

Fugt i boliger

Moderne forståelse og datadrevet forebyggelse

**Et teknisk whitepaper om
moderne fugtforståelse og
datadrevet monitorering**



CLIMAID

Indhold

Opsummering
Side 3

1 Fugt og skimmelsvamp
Side 4

2 De tre klassiske fugt-
mekanismer
Side 5

3 Temperatur, fugt og tid
Side 7

4 Moderne bygninger
Side 9

5 Fra sene symptomer til
tidlig opdagelse
Side 11

6 IoT-loggere
Side 12

7 Beboeradfærd
Side 13

8 Fugtcirkulation i boligen
Side 14

9 En måling
Side 15

10 Driftperspektivet
Side 17

11 Økonomien i forebyg-
gelse
Side 18

12 Fra reaktiv til systema-
tisk fugtstyring
Side 20

Kilde index
Side 21

Opsummering

Fugt og skimmelsvamp er blandt de mest hyppige årsager til indeklimaproblemer i boliger. Problemerne udvikler sig ofte over længere tid og bliver typisk først synlige, når materialer allerede er påvirkede, eller når beboerne oplever lugt, misfarvning eller kondens. Traditionelt har fugtproblemer derfor været håndteret reaktivt på baggrund af visuelle tegn, punktmålinger eller beboerklager.

IoT-baserede målinger har ændret forudsætningerne for fugtstyring fundamentalt. Ved at indsamle kontinuerlige data for temperatur og relativ fugtighed er det muligt at forstå, hvordan fugt opfører sig over tid, hvordan bygninger reagerer på vejr og brugsmønstre, og hvornår fugtbelastningen når et niveau, der kræver handling. Dermed flyttes indsatsen fra reaktiv brandslukning til systematisk, datadrevet forebyggelse.

Med datadrevet monitorering kan fugtrisici identificeres og håndteres, før de udvikler sig til skader på bygninger og materialer. Samtidig skabes der betydelige økonomiske besparelser – erfaringer viser tilbagebetalingstider på få måneder og et afkast på næsten tre kroner for hver investeret krone.



Fugt og skimmelsvamp: symptomer på et underliggende problem

Skimmelsvamp findes naturligt i både nye og ældre bygninger. Den bliver først et problem, når fugtindholdet i luft og materialer overstiger det niveau, konstruktioner kan tåle, og denne tilstand varer ved. Grundlæggende er skimmelsvamp i uacceptable mængder altid et tegn på en uønsket fugtbelastning [1].

Skimmelsvampe er meget nøjsomme og kan vokse på de fleste byggematerialer, hvor de lever af materialerne eller af snavs på dem. De kan leve på såvel synlige flader som inde i hulrum i konstruktioner og ventilationsanlæg – blot der er tilstrækkeligt fugtigt. Skimmelsvampe vokser normalt langsomt og primært på materialernes overflade. De kræver ikke lys til væksten, men trives bedst ved temperaturer mellem 20°C og 30°C. Ved lavere temperaturer vokser de langsomt, og væksten går normalt i stå under cirka 5°C [1, 2].

Fugtens kilder

Fugten kan komme udefra, indefra eller fra konstruktionerne selv. Udefra kan regnvand og slagregn trænge ind gennem utætte facader, tage eller detaljer. I ældre bygninger med massivt murværk kan slagregn trænge gennem muren og opfugte den indvendige overflade. Indefra producerer beboernes daglige aktiviteter – bad, madlavning, tøjtørring og ophold – betydelige mængder vanddamp. En gennemsnitlig familie på fire personer producerer omkring 10-15 liter vanddamp om dagen alene gennem almindelige aktiviteter som badning, madlavning og vejtrækning [3].

Fra konstruktionerne selv kan fugten stamme fra byggefugt i nye bygninger, opstigende grundfugt gennem fundamenter uden fugtspærre, eller fugtophobning som følge af mangelfuld ventilation. Dertil kommer fugttransport i konstruktionerne som følge af diffusion, konvektion og kapillarsugning. Disse tre mekanismer arbejder sammen og transporterer fugt fra varme til kolde områder, fra fugtige til tørre zoner, og fra jorden op i konstruktionerne.

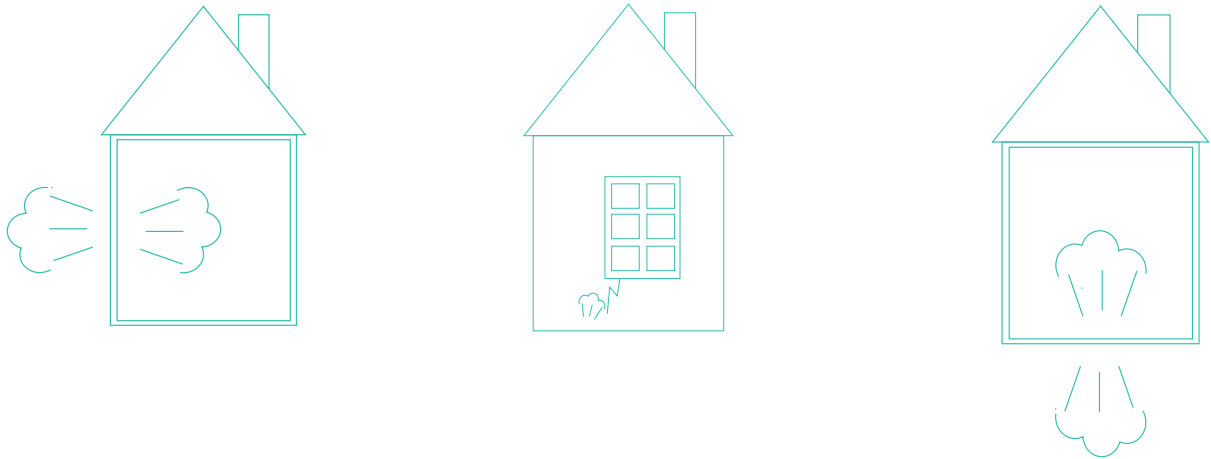
Punktmålinger versus kontinuerlige data

En afgørende forskel mellem traditionelle tilgange og IoT-baseret monitorering ligger i, hvad data kan fortælle os. En traditionel punktmåling viser kun et øjebliksbillede – en enkelt værdi på et tilfældigt tidspunkt. Men fugtforholdene i en bolig varierer konstant: med vejret, med beboernes aktiviteter, med årstiden, med døgnrytmen.

