

# Måling af indeklima i huse og vægge ved Tiny Varigheden

Udarbejdet af DropPod



## Måling af indeklima i huse og væge ved Tiny Varigheden



Rapporten er udarbejdet af Mathias Andersen,  
DropPod  
Tel: +45 31772111  
Mail: [mathias@droppod.dk](mailto:mathias@droppod.dk)

DropPod

## Index

|                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------|----|
| INDEX.....                                                   | 2  |
| FORORD.....                                                  | 2  |
| ABSTRACT.....                                                | 3  |
| FORMÅL.....                                                  | 3  |
| BAGGRUND.....                                                | 3  |
| MÅLEMETODE OG TESTOPSÆTNING.....                             | 3  |
| RESULTATER.....                                              | 9  |
| INDENDØRS FUGT OG TEMPERATUR.....                            | 12 |
| TEMPERATUR OG FUGT I VÆGGE.....                              | 14 |
| KONKLUSION OG ANBEFALING.....                                | 21 |
| APPENDIX 1: BEREGNING AF DAMPTRANSPORT FLUX.....             | 22 |
| APPENDIX 2: SUPPLERENDE DATA FRA SEPTEMBER TIL DECEMBER..... | 25 |

## Forord

Rapporten over undersøgelse og monitorering af indeklima i Tiny Varigheden er en del af aktiviteterne hos Teknologisk Institut under projektet PowerBio. Opgaven med monitorering er udliciteret til DropPod, og gennemført i samarbejde med Bodil E. Pallesen, Teknologisk Institut. Der har været tæt kontakt med Tiny Varigheden under hele perioden med kontaktperson Helga König-Jacobsen. Ligeledes har der været afrapportering til Gate21, som varetager projektledelsen af PowerBio projektet.

Power Bio er et projekt, der har opnået støtte inden for indsatsområdet ”Grön omställning” under Interreg Öresund-Kattegat-Skagerrak (ÖKS) programmet 2021-2027.

**Interreg**



**Medfinansieret af  
Den Europæiske Union**

**Öresund-Kattegat-Skagerrak**

## Abstract

Denne rapport præsenterer resultaterne fra de første målinger af indeklima og energiforbrug i Tiny Varigheden i Køge. Syv huse, bygget med forskellige biogene materialer, er blevet udstyret med sensorer, der registrerer temperatur, fugt, CO<sub>2</sub> samt energiforbrug. Data viser, at CO<sub>2</sub>-niveauet i perioder overstiger anbefalede grænseværdier, især i vinterhalvåret, hvor ventilationen er begrænset. Fugtforholdene i både indeklima og vægge ligger generelt i det acceptable område, men perioder med høj relativ fugtighed kan medføre risiko for skimmel, især i nordsider. Energiberegninger indikerer et samlet forbrug på omkring 48 kWh/m<sup>2</sup>/år, hvilket ligger under energirammen for tiny houses, men over BR2020's frivillige lavenergiramme. Resultaterne understreger betydningen af ventilation og korrekt udført konstruktion for at sikre både et sundt indeklima og energieffektivitet.

## Formål

Formålet med projektet var at overvåge og dokumentere byggematerialernes ydeevne i forhold til indeklima og energiforbrug under faktisk brug. Dette sker gennem løbende dataopsamling ved hjælp af sensorer i hus og vægge.

De indsamlede data er analyseret og sammenlignes på tværs af de syv testhuse for at vurdere forskelle og tendenser. Resultaterne holdes op imod kravene i Bygningsreglementet for tiny houses – herunder energirammen, som angiver et maksimalt energiforbrug på 30,0 kWh/m<sup>2</sup> pr. år tillagt 1.000 kWh pr. år, divideret med det opvarmede etageareal.

## Baggrund

Husene opført i Tiny Varigheden i Køge kommune er forskellige og opføres med anvendelse af forskellige biogene byggematerialer.

Tiny Varigheden samarbejder med Køge kommune, der har bidraget med indkøb af sensorer mm. Monitoring af de første 7 huse er gennemført, i takt med husene er blevet færdiggjort og beboerne er indflyttet. Tiny Varigheden har sørget for at opsætte sensorer i forbindelse med at husene er blevet bygget. Climaid har desuden medvirket med opsætning og installation.

I januar 2025 var de første 7 huse ved at blive bygget og 3 huse havde fået sensorudstyr installeret i væggene samt udstyre med indeklimamålere indvendigt i husene.

I september var der 7 huse der leverede online data. 2 huse (hus G og X) har være beboet siden januar 2025 og 2 huse (T og M) blev indflyttet medio april. De 3 sidste huse er endnu ikke beboet men sensorer er sat op i væggene.

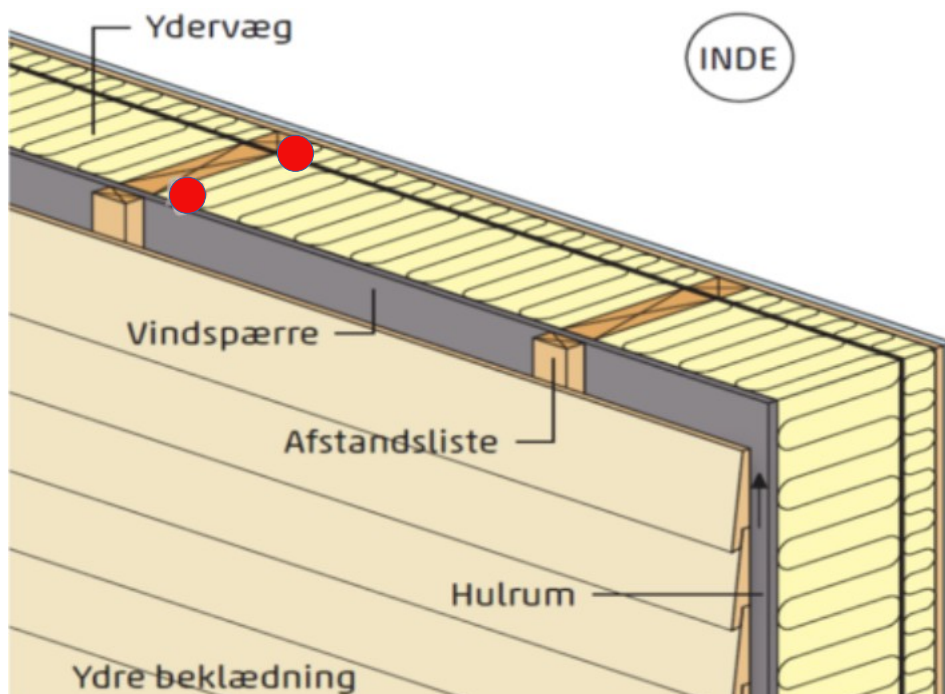
## Målemetode og testopsætning

Herunder lige en oversigt over de sensorer der var planlagt og monteret.

- Der er monteret 4 stk. Tector sensorer i nord og syd facaden i hus 1 og de er placeret hvor de 2 røde mærker indikere på tegningen herunder. Der er derudover monteret 2 stk. indeklimasensorer der måler temperatur, luftfugtighed og CO<sub>2</sub>.
- De øvrige 6 huse er der monteret 1 stk. Tector sensor i nordfacaden på indersiden eller yderside af vindspærren og 0-3 stk. temperatur og luftfugtighedsprober på indersiden af vindspærren i de øvrige facader. Der vil derudover blive monteret 1 stk. indeklimasensor der måler temperatur, luftfugtighed og CO<sub>2</sub>. Pt. er der kun indeklimate-sensorer i hus G, X og T.

Der vil således blive installeret Tector fugtmålere i den nordlige vægkonstruktion på den indvendige side af vindspærren i alle huse. Kun for hus 1 vil der blive installeret Tector sensorer i både syd og nord facade. For hvert målepunkt skulle der være installeres 2 Tector sensorer, begge på samme stolpe i isoleringslaget for at måle fugtens vandring igennem konstruktionen, dette kan ikke bekræftes. En placeres ved vindspærre og den anden placeres ved indvendig træplade. Tector sensorerne måler relativ luftfugtighed, temperatur og træfugt. Der vil blive placeret 1 stk.

indeklimasensor i hvert hus uden display (Elsys ERS-CO2 Lite). I hus 1 er der placeret 2, der placeres i opholdsrum (soveområde og køkken/alrum).



Figur 1 udsnit af en typisk væg med placering af inder og yderbeklædning samt isolering. De røde prikker indikere sensorenes placering

Der er ikke opsat vejrstation. Udetemperatur leveres af DMI.

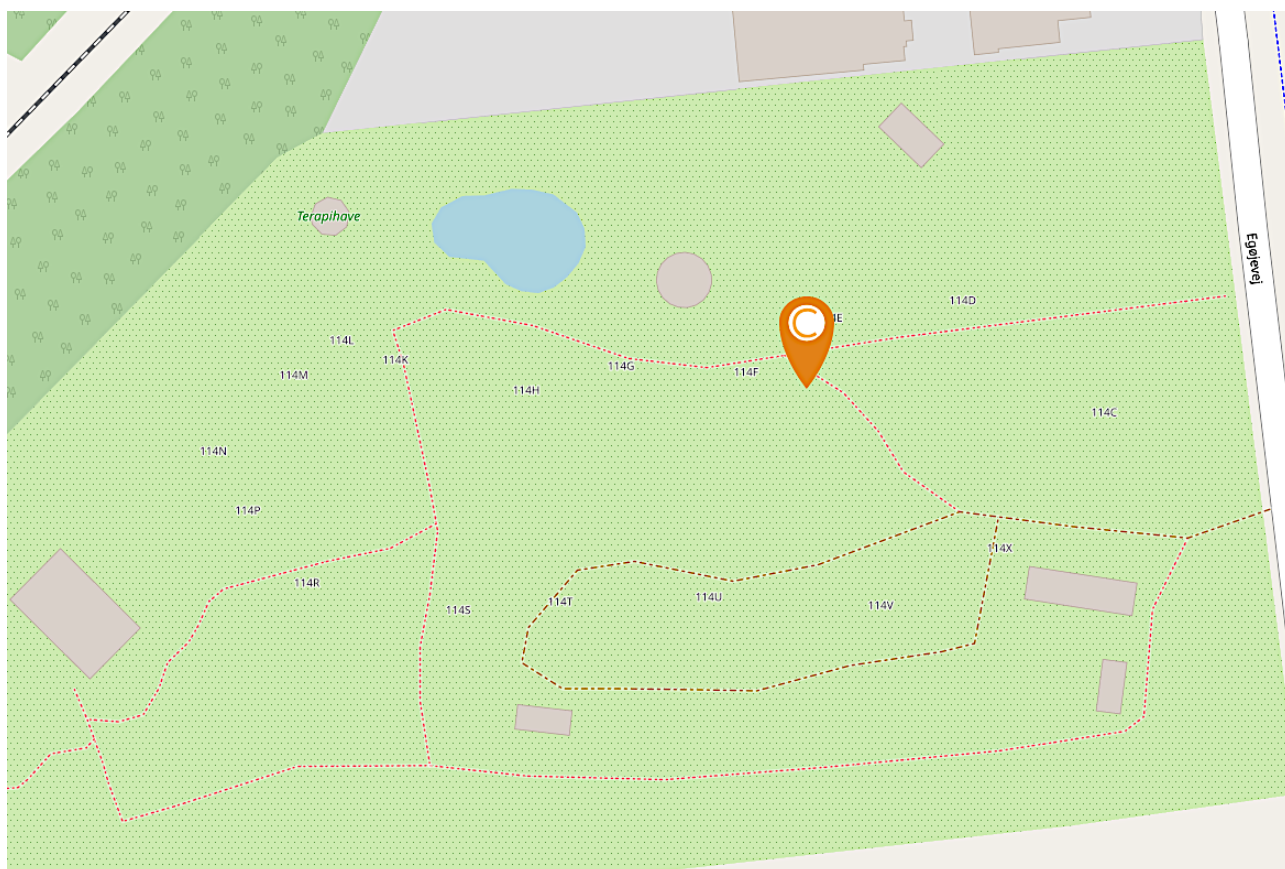
Der er opsat bi-målere til måling af energiforbruget til opvarmning i hus G og X. Udstyret er sat op med dataindsamling via datanetværket LoRaWAN.

Tabel 1 Liste af planlagt måleudstyr i de 7 huse:

| Hus                                | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Placering                                                           |
|------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---------------------------------------------------------------------|
| Elsys ERS-CO2 Lite /Temp. RH, CO2) | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.Soveområde og 2.køkken/alrum                                      |
| Tector sensorer (Temp, RH, træfugt | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.Vindspærre og 2.indvendig træplade begge i 1.Nord og 2.Syd facade |
| Elsys ELT-2 temp/RH sensorer       | 0 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | Syd, øst, vest facade indvendige side af vindspærren                |
| Climaid Insight, webplatform       |   |   |   |   |   |   |   |                                                                     |
| Climaid datalogger, LoRaWAN        |   |   |   |   |   |   |   |                                                                     |
| Vejrstation DMI                    |   |   |   |   |   |   |   |                                                                     |
| Bi-måler el                        | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | Sikringsskab                                                        |

Tabel 1: Viser de faktiske installerede sensorer i de forskellige bygninger.

| Hus ID | Indflytning | antal sensorer | Indeklima- sensorer | Vægsensor Nord | Vægsensor Syd | Vægsensor vest | Vægsensor øst |
|--------|-------------|----------------|---------------------|----------------|---------------|----------------|---------------|
| Hus D  | Ukendt      |                |                     |                |               |                |               |
| Hus E  | Sommer 26   |                |                     |                |               |                |               |
| Hus F  | 01-11-25    |                |                     |                |               |                |               |
| Gus G  | 01-01-25    | 5              | 2                   |                | 2             | 1              |               |
| Hus H  | 01-09-25    | 1              |                     |                | 1             |                |               |
| Hus K  | 01-11-25    | 1              |                     |                | 1             |                |               |
| Hus L  | 01-09-25    | 1              |                     |                |               |                | 1             |
| Hus M  | 01-04-26    | 1              |                     |                | 1             |                |               |
| Hus N  | 01-01-26    |                |                     |                |               |                |               |
| Hus P  | 01-11-25    |                |                     |                |               |                |               |
| Hus R  | Depot-rum   |                |                     |                |               |                |               |
| Hus S  | Sommer 26   |                |                     |                |               |                |               |
| Hus T  | 01-07-25    | 3              | 1                   |                | 1             | 1 ingen data   | virker ikke   |
| Hus U  | Sommer 26   |                |                     |                |               |                |               |
| Hus V  | Sommer 26   |                |                     |                |               |                |               |
| Hus X  | 01-01-25    | 2              | 1                   |                |               | 1 virker ikke  | ingen data    |



