

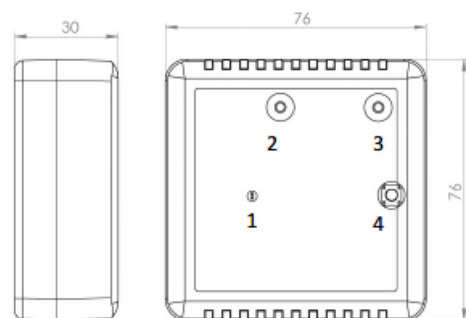


Fugtteknisk overvågning – Stejlepladsen etape 1: definition og opstilling af kritiske grænseværdier

1. Baggrund og formål

Rekvirenten ønsker at følge fugtforholdene i de mest fugtkritiske steder i vægkassetterne i byggefasen og i driftsfasen.

I tidligere notatet 323791_LHAM_011 af d. 1. er som led i den fugttekniske overvågning beskrevet, hvor i de præfabrikerede vægkassetter Teknologisk Institut finder det hensigtsmæssigt at indbygge målere for udførelse af en fugtteknisk overvågning over tid ved etape 1. Disse er derefter gennem dialog med rekvirenten justeret til at dække over etape 1-3. Det er dog rekvirenten der har den endelige overblik over loggerplaceringerne. Rekvirenten har i mellemtiden oplyst at ca. 50% af de til slut planlagte loggerne er monteret i første etape, dog har DTI ikke modtaget billedmateriale eller nyt overblik over deres endelige placering.



Billede 1. Skitse af loggertype fra Brugervejledning af loggerne bestilt af kunden.

I dette notat opstilles, som del i den fugttekniske overvågning, kritiske grænseværdier for monitorering. Disse kan bruges af rekvirenten til at opstille nogle alarmer for den af rekvirenten bestilte logger. Der gøres opmærksom på, at de opstillede grænseværdier er afhængige af materialer, konstruktionsopbygning, orientering af konstruktioner samt endelige placering af dataloggere. Hvormed grænseværdier og grænser for fysiske undersøgelser er vejledende og bør genbesøges når systemet er i drift og efter den første årsvariation.



2. Definition og opstilling af kritiske grænseværdier

I dette kapitel præsenteres de anbefalede kritiske grænseværdier for de fugtmålinger, som indgår i den tekniske overvågning af vægkassetterne installeret i byggeriet. Formålet er at definere konkrete grænser for træfugt og relativ luftfugtighed (RF), der kan anvendes som udløsende faktorer ift. risiko for skimmelsvampevækst for automatiske alarmer eller notifikationer under drifts- og evt. byggefasen. Grænseværdierne fastsættes med udgangspunkt i gældende anvisninger, erfaringstal fra lignende bygninger samt DTI's erfaringer fra vurderinger af risiko for skimmelvækst, fugtskader og bygningsmæssige problemer. Kapitlet redegør for de anbefalede alarmgrænser, herunder normale variationsniveauer og de konkrete tærskler (angivet i afsnit 3), hvor overskridelse bør give anledning til alarm og evt. destruktiv åbning af konstruktionerne.

Rekvirenten oplyser derudover at loggerne også angiver det absolutte fugtindhold. Installeret ude- og indeklimaloggere, kan forskel i absolut fugtindhold bruges til at bestemme en fugtbelastningsklasse i indeklimaet. Alternativt kan udeklima data indhentes fra en nærliggende vejrstation. Derefter gives yderligere anbefalinger til nogle alarmer ift. drift og målestabilitet af loggerne (data-tab), samt måleintensitet/interval.

2.1. Måleinterval

Instituttet anbefaler som minimum en måling hver 4. time. Dette kan påvirke batterilevetiden. Leverandør af loggerne har dog jf. mail d. 16. juni 2025 oplyst at der ved måling hver 4-6 time kan regnes med en batterilevetid på 6-8 år.

2.2. Grænseværdier

2.2.1. Træfugt

Leverandøren af de af rekvirenten bestilte loggere har oplyst både generelle og årstidsafhængige alarmgrænser for de målte træfugtsniveauer i dokumentet '2024_04_DS Energy om træfugt_Alarmgrænser', fremsendt d. 5. marts 2025. Disse udbygges/justeres i nedenstående.