Kontinuerlige målinger over dage, uger og måneder afslører derimod de underliggende mønstre og årsagssammenhænge. De viser, hvordan fugtniveauet stiger og falder, hvor hurtigt det reagerer på belastning, og om det vender tilbage til et normalt niveau. Det er denne tidsdimension, der gør det muligt at skelne mellem forbigående og vedvarende problemer – og at opdage risici, før de bliver til skader.

2 De tre klassiske fugtmekanismer

Bygningsfysikken beskriver tre centrale transportmekanismer, som bestemmer, hvordan fugt bevæger sig i bygninger. Forståelsen af disse mekanismer er afgørende for at kunne diagnosticere fugtproblemer korrekt og vælge de rigtige løsninger.



Diffusion

Diffusion er den langsomme bevægelse af vanddamp gennem materialer fra højt til lavt damptryk. Processen drives af forskellen i dampkoncentration på hver side af en konstruktion. Vanddampen søger altid mod områder med lavere damptryk og bevæger sig langsomt gennem selv solide materialer.

Diffusion skaber sjældent akutte fugtskader, fordi processen er langsom – vi taler uger og måneder, ikke timer og dage. Men fejlplaceringer af dampspærre kan give vedvarende fugtophobning i konstruktioner over tid. Et klassisk eksempel er ved efterisoleringsring, hvor en dampspærre ender med at være placeret på den kolde side af isoleringen i stedet for den varme. I dette tilfælde kan fugtig indeluft diffundere ind i isoleringen, hvor den kondenserer mod den kolde dampspærre og akkumuleres over tid. Resultatet kan være gennemfugtede konstruktioner, selv uden synlige tegn indefra [4].

Som tommelfingerregel skal de mest tætte materialer – dem med høj diffusionsmodstand – placeres på isoleringens varme side, og de efterfølgende lag skal være mindst ti gange mere åbne for diffusion. Denne regel sikrer, at fugten lettere kan slippe ud af konstruktionen, end den kan komme ind.

Konvektion

Konvektion er transporten af fugtig indeluft gennem sprækker og utætheder i klimaskærmen. Denne mekanisme er væsentligt mere fugtbelastende end diffusion – ofte 10-100 gange så effektiv til at transportere fugt. Det betyder, at én enkelt utæthed – et installationsgennembrud, en revne i dampspærren, en utæt samling ved en vinduesramme – kan tilføre mere fugt til konstruktionen på en uge, end diffusion kan på en hel sæson [4, 5].

Konvektion drives af trykforskelle, som opstår på grund af temperaturforskelle, vind eller mekanisk ventilation. Om vinteren, hvor indeluften er varm og fugtig og udeluften er kold, opstår den såkaldte skorstenseffekt: Varm luft stiger til vejrs, skaber undertryk i bunden af bygningen og overtryk i toppen. Hvis der er utætheder i loftkonstruktionen eller ved tagfoden, presses fugtig indeluft ud i de kolde konstruktioner, hvor den kondenserer.

I driftssager ser vi konvektion som den store synder igen og igen. Derfor er små utætheder sjældent små problemer. Lufttæthed er mindst lige så vigtig som diffusionstæthed – og ofte vigtigere. Pudsede lofter har historisk set været tilstrækkeligt tætte mod fugtgennemgang, fordi de er lufttætte. Men hvis pudsen beskadiges – fx revner på grund af sætninger eller gennemhulles af søm – vil loftet ikke længere være lufttæt, og der kan opstå fugtproblemer i tagkonstruktionen.

Kapillarsugning

Kapillarsugning opstår, når vand trækkes op i murværk eller beton fra fugtig jord eller en mangelfuld fugtspærre. Vandet trækkes ind i materialets porer og bevæger sig opad mod tyngdekraften på grund af adhæsiionskræfter mellem vand og porevægge. Jo finere porerne er, jo højere kan vandet stige.

Dette ses hyppigt i ældre bygninger, hvor konstruktioner ikke er opført med moderne fugttekniske løsninger. Vandet kan stige flere meter op i en mur, afhængigt af materialets porestruktur. Kapillarsugning kan også forekomme horisontalt, fx når regnvand trækkes ind gennem en porøs facade eller en utæt sokkel. I bygninger med mangelfuldt omfangsdræn kan jordvand presses ind mod fundamentet og suges op i konstruktionerne.

Kapillarsugning viser sig typisk som saltudblomstringer og afskalning af puds eller maling i sokkelhøjde. Saltene stammer fra murværket og transporteres med vandet op gennem konstruktionen. Når vandet fordamper ved overfladen, efterlades saltene som hvide udblomstringer. Hvis du ser det mønster, ved du, hvor du skal lede efter årsagen. Samspillet mellem mekanismerne

Disse mekanismer arbejder ofte sammen og forstærker hinanden. Men de kræver forskellige løsninger, og det er afgørende at identificere, hvilken mekanisme der er dominerende. Diffusion kræver korrekt placering af dampspærre og valg af materialer med passende diffusionsmodstand. Konvektion kræver tætning af utætheder – selv de små og tilsyneladende ubetydelige. Kapillarsugning kræver fugtspærre, dræning og eventuelt injektion af vandafvisende midler.