Figur 2 viser kort over Tiny Varigheden og placering af de forskellige huse



Figur 3 hus X



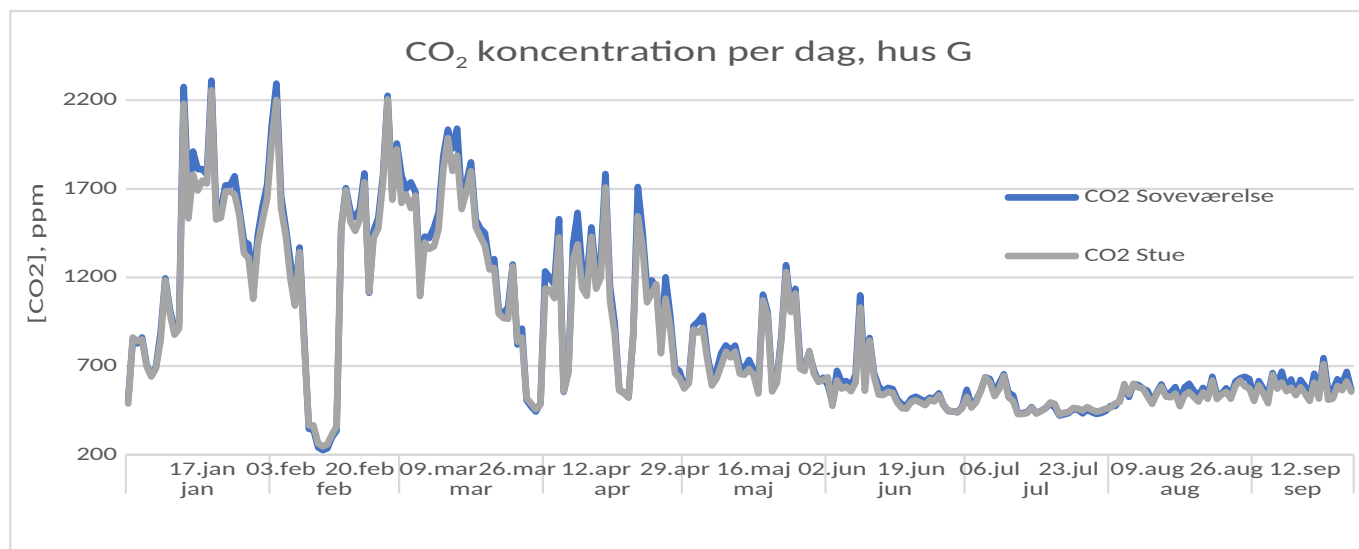
*Figur 4 hus L*



*Figur 5 Hus H til venstre og hus G til højre.*

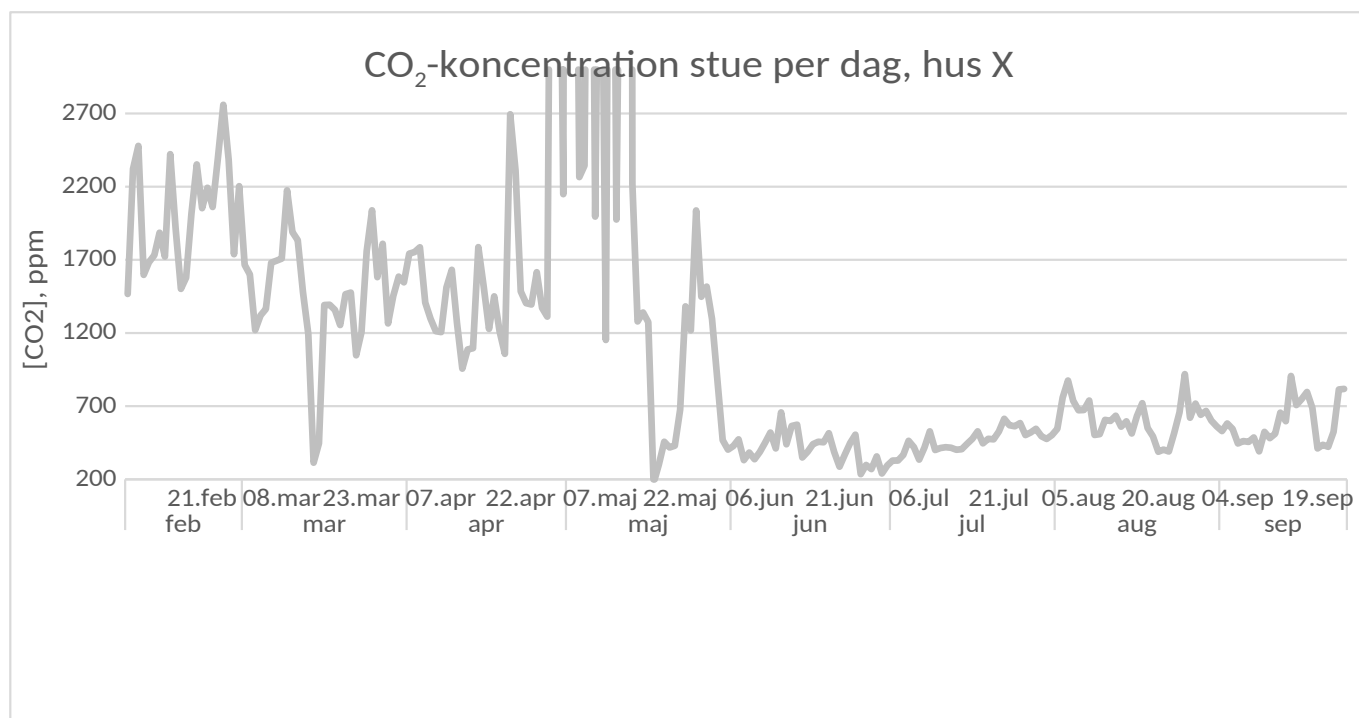
## Resultater

Indeklima mht. CO<sub>2</sub>, temperatur og fugt fra januar til september 2025



Figur 6 viser CO<sub>2</sub>-koncentrationen i hus G fra januar til september i stue og soveværelse. Gennemsnitsmålinger over et døgn.

Beboerne i hus G giver udtryk for at luftkvaliteten overvejende er go. Det er Dog et problem at få ventileret i løbet af natten hvor koncentrationen af CO<sub>2</sub> overstiger 2600 ppm. CO<sub>2</sub>'en kommer dog ned på 500 ppm efter 5 minutters udluftning. Fugtigheden ligger lidt højt på omkring 60% men det er ikke noget der giver kondens på ruderne. I januar havde de lidt problemer med fugt pga. en lervæg der ikke var helt tør.

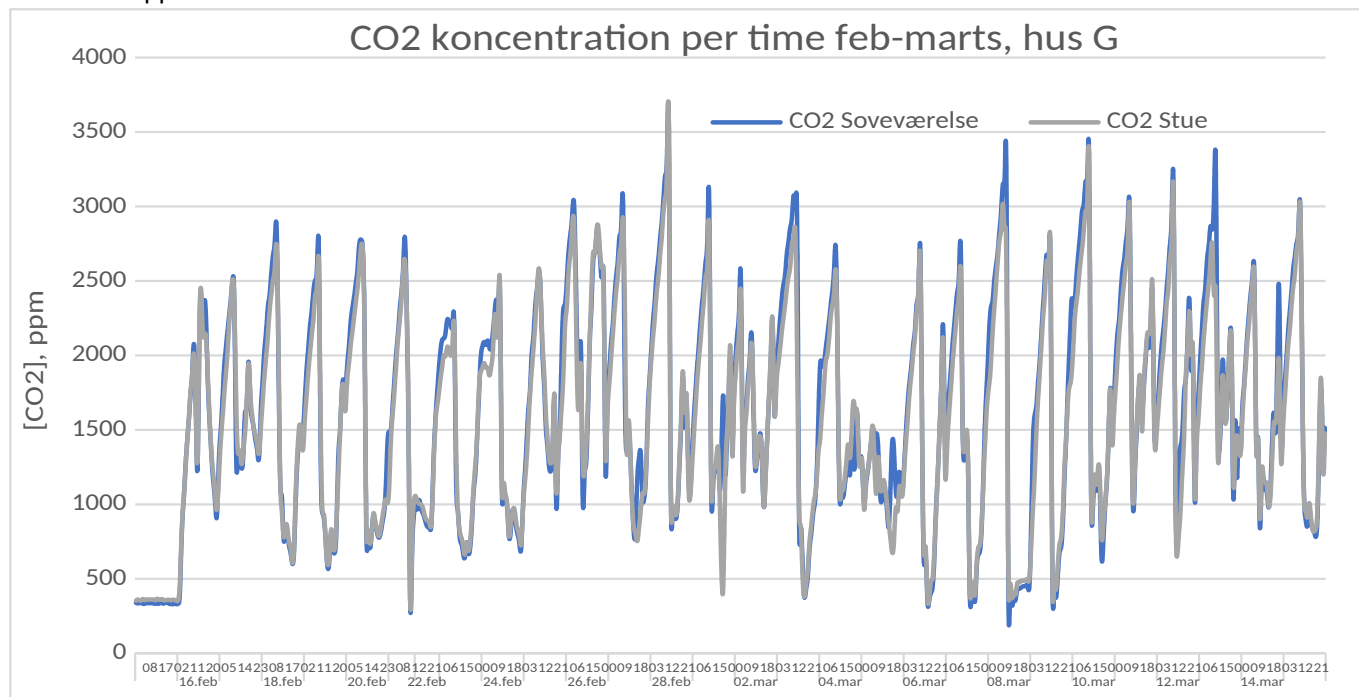


Figur 7 viser CO<sub>2</sub>-koncentrationen i hus X fra januar til september i stuen.

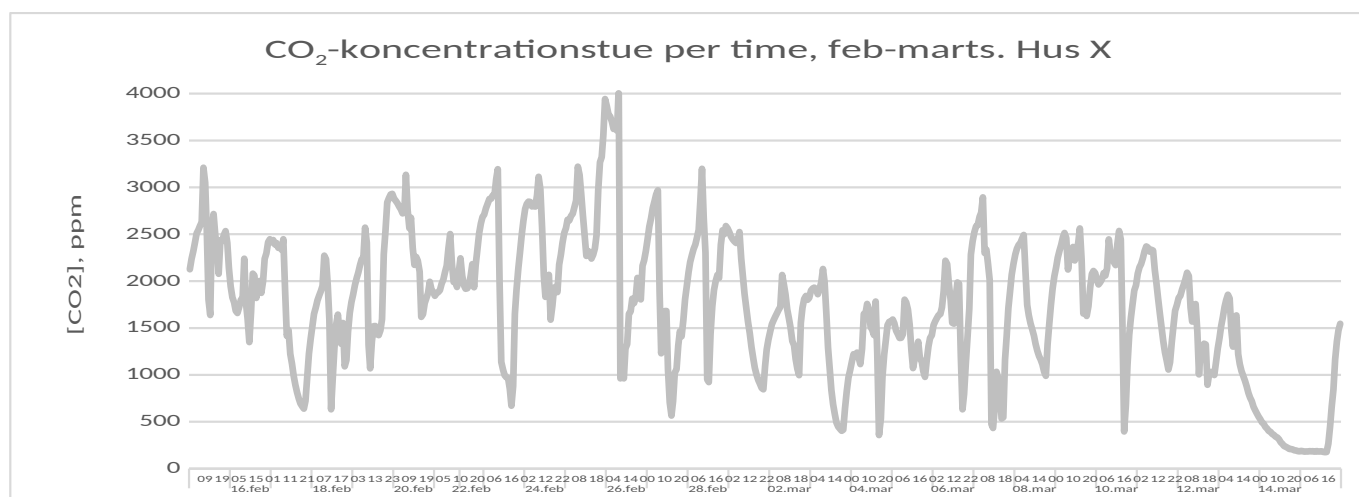
Det ses at CO<sub>2</sub> koncentrationen er høj om vinteren hvor der er koldt og der derfor udluftes mindre. Gennemsnit over et døgn ligger over 2000 ppm i februar for hus X og over 1700 i januar og marts

for hus G. I april og maj er der fejlmålinger for hus X. Først i juni måned er dagskoncentrationen nede under 1000 ppm. En grænseværdi på under 1000 ppm er generelt acceptabel, men et niveau på omkring 750 ppm anses for at være optimalt for at undgå negative effekter træthed og mindsket koncentration, hvilket er dokumenteret i skolerklasser. For indendørs luftkvalitet anbefaler

Arbejdstilsynet, at CO<sub>2</sub>-niveauet ikke overstiger 1000 ppm i lokaler med mennesker til stede. Dette er også grænseværdien for skoler. På disse 2 grafer er CO<sub>2</sub>-koncentrationen midlet over et døgn, hvilket betyder at koncentrationen inden for 24 timer kan have været langt højere. For hus G på figur 6, ses det tydeligt at beboerne har været på ferie fra 10-15 februar, her er koncentrationen generelt under 500 ppm.



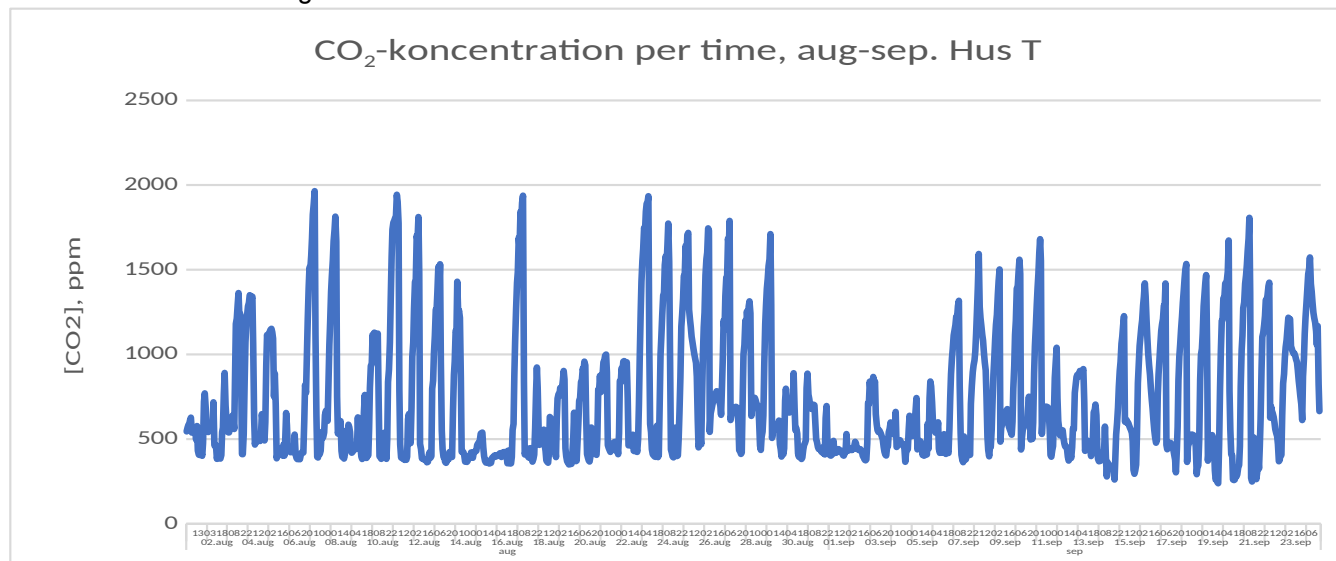
Figur 8 viser CO<sub>2</sub>-koncentrationen i hus G fra midt februar til midt marts i stue og soveværelse. Gennemsnitsmålinger over en time



Figur 9 CO<sub>2</sub>-koncentrationen i hus X fra midt februar til midt marts i stuen. Gennemsnitsmålinger over en time

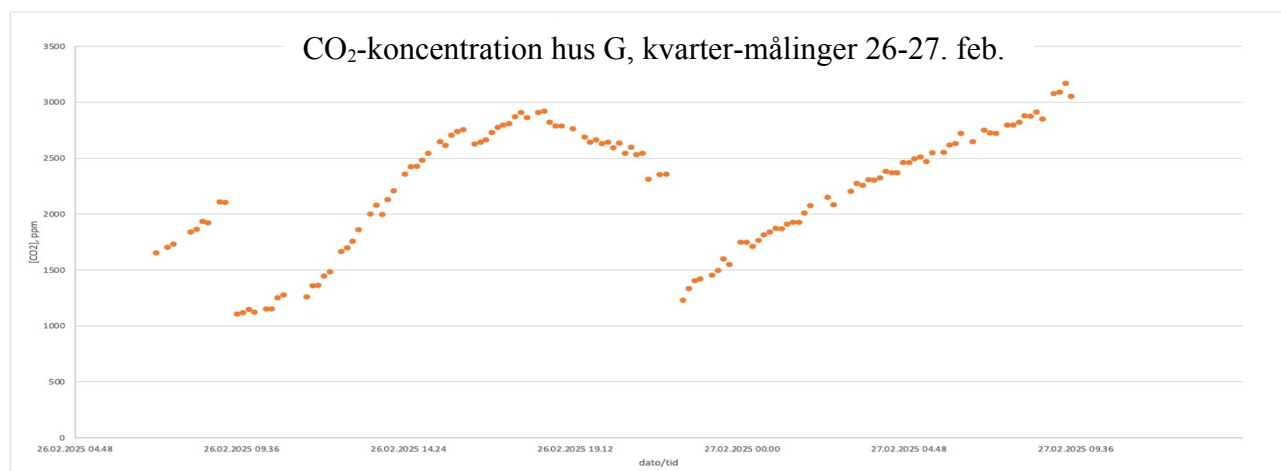
På disse 2 grafer over CO<sub>2</sub>-koncentrationen i hus G og X er koncentrationen midlet over en time og det er således muligt at se daglige variationer. Det typiske scenarie er at koncentrationen bygger sig op hen over dagen og natten og så bliver der luftet ud om morgenen, hvor også ventilatoren på badeværelses typisk kører. Koncentrationen kommer helt op på 3500 ppm for hus G og 4000 ppm for hus X i de koldeste perioder i slutningen af februar. 3000-4000 ppm CO<sub>2</sub> er et stort problem for indeklimaet og indikerer en meget dårlig luftkvalitet, der kan medføre ubehag som hovedpine, træthed og koncentrationsbesvær. Der er ikke rigtig forskel på stue og soveværelse, da døren sandsynligvis

har være åben. De højeste peak ses dog i soveværelset hvilket er forventeligt. I januar og februar kom koncentrationen ikke rigtig helt ned på baggrundsniveau (ca. 420 ppm), hvilket tyder på at der ikke blev ventileret længe nok.



