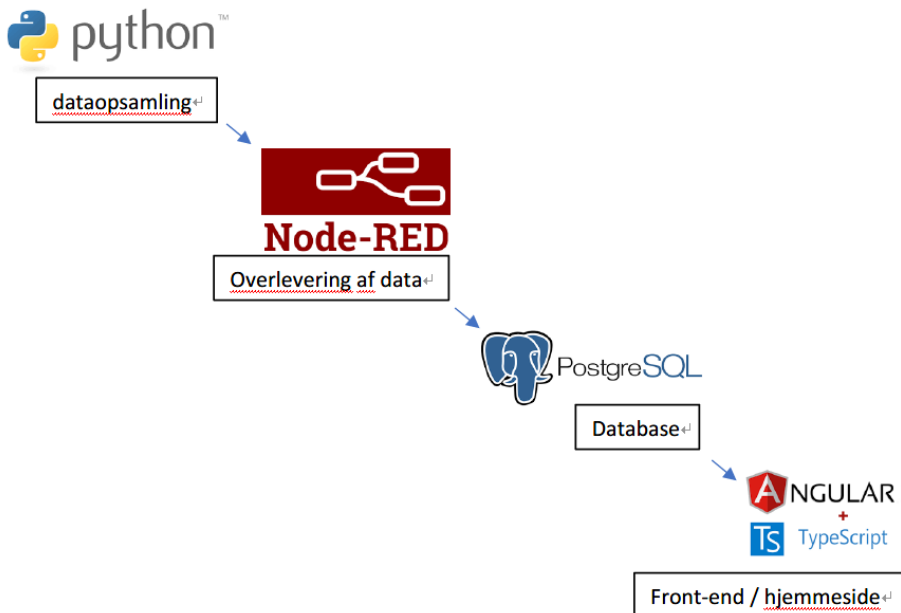
IBM: <http://tbvi.eu-gb.mybluemix.net/dashboard>

Teknologisk Institut: <http://tilstandsbaseret.vtech.teknologisk.dk/>

Indholdet af de to hjemmesider er principielt det samme, men som det ses i det følgende er det visuelle udtryk forskelligt. Det er muligt at tilgå ventilationsanlæggene i både IDA Huset og hos DEAS, - og de parametre der logges inklusiv alarmer etc., fra begge hjemmesider. På Teknologisk Institut's version af hjemmesiden vises driftsparametrene online, men hvis der ønskes at ses historiske data kræves en Power BI licens.

8.1 Hjemmeside udviklet af IBM

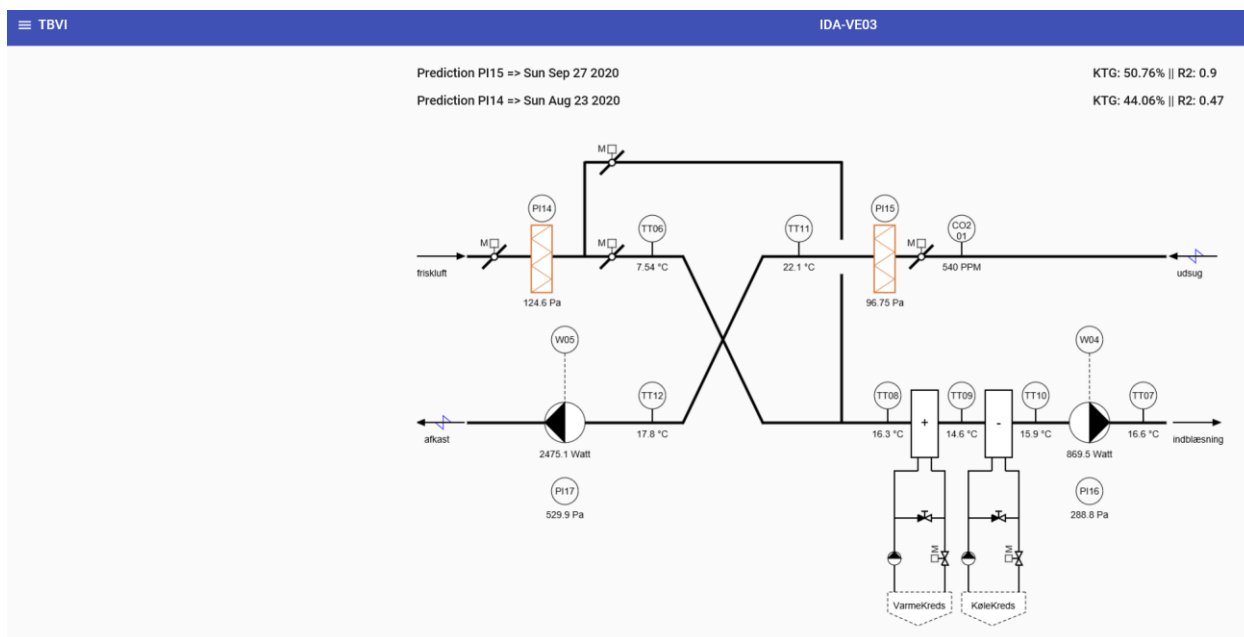
Userinterfacen for IBM's hjemmeside er udført i frameworket Angular, der er konstrueret i Microsofts open source javascript baserede TypeScript programmeringssprog. Til opbevaring af data bruges node-red til at sende data til IBM's PostgreSQL database, se figur 8.1.1.



Figur 8.1.1 Dataflow i IBM's hjemmeside.