Fast øvre grænseværdi for træfugt

På baggrund af SBI-anvisning 277, anbefales en generel alarm ved en 48 timers af 16% træfugt eller derover. Har man registreret tidligere opfugtning af træet ved modtagelse, eller under opførelse/drift registreret forhøjede fugtniveauer, nedjusteres denne grænse til 15% træfugt, da en genopblusning af eksisterende svampesporer i/på materialet kan ske ved dette fugtniveau. Der er ikke yderligere oplyst hvilke skruer der bruges til installation af loggerne, og derved måling af træfugten. Der tages udgangspunkt i at det er 'almindelige' uisolerede skruer. Ved korrekt opbevaring og montering af vægkassetterne, antages derfor at disse er tørre ved opførelse af byggeriet, samtidig med at evt. fugtpåvirkning vil kunne registreres direkte ved træoverfladerne.



Der er ikke nedsat nogen nedre grænse for fugtniveauet, da dette ikke vurderes nødvendigt ift. bygnings fremtidige drift. Evt. ekstrem udtørring af træ vil potentielt medføre deformation eller revnedannelse. Fugtindhold til så lavt niveau forventes dog kun at forekomme i forbindelse med tvangsudtørringer af evt. fugtskader. Hvormed det ikke vurderes nødvendigt at opstille nedre grænser, da dette vil afhænge af et evt. udtørningsforløb og skal dermed angives ifm. med det.

Grundet udeluftens reducerede evne til at optage fugt om vinteren, kan det være nødvendigt at opjustere alarmgrænsen. Leverandør af loggerne anbefaler ligeledes sæsonbestemte alarmgrænser, med op til 23-24 vægt-%træfugt om vinteren. Det anbefales dog at nedsætte dette til 20 % træfugt om vinteren.

Denne skærpede alarm om vinteren kan samtidig bruges for at vurdere risiko for svampeangreb i konstruktionen. Om sommeren anbefales også at opsætte en sådan alarmgrænse.

Markant stigning i træfugt

Pludselige, store stigninger i træfugten kan være indikation af akut opståede skader, der kræver hurtig reaktion. Der anbefales derfor en alarm ved en stigning på >5 vægt-%træfugt mellem to efterfølgende målinger. Alarmen bør dog kun udløses, hvis efterfølgende målepunkter ikke falder til forhenværende værdi (altså at der ikke er tale om en fejlagtig værdi).

2.2.2. Relativ luftfugtighed (RF)

Generelt er der en risiko for skimmelsvampevækst ved en relativ luftfugtighed på 75-80 %, men dette er afhængig af andre parametre såsom temperatur, materialetype og -overflade. Derfor er årstidsvariationerne ligeledes en faktor for om der er risiko for vækst af skimmelsvamp. DTI anbefaler derfor, at man kun anvender en fast RF-grænseværdi som et pejlemærke, og supplerer denne med evaluering af kritisk RF for skimmelsvampevækst baseret på LIM kurver (se yderligere beskrivelse nedenfor) som grænseværdi.

Skimmelrisiko – LIM – baseret på RH målinger

For at vurdere risiko for skimmelsvampevækst, kan den målte relative luftfugtighed i konstruktionen sammenholdes med en LIM ('Lowest IsoPLEth for Mould growth') kurve. Der findes tre forskellige kurver én for hhv.:

- Optimalt substrat,
- Bioanvendeligt substrat,
- Mindre bioanvendeligt substrat.

Funktionen for bioanvendeligt substrat er givet ved:

$$RF_{kritisk} = \cosh(0.128324 \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \cdot (30 \text{ }^{\circ}\text{C} - T)) + 75$$

Hvor T er temperaturen i grader celsius og $RF_{kritisk}$ er den kritiske grænse for luftfugtigheden i konstruktionen.



Værdier anvendt i denne formel er efter samme model, som bruges i fugtsimuleringsprogrammet WUFI. Overstiger den relative luftfugtighed de forskellige målepunkter i konstruktionen denne kritiske luftfugtighed i en længerevarende og sammenhængende periode, kan der opstå risiko for skimmelvækst, se yderligere i afsnit 3.