Figur 10 CO<sub>2</sub>-koncentrationen i hus T fra august til september. Gennemsnitsmålinger over en time.

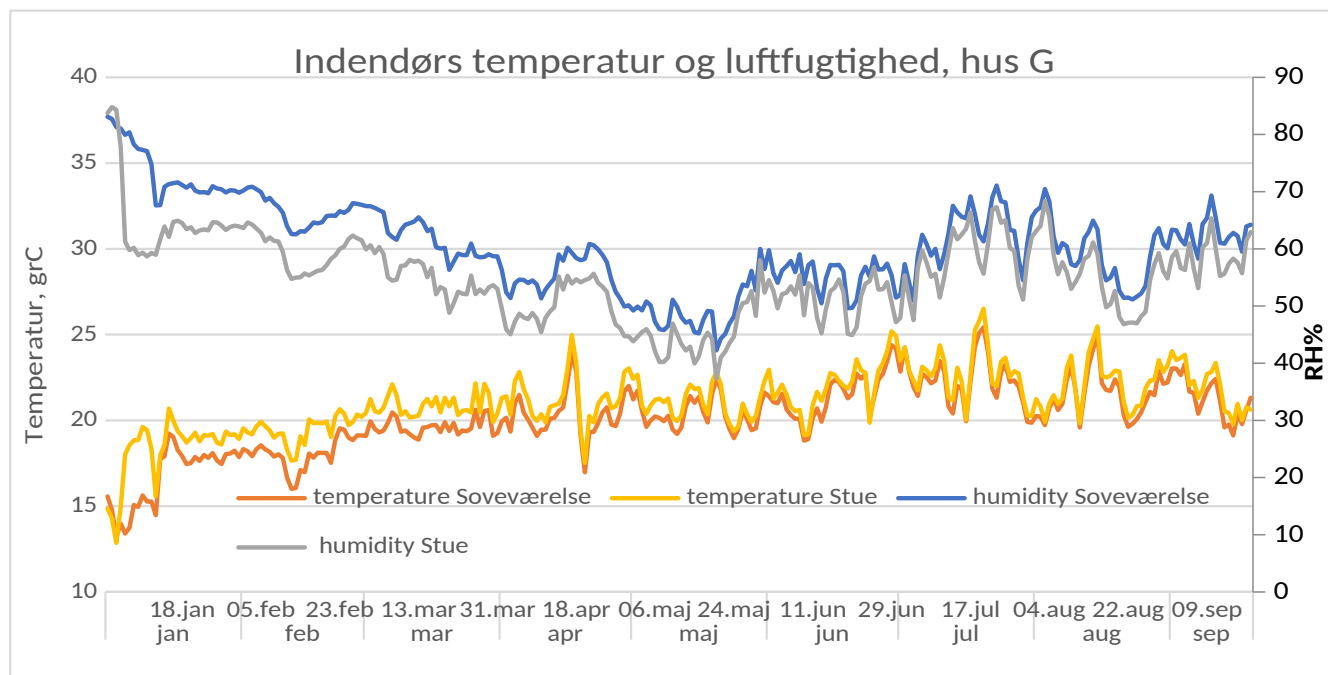
På figur 10 kan man se at koncentrationen tit kommer over 1000 ppm i august og september. Dette er overraskende da det ikke er forbundet med kulde og træk at åbne vinduer om sommeren. Hvis koncentrationen overstiger 1000 ppm, indikere dette utilstrækkelig ventilation, hvilket kan fører til dårligt indeklime. Det er fortrinsvis om aftenen og om morgenen at koncentrationen er rigtig høj.



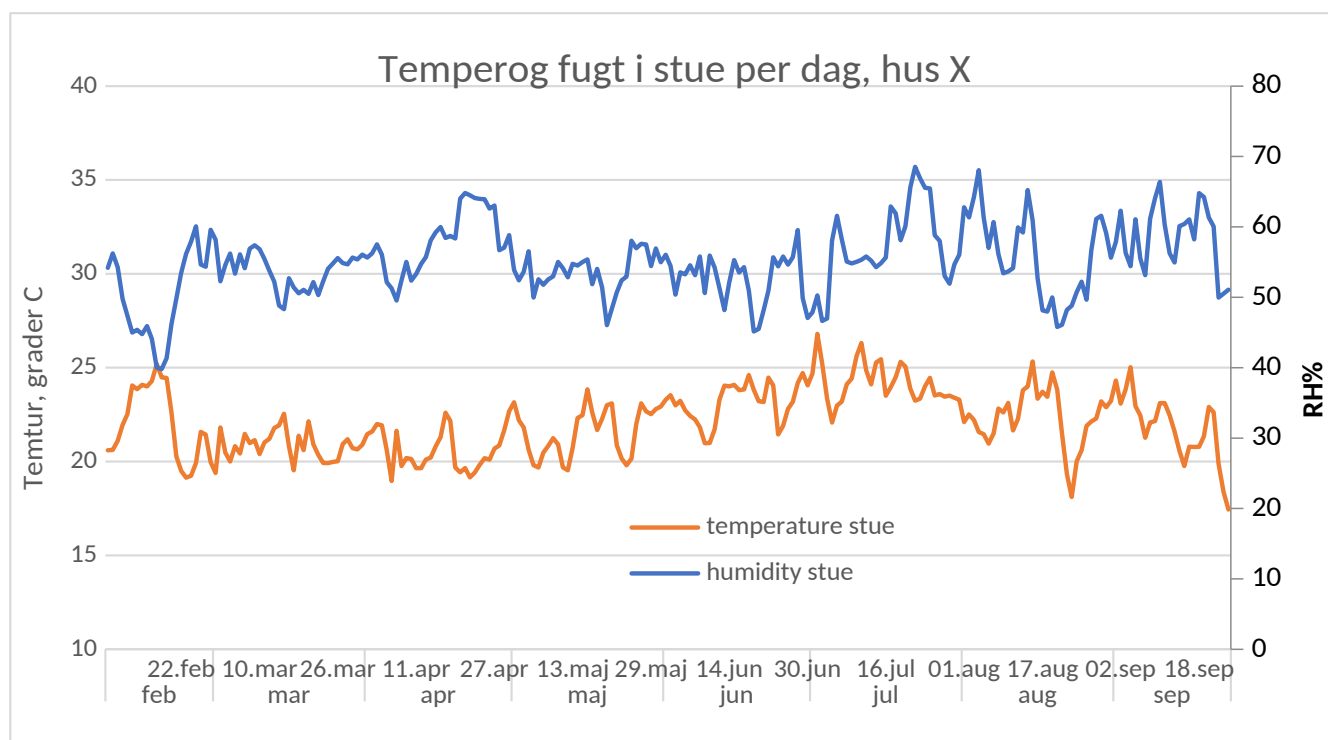
Figur 11 viser CO<sub>2</sub>-koncentration hus G hvor der er målt hver kvarter fra den 26-27. februar.

På figur 11 ses at der ventileres om morgenen og om aftenen men koncentrationen kommer ikke i bund, hvorfor der opbygges en meget høj koncentration af CO<sub>2</sub> op i løbet af dag og nat. På denne konkrete dag ventileres der ikke længe nok til at bringe CO<sub>2</sub> koncentrationen med på baggrundsniveau.

## Indendørs fugt og temperatur



Figur 12 viser temperatur og luftfugtighed i hus G for både stue og soveværelse fra januar til september. Døgngennemsnit

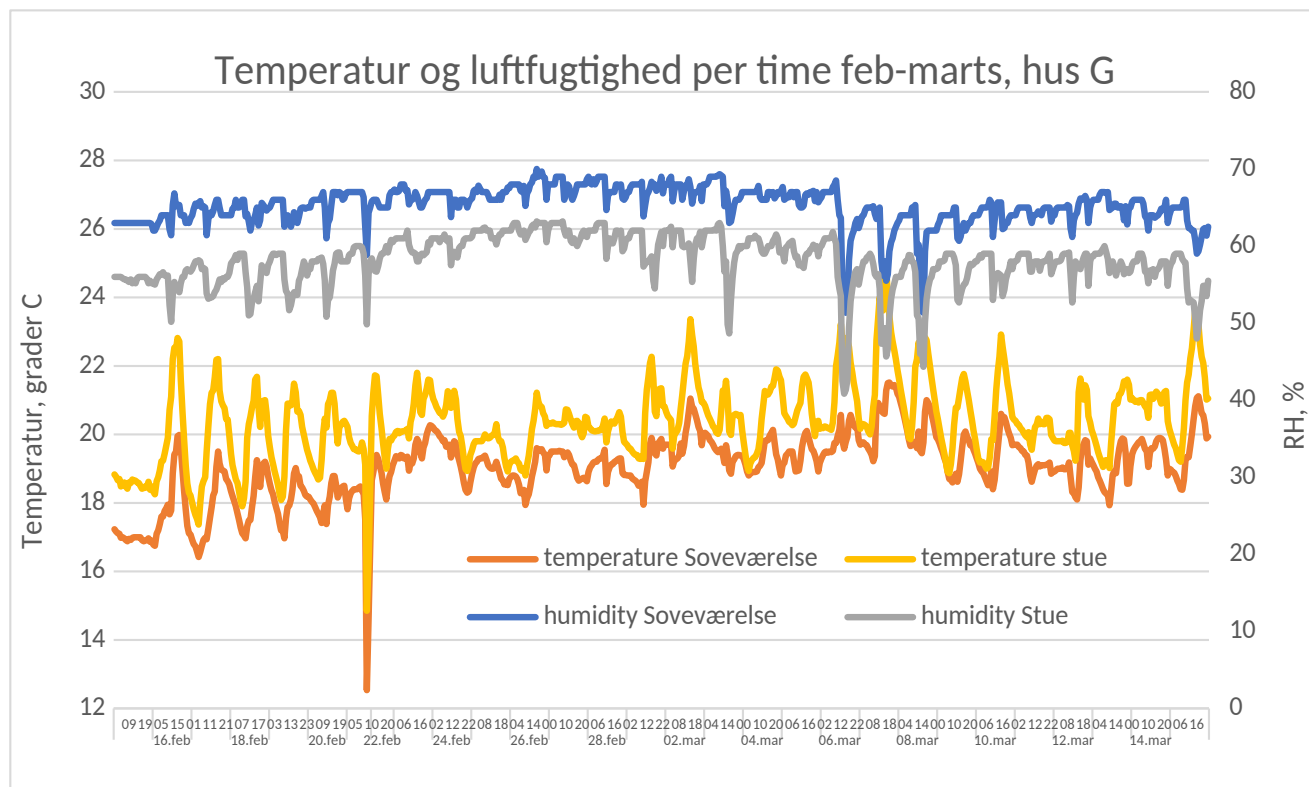


Figur 13 viser temperatur og luftfugtighed i hus X for stuen fra februar til september. Døgngennemsnit

Fra januar til marts er fugtigheden over 60% i hus G men også i længere perioder for hus X. Dette øger risiko for vækst af skimmelsvamp specielt i områder med risiko for kondens som vindueskarme, i hjørner, bag møbler og på kolde vægge mv. Dette vil også kunne afhjælpes med mere ventilation. Det ses at fugtigheden er lidt højere i soveværelset, hvilket er forventeligt da det er her man opholder sig om natten med risiko for lokal kondensering på vinduer. Samtidig er temperaturen lidt køligere, hvilket måske har med varmekilden at gøre.

Den høje fugtighed i huset kan være en større udfordring for konstruktionen, der skal klare et større damptryk per overflade end traditionelle huse.

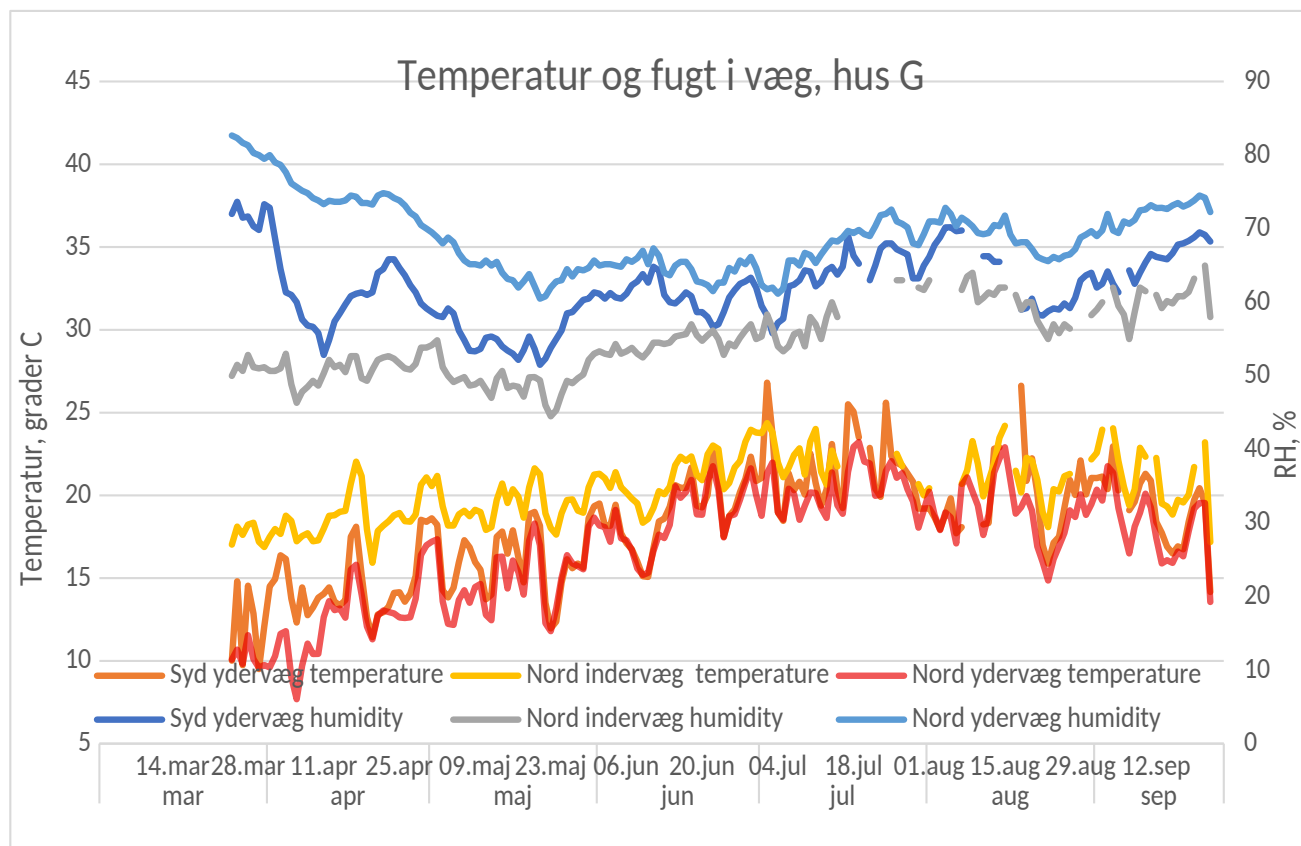
Den høje fugtkoncentration i januar måned i hus G skyldes tørring af en pudset lervæg. Efter marts kommer fugtigheden fint under 60% på tørre dage. I løbet af sommeren ligger fugtigheden mellem 50-70%, hvilket er ok om sommeren.