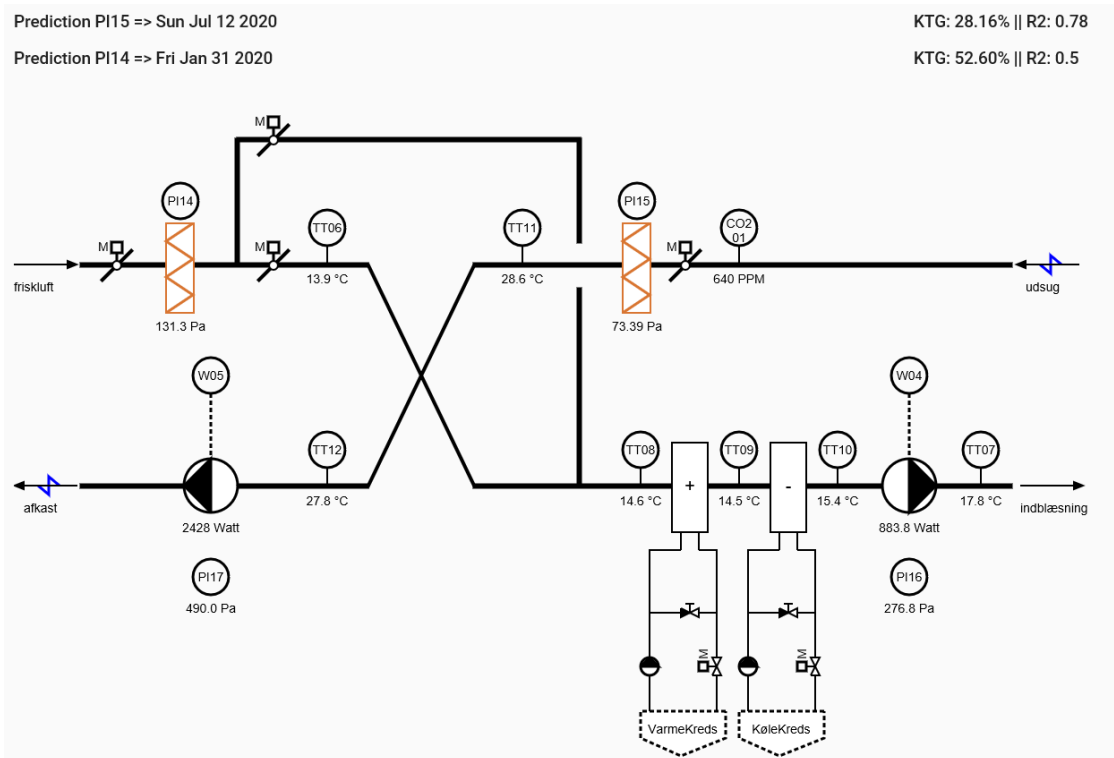
8.1.1 Oversigtsbilleder

I hjemmesidens øvre venstre hjørne vælges det, om det er ventilationsanlægget i IDA Huset eller hos DEAS der ønskes vist. Det gøres ved at tilgå menulinjerne i øvre venstre hjørne. Det er pr. default, ventilationsanlægget i IDA Huset der vises, når hjemmesiden åbnes.

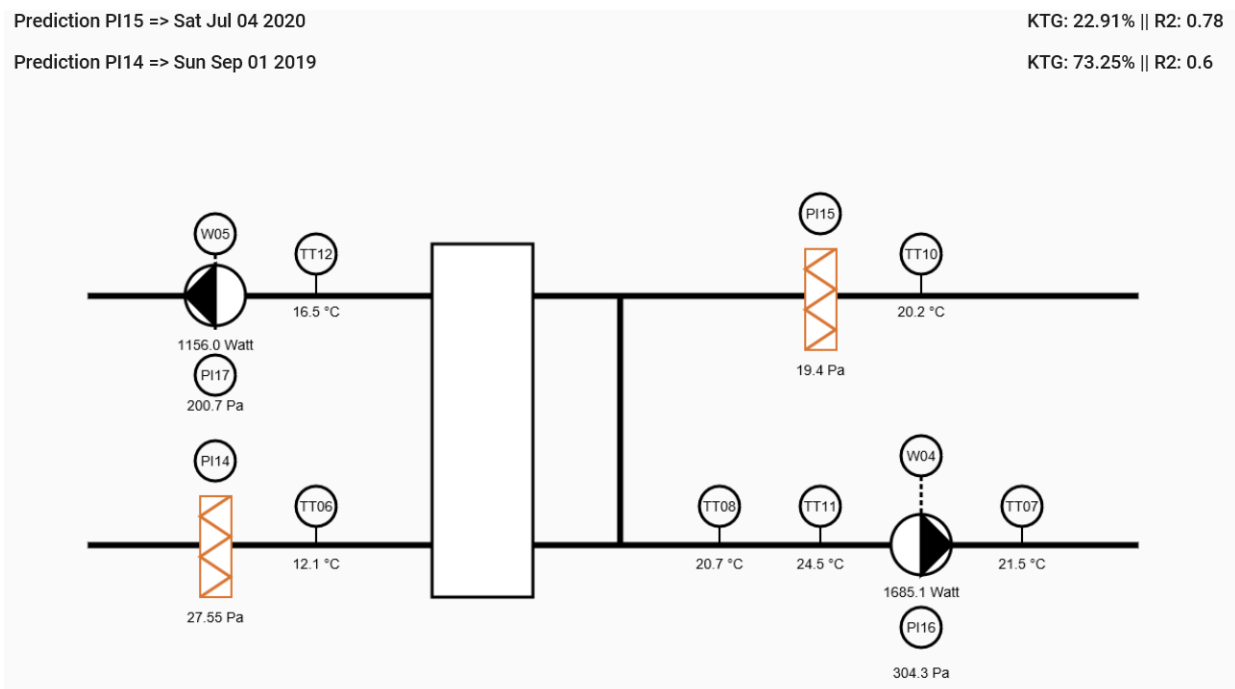


Figur 8.1.2 Opstartsside.

I det følgende er der vist skærmbilleder fra anlægget i IDA Huset, idet oversigtsbillederne for begge ventilationsanlæg dog er vist.



Figur 8.1.3 Grundbillede af ventilationsanlægget VE-03 i IDA Huset.