Markant stigning i RH

Ligesom for pludselige, store stigninger i træfugt kan være indikation af akut opståede skader, der kræver hurtig reaktion, gør det samme sig gældende for den relative luftfugtighed. Der anbefales derfor en alarm ved en stigning på 10 % RF mellem to efterfølgende målinger i konstruktionen. Alarmen bør dog kun udløses, hvis efterfølgende målepunkter ikke falder til forhenværende værdi (altså at der ikke er tale om en fejlagtig værdi).

Stigning i RH ved lav udendørs luftfugtighed

Som simpelt alternativ, kan der opsættes en skærpet alarm, hvis der skulle ske en stigning i RF i facaderne ved lav udendørs luftfugtighed, dvs. en luftfugtighed under <70 %. Her anbefales i så fald en alarm ved en stigning på 5 % RF mellem to efterfølgende målinger i konstruktionen

2.2.3. Absolut fugt

Absolut fugt ift dugpunkt og kritisk overfladetemperatur

Som oplyst af rekvirenten kan sensorerne oplyse den absolutte fugt (AH), denne værdi kan anvendes til vurdering af henholdsvis dugpunktstemperaturen (overfladetemperaturen hvor der vil forekomme kondens) eller den kritiske overfladetemperatur (hvor der er risiko for skimmelsvampvækst). Der vurderes dog ikke, at en alarm er nødvendigt, på baggrund af de foreslået opstillede alarmer for træfugt og RF.

2.3. Fugtbelastningsklasse

Hvor LIM værdien tager højde for relativ luftfugtighed og temperatur i konstruktionen, kan fugtbelastningsklasser (FBK) bruges til at vurdere den generelle fugtbelastning fra indeklimaet, og derfor være en indikation for ændringer i brugeradfærd, dårlig ventilation, osv. FBK tager højde for fugttilskud ved at kigge på forskellen i den absolutte fugt (AH) i inde- og udeklimaet.

Fugtbelastningsklasserne ligger på en skala fra 1 til 5, hvor 1 er den tørreste (eksempelvis tørre lagerhaller, eller industribygninger) og 5 er den vådeste (eksempelvis svømmehaller).

Angiver loggere ikke direkte den absolutte fugtindhold, kan denne beregnes ud fra følgende formel:

$$AH = 1000 \cdot \frac{RF \cdot P_s}{R_w \cdot (T + 273.15)}$$

Hvor AH er den absolutte luftfugtighed, RF er den relative luftfugtighed, T er temperaturen givet i grader celsius, R_w er den specifikke gaskonstant for vand, som er $461.5 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ og P_s er det mættede damptryk.



Det mættede damptryk er temperaturafhængigt og kan estimeres med Arden Buck ligningen:

$$P_s = a \cdot \exp \left(\left(b - \frac{T}{c} \right) \left(\frac{T}{d + T} \right) \right)$$

hvor a , b , c og d er konstanter der afhænger af om temperaturen, T , er over eller under 0°C , som kan findes i tabellen herunder:

Konstant Tilfælde	a	b	c	d
$T > 0^\circ\text{C}$	6,1121	18,678	234,5	257,14
$T < 0^\circ\text{C}$	6,1115	23,036	333,7	279,82

For at bestemme FBK fra enten beregnede eller målte værdier for ΔH af inde- og udeklima skal fugttilskuddet, altså forskellen i den absolutte luftfugtighed, beregnes ved:

$$\Delta AH = AH_{\text{ude}} - AH_{\text{inde}}$$

Herefter kan fugtbelastningsklassen findes på følgende måder, afhængigt af udeluftens måneds-middeltemperatur (T_m):

Temperaturforhold	Bestemmelsesmetode Enhed for ΔAH i gram vand per m^3 luft		FBK
$T_m < 0^\circ\text{C}$	$\Delta AH < 2$		1
	$2 < \Delta AH < 4$		2
	$4 < \Delta AH < 6$		3
	$8 < \Delta AH < 10$		4
	$10 < \Delta AH$		5
$0^\circ\text{C} < T_m < 20^\circ\text{C}$	$G(x) = x - T_m \cdot \frac{(x - 0,84)}{20}$	$\Delta AH < G(2)$	1
		$G(2) < \Delta AH < G(4)$	2
		$G(4) < \Delta AH < G(6)$	3
		$G(6) < \Delta AH < G(8)$	4
		$G(8) < \Delta AH$	5
$T_m > 20^\circ\text{C}$	$\Delta AH < 0,77$		1
	$\Delta AH > 0,77$		5

Det anbefales at FBK vurderes ved brug af månedsgennemsnit af den absolutte luftfugtighed. Fugttilskuddet vil typisk være højere om vinteren, end om sommeren. Boliger med normal beboelsestæthed vil ifølge SBI-anvisning 277 have en fugtbelastningsklasse på 2, mens boliger med ukendt beboelsestæthed samt uden mekanisk ventilation vil have en klasse på 3.