Figur 14 viser temperatur og luftfugtighed i hus G for både stue og soveværelse fra midt februar til midt marts. Gennemsnit over en time.

På figur 14 har vi zoomet ind på den koldeste periode midt februar til midt marts. Her kan man se at luftfugtigheden i soveværelse i hus G faktisk ligger stabilt over 60%, hvilket er lidt over det anbefalede om vinteren. Temperaturen i soveværelset og stuen var lav, 16-18 grader om natten fra den 15. til den 20. februar. Dette kan hænge sammen med lave udendørs temperaturer i denne periode var ned til -6 grader, se figur 22.

## Temperatur og fugt i vægge



Figur 15 Temperatur og fugtighed i inder og ydervæg for hus G. Marts til september

Når man kigger på figur 15 der viser temperatur og fugt i væggen for hus G målt med Tector-sensorer kan man overordnet udlede at væggen er sund. Hus G er det eneste hus hvor vi har både sensorer i indervæg og ydervæg mod nord. Der er også sat temperatur og fugtmåler op på indersiden af sydvæggen, men denne sensor viser det sammen som den nordlige ydervæg, hvorfor vi må formode der desværre har været en opsætningsfejl. Fugtigheden i ydervæggen er høj og specielt den nordlige er over 80% i marts og falder først under 70% RH i maj. Skimmel kan opstå, hvis der er næring (fx papirisolering) og fugtniveauet overstiger ca. 75-80 % RH over længere tid. Den høje fugtighed kan muligvis tilskrives et fugtfejlsløb fra byggeprocessen, hvor store mængder ler har skullet tørre. Konstruktionen ser dog ud til at have tørret ud hen over sommeren men har i september måned lige været oppe og røre 75 %RH.

Hvis luftfugtigheden holder sig over 75% RH hele vinteren pga. høj intern fugtbelastning kan der opstå risiko for kondens, hvor fugtighed vil fordele sig i konstruktionen med risiko for skimmel dannelse. Der kan opstå langsigtede fugtskader, hvis ikke huset kan nå at tørre tilstrækkeligt i sommerperioden.

En Tector-sensor måler fugt i selve træet, ikke i luften. Træet udveksler fugt med omgivelserne, indtil der indstiller sig en ligevægt med luftens RH. Målingen svarer derfor til træets ligevægtsfugtindhold (EMC). Kurven mellem RH og træfugt er kendt – fx giver 80 % RH  $\approx$  16-17 % træfugt. Målingen bliver mere udglattet end for luftmålinger, men er mere relevant for risikoen for skimmel og nedbrydning.

I forhold til temperaturkurverne kan man se at syd ydervæg (orange): ligger højt (25–40 °C), klart påvirket af sol. Nord ydervæg (blå): lavere og mere stabil (20–30 °C), som forventet uden solpåvirkning. Nord indervæg (grøn): meget stabil omkring 18–22 °C, altså tæt på indetemperaturen. Dette viser, at sensorerne fanger solens direkte opvarmning på sydsiden, og at nordfladen er langt mere ensartet.

I forhold til fugt (RH %) så svinger Syd ydervæg (gul) mest, typisk 55–70 %, hvilket følger temperaturens udsving (varme = lavere RH, kølig = højere RH). Nord ydervæg (rød) ligger generelt højere (ofte 60–80 % RH), hvilket er klassisk, fordi nordflader er køligere og tørrer langsommere. Indervægge: lavere og mere stabile (typisk 30–50 % RH). Dette viser, at væggen faktisk ”trækker fugt” på nordsiden i lange perioder – men uden at overstige de kritiske 90 % RH, hvor risikoen for kondens og skimmel er størst.

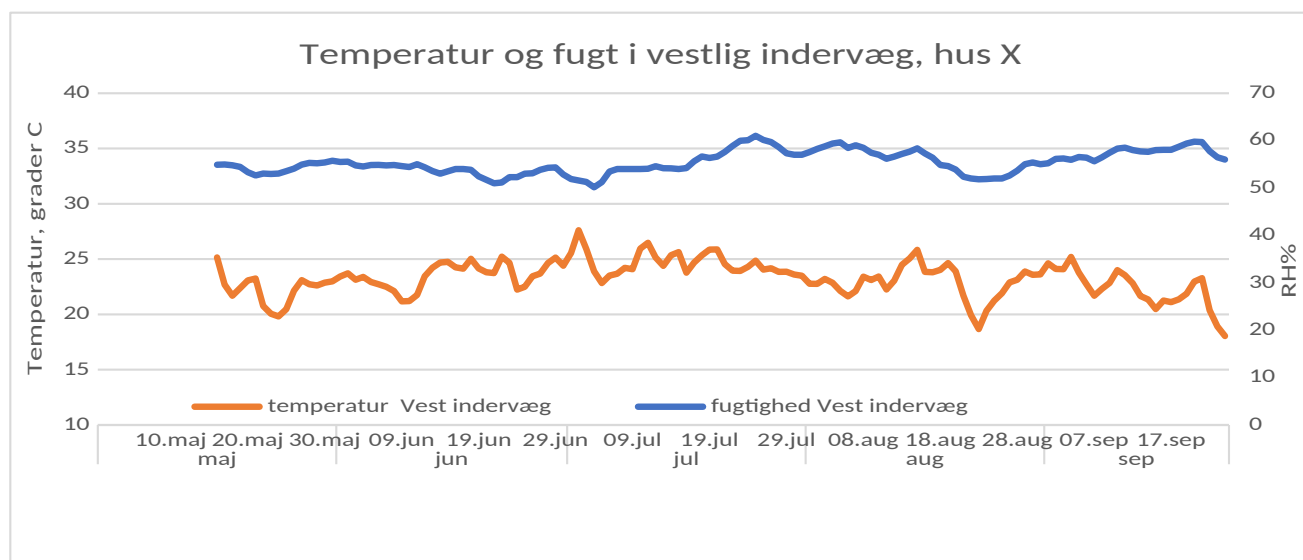
Overordnet vurderes det at væggen ser robust ud, fordi fugtniveauet aldrig kommer helt op i den kritiske zone. nordfacaden er klart den mest udsatte og er den du bør man holde øje med på sigt. Sommerperioden viser tydeligt udtørring (faldende RH, stigende temperatur), hvilket er positivt – det betyder at væggen når at tørre ud over året.

Data fra figur 15 giver et fint billede af dynamikken mellem sol, temperatur og fugt i væggen. Det giver svar på om der sker fugtophobning over længere perioder. Dataserie viser, at væggen regulerer sig selv, og at sommerudtørringen er tilstrækkelig.

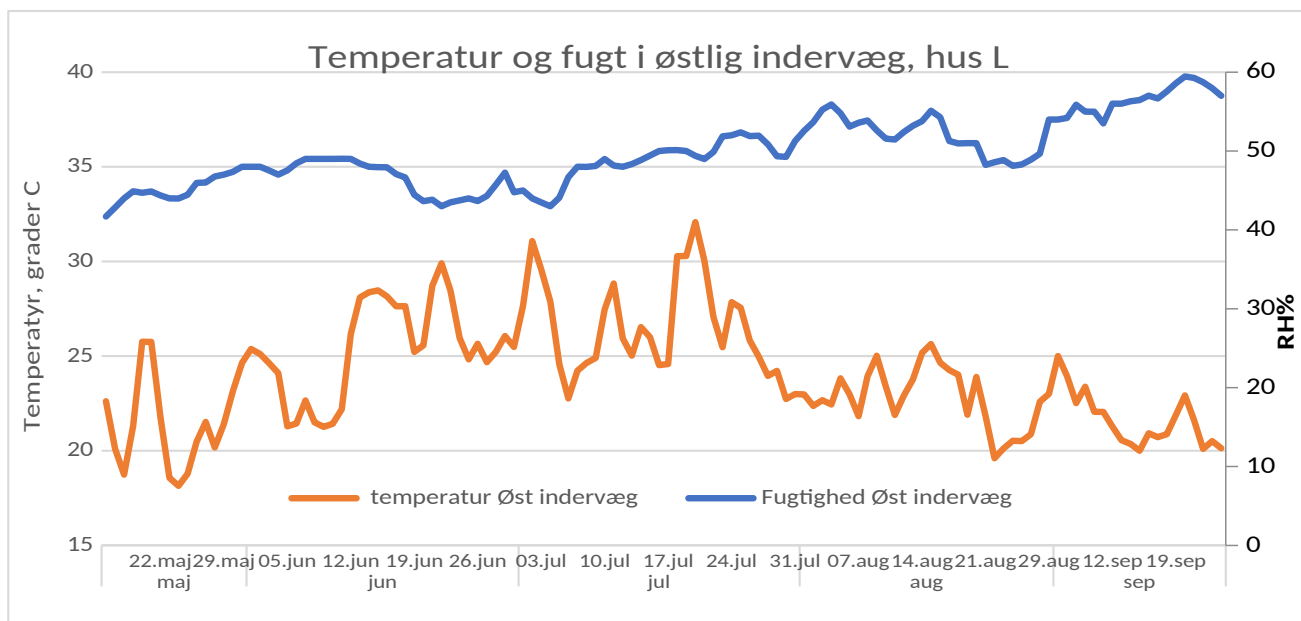
Data for temperatur og fugt den nordlige inder og ydervæg kan bruges til at udregne dampfluxen gennem væggen.

Set over en måned i marts er fluxen i gennemsnit  $1,9 \times 10^{-10}$  J, hvilket er normalt for kolde og lette vægge. (se appendiks 1 for regne eksempel). Denne flux svarer til 0,016 g/m<sup>2</sup>/dag. Selv for et 40 m<sup>2</sup> hus med en overflade på ca. 136 m<sup>2</sup> bliver det kun et par gram vand der kan transporteres gennem væggen om dagen. Set i forhold til at en person udleder omkring 4 liter vand om dagen, er det ingenting.

En målt flux på  $1,9 \cdot 10^{-10}$  J indikerer, at der næsten ingen vanddamp transporteres gennem væggen. Dette viser, at væggen er meget tæt og begrænser naturlig fugtbevægelse. Som følge heraf kan fugt ophobes i bygningen, hvis der ikke etableres ventilation. Det er derfor nødvendigt at sikre tilstrækkelig luftudskiftning for at fjerne fugten. Uden ventilation kan høje fugtniveauer føre til kondens og skimmelvækst over tid.

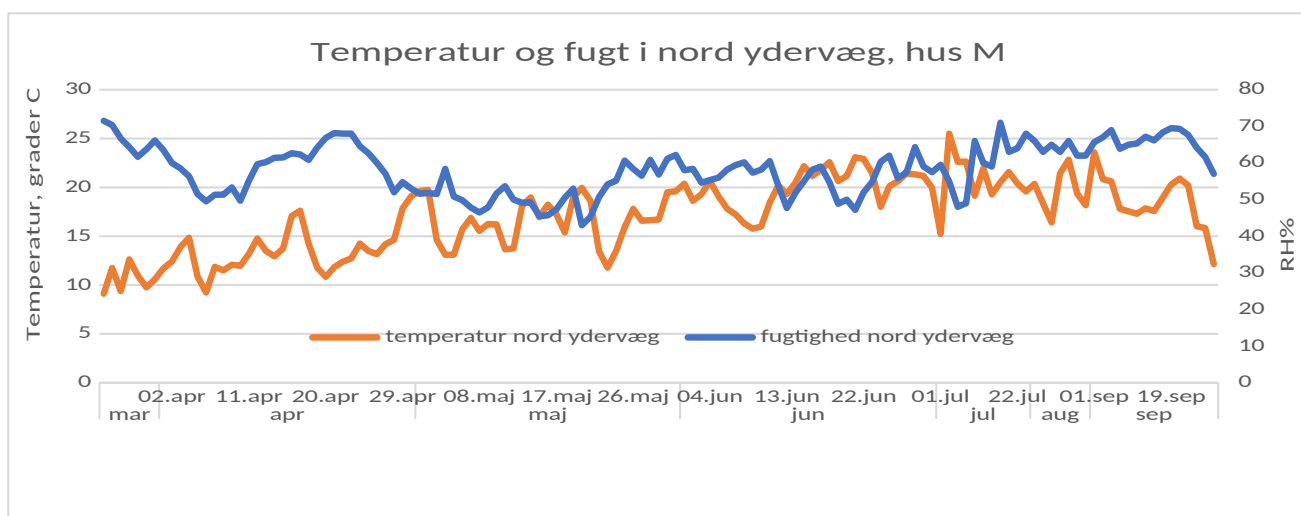


Figur 16 viser temperatur og fugt i indervæggen mod vest i hus X.