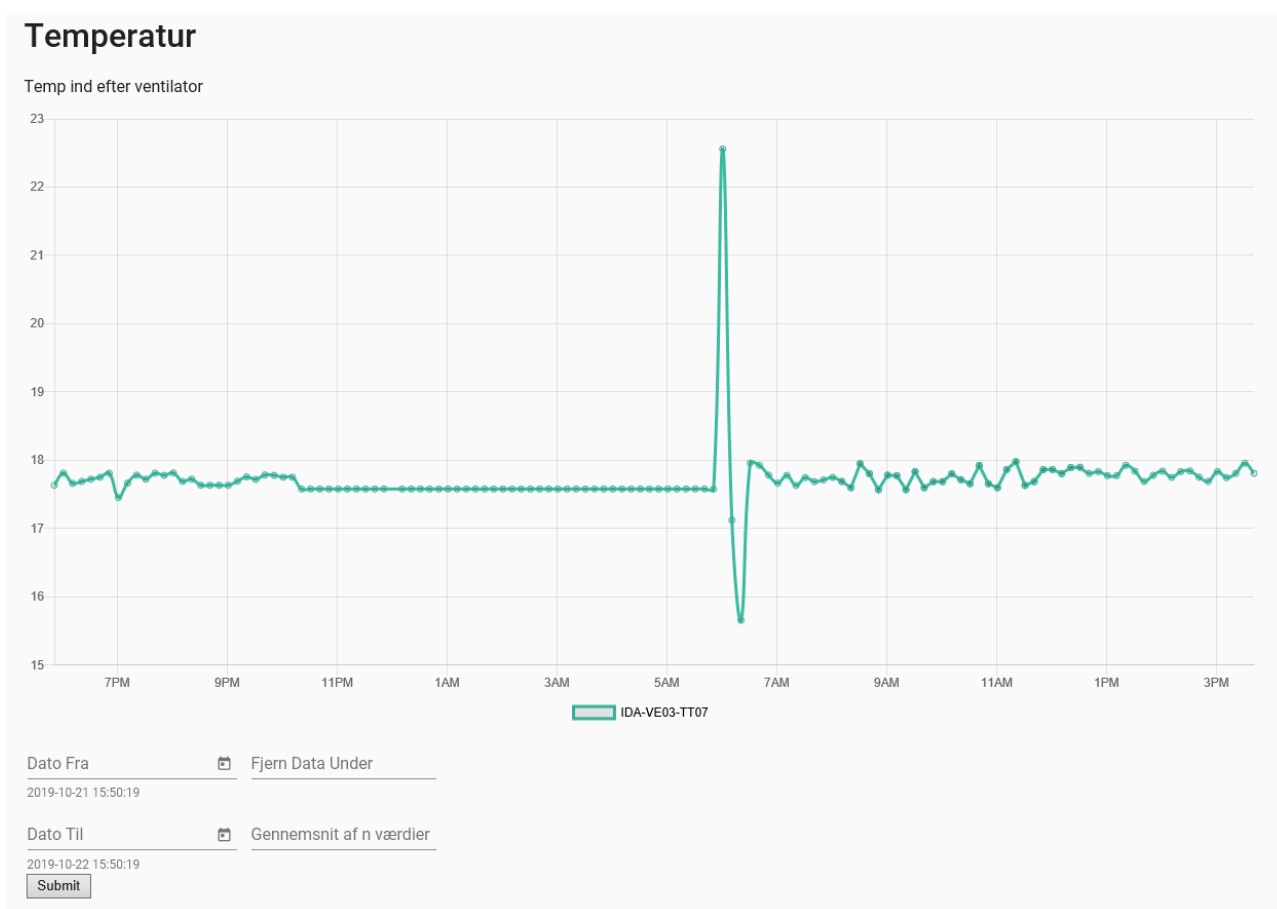


Figur 8.1.4 Grundbillede af ventilationsanlægget VE-05 hos DEAS.

8.1.2 Visning af parametre

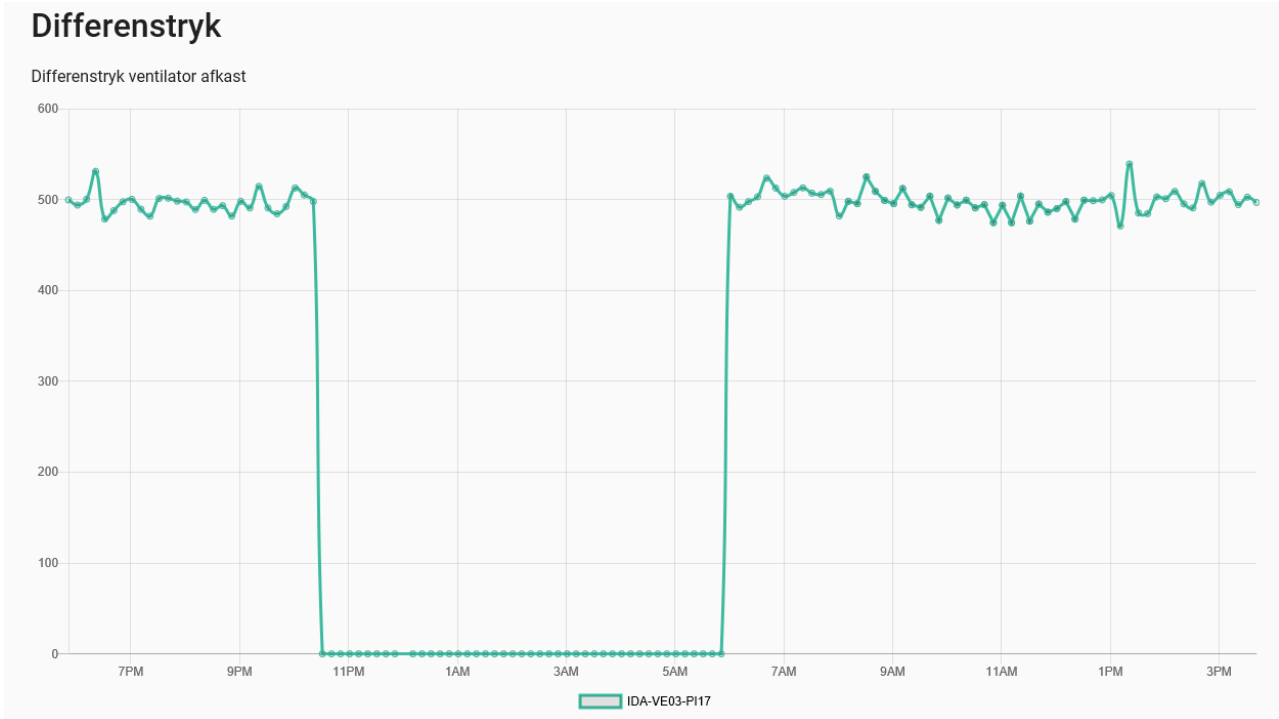
Som det ses på oversigtsbillederne, er der online visninger af alle de monterede følere og målere. Desuden vises den aktuelle kontamineringsgrad i procent i øvre højre hjørne. I øvre venstre hjørne er der en beregnet dato for hvor filtrene forventes at skulle udskiftes på baggrund af den nuværende kontamineringsgrad og den takt hvorved tilsmudsning indtil dato er sket.

Når der klikkes på ikonerne for temperaturer, trykfølere etc. vises der en kurve for den valgte parameter. Kurven vises default for de seneste 24 timer og hvis der ønskes en længere periode, kan denne specificeres i kalenderfunktionen under kurven. Nedenstående er der et eksempel på en temperaturkurve, og en trykkurve. I alle tilfælde er kurverne taget fra ventilationsanlægget i IDA Huset. Kurverne for ventilationsanlægget hos DEAS har helt samme visuelle udtryk.



Figur 8.1.5 Indblæsningstemperatur for VE03 i IDA Huset.

Det bemærkes at indblæsningstemperatur kortvarigt varierer kraftigt når ventilationsanlæggets startes.