IoT-data kan hjælpe med at identificere, hvilke mekanismer der er dominerende, ved at analysere fugtniveauets variation over tid og dets sammenhæng med temperatur og vejrforhold. Fugtmønstre, der korrelerer med nedbør, peger mod kapillarsugning eller utætheder i klimaskærmen. Fugtmønstre, der følger indetemperaturen og brugsmønstre, peger mod konvektion eller utilstrækkelig ventilation.

3 Temperatur, fugt og tid: nøglen til at forstå skimmelrisiko

Skimmelvækst opstår som et resultat af samspillet mellem temperatur, relativ fugtighed og hvor længe materialer udsættes for fugt. Disse tre faktorer er uløseligt forbundne og skal forstås i sammenhæng for at kunne vurdere risikoen i en given bolig.

Luftens fugtkapacitet

Det mest grundlæggende princip i fugtfysik er dette: Varm luft kan indeholde mere vanddamp end kold luft. Ved 20°C kan luften indeholde op til 17 gram vand pr. kubikmeter, mens den ved 10°C kun kan indeholde omkring 9 gram – næsten det halve. Hvad betyder det i praksis? Når temperaturen falder, reduceres luftens evne til at holde på fugten, og den relative fugtighed stiger – selv om den absolutte mængde vand i luften er helt uændret. Tag et konkret eksempel: Luft ved 20°C og 50% relativ fugtighed indeholder cirka 8,5 gram vand pr. kubikmeter. Hvis denne luft afkøles til 10°C uden at miste noget vand, stiger den relative fugtighed til næsten 100%. Det er derfor, kolde overflader er problematiske: De presser bogstaveligt talt fugten ud af luften.

Dugpunktet

Et centralt begreb er dugpunktet – den temperatur, hvor luftens aktuelle fugtindhold gør, at vanddamp begynder at udfælde som kondens. Ved 20°C og 60% relativ fugtighed ligger dugpunktet omkring 12°C.

Det lyder måske ikke kritisk, 12°C er jo ikke specielt koldt. Men kolde flader i hjørner, bag skabe placeret mod ydervægge, ved vinduer eller på ydervægge med kuldebroer kan nemt nå denne temperatur om vinteren, selv i normalt opvarmede boliger. Ved termografiske undersøgelser af bygninger ses ofte overfladetemperaturer på 11-15°C i hjørner og ved vinduesfuge, hvor kuldebroer reducerer overfladetemperaturen betydeligt [19].

Skimmel starter før kondens

Her er det, de fleste overser: Synlig kondens er ikke en forudsætning for skimmelvækst. Mange almindelige skimmelarter kan vokse ved en vedvarende relativ fugtighed på 75-80% ved overfladen. Det er langt under dugpunktet. Det betyder, at skjult skimmelvækst kan opstå længe før der ses synlige tegn på fugtproblemer [1, 6].

Skimmelvækst kan starte allerede efter få uger med konstant høj fugtighed, men det kan tage måneder, før væksten bliver synlig for det blotte øje. Når du ser mørke pletter på væggen eller mærker den karakteristiske muglugt, har processen været i gang i lang tid. Det er derfor, reaktiv fugtbekæmpelse, hvor man venter på synlige tegn, er en taberstrategi. Skaderne er sket, længe før du kan se dem.

Tidsfaktoren

Tidsfaktoren er ofte undervurderet. Kortvarige fugtstigninger – fx efter badning eller madlavning – er normalt ufarlige, så længe fugten fjernes inden for få timer. Når du tager et varmt bad, stiger luftfugtigheden på badeværelset kraftigt – måske til over 90%. Men hvis ventilationen fungerer, falder fugten igen til normalt niveau inden for et par timer. Det er ikke et problem.

Det er den vedvarende, høje fugtighed, der skaber problemer. Hvis fugtniveauet ligger over 75-80% i dage eller uger ad gangen, begynder skimmelvæksten. IoT-målinger gør det muligt at skelne mellem forbigående spidser og vedvarende belastning. En høj måling på ét tidspunkt er ikke nødvendigvis bekymrende – det afgørende er, hvor længe tilstanden varer, og om den gentager sig dag efter dag.



4

Moderne bygninger: mere tætte - men også sårbare

Nutidens bygninger er konstrueret med stor tæthed for at reducere varmetab, og ventilationen er typisk mekanisk og styret. Det giver betydelige energimæssige fordele, men kan gøre bygningerne fugtteknisk sårbare.

Den naturlige ventilation forsvinder

I ældre bygninger med naturlig ventilation udveksles luften løbende gennem utætheder i klimaskærmen, eksempelvis gennem sprækker ved vinduer, gennem utætte samlinger eller gennem revner i murværket. Det er energimæssigt ineffektivt, men det sikrer ofte et tilstrækkeligt luftskifte til at fjerne fugt. Den naturlige ventilation fungerer som en sikkerhedsventil, der kompenserer for fejl og mangler andre steder i systemet [5, 7].

Når disse bygninger efterisoleres og får nye, tætte vinduer, reduceres den naturlige ventilation drastisk. Forskning viser, at en tættere bolig som følge af nye vinduer og bedre isolering kan få et markant forhøjet luftfugtighedsniveau, hvis der ikke samtidig etableres mekanisk ventilation.