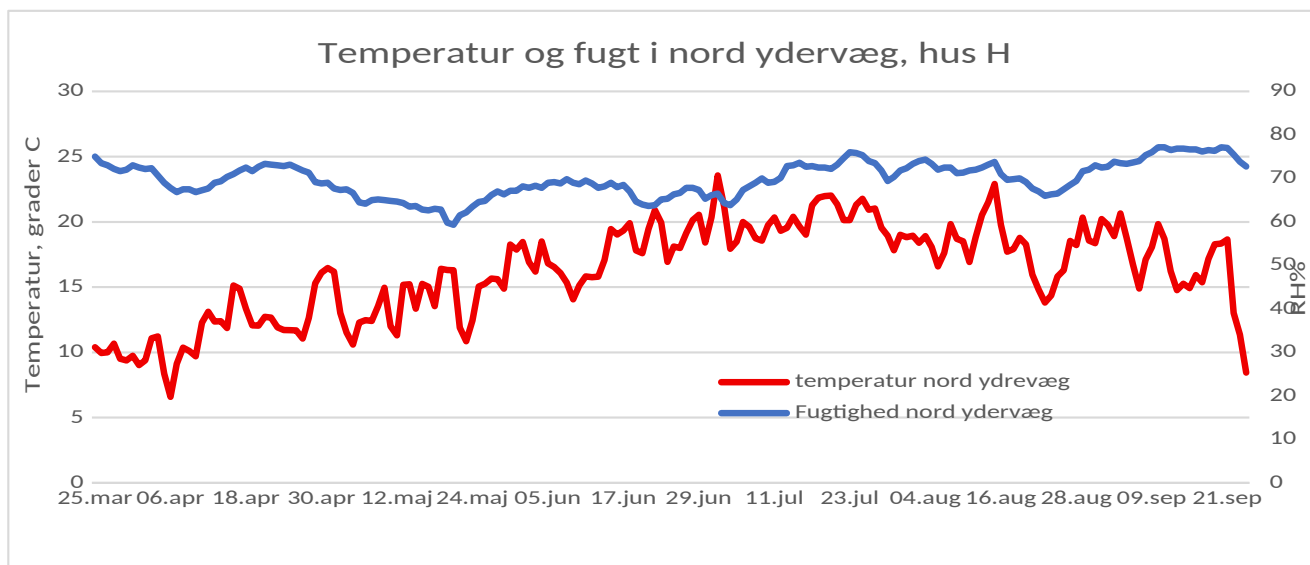


Figur 17 viser temperatur og fugt i indervæggen mod øst i hus L

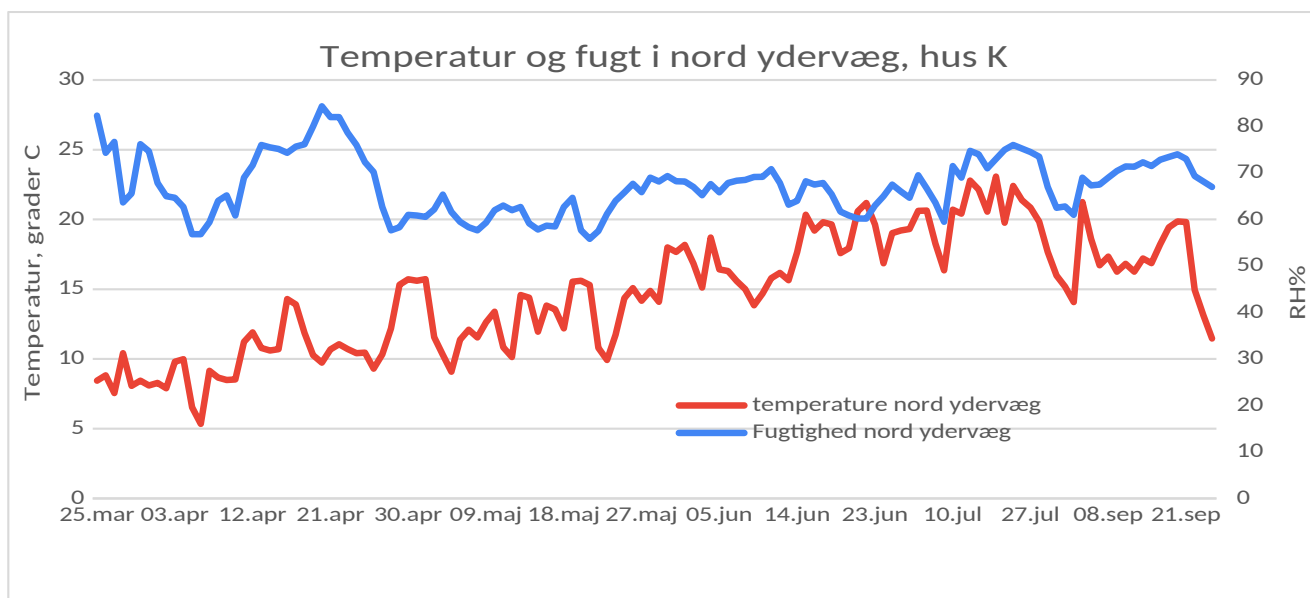
Figur 16 og 17 viser temperatur og fugt i indervæggen og ikke i ydervæggen. Dette er mindre interessant da data viser stort set det samme som indeklimasensoren der ses på figur 13. Da Tecor sensoren måler i træet bliver kurven her mere udglattet.



Figur 18 viser temperatur og fugt i ydervæggen mod nord i hus M.

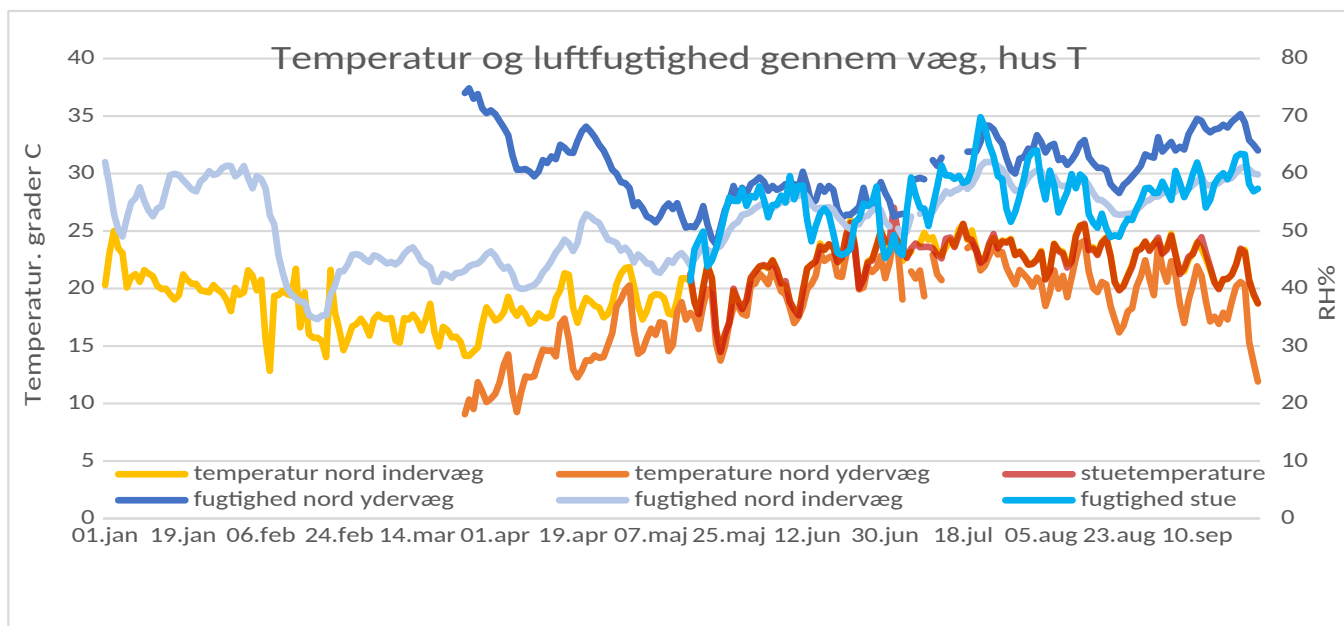


Figur 19 viser temperatur og fugt i ydervæggen mod nord i Hus H



Figur 20 viser temperatur og fugt i ydervæggen mod nord i hus K

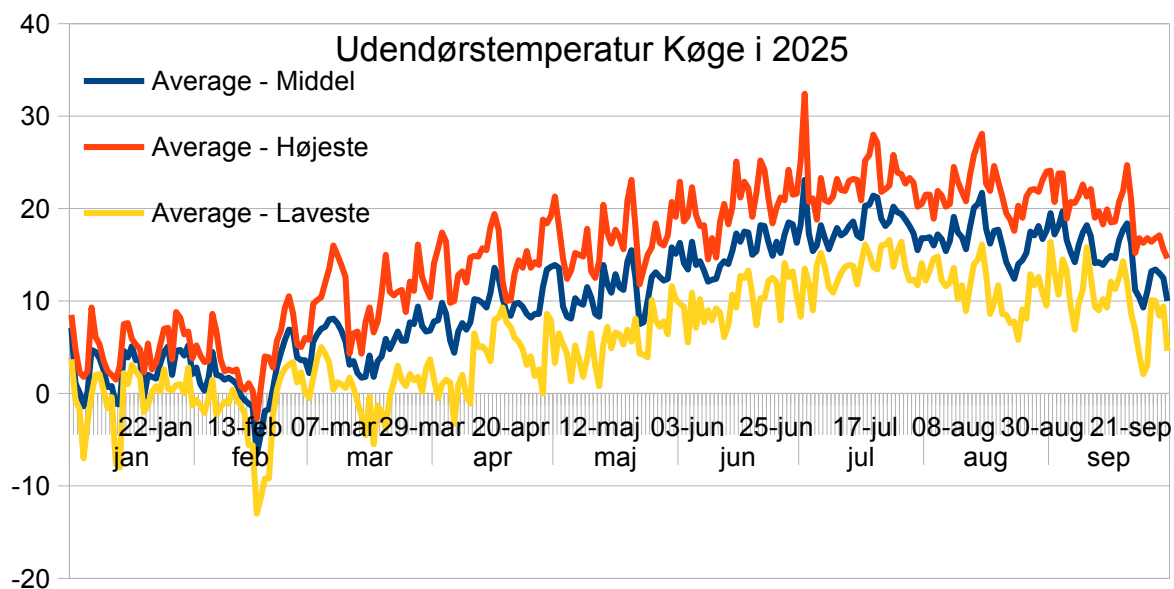
På figur 18-20 kan man se at temperaturen i ydervæggen følger udendørstemperaturen og f.eks. dykker til ca. 10 grader sidst i september. Fugtigheden er ikke høj i ydervæggene men de 3 huse er heller ikke blevet tage i brug. Man kan se at der er mere tørring i en øst væg (figur 17) end en nordvæg (figur 18-20), hvilket er forventeligt. Sensoren i hus M har mange udfald juli, august og september.



Figur 21 Temperatur og fugtighed i inder og ydervæg for hus T. Januar til september

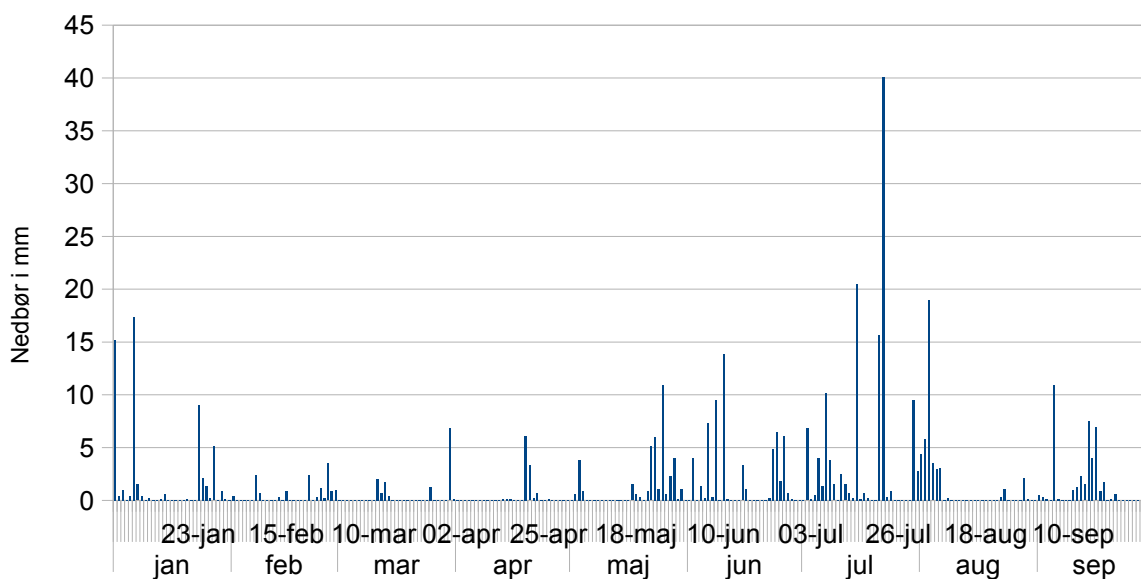
For hus T var sensor placering ”indervæg nord” navngivet som; ”ydervæg syd”, hvilket vi vurderer ikke passer, da data følger indendørs-sensoren. Sensoren i syd væggen for hus x virker heller ikke og sensoren i øst-væggen har ingen data. Det ses at stuetemperatur og indervægstemperatur ligger helt oven i hinanden. Det samme er tilfældet for fugtighed i stue og indervægs fugtighed, der dog har færre udsving.

Set over en måned i marts-april måned er fluxen i gennemsnit  $-3 \times 10^{-10}$  J, hvilket kan tolkes som ingen transport gennem væggen eller en meget lille negativ transport. Det ses at temperaturen har været lav i perioden og huset har sandsynligvis ikke været beboet. Derfor har der sandsynligvis fundet en lille tørring sted gennem indervæggen. Set over en september måned var fluxen i gennemsnit  $5 \times 10^{-10}$  J hvilket er normalt for kolde lette vægge. Reelt er væggen tæt og der transporteres ikke meget damp gennem den.

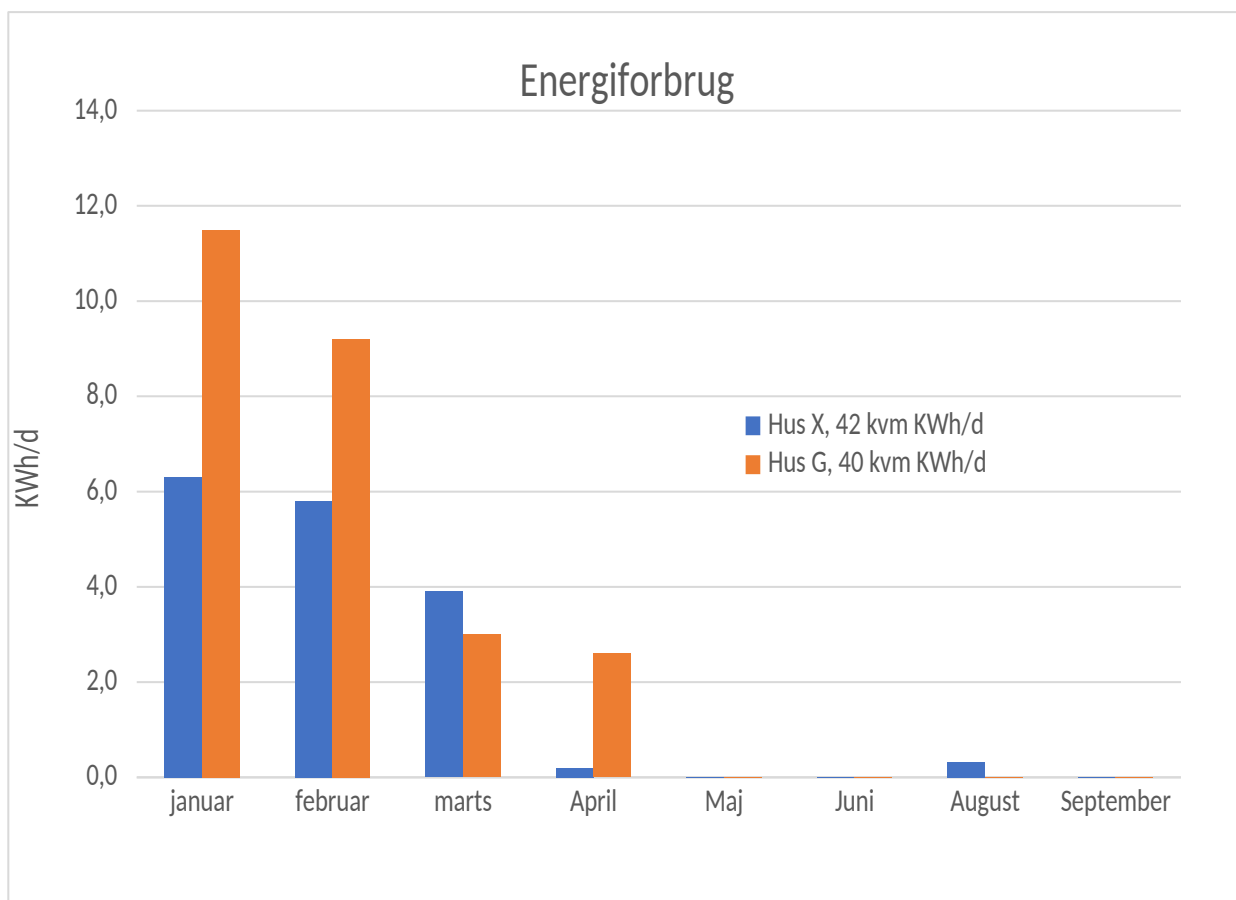


Figur 22 viser udendørstemperaturen i Køge målet af DMI.