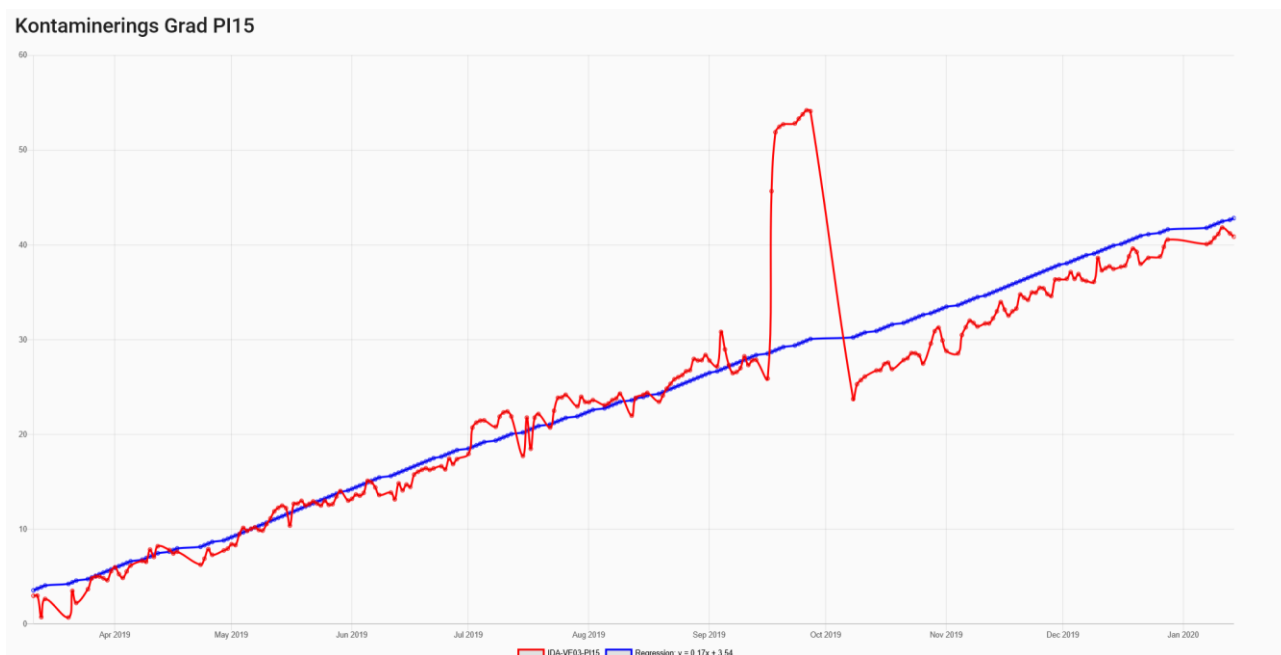


Figur 8.1.6 Differenstrykket over afkastblæseren i VE03 i IDA Huset.

Denne kurve viser tydeligt hvornår ventilationsanlægget er i drift. Endelig vises nedenstående kurver over kontamineringsgraden som supplement til trykdifferenskurverne over ventilationsanlæggets indblæsnings- og afkastfiltre.



Figur 8.1.7 Kurve over kontamineringsgraden for indblæsningsfiltret i VE03 i IDA Huset.



Figur 8.1.8 Kurve over kontamineringsgraden for afkastfiltret i VE03 i IDA Huset.

De ualmindeligt store stigninger der ses på kurverne for begge filtre skyldes i begge tilfælde, at indstillingen af tryksensoren var "skredet".

8.1.3 Alarmer

Der er programmeret en længere række alarmer, hvoraf nogle har energimæssig relevans som f.eks.:

- Lav termisk virkningsgrad af varmegenvindingen
- Lav ventilatorvirkningsgrad
- Samtidig tilførsel af køling og varme

For hver type alarm er der programmeret en række løsningsforslag, som den driftsansvarlige selv kan kontrollere inden servicefirmaet i givet fald tilkaldes. Der er nedenstående et eksempel på, hvordan en alarm ser ud i det tilfælde hvor der er varmegenvinding med en krydsveksler (som i ventilationsanlægget i IDA Huset).

Fejl kode	Beskrivelse	Værdi	Mulig løsning	Afskrevet	Dato
002	Temperatur virkningsgraden på varmeveksleren er for lav	TT06.TT08, TVG: 0.62384575607594 < 0.70	Kontroller bypass spjæld	Afskriv Alarm	2020-01-13T22:42:03.000Z

Figur 8.1.9 Eksempel på alarm med tilhørende forslag til aktion – lav termisk virkningsgrad for varmegenvindingen i VE03 i IDA Huset.

Og hvis der er tale om et ventilationsanlæg med roterende varmeveksler (som i ventilationsanlægget hos DEAS) ser den tilsvarende alarm således ud.

Fejl kode	Beskrivelse	Muligløsning	Afskrevet	Dato
004	Rotorveksleren roterer ikke eller kun i meget begrænset omfang	Er drivremmen intakt?, Er drivremmen stram?, Er pakningerne på plads. Ligger der pakningsstumper i bunden af rotorhuset?	Afskriv Alarm	2019-10-08 10:41:30.0000000000
004	Rotorveksleren roterer ikke eller kun i meget begrænset omfang	Er drivremmen intakt?, Er drivremmen stram?, Er pakningerne på plads. Ligger der pakningsstumper i bunden af rotorhuset?	Afskriv Alarm	2019-10-08 10:41:30.0000000000
004	Rotorveksleren roterer ikke eller kun i meget begrænset omfang	Er drivremmen intakt?, Er drivremmen stram?, Er pakningerne på plads. Ligger der pakningsstumper i bunden af rotorhuset?	Afskriv Alarm	2019-10-08 10:41:30.0000000000
004	Rotorveksleren roterer ikke eller kun i meget begrænset omfang	Er drivremmen intakt?, Er drivremmen stram?, Er pakningerne på plads. Ligger der pakningsstumper i bunden af rotorhuset?	Afskriv Alarm	2019-10-09 09:25:23.0000000000
004	Rotorveksleren roterer ikke eller kun i meget begrænset omfang	Er drivremmen intakt?, Er drivremmen stram?, Er pakningerne på plads. Ligger der pakningsstumper i bunden af rotorhuset?	Afskriv Alarm	2019-10-09 09:25:23.0000000000
004	Rotorveksleren roterer ikke eller kun i meget begrænset omfang	Er drivremmen intakt?, Er drivremmen stram?, Er pakningerne på plads. Ligger der pakningsstumper i bunden af rotorhuset?	Afskriv Alarm	2019-10-08 13:49:41.0000000000
004	Rotorveksleren roterer ikke eller kun i meget begrænset omfang	Er drivremmen intakt?, Er drivremmen stram?, Er pakningerne på plads. Ligger der pakningsstumper i bunden af rotorhuset?	Afskriv Alarm	2019-10-08 13:49:41.0000000000
004	Rotorveksleren roterer ikke eller kun i meget begrænset omfang	Er drivremmen intakt?, Er drivremmen stram?, Er pakningerne på plads. Ligger der pakningsstumper i bunden af rotorhuset?	Afskriv Alarm	2019-10-08 13:49:41.0000000000
004	Rotorveksleren roterer ikke eller kun i meget begrænset omfang	Er drivremmen intakt?, Er drivremmen stram?, Er pakningerne på plads. Ligger der pakningsstumper i bunden af rotorhuset?	Afskriv Alarm	2019-10-08 13:49:41.0000000000

Figur 8.1.10 Eksempel på alarm med tilhørende forslag til aktion – lav termisk virkningsgrad for varmegenvindingen i VE05 hos DEAS.