Energibesparelser og fugtgener

Efter udførelse af energibesparende foranstaltninger – vinduesudskiftning, facade-tætning, udskiftning af fyringsanlæg – konstateres undertiden fugtgener. Årsagen er oftest, at boligens luftskifte reduceres, så indeluftens fugtindhold øges, fordi der ikke samtidig er etableret det nødvendige luftskifte via aftræk og friskluftventiler [8].

Den hyppigste gene er misfarvning eller skimmelvækst omkring vinduer. I ældre, massivt murværk udgør området omkring vinduet ofte en kuldebro, hvor overfladetemperaturen kan blive så lav, at der er risiko for fugt- og skimmelproblemer ved almindelig brug af bygningen. Lav temperatur i vinduesfalsen kombineret med høj fugtighed i rummet skaber ideelle betingelser for skimmelvækst. Problemet forstærkes, hvis gardiner eller dyb vinduesfals hindrer varm rumluft i at stryge forbi og opvarme vægfladerne.

Små afvigelser – store konsekvenser

I en tæt bygning får små afvigelser fra projekterede forhold hurtigere konsekvenser end i en utæt bygning. Når der ikke er naturlig ventilation til at kompensere for fejl, bliver den mekaniske ventilation kritisk.

De typiske problemer omfatter tilstoppede eller lukkede ventiler, hvor beboere lukker for ventilationsåbninger på grund af træk eller støj uden at vide, at de dermed eliminerer boligens luftskifte.

Reduceret udsugning eller defekte ventilationsmotorer, hvor ventilatorer ikke kører med korrekt hastighed eller er gået i stykker uden at nogen har opdaget det.

Tilstoppede filtre, der ikke bliver skiftet, og som reducerer luftmængden drastisk over tid.

Utilstrækkelig indregulering af ventilationsanlæg efter installation eller efter ændringer i bygningen.

Erfaringer fra danske boligrenoveringer viser, at beboere ofte mangler grundlæggende information om, hvordan ventilationsanlæg skal betjenes. Der er usikkerhed om, hvorvidt vinduer må åbnes samtidig med mekanisk ventilation (ja, det må de), hvordan filtre vedligeholdes og hvor ofte de skal skiftes, og hvad de forskellige indstillinger på anlægget betyder. Denne usikkerhed fører til suboptimal brug, som kan resultere i forhøjet fugtighed [20].

Særlige risikokonstruktioner

Visse konstruktioner er særligt sårbare over for fugtproblemer. Udeluftventilerede krybekældre har længe været anvendt uden problemer, men med stadig større krav til energibesparelser og dermed øget varmeisolering er fugtforholdene nu ændret så meget i ugunstig retning, at konstruktionen generelt frarådes i nye bygninger. Ved kraftig isolering af dækket reduceres varmetilførslen til krybekælderen, og de lavere temperaturer øger uundgåeligt den relative luftfugtighed. Effekten forstærkes af stor termisk inert i bunddækket [9].

Indvendig efterisolering af ældre ydermure indebærer ligeledes stor risiko for fugtproblemer. Metoden kan medføre fugtophobning og skimmelvækst på den gamle vægoverflade, fordi den indvendige isolering reducerer temperaturen i den eksisterende mur. Udvendig efterisolering foretrækkes, hvor det er muligt, da det holder den eksisterende mur varm og tør [10].

Uanset bygningens alder er den kritiske kombination den samme: lav overfladetemperatur, utilstrækkelig ventilation og høj fugtproduktion. Når disse tre faktorer er til stede samtidig, opstår fugtproblemer.



5 Fra sene symptomer til tidlig opdagelse

Synlige tegn på væggen så som dug, misfarvninger, afskalning af maling og saltudblomstringer, er sene indikatorer. Når de opstår, har fugten typisk påvirket materialerne gennem måneder eller år. På det tidspunkt kan skaderne være omfattende og dyre at udbedre [11].

Den reaktive tilgang

Traditionelt har man arbejdet med netop denne reaktive tilgang: man handler, når skaden er synlig. Først når beboeren klager over muglugt, når malingen begynder at skalle, eller når der ses mørke pletter, iværksættes en undersøgelse.

Problemet med denne tilgang er, at skaden allerede er sket. Skimmelvæksten kan have bredt sig til konstruktioner, materialer kan være beskadiget, og udbedring kan kræve omfattende og kostbare indgreb. Døde skimmelsvampe kan desuden fortsat genere beboerne, hvis de blandes med støv og hvirvles op i luften [18].

Proaktiv opdagelse

IoT-monitorering muliggør derimod proaktiv opdagelse, hvor fugtophobning identificeres tidligt ved hjælp af mønstre i data, før problemer udvikler sig til synlige skader. Denne tilgang ændrer fundamentalt, hvordan fugtproblemer kan håndteres.

Typiske tidlige indikatorer i data omfatter langsom udtørring efter bad, hvor fugtniveauet på badeværelset ikke falder til normalt niveau inden for 2-3 timer, hvilket tyder på utilstrækkelig ventilation eller at døren holdes lukket. Natlige fugtstigninger i soveværelser, som skyldes afgivelse af fugt fra sovende mennesker, og som burde falde igen i løbet af formiddagen hvis luftskiftet er tilstrækkeligt.

Sådanne mønstre kan være usynlige for både beboere og driftspersonale, men de træder tydeligt frem i kontinuerlige data. Ved at sammenligne måledata med vejrdato og

6 IoT-loggere: kontinuerlig dokumentation og præcis diagnostik

IoT-baserede sensorer måler temperatur og relativ fugtighed i faste intervaller og skaber dermed et kontinuerligt datagrundlag. Moderne sensorer har lang batterilevetid på ofte flere år, høj målenøjagtighed og kræver minimal vedligeholdelse. Data transmitteres trådløst til en central platform, hvor de kan analyseres og visualiseres.