### Nedbør i Køge



Nedbørsmængden er normal med det har været flere regnvejrddage end normalt.



Figur 23 viser det gennemsnitlige daglige energiforbrug til opvarmning til hus X og G for januar til september.

Ud fra data kan man at hus X i gennemsnit bruger 4,1 kWh om dagen i fyringssæsonen og hus G 6,6 kWh om dagen fra januar til og med april, hvilket er 62% mere. Dette kan skyldes mere udluftning i hus G, hvilket CO<sub>2</sub> koncentrationen også bekræfter.

Hvis vi estimerer at vi gennemsnitlig bruger 6,6 kWh om dagen i 181 fyringsdage (Den officielle fyringssæson regnes i Danmark at gå fra 1. oktober til 30. april.) bliver det 1195 kWh. Hvis vi samtidig antager at i kun bruger 2 kWh/d hele året til ventilation, varmt vand, køling og belysning bliver det samlet 1925 kWh, hvilket er lavt, bliver det 48 kWh/m<sup>2</sup>/år. Dette er noget over energirammen i den frivillige bygningsklasse BR2020 på 20 kWh/m<sup>2</sup> pr. år. Men under den generelle energiramme der også omfatter tiny houses på 30,0 kWh/m<sup>2</sup> pr. år tillagt 1.000 kWh pr. år divideret med det opvarmede etageareal.  $30 + (1000/40) = 55 \text{ kWh/m}^2 \text{ pr. år}$ . Dette er dog kun et foreløbigt estimat. Realt er energirammen teoretisk beregnet på basis af konstruktionen. Man vil forvente at et tiny house vil ligge højere i energiforbrug per m<sup>2</sup> end et større hus da overfladen i forhold til volumen er større og energiforbrug til ventilation, varmt vand mv. er det samme men på færre kvadratmeter. Det anbefales at der trækkes data for hovedmåleren også så man kan udregne hvor meget energi der bruger på ikke varme relaterede udgifter.

## Konklusion og anbefaling

Målingerne fra de første syv huse i Tiny Varigheden viser, at bygningerne generelt performer tilfredsstillende i forhold til fugt og energiforbrug.  $\text{CO}_2$ -koncentrationerne overstiger dog ofte de anbefalede værdier, hvilket indikerer utilstrækkelig ventilation, især i vinterperioden. Dette kan medføre ubehag og nedsat kognitiv ydeevne hos beboerne, og peger på behovet for mere systematiske ventilationsløsninger – fx behovsstyrede systemer eller kontinuerlig udluftning. Fugtforholdene i væggene er tæt på kritiske grænser i vinterhalvåret, men sommerudtørringen ser ud til at være tilstrækkelig til at undgå varige skader. Energimæssigt viser de første beregninger et forbrug på 48 kWh/m<sup>2</sup>/år, hvilket er under den gældende energiramme på 55 kWh/m<sup>2</sup>/år for et 40 m<sup>2</sup> hus. Samlet set indikerer resultaterne, at tiny houses kan overholde bygningsreglementets energikrav, men at ventilation er den afgørende faktor for et sundt indeklima. Det anbefales generelt at der installeres behovsstyrede ventilationsløsninger eller at man holder nogle vinduer på klem kontinuerligt også om vinteren. Dette vil samtidig hjælpe til at få fugt ud af husene da fugt er omvendt proportionelt med luftskiftet lige som  $\text{CO}_2$ .

## Appendix 1: Beregning af damptransport flux

For at beregne hvor meget damp der bliver transporteret gennem væggen skal man beregne fluxen af vanddamp. I et konkret eksempel fra nordsiden af hus G har vi set på forholdene den 23 april. Det første vi gør er at konverter  $RH \rightarrow$  vanddamp-tryk  $\rightarrow$  flux.

### 1. Forudsætninger

Ydervæg (kold side):

$$RH = 74,7\%$$

$$T = 12,95^{\circ}\text{C}$$

Indervæg (varm side):

$$RH = 52,66\%$$

$$T = 18,43^{\circ}\text{C}$$

Vægtykkelse:  $d = 0,2$

Materiale: træfiberisolering uden dampspærre

Typisk vanddamp-permeabilitet:  $\delta_p \approx 1,5 \times 10^{-12} \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$

### 2. Beregn mættet damptryk $p_{\text{sat}}$

Tetens formel:

$$p_{\text{sat}}(T) = 610,78 \cdot \exp\left(\frac{17,27 \cdot T}{T + 237,3}\right)$$

Indervæg ( $18,43^{\circ}\text{C}$ )

$$p_{\text{sat,indre}} = 610,78 \cdot \exp\left(\frac{17,27 \cdot 18,43}{18,43 + 237,3}\right)$$

$$\frac{17,27 \cdot 18,43}{18,43 + 237,3} \approx \frac{318,1}{255,73} \approx 1,244$$

$$p_{\text{sat,indre}} \approx 610,78 \cdot e^{1,244} \approx 610,78 \cdot 3,469 \approx 2117 \text{ Pa}$$

$$p_{v,\text{indre}} = RH \cdot p_{\text{sat}} = 0,5266 \cdot 2117 \approx 1115 \text{ Pa}$$

Ydervæg (12,95 °C)

$$\frac{17,27 \cdot 12,95}{12,95 + 237,3} \approx \frac{223,7}{250,25} \approx 0,894$$

$$p_{\text{sat,ydre}} = 610,78 \cdot e^{0,894} \approx 610,78 \cdot 2,445 \approx 1494 \text{ Pa}$$

$$p_{v,\text{ydre}} = 0,747 \cdot 1494 \approx 1115 \text{ Pa}$$

## Observation

Partialtrykket er ens: 1115 Pa for inder sensor og 1115 Pa for yder sensor.

Det betyder, at vanddamp-fluxen vil være nært nul – næsten ingen drivkraft gennem væggen for dette enkelte målepunkt. Realt vil man se på gennemsnittet over noget tid også for at udviske støj og måleusikkerhed.

## 3. Beregn vanddamp-flux

$$J = -\delta_p \frac{p_{v,\text{ydre}} - p_{v,\text{indre}}}{d}$$

$$J = -\left(1,5 \times 10^{-12}\right) \frac{1115 - 1115}{0,2} = 0$$

## 4. Tolkning

Flux  $\approx 0 \rightarrow$  næsten ingen vanddamp bevæger sig gennem væggen.

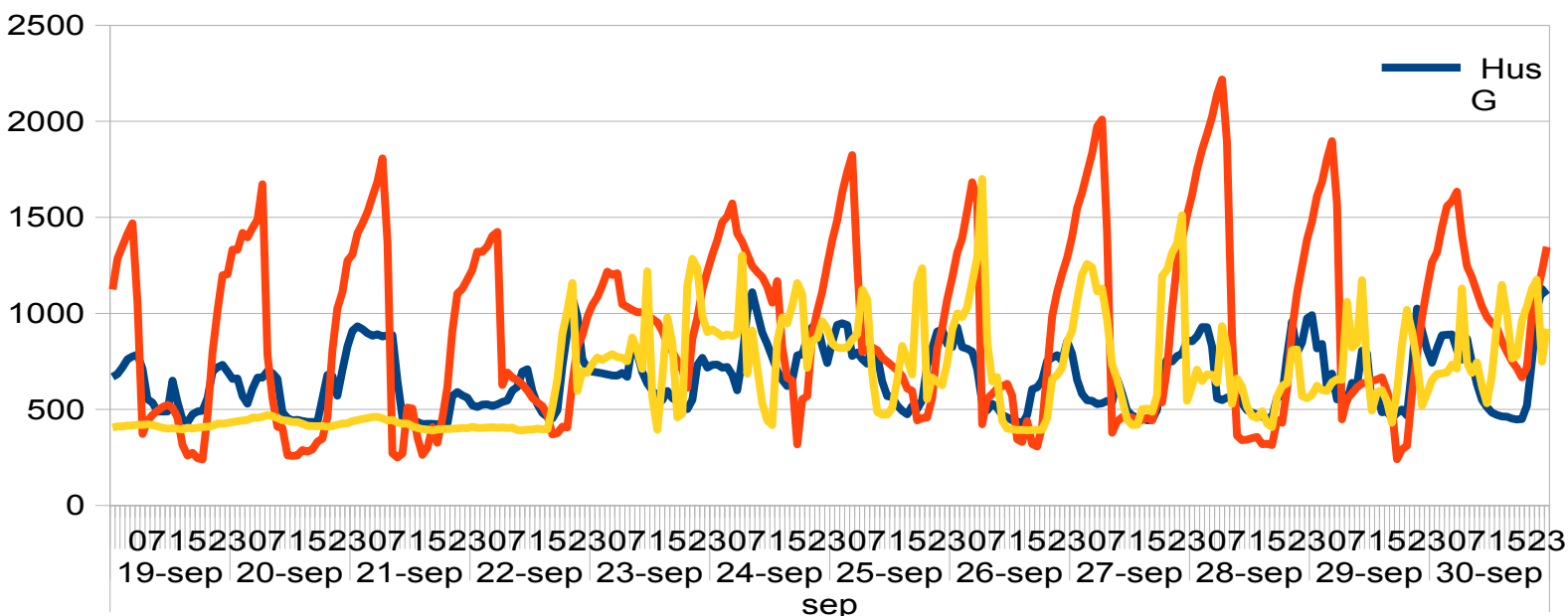
Dette sker, fordi RH på den kolde side er højere end normalt, men samtidig lav temperatur  $\rightarrow$  vanddamptrykket ender næsten lige med indersiden.

Risiko for kondensering i væggen: lav, fordi trykket er i balance.

## Appendix 2: Supplerende data fra september til december

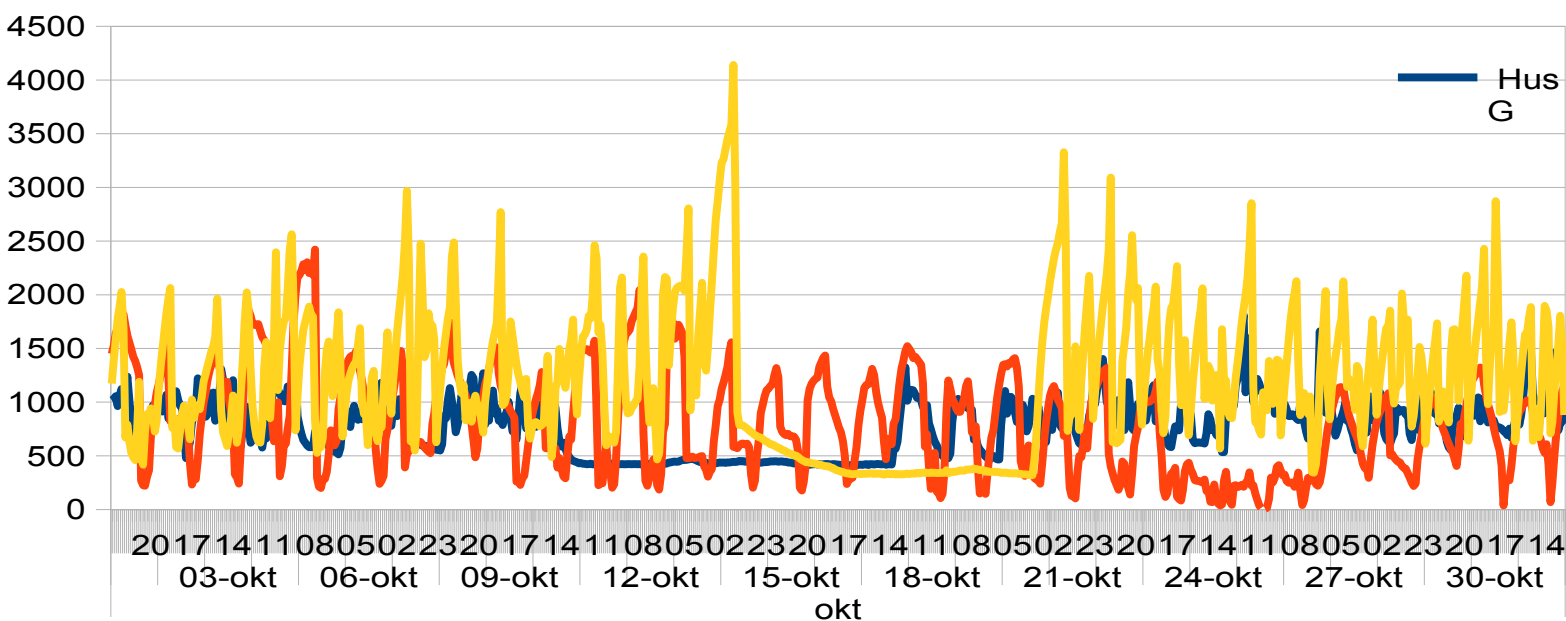
### Indendørs målinger CO<sub>2</sub>

Indendørs CO<sub>2</sub> koncentration sep. ppm



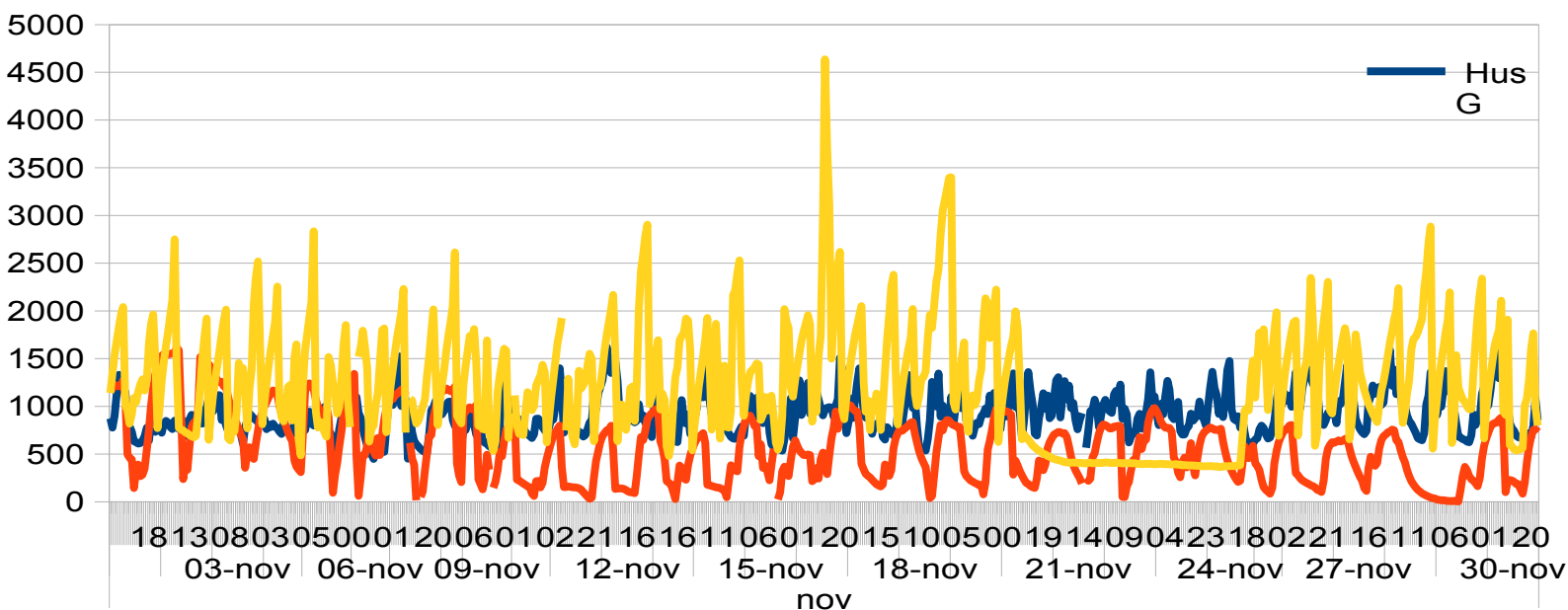
Det ses at CO<sub>2</sub>-koncentrationen i september er alt for høj for Hus T og også for høj for hus T med OK for hus G. Der er tilsyneladende noget i vejen med kalibreringen af sensoren i hus T da koncentrationen er under 400 ppm til tider.