8.2 Hjemmeside udviklet af Teknologisk Institut

Userinterfacen for den hjemmeside der er udviklet af Teknologisk Institut er udført i MS Power BI, der er en platform beregnet til visning af grafer etc.. Data fra IoT sensorerne sendes til en SQL database.

8.2.1 Oversigtsbillede

I hjemmesidens øvre venstre hjørne vælges det, om det er ventilationsanlægget i IDA Huset eller hos DEAS der ønskes vist. Det gøres ved at tilgå menulinjerne i øvre venstre hjørne.

Anlægsoversigt
«
Home

IDA huset VE03

DEAS VE05

Tilstandsbaseret servicekoncept for ventilationsanlæg

Projektet udvikler et nyt servicekoncept for drifts- og vedligeholdelsesovervågning. Via IoT overvågning får virksomhedens egen serviceorganisation eller et servicefirma online drifts- og energidata for det enkelte ventilationsanlæg, og kan dermed ændre tidsbaseret vedligehold til tilstandsbaseret vedligehold.

Gennem IoT og løbende overvågning af ventilationsanlæggets komponenter og energiforbrug, er det muligt i langt højere grad end nu at sikre stabil og energiokonomisk drift af ventilationsanlæggene. Det bliver f.eks. muligt for serviceteknikeren at få besked i passende tid inden filterskift baseret på en beregning af restlevetid ud fra aktuelt tryktab, ligesom information om fremtidigt behov for filtre for det givne anlæg vil kunne tilgå filterleverandøren, så filterne leveres til forbrugsstedet i rette tid. Tilsvarende muligheder vil være til stede for de øvrige anlægskomponenter som blæsere, remme, lejer, pumper og ventiler.

Projektet udvikler, tester, demonstrerer og evaluerer IoT baseret driftsovervågning, som led i et ressourcebesparende servicekoncept til eksisterende og nye ventilationsanlæg. Herunder et diagnoseværktøj, der online giver virksomheden og serviceteknikeren meddelelser om uregelmæssigheder, og den sandsynlige årsag, samt forslag til handling, der optimerer anlægsdriften, så serviceprocessen forenkles og optimeres.