2.4. Datatab

Der er altid risiko for datatab ved enten manglende eller fejlagtig data. Det anbefales derfor, at der sendes alarm ved manglende værdier efter 48 timer, 1 uge og 4 uger med mangelfulde data. Mangelfuldt data refererer i dette henseende både til manglende signal (og derfor ingen data) eller urealistiske værdier. Det vil sige, at de målte RFværdier skal være mellem 0 % og 100 %, samt at temperaturen forventes at være mellem -15 °C og 35 °C for indbyggede sensorer på den kolde side af dampspærren.

Da sensorerne er batteridrevne, er det erfaringsmæssigt fordelagtigt at have en alarm, hvis spændingen på batteriet når under et kritisk niveau, så det kan udskiftes. Dette niveau er afhængigt af de anvendte batterier, og leverandøren bør derfor kontaktes for at vejlede om en relevant grænse.

2.5. Yderlige anbefalinger

Da der ved de opsatte alarmgrænser ikke kigges på om der over årene opstår en fugtphobning i konstruktionen, anbefales der at kigge på alle måledata som minimum 1 gang årligt. DTI kan være behjælpelig med dette, såfremt det ønskes. Ligeledes bistår DTI gerne med rådgivning omkring evt. justering af målegrænser og grænser for fysiske undersøgelser.

3. Anbefalinger af grænser for fysisk undersøgelse

På baggrund af de ovenstående opstillede grænseværdier, samt information fra SBI-anvisninger 274 og 204 er det Instituttets anbefaling, at der foretages en nærmere, fysisk undersøgelse af konstruktionen (ved åbning af udvalgte steder) i følgende situationer:

- Træfugt
 - Grænseværdier for træfugten er afhængigt af årstiden:
 - For vinterhalvåret anbefales der aktion hvis den gennemsnitlige træfugt er over 20 vægt-% i mere end 7 dage.
 - For sommerhalvåret anbefales der aktion hvis den gennemsnitlige træfugt er over 16 vægt-% i mere end 7 dage.
 - Hvis der registreres en pludselig stigning på >5 vægt-% træfugt, som ikke hurtigt falder tilbage til tidligere niveau, og/eller niveauet herefter stabiliserer sig over 15–16 %.



- Relativ luft fugtighed (RF)
 - Det anbefales at bruge LIM-værdi ift. vurdering af den målte RF. Hvis RF gentagne gange ligger over den kritiske LIM-værdi for skimmelvækst ved den aktuelle temperatur (dvs. målt RF er over beregnet $RF_{kritisk}$ i længere sammenhængende perioder).
 - Som alternativt til LIM-værdi kan følgende anvendes:
 - Hvis RF i konstruktionen i længere perioder (4-5 uger) ligger over 75–80 %, ved temperaturer omkring 15–25 °C.
 - Hvis RF i konstruktionen i længere perioder (6-7 uger) ligger over 90-95 %, ved temperaturer omkring 5-10 °C eller derunder.
- Kombinerede indikatorer
 - Hvis der både ses forøgede træfugtniveauer (fx >16–20 %) og forhøjet RF (fx >75–80 %) i samme område af konstruktionen, særligt hvis dette gentager sig over flere uger eller måneder.
 - Hvis der samtidig registreres stigende fugt i konstruktionen ved lav udendørs RF (fx stigning >3 %-point RF mellem målinger, når udendørs RF <70 %), hvilket kan indikere vandindtrængning frem for normale klimavariationer.

Såfremt nogen af ovenstående grænser overskrides, anbefales det at kontakte Teknologisk Institut forud for fysiske undersøgelser.

Lies Vanhoutteghem
Sektionsleder, ph.d., Byggeri og Anlæg

M: +45 72 20 22 26
E: liva@teknologisk.dk