Indendørs CO<sub>2</sub> koncentration okt. ppm



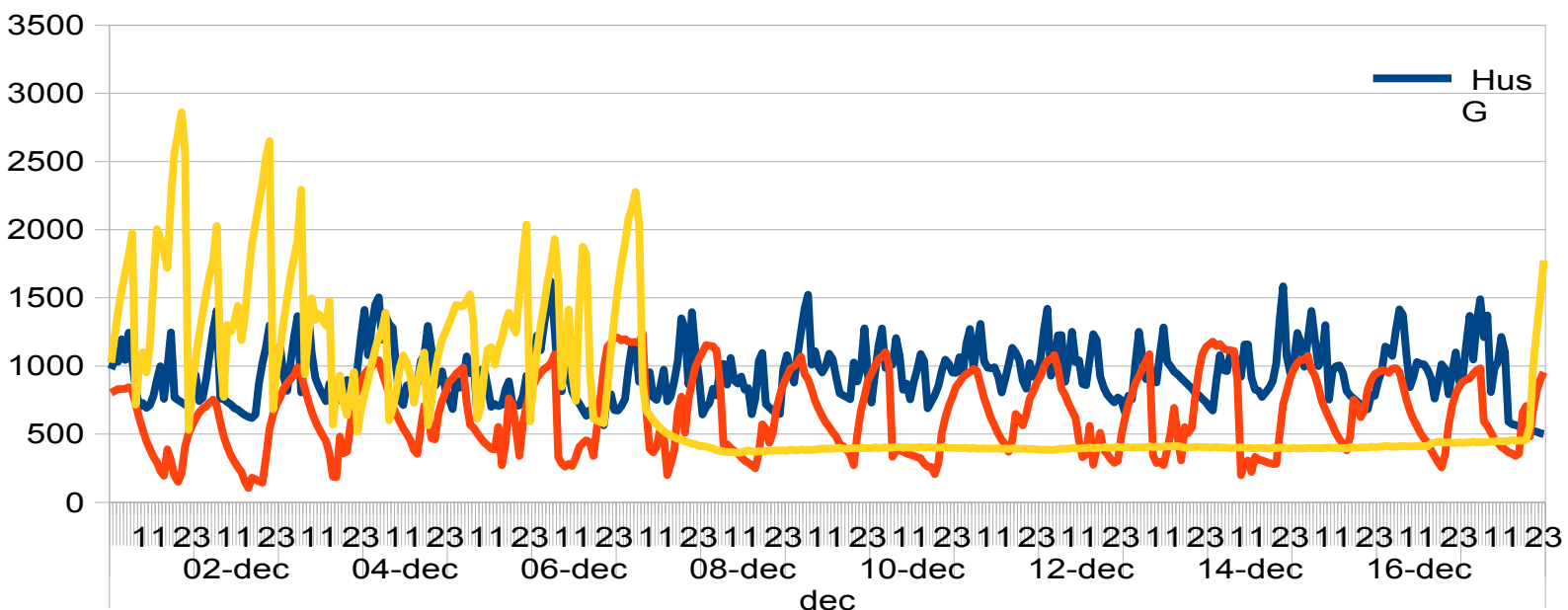
CO<sub>2</sub>-koncentrationen er også i oktober alt for høj for hus X. Sensoren i hus T drifter mod 0. Det ses at hus X og G har stået tom i efterårsferien uge 42, hvor CO<sub>2</sub>-koncentrationen er ned på baggrundsniveauet på ca. 420 ppm.

### Indendørs CO<sub>2</sub> koncentration nov. ppm



Koncentrationen af CO<sub>2</sub> i hus x tager i november endnu et nøk op ad og sensoren i hus T drifter yderligere. Det anbefales at CO<sub>2</sub>-sensoren i hus T udskiftes.

### Indendørs CO<sub>2</sub> koncentration dec. ppm

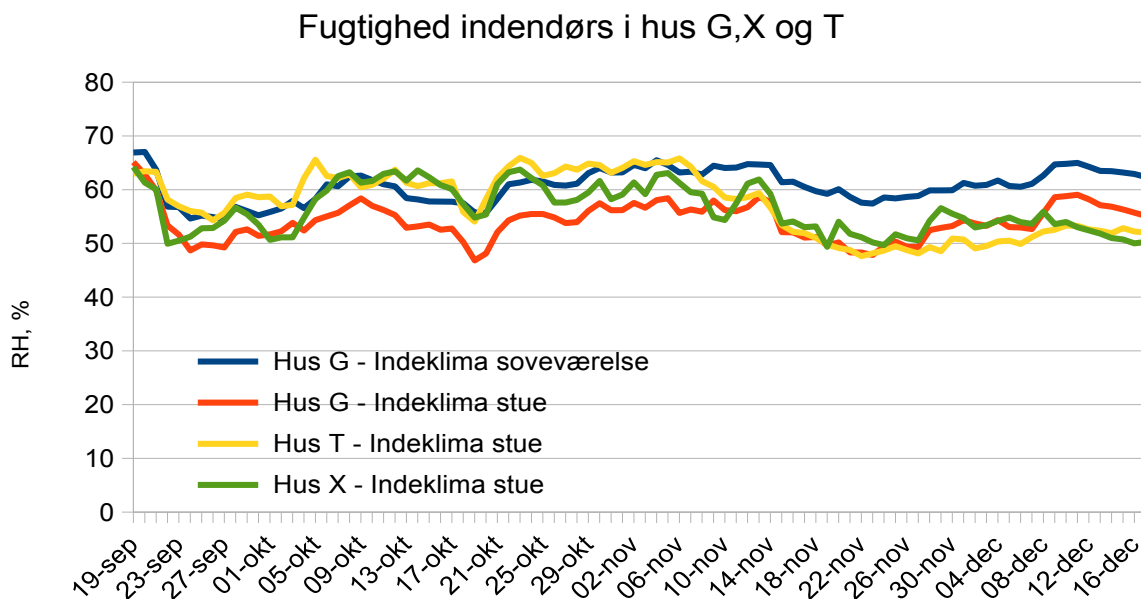


For december er koncentrationen stadig alt for høj i hus X, men dog lidt lavere. Huset har tilsyneladende stået tomt fra 7. dec. CO<sub>2</sub>-Koncentrationen i hus G bliver her i december for høj og kryper op over 1000 ppm i snit. Der er generelt behov for mere ventilation i alle 3 huse hvor CO<sub>2</sub>

sensorer er installeret. CO<sub>2</sub>-sensoren i hus X havde problemer i foråret men ser ud til at virke fint nu med et baggrundsniveau på omkring 420 ppm.

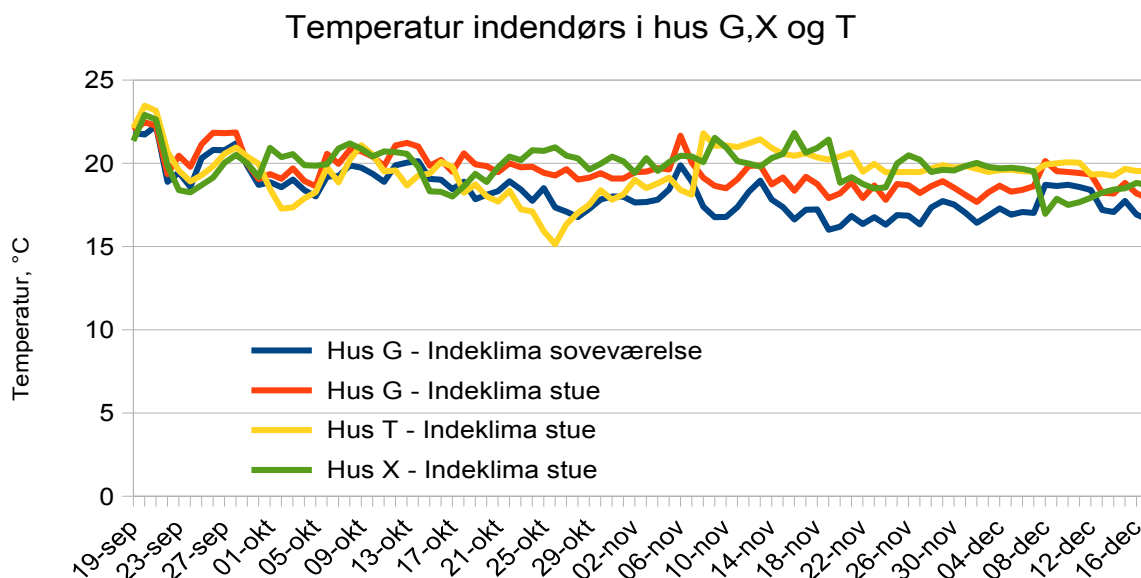
## Fugtighed indendørs

Både hus G og T har en indendørs luftfugtighed på omkring 65% frem til midt november. 60–65 % RH indendørs om vinteren er i den høje ende, og kan påvirke fugtforholdene i væggen, især i tiny houses.



Fugtigheden er højere i soveværelset i hus G, grundet lavere temperatur.

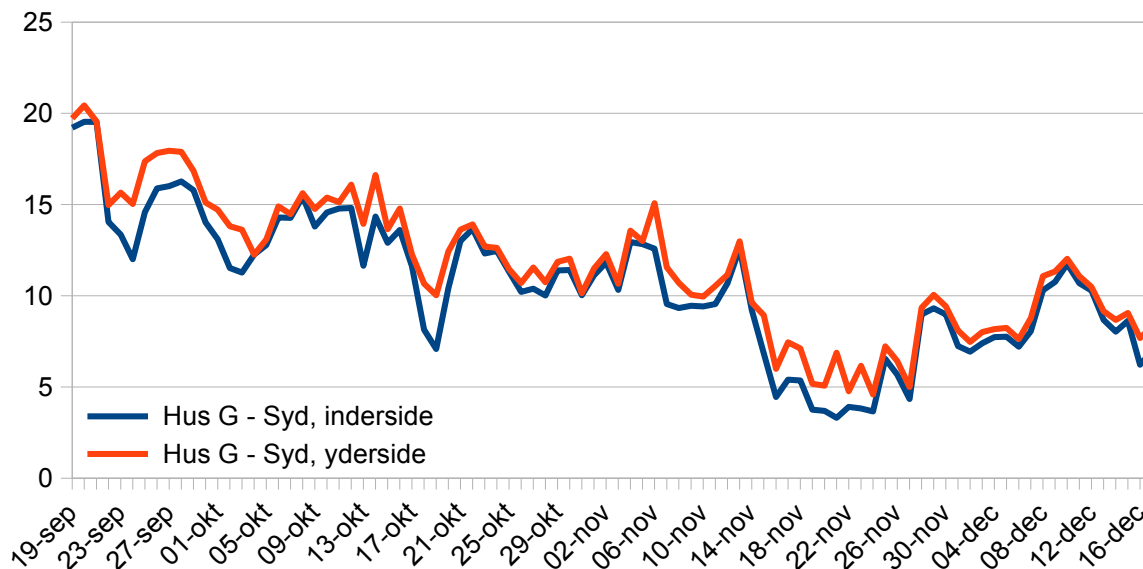
## Fugtighed indendørs



Indendørstemperaturen falder i gennemsnit fra 22 grader i september til 18 grader i december.

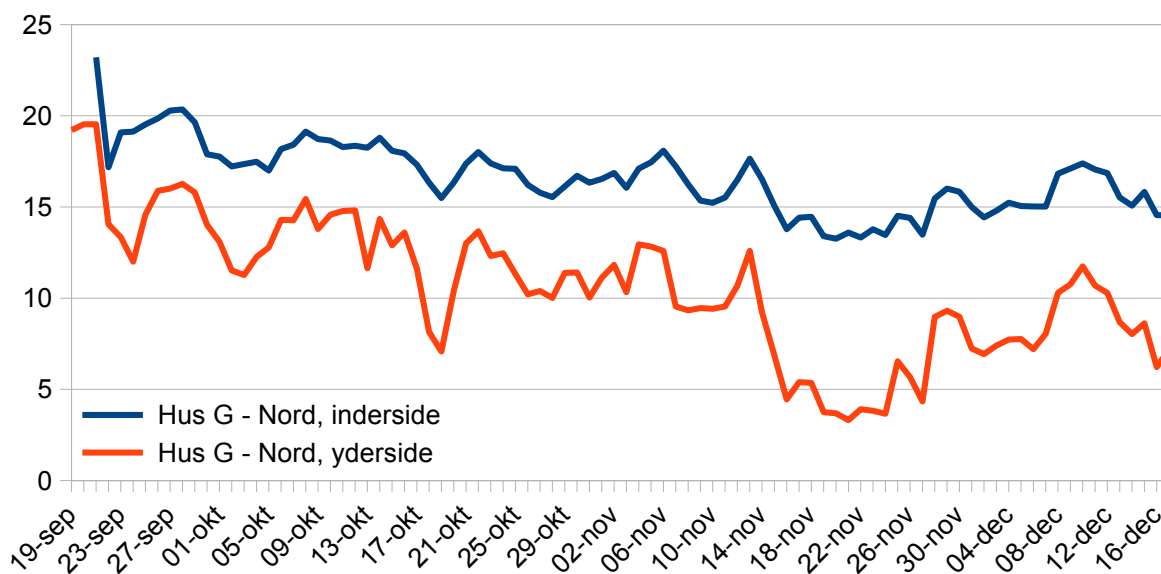
## Temperatur og Fugtighed i vægge

### Temperatur Sydvæg



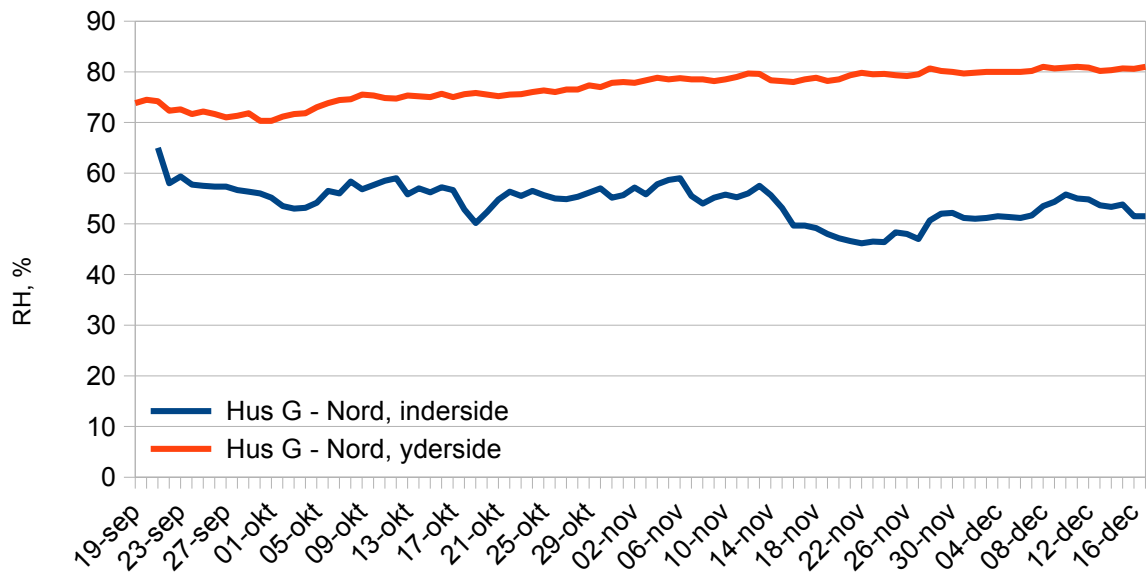
Temperaturen i sydvæggen på hus G ligger foruroligende tæt på hinanden og så i perioder hvor vi ikke kan forvente solopvarmning af facaden. Dette tyder på at sensorerne enten ikke er placeret korrekt eller at der er en kuldebro der forbinder luften i ydervæggen med luften længere inde i væggen.