IDA huset VE03

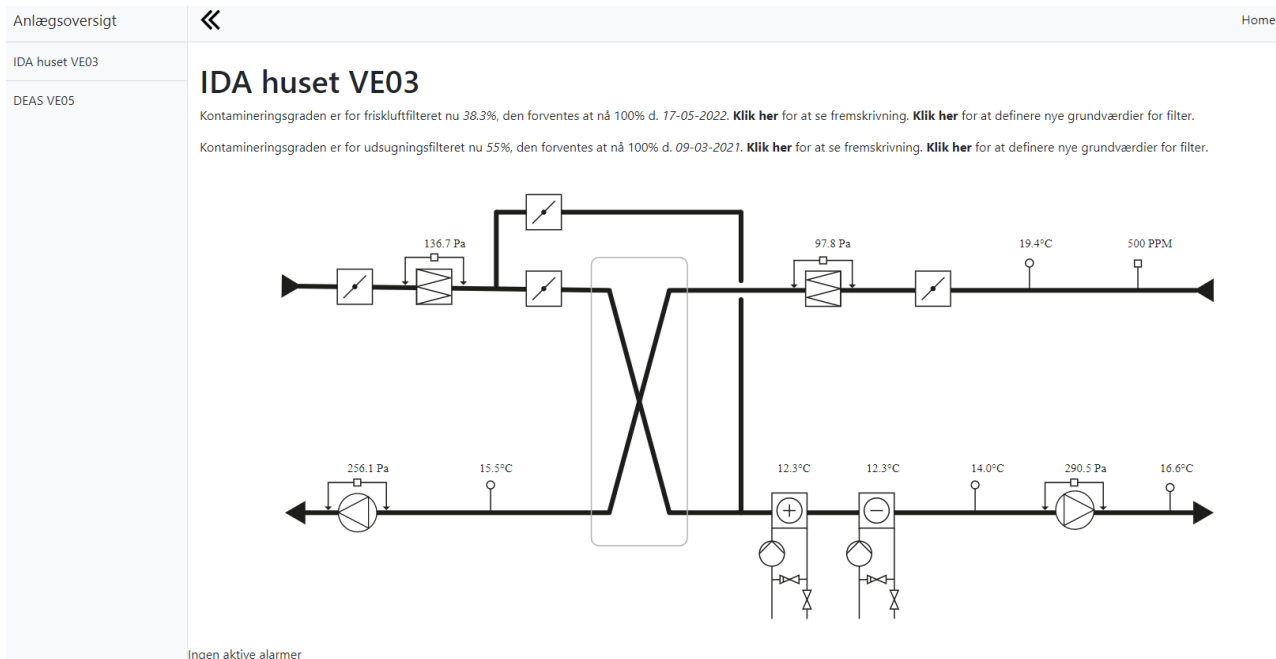


DEAS VE05

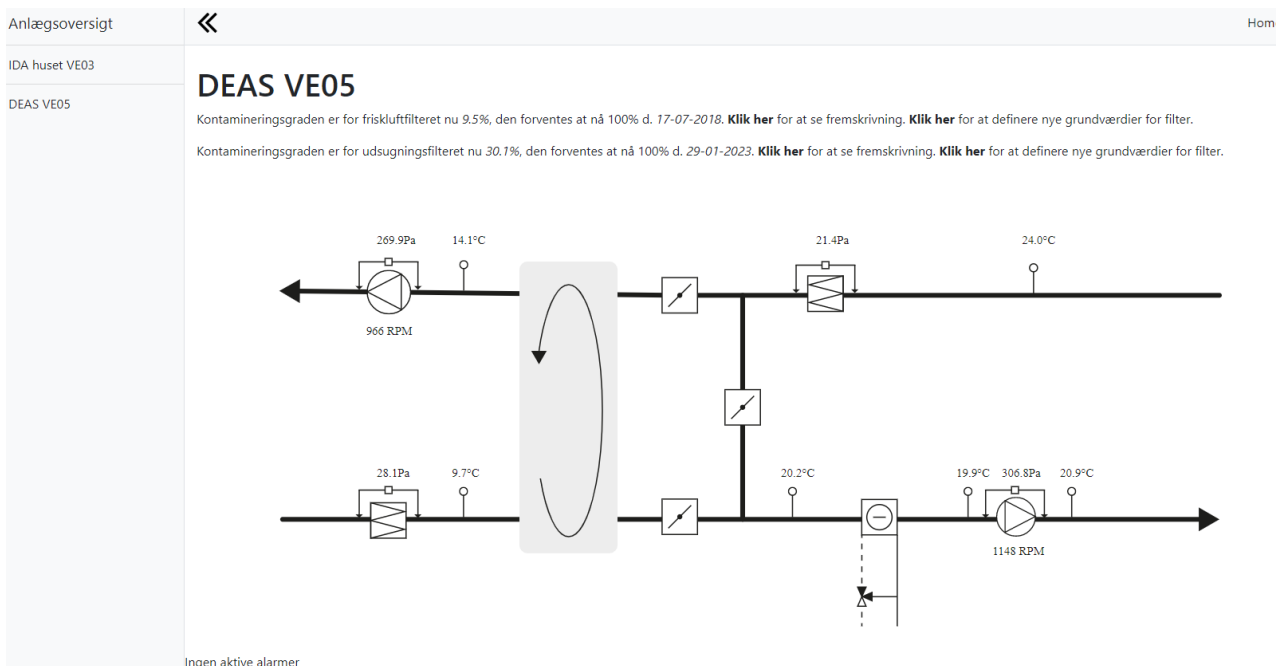


Figur 8.2.1 Opstartsside.

I det følgende er der vist skærbilleder fra anlægget i IDA Huset, idet oversigtsbillederne for begge ventilationsanlæg dog også er vist.



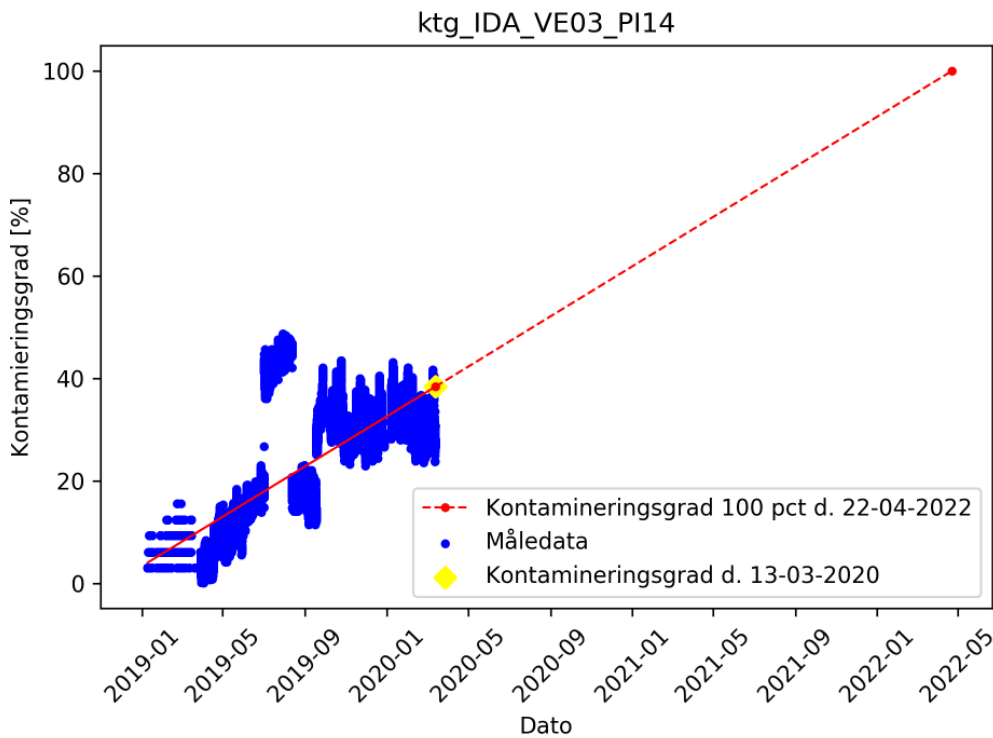
Figur 8.2.2 Grundbillede af ventilationsanlægget VE-03 i IDA Huset.



Figur 8.2.3 Grundbillede af ventilationsanlægget VE-05 hos DEAS.

Som det ses, er det muligt at indtaste værdierne for tryktabene over nye filtre og værdierne for tryktabene, når filtrene skal udskiftes. På hjemmesiden beregnes umiddelbart en dato for filter-skift baseret på begyndelses- og sluttryktabene, de aktuelle tryktab samt længden af den periode filtrene har været i brug. Der kan kaldes en kurve frem for tryktabet over hvert filter ved at klikke på "Klik her" øverst i billedet, hvorved der vises nedenstående pop up billede.