Typiske døgnmønstre

Tidsserier fra sensorer viser både naturlige variationer og afvigelser fra forventede mønstre. Et normalt døgnmønster i en bolig vil typisk vise stigende fugtighed om morgenen på grund af badning og madlavning, et fald i løbet af formiddagen når ventilation og opvarmning virker, stabil fugtighed i dagtimerne, og en let stigning om aftenen og natten.

Afvigelser fra dette mønster kan indikere problemer. Hvis fugten ikke falder efter morgens belastning, eller hvis den stiger støt gennem døgnet, er der grund til at undersøge nærmere. Hvis fugten falder meget langsomt, f.eks. over 6-8 timer i stedet for 2-3 timer, peger det mod utilstrækkelig ventilation.

Hvad data kan afsløre

Med kontinuerlige data er det muligt at identificere utilstrækkelig ventilation, når fugtniveauet ikke falder efter belastning eller falder meget langsomt. Adfærdsbetinget fugtproduktion kan ses som korrelation mellem fugtstigninger og bestemte aktiviteter eller tidspunkter. Kuldebroer og temperaturforskelle kan identificeres ved at sammenligne målinger fra forskellige placeringer eller ved at analysere temperaturdata. Konstruktionsbetingede fugtkilder viser sig som fugtmønstre, der korrelerer med nedbør, hvilket kan indikere utætheder i klimaskærmen.

Fra måling til indsigt

Styrken ligger ikke i enkeltmålingen, men i data over tid. En høj måling på et givet tidspunkt er ikke nødvendigvis bekymrende – det afgørende er, hvor længe tilstanden varer, og om den gentager sig. Data afslører, hvordan boligen reagerer i løbet af døgnet og året, og gør det muligt at stille en præcis diagnose og målrette indsatsen. Det er forskellen på at behandle symptomer og at behandle årsager.

7

Beboeradfærd: en væsentlig men ofte overset faktor

Selv i boliger med korrekt dimensioneret og teknisk fungerende ventilation kan beboernes brugsmønstre skabe kritiske fugtniveauer. Indendørs tøjtørring, begrænset udluftning og reduceret opvarmning er blandt de mest fugtbelastende rutiner.

Vaner og præferencer

Undersøgelser fra danske boliger viser, at varmepreferencer varierer betydeligt mellem beboere. Nogle foretrækker det varmt og skruer op for varmen, mens andre foretrækker kølige temperaturer – særligt i soveværelser. Disse forskellige varmebehov kan gøre det vanskeligt at fastholde en stabil temperatur, der er i overensstemmelse med anbefalingerne [12].

Det anbefales at holde en jævn temperatur i alle rum, og at temperaturen ikke kommer under 18°C, da den relative fugtighed stiger kraftigt ved lave temperaturer [3, 13]. Men mange beboere sænker temperaturen i soveværelser eller i rum, der sjældent bruges, for at spare energi. Set fra beboerens perspektiv er det et rationelt valg. Set fra fugtteknikkens perspektiv er det præcis det, der skaber risiko.

Hverdagens logiske valg

Studier viser, at beboere typisk kender anbefalingerne, men ikke følger dem konsekvent. Årsagerne er ofte komfort, rutiner fra opvæksten og energibesparelse. Mange beboere har vaner, der er formet gennem et helt liv, og som er forbundet med sociale normer og indgroede praksisser. Det kan være vanskeligt at ændre disse vaner, selv når konsekvenserne er tydelige.

At lukke for ventiler, der giver træk, at tørre tøj indendørs i stedet for at bruge tørretumbler, at spare på varmen i rum, der sjældent bruges – alt sammen valg, der giver mening i hverdagen, men som kan bidrage til fugtproblemer over tid.

Data som grundlag for dialog

IoT-data synliggør sammenhængen mellem adfærd og fugtforløb og gør det lettere at forklare konsekvenserne på en objektiv måde. Når beboere kan se fugtstigninger om natten og langsom udtørring om dagen, konsekvenser af lav opvarmning i kolde perioder, effekten af indendørs tøjtørring på fugtniveauet, og hvor hurtigt forbedringer slår igennem, bliver dialogen mere konstruktiv og mindre præget af antagelser og skyldspørgsmål.

Data kan også bruges til at give beboerne direkte feedback via en app, hvor de kan følge indeklimaet i realtid og modtage anbefalinger. Denne form for nudging har vist sig effektiv til at fremme hensigtsmæssig adfærd uden at være opdragende eller moraliserende.

8 Fugtcirkulationen i boligen

Fugt bevæger sig i et karakteristisk kredsløb gennem boligen. Den tilføres rumluften gennem aktiviteter som badning, madlavning, tøjtørring og vejtrækning, bevæger sig mod koldere zoner som ydervægge, hjørner og vinduer, afsættes på overflader eller optages i materialer, og fjernes igen via opvarmning og ventilation. Når en del af kredsløbet svigter, sker der ophobning.

Fugtproduktion

Fugtproduktionen i en bolig er relativt konstant og forudsigelig: den afhænger primært af antallet af beboere og deres aktiviteter. En person afgiver omkring 40-80 gram vanddamp pr. time ved let aktivitet og omkring 50 gram pr. time under søvn. Badning kan afgive 200-300 gram på kort tid, og madlavning kan afgive flere hundrede gram afhængigt af aktiviteten. Tøjtørring indendørs kan tilføje flere liter vand til rumluften i løbet af en dag.