### Temperatur Nordvæg



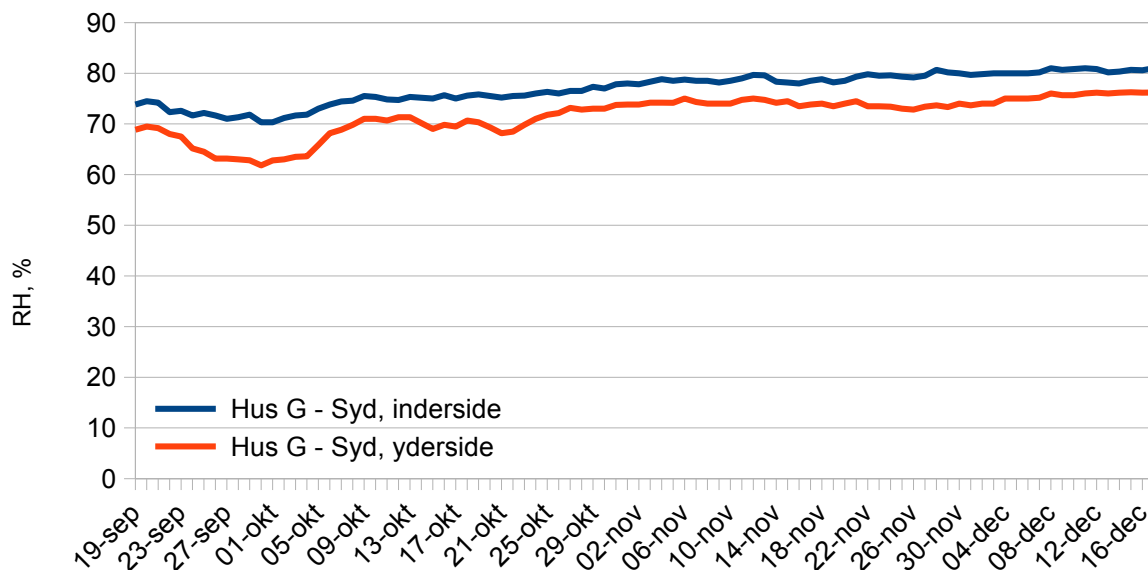
Temperaturen i nordvæggen i hus G ser ud som forventet, her har vi om vinteren omkring 10 graders forskel fra ydervæg til indervæg.

### Fugtighed i Nordvæg



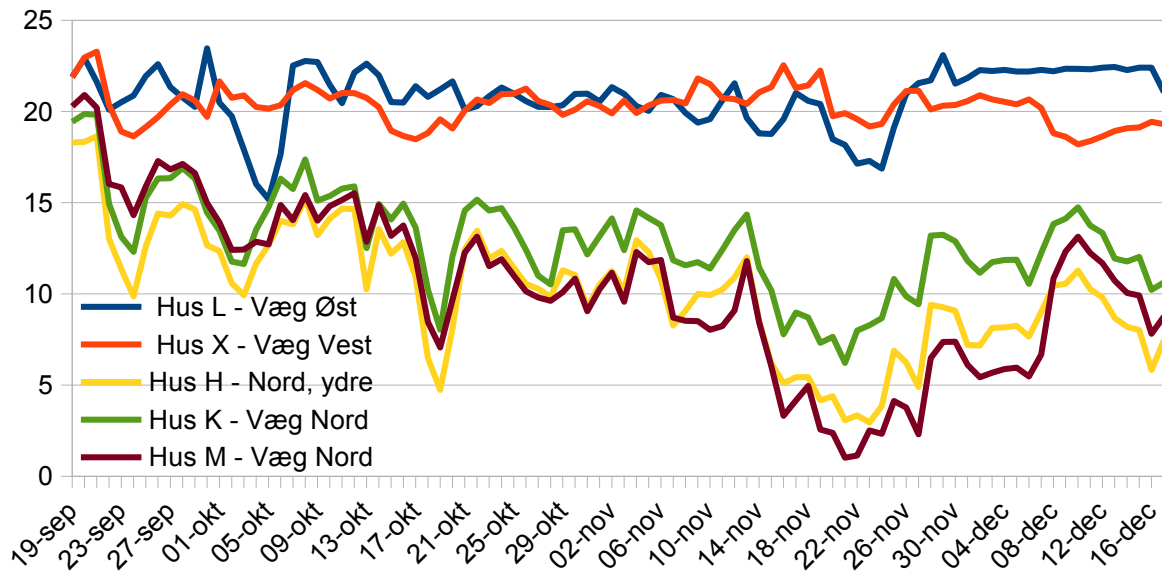
Fugtigheden i ydervæggens træstruktur i hus G er høj og stiger fra 70% i september til over 80% i december. Når vi samtidig medtager data for foråret hvor fugtniveauet også var over 80% indtil april måned, så har vi tæt på 5 måneder med relativt høj fugtighed. Da temperaturen samtidig er mellem 5-10 grader er der en reel risiko for at skimmel kan opstå, hvis der er organisk materiale. Dette er ikke over kort tid farligt for konstruktionen men kan typisk give overfladisk skimmel på organisk materiale som træ. Da vi ses fugtigheden stige kan vi forvent yderligere fugtakkumulering. Det er noget der bør holdes øje. RH-procenter over 85% vil være kritisk i kombination med milde vintre. Situationen er ikke akut med situationen bør følges nøje og det bør overvejes om der er behov for ventileret facade eller fugtadaptiv strategi som f.eks. behovstyret ventilation.

### Fugtighed i Sydvæg



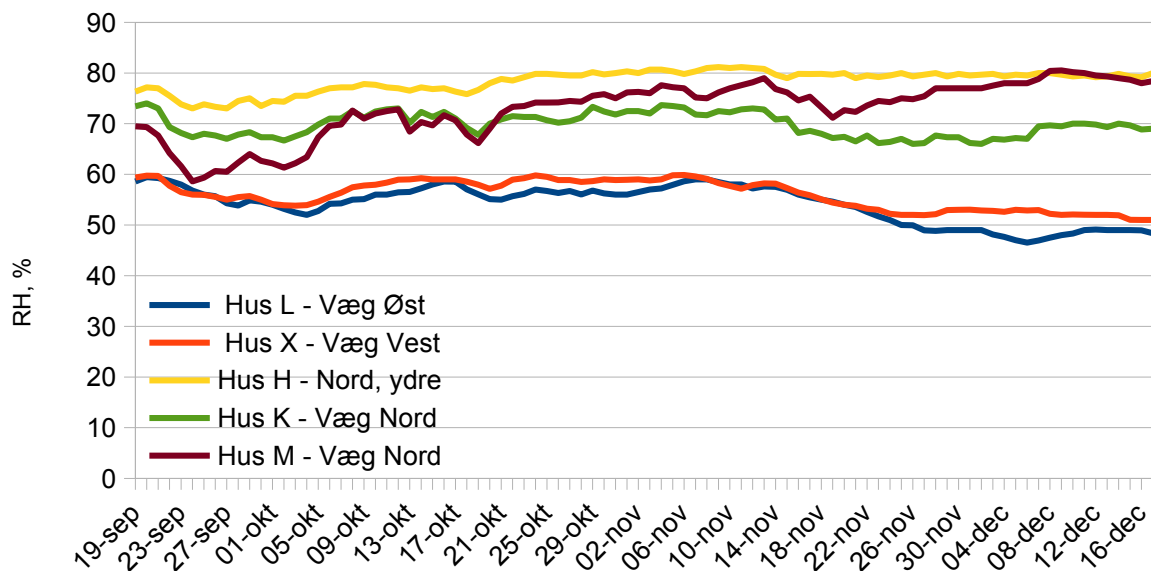
Signalet for sydvæggens yderside er det samme nordsidens yderside. Dette må være en fejl. Hvis indersiden for sydvæggen passer er der også her et potentielt problem med RH over 75% i kombination med potentielle temperaturer mellem 15-20 grader for indevæggen.

Temperatur vægge i hus L,X,H,K,M



For disse 5 hus har vi ikke fugtsensorer i både inder og ydervæg for samme væg. Hus L og X har sensorer i indervæggen må man formode ud fra temperaturen. Hus H, K og M har vægsensorer i ydervæggen.

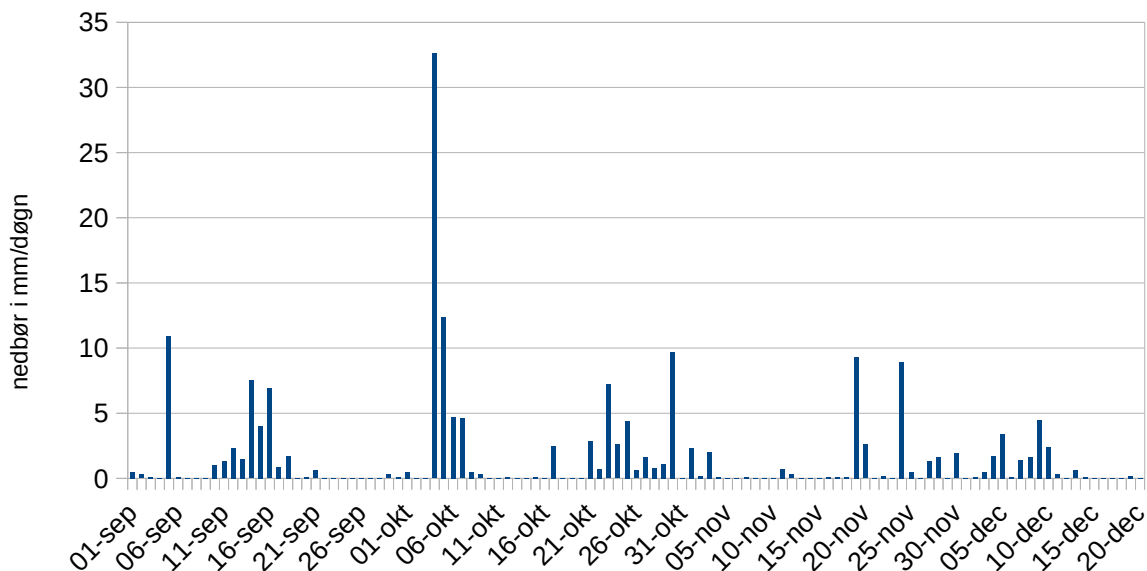
Fugtighed i vægge hus L,X,H,K,M



Hus H her i lighed med hus G også luftfugtighed i ydervæggen på over 80% i længere perioder men ser ud til at stabilisere sig. Der bør dog stadig holdes øje med at der ikke akkumuleres mere fugt i væggen over tid.

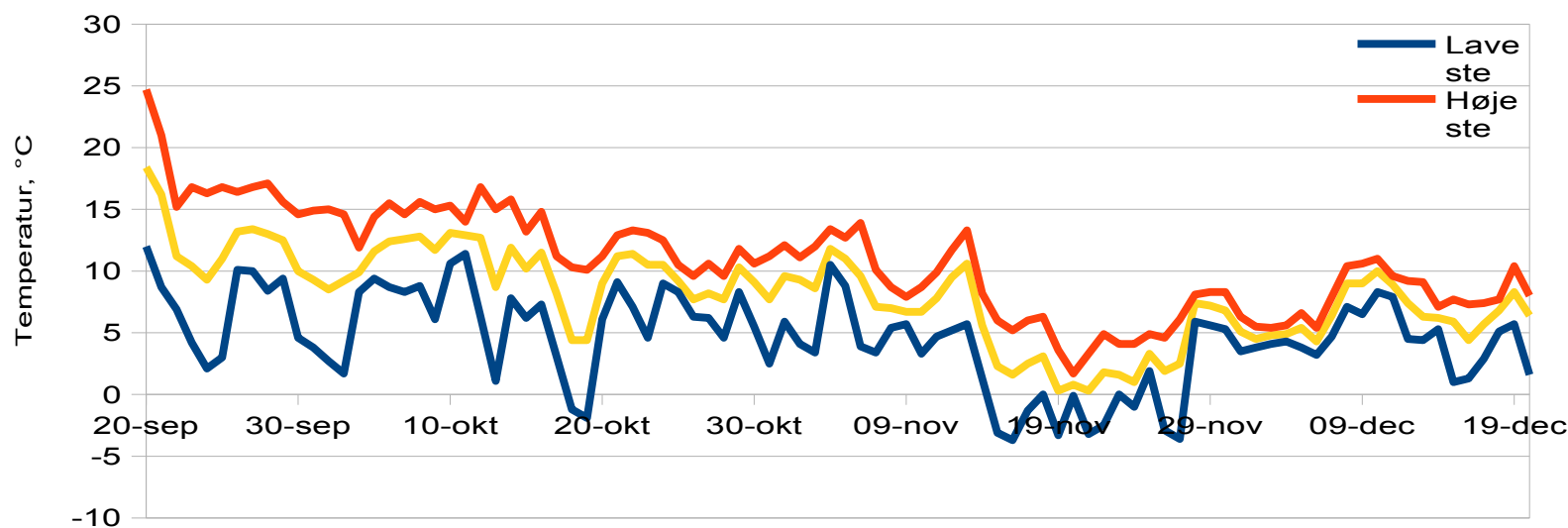
## Vejrstation

### Nedbør i Køge



Det ses at vi har haft et temmelig vådt efterår og start op vinter. Samlet har det regnet 180 mm fra 20 sep. til 20 dec. hvilket er 20 % under normalen. Til gengæld har det regnet 78% af tiden (72 ud af 92 dage). Hvilket er næsten dobbelt så meget som normalt.

### Udendørstemperatur Køge



Temperature er taget fra DMI's vejrstation i Køge. Det kan bemærkes at temperaturen har været højere end normalt for årstiden.