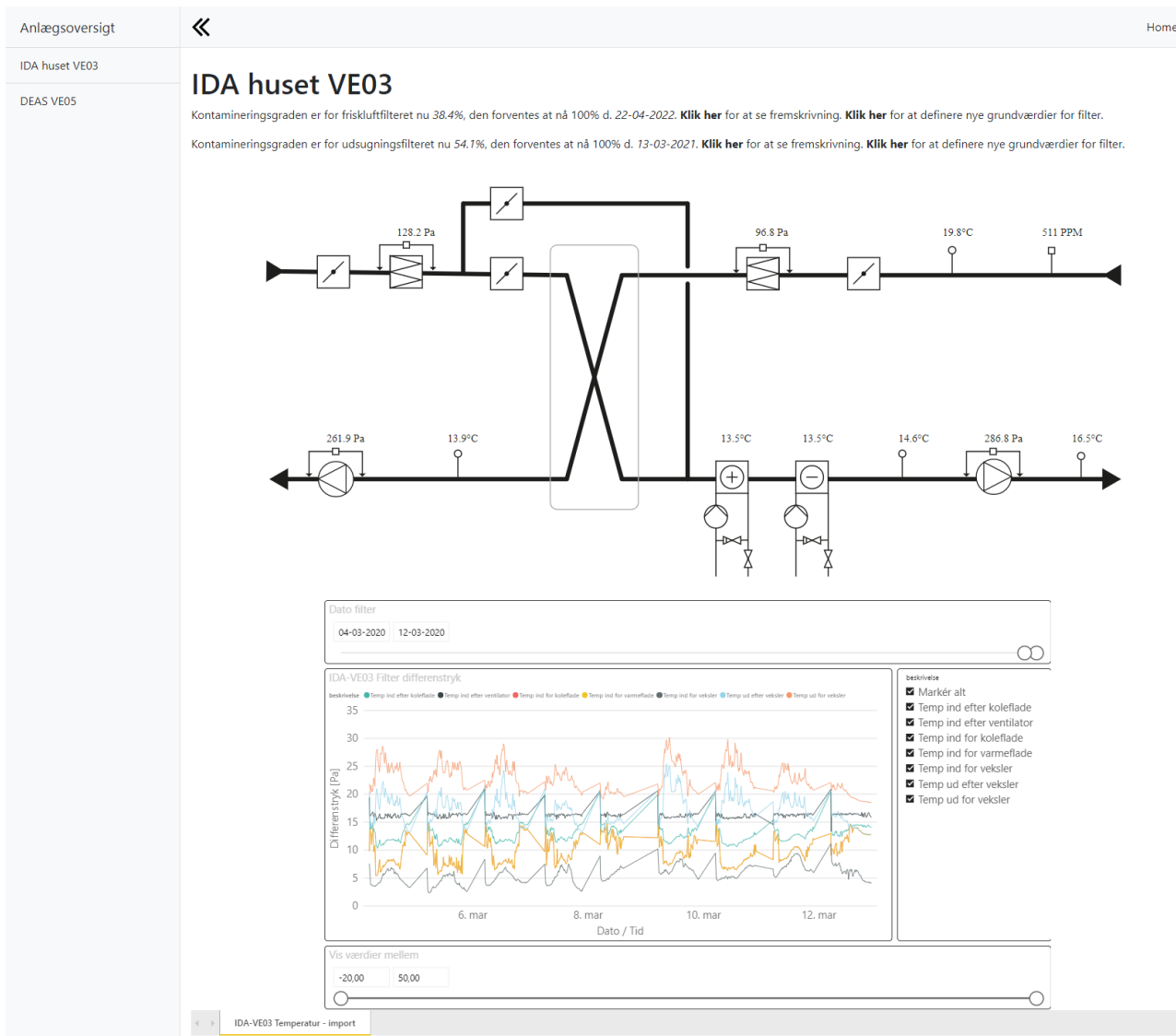
Popup



Figur 8.2.4 Pop upbillede for tryktabet over indblæsningsfiltre i VE03 i IDA Huset.

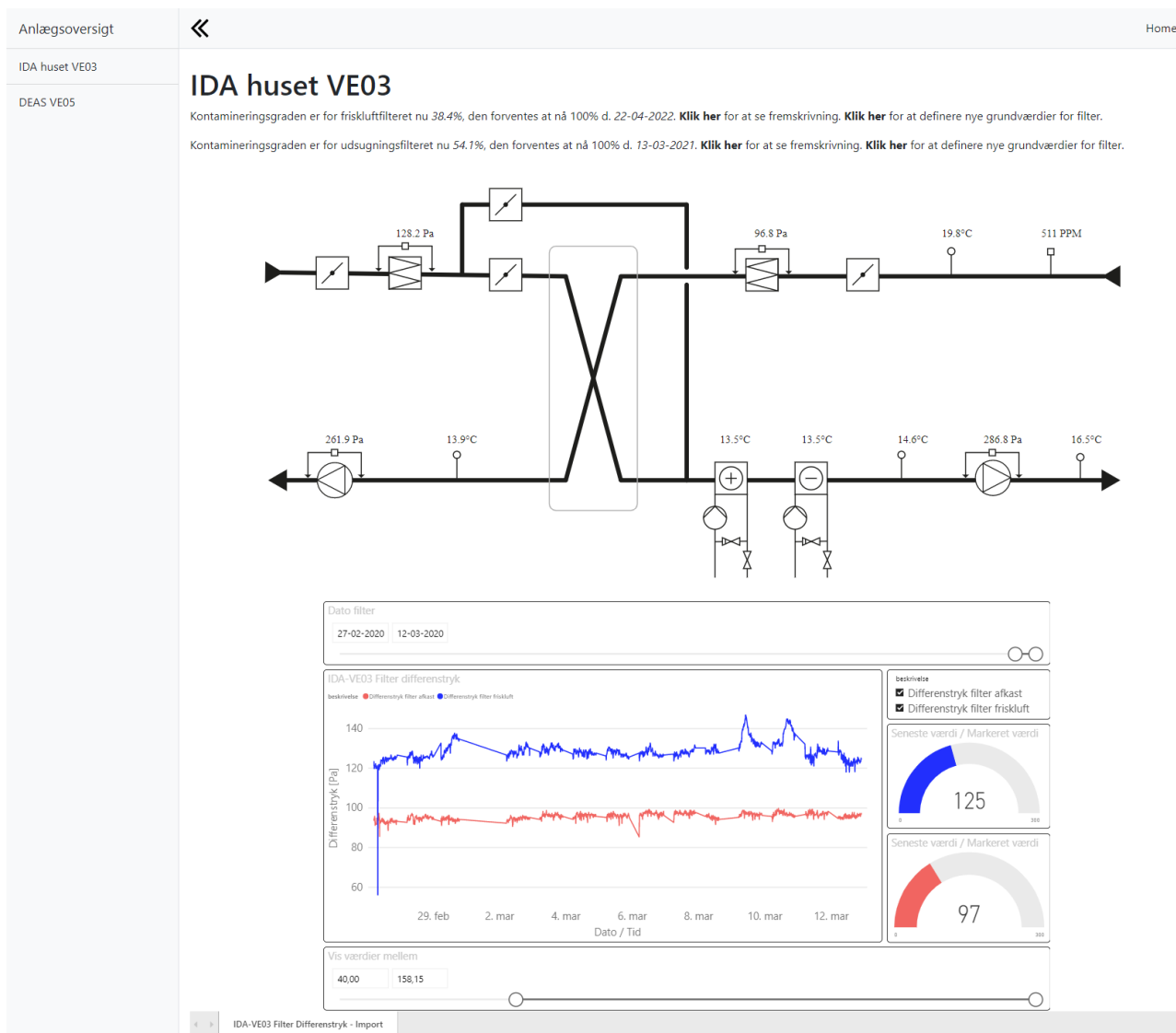
8.2.2 Visning af parametre

Som det ses på oversigtsbillederne, er der online visninger af alle de monterede følere og målere. Når der klikkes på ikonerne for temperaturer, trykfølere etc. vises der en kurve for den valgte parameter. Den periode for hvilken parameteren ønskes vist indstilles ved at rykke "skyderen" fornedet i billedet, ligesom det er muligt at vælge én eller flere parametre til og fra. Nedenstående billede viser samtlige temperaturer for VE03 i IDA Huset for en uges tid.