Disse mængder kan virke beskedne, men de akkumuleres over tid. I en familie på fire personer, der alle bader dagligt, laver mad og måske tørrer tøj indendørs, kan den samlede fugtproduktion nemt nå 10-15 liter om dagen. Hvis denne fugt ikke fjernes effektivt, stiger fugtniveauet i boligen.

Fugtens bevægelse

Fugtens bevægelse mod kolde overflader er drevet af fysikkens love og kan ikke forhindres – kun styres. Varm luft stiger til vejrs og tager fugten med sig. Når luften møder kolde overflader, afkøles den, og en del af fugten udfældes.

Denne proces er særlig udtalt i hjørner mellem ydervægge og lofter, bag møbler placeret mod ydervægge, omkring vinduer særligt i vinduesfalse, og ved kuldebroer ved sokkel, etageadskillelser og balkoner. Det er på disse steder, at skimmelvækst typisk starter.

Diagnostik gennem data

IoT-data gør det muligt at forstå dette kredsløb i detaljer og se, om fugtophobning skyldes konstruktioner som kuldebroer eller utætheder, tekniske installationer som defekt ventilation eller manglende indregulering, eller adfærd som utilstrækkelig udluftning eller tøjtørring indendørs. Det giver et præcist grundlag for at målrette indsatserne, så ressourcerne bruges hvor de har størst effekt.

9 Én måling - fuldt overblik

Et af de hyppigste spørgsmål om fugtmåling er: Hvor mange sensorer skal der til? Skal vi måle i alle rum? Hvad med badeværelset? Hvad med soveværelserne? Svaret overrasker ofte: I de fleste tilfælde er én sensor nok.

Absolut versus relativ fugtighed

For at forstå hvorfor én måling er nok, må vi skelne mellem absolut fugtighed og relativ fugtighed. Absolut fugtighed er mængden af vand i luften, målt i gram pr. kubikmeter. Det er en fysisk størrelse, som ikke afhænger af temperaturen. Relativ fugtighed er forholdet mellem den aktuelle vandmængde og den maksimale vandmængde, luften kan indeholde ved den givne temperatur, angivet i procent.

Erfaringer viser, at den absolutte fugtighed er næsten identisk i alle rum i en bolig, fordi luften cirkulerer frit mellem rummene gennem døråbninger, ventilationsåbninger og utætheder. Fugten fordeler sig jævnt. Forskellene i relativ fugtighed mellem rum skyldes primært temperaturforskelle – i kolde rum er den relative fugtighed højere, selv om den absolutte fugtmængde er den samme. Det er ren fysik: Kold luft kan indeholde mindre vand, så den relative fugtighed stiger.

Placering af sensor

Derfor kan én korrekt placeret måling i boligens opholdsrum give et repræsentativt billede af hele boligen. Sensoren bør placeres i et centralt rum, typisk stue eller opholdsrum, i ca. 1,6 meters højde – ikke oppe under loftet, hvor varm luft samles. Den bør ikke placeres i direkte sollys, som giver kunstigt høje temperaturer, ikke nær varmekilder som radiatorer eller elektronik, ikke nær vinduer, hvor temperaturen er ustabil, og ikke bag møbler eller gardiner, hvor luftcirkulationen er dårlig [14].

Fugttilskud

Når disse data sammenholdes med udendørs vejrdato, kan man beregne boligens fugttilskud – den mest værdifulde indikator, vi har. Fugttilskuddet er forskellen mellem den absolutte fugtighed inde og ude, og viser dermed hvor meget fugt boligen selv tilfører ud over det, vejret forklarer.

Et typisk fugttilskud i en velfungerende bolig ligger på 2-4 gram pr. kubikmeter. Ligger det vedvarende højere, er der noget galt – enten høj fugtproduktion, utilstrækkelig ventilation eller for lave temperaturer. Ved at følge fugttilskuddet over tid kan man se, om boligen bevæger sig i den rigtige eller forkerte retning, og man kan se effekten af de tiltag, der iværksættes.

Porteføljeanalyse

Metoden bliver endnu stærkere, når alle boliger i en blok eller bebyggelse måles samtidig. Ved at sammenligne fugttilskud på tværs af boliger bliver afvigelser tydelige – og årsagerne lettere at identificere.

Hvis én bolig ligger højt mens de andre ligger normalt, peger det mod et lokalt problem i den enkelte bolig – enten adfærd som tøjtørring eller lukkede ventiler, eller en lokal teknisk fejl som defekt udsugning. Hvis flere boliger i samme opgang ligger højt, peger det mod et fælles problem, typisk relateret til ventilationsanlægget – mangelfuld indregulering, tilstoppede kanaler eller defekte komponenter. Hvis alle boliger ligger højt, peger det mod et generelt problem – måske er anlægget underdimensioneret, måske er der et klima- eller konstruktionsmæssigt problem.

Denne form for porteføljeanalyse er et kraftfuldt værktøj til at prioritere indsatser og skelne mellem individuelle og systemiske problemer. I stedet for at gætte på, hvor problemerne er, kan man se det direkte i data.



10 Driftsperspektivet: praktisk anvendelse af målingerne

For driftspersonale giver IoT-data et hurtigt og operationelt overblik. I stedet for at vente på beboerklager eller opdage problemer ved tilfældige besøg, kan driftspersonalet proaktivt identificere boliger, der kræver opmærksomhed. Det ændrer fundamentalt arbejdsgangen fra reaktiv til forebyggende.

Hvad data gør muligt

Data gør det lettere at identificere boliger med usædvanlig høj fugtbelastning ved at sammenligne på tværs af porteføljen, skelne mellem individuelle forhold og fælles tekniske problemer, dokumentere ventilationens funktion ved at verificere at fugtniveauet falder efter belastning, følge op på tekniske tiltag og adfærdsændringer ved at sammenligne før- og efter-data, og prioritere ressourcer baseret på fakta frem for antagelser.

Diagnostik af enkeltsager

Når en bolig systematisk ligger højere end de øvrige, er det et tegn på utilstrækkelig ventilation, høj fugtproduktion eller lave temperaturer. Årsagen kan være teknisk – defekt ventilator, tilstoppede kanaler, manglende indregulering – eller adfærdsmæssig – tøjtørring indendørs, lukkede ventiler, lav opvarmning.

Data kan hjælpe med at indsnævre årsagen. Hvis fugten er høj hele døgnet og ikke følger et tydeligt mønster, peger det mod ventilation eller konstruktion. Hvis fugten primært er høj på bestemte tidspunkter – om natten, i weekenden, eller når temperaturen ude falder – peger det mod adfærd eller kuldebroer.

Systemiske problemer

Hvis flere boliger i samme opgang eller blok ligger højt, peger det mod et fælles problem – typisk relateret til ventilationsanlægget. Det kan være mangelfuld indregulering efter installation, defekte komponenter som ventilatorer eller spjæld, utilstrækkelig dimensionering i forhold til belastningen, eller tilstoppede hovedkanaler.

Denne form for afklaring reducerer behovet for gætværk og styrker prioriteringen af indsatser, så ressourcerne bruges hvor de har størst effekt. Det er datadrevet drift i praksis.

11 Økonomien i forebyggelse: hvad koster det – og hvad sparer man?

Investering i IoT-baseret fugtmonitorering er ikke kun en teknisk beslutning – det er også en økonomisk fornuftig beslutning. Erfaringer fra både danske og internationale boligselskaber viser, at investeringen typisk tjener sig hjem på få måneder.

Social Return on Investment

Et omfattende casestudie fra en britisk boligorganisation med 145 boliger overvåget i 21 måneder viste et Social Return on Investment (SROI) på 2,68 – det vil sige, at for hver investeret krone blev der skabt social værdi for 2,68 kr. Det er et afkast, de færreste investeringer kan matche [15, 16, 17].

Den samlede investering indeholdte sensorer, installation, software og personaleresourcer. Værdien omfattede både direkte besparelser og indirekte gevinster:

- *Udbedring af skimmelp problemer i form af færre sager, hurtigere opdagelse og billigere udbedring*
- *Adgang til lokal rådgivning og support hvor beboere fik hjælp til at forstå og forbedre deres indeklime*
- *Forbedret evne til at opvarme boligen om vinteren, hvor data hjalp med at identificere og løse varmeproblemer*
- *Bedre beboertilfredshed med vedligeholdelse gennem mere proaktiv og datadrevet service*
- *Forbedret energieffektivitet.*

Danske erfaringer

Danske erfaringer fra almene boliger peger på tilbagebetalingstider på typisk 3-6 måneder, når man medregner de samlede besparelser. De primære besparelsesområder er skimmelsanering med 80-100% reduktion af omkostninger, hvor sager opdages tidligere så skaderne er mindre omfattende og i mange tilfælde kan forebygges helt. Reduceret energiforbrug til opvarmning på ca. 10% årligt gennem optimering af ventilation og identifikation af overventilerede boliger. Forebyggelse af siveskader med 50-75% reduktion og lækageskader med 25-50% reduktion, da sensorer der måler fugt også kan opdage unormale stigninger der indikerer lækager. Dertil kommer færre klagesager og konflikter, da data gør dialogen med beboere faktabaseret og reducerer skyldspørgsmål.

Konkret beregningseksempel

Et beregningseksempel fra en dansk boligafdeling med 784 boliger viste en årlig bruttobesparelse på 1,5 mio. kr., en samlet nettobesparelse over 5 år på 2,8 mio. kr. efter fradrag af investeringsomkostninger, og positiv likviditet fra år 1. Besparelsen

kom fra en kombination af forebyggede skimmelsager, reduceret energiforbrug, færre akutte reparationer og mere effektiv udnyttelse af personaleressourcer.

En vigtig pointe er, at omkostningerne ved datadrevet fugtstyring falder over tid, mens gevinsterne stiger. I opstartsfasen er der investeringer i sensorer, installation og opsætning, og der er en læringskurve for personalet. Men når systemet er etableret, falder driftsomkostningerne, personalet bliver fortrolige med data, rutinerne bliver effektive, og analyserne bliver mere præcise efterhånden som data akkumuleres.

Hvad koster det at lade være?

En enkelt skimmelsag kan koste fra 50.000 til flere hundrede tusinde kroner at udbedre, afhængigt af omfanget. Hertil kommer genhusning af beboere under udbedring, tab af huslejeindtægter, personaleressourcer til sagsbehandling, potentielle konflikter og i værste fald juridiske tvister, samt omdømmetab og negativ omtale. Og vigtigst: Disse omkostninger kommer uventet og kan ikke planlægges eller budgetteres.

Med datadrevet fugtstyring flyttes fokus fra reaktiv brandslukning til planlagt forebyggelse. Omkostningerne bliver forudsigelige, og de store, uventede udgifter reduceres markant.



12

Fra reaktiv til systematisk fugtstyring

Fugt og skimmelsvamp opstår som et resultat af samspillet mellem konstruktioner, installationer, brugsmønstre og klima. Det er et komplekst samspil, hvor mange faktorer spiller ind – og hvor traditionelle tilgange ofte kommer til kort, fordi de baserer sig på punktmålinger og reaktiv handling.