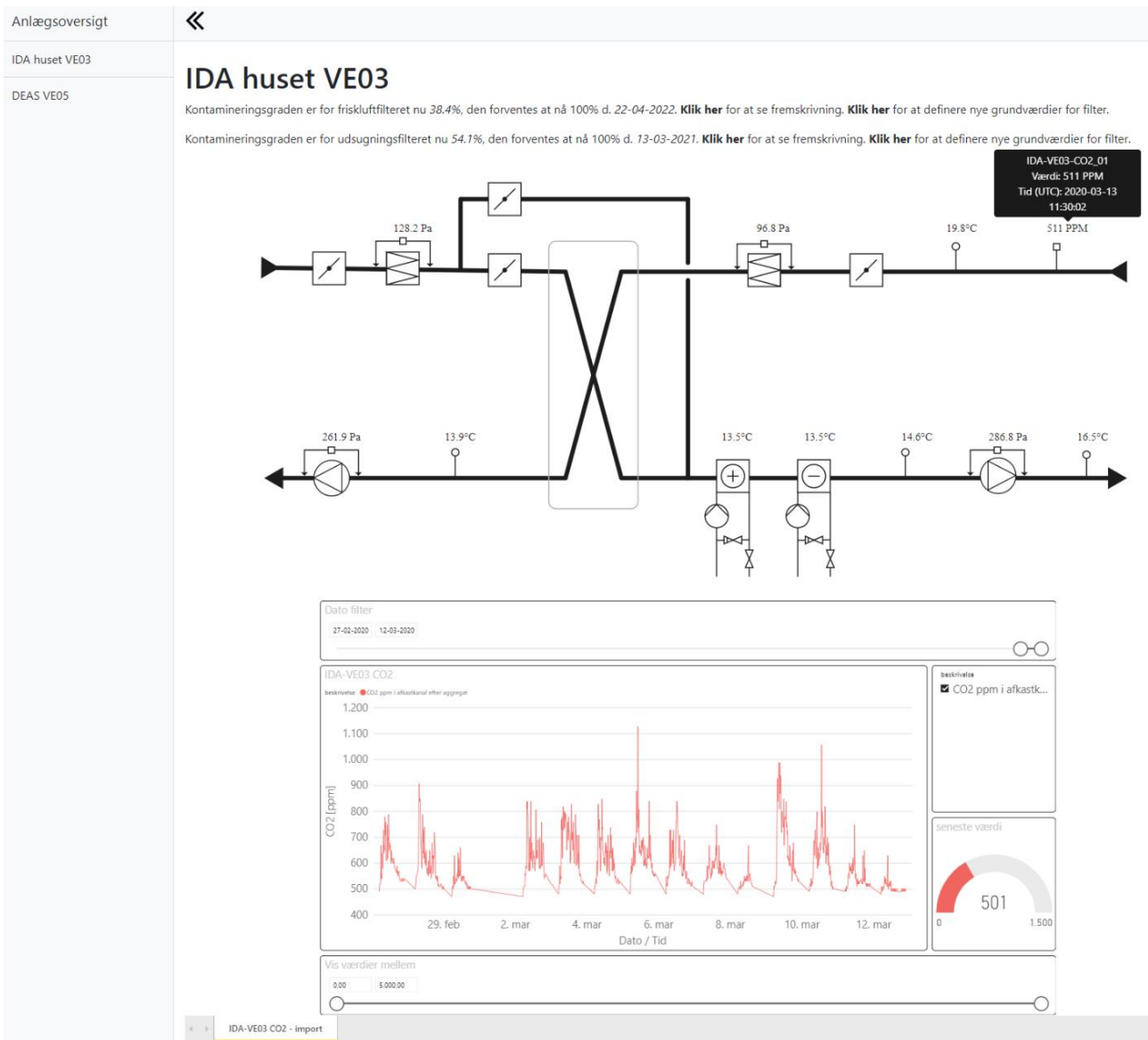
Figur 8.2.5 Temperaturerne i VE03 i IDA Huset.

Tilsvarende er differensstrykkene over indblæsnings- og afkastfiltrene for VE03 i IDA Huset vist med nedenstående figur.



Figur 8.2.6 Differensstrykkene over indblæsnings- og afkastfiltrene i VE03 i IDA Huset.

Endelig vises der nedenstående et eksempel på en kurve over CO₂ koncentrationen målt i VE03 i IDA Huset.



Figur 8.2.7 Kurve over CO₂ koncentrationen i VE03 i IDA Huset.

Der kan genereres tilsvarende kurver som dem der er vist med figur 8.2.5-7 for samtlige de parametre, der er vist på oversigtsbillederne.

8.2.3 Alarmer

Der gives mulighed for de samme alarmer for hjemmesiden som der programmeret i IBM versionen, dvs. f.eks.:

- Lav termisk virkningsgrad af varmegenvindingen
- Lav ventilatorvirkningsgrad
- Samtidig tilførsel af køling og varme

Alarmerne er online og vises når brugeren inde på skærbilledet for det givne ventilationsanlæg. Power BI versionen kan godt programmeres, så alarmerne gemmes i alarmlister.

9 Formidling

9.1 Artikler

Der er bragt en artikel i magasinet ENERGI's 2. udgave i foråret 2018, hvor projektets ide og formål er beskrevet. Artiklen er baseret på interviews med nogle af projektets deltagere, idet artiklen er udarbejdet af magasinet's journalist. Magasinet ENERGI udgives af Dansk Energi.

9.2 Temadage og -møder

Projektets ide og potentiale samt de foreløbige resultater er blevet præsenteret på et temamøde i ELFORSK regi d. 8. november 2018 i Odense. Temamødet havde deltagelse af personer, der er involveret i andre ELFORSK projekter.

Dernæst er projektet blevet præsenteret ved Indeklimaets Temadag d. 12. november 2019 i Århus. Temadagen havde IoT som overordnet emne og havde deltagelse af 51 personer fra både forskningsinstitutioner, udførende ventilationsvirksomheder, brancheorganisationer og udstyrsleverandører.

Projektet er præsenteret i forbindelse med VELTEK temadagen vedrørende projekter indenfor procesventilation d. 3. marts 2020 i Taastrup. Temadagen havde bl.a. IoT som emne og havde deltagelse af 26 personer fra private virksomheder, forskningsinstitutioner, udførende ventilationsvirksomheder, brancheorganisationer og udstyrsleverandører.

Endelig var der planlagt et afsluttende seminar om projektet i IDA Huset d. 24. marts, men som følge af den verserende Corona' epidemi i foråret 2020 blev dette ikke gennemført som planlagt. Seminaret vil blive gennemført på et senere tidspunkt.

10 Nomenklatur

API = Application Programming Interface

SDK = Software Development Kit

Referencer

/1/ Kortlægning af energiforbrug i virksomheder, Energistyrelsen januar 2015.