IoT-målinger gør det muligt at forstå dette samspil i detaljer og giver et robust grundlag for at forebygge problemer, før de opstår. Ved at indsamle kontinuerlige data kan man identificere risici tidligt før de bliver til synlige skader, diagnosticere årsager præcist så løsningen rammer rigtigt, målrette indsatser effektivt så ressourcerne bruges optimalt, og dokumentere effekten af tiltag så man ved hvad der virker.

Et paradigmeskift

Datadrevet fugtmonitorering repræsenterer et paradigmeskift i måden, vi arbejder med indeklima på. Det handler ikke længere om at reagere på klager og synlige skader, men om systematisk at identificere og håndtere risici, før de udvikler sig.

Det skaber overblik, transparens og dokumentation. Det gør det muligt at handle tidligt, rådgive mere præcist og sikre et bedre indeklima med færre skader og lavere omkostninger.

Konklusion

Teknologien er moden. Økonomien er dokumenteret. Fordelene er tydelige. For boligorganisationer, ejendomsadministratorer og private boligejere er spørgsmålet ikke længere, om man skal investere i fugtmonitorering – men hvornår.

En familie på fire producerer 10-15 liter vanddamp dagligt gennem almindelige aktiviteter. Vi tilbringer mere end 90% af vores tid indendørs, hvilket gør indeklimaet afgørende for vores velbefindende.

Skimmelsvampe kan vokse ved vedvarende relativ fugtighed på 75-80% – længe før der opstår synlig kondens. Konvektion transporterer 10-100 gange mere fugt end diffusion, hvilket gør lufttæthed kritisk.

Ved 20°C kan luften indeholde 17 gram vand pr. kubikmeter – ved 10°C kun 9 gram. Dugpunktet ved 20°C og 60% relativ fugtighed ligger omkring 12°C. Temperaturer under 18°C øger den relative fugtighed drastisk og bør undgås.

Typisk tilbagebetalingstid for IoT-monitorering er 3-6 måneder. Social Return on Investment er dokumenteret til 2,68 kr. pr. investeret krone. Besparelspotentialt på skimmelsvamp er 80-100% reduktion af omkostninger.

Kildeindex

- [1] **BYG-ERFA:** Skimmel i bygninger – vækstbetingelser og forebyggelse. BYG-ERFA erfaringsblad. Tilgængelig: <https://byg-erfa.dk/skimmel-bygninger>
- [2] **skimmel.dk:** Hvad er skimmelsvamp? Vidensformidling om skimmelsvampe i bygninger. Tilgængelig: <https://www.skimmel.dk>
- [3] **skimmel.dk:** Hold på varmen, men ikke på fugten! Tilgængelig: <https://www.skimmel.dk/900/>
- [4] **BYG-ERFA:** Dampspærre i klimaskærmen – fugttransport og materialer. BYG-ERFA erfaringsblad.
- [5] **BYG-ERFA:** Ventilation, indeklima og fugtgener i eksisterende enfamilieboliger. BYG-ERFA erfaringsblad.
- [6] **Johansson, P. et al. (2012):** Critical moisture conditions for mould growth on building materials. Building and Environment, vol. 62, pp. 201-209.
- [7] **BYG-ERFA:** Utætheder i klimaskærmen – måling, lokalisering og vurdering. BYG-ERFA erfaringsblad.
- [8] **BYG-ERFA:** Energibesparelser og fugtgener. BYG-ERFA erfaringsblad.
- [9] **BYG-ERFA:** Risiko ved udeluftventilerede krybekældre. BYG-ERFA erfaringsblad.
- [10] **BYG-ERFA:** Indvendig efterisolering af ældre ydermure. BYG-ERFA erfaringsblad.
- [11] **Statens Byggeforskningsinstitut:** Fugt i danske huse, 2017.
- [12] **BUILD Rapport 2020-18:** Påvirkning af indeklimaadfærd. Aalborg Universitet, BUILD.
- [13] **skimmel.dk:** Sådan undgår du skimmelsvamp. Tilgængelig: <https://www.skimmel.dk/for-beboere/saadan-undgaar-du-skimmelsvamp/>
- [14] **DS/EN ISO 7726:** Ergonomi i termisk miljø – Instrumenter til måling af fysiske størrelser.
- [15] **Aico-HomeLINK & University of Stirling:** The Social Value of Sensor Systems – An Introductory Guide (Guide 1), 2024.
- [16] **Aico-HomeLINK & University of Stirling:** How Home Sensor Systems Generate Social Value – An Evidence Based Guide (Guide 2), 2024.
- [17] **Aico-HomeLINK & University of Stirling:** Evaluating the Social Value of Sensor Systems – Case Study Guide (Guide 3), 2024.
- [18] **Sundhedsstyrelsen:** Sundhedsfaglige anbefalinger til håndtering af fugt og skimmelsvamp indendørs, marts 2025.
- [19] **BYG-ERFA:** Termografiske undersøgelser – kuldebroer, isoleringsevne og fugt i bygningskonstruktioner. BYG-ERFA erfaringsblad.
- [20] **SBi 2017-10:** Renovering af almene bebyggelser – Evaluering af otte helhedsplaner. Statens Byggeforskningsinstitut.
- [21] **BUILD Rapport 2025-03:** Sundhed i indeklimaet. Aalborg Universitet, BUILD.
- [22] **BYG-ERFA:** Begrænsning af byggefugt – forebyggelse af skimmelvækst. BYG-ERFA erfaringsblad.
- [23] **skimmel.dk:** Kolde og fugtige vægge. Tilgængelig: <https://www.skimmel.dk/kolde-og-fugtige-vaegge/>
- [24] **DS/EN ISO 13788:** Byggekomponenters og -konstruktioners hygrotermiske egenskaber – Indvendig overfladetemperatur til undgåelse af kritisk overfladefugt og kondens i bygningen.



CLIM**AID**