

SOFT: Sporbar Online Fugt- måling i Træflis

M5: Guideline omkring online fugtmåling på flis fyrede
værker (v2)



TEKNOLOGISK
INSTITUT



SOFT: Sporbar Online Fugtmåling i Træ- flis

M5: Guideline omkring online fugtmåling på flis fyrede værker
(v2)

Udarbejdet af

Teknologisk Institut
Kongsvang Allé 29
8000 Aarhus C
Energi og Klima

Oktober 2020

Forfatter: Henrik Kjeldsen, Anne Mette Frey og Jan Nielsen



Indholdsfortegnelse

1.	Indledning.....	4
2.	Anvendte begreber - fugtmåling.....	4
2.1.	Metrologi	5
3.	Hvad skal der tages højde for ved placering af udstyr?	6
4.	Justering og kalibrering	7
5.	Konkrete eksempler: Case-studies.....	8
5.1.	In-line målinger baseret på mikrobølger (MW)	8
5.2.	Måling med NIR	8
5.3.	Måling med fugttransducer.....	9
6.	Reference	9

1. Indledning

Formålet med denne guideline er at yde vejledning til opsætning og brug af online fugtmåleudstyr. Først diskuteres, hvad "online" dækker over, og relevante metrologiske begreber gennemgås. Placeringen af udstyr diskuteres. Særlig vægt er lagt på justering / kalibrering af udstyr, herunder en række opmærksomhedspunkter. Til sidst gennemgås nogle virkelige cases.

Online fugtmåleudstyr kan gøre det muligt at optimere både styringen af kedler og modtagekontrol. Grunden er, at det bliver muligt at måle meget hurtigere og lettere, end det er med den traditionelle tørre-vejemetode. Det bliver således muligt at måle hurtigt og på en meget en stor del af brændslet. Som eksempel kan nævnes, at styring af kraftværker kan gøres på baggrund af målinger på flisen umiddelbart inden den føres ind i kedlen. Fordele i forbindelse med modtagekontrol inkluderer måling på en større del af brændslet (mindre usikkerhed på prøveudtagning) og væsentlig bedre potentiale for at håndtere flisen baseret på dens fugtindhold.

2. Anvendte begreber - fugtmåling

Måleudstyret kan placeres på forskellige måder. I det følgende diskuteres tre forskellige typer placering: 1) In-line, 2) at-line og 3) off-line. I alle tilfældene kan måleudstyret være "online", forstået på den måde at det kan levere måledata hurtigt, f.eks. via en internetforbindelse).

In-line måleudstyr placeres typisk på et transportbånd, som illustreret i [Figur 1](#) ~~Figur 2~~, der viser måleudstyr placeret mellem døgnsilos og kedel på Verdo's værk i Randers. Fordelen ved sådanne in-line-målinger er at udstyret "ser" en meget stor del af træflisen. Der er derfor ikke problemer med prøveudtagning i forbindelse med måleprocessen – et skridt som kan medføre betydelig fejl/usikkerhed på fugtmålinger (se f.eks. PSO project no. 5297: Summary Report and Guidelines).

Alternativt kan udstyr placeres at-line. Eksemplet i [Figur 2](#) viser udstyr som kan tage prøver i en faldende strøm med jævne mellemrum. I dette tilfælde måles der kun på en mindre del af træflisen i forhold til in-line-metoder. Dog kan prøver tages med relativt kort mellemrum, og det vil typisk også give et retvisende billede af fugtindholdet – ved mindre der er mange, meget store variationer.



Figur 1. Eksempel på in-line målesystem: Udstyr (her baseret på MW) er placeret på transportbåndet umiddelbart før kedlerne.



Figur 2. Eksempel på udstyr til at-line måling (her en fugttransducer). Udstyret er designet til at tage prøver i en faldende strøm med jævne mellemrum.



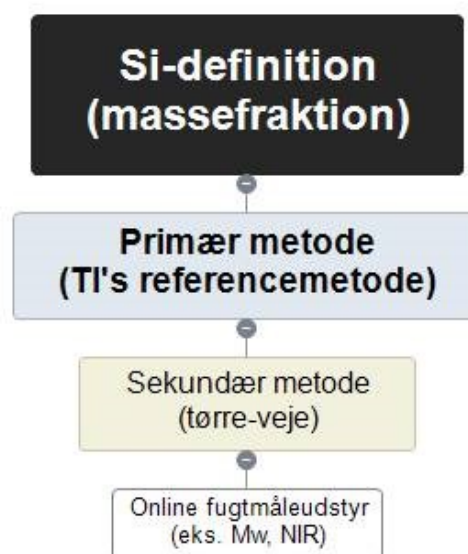
Figur 3. Eksempel på udstyr til off-line målinger (her: NIR). Prøver udtages i en separat proces og placeres derefter i prøvebakken.

En tredje mulighed er en off-line-placering. I dette tilfælde foretages prøveudtagningen typisk i en separat proces og prøverne måles derefter "manuelt" med fugtmålingsudstyret, som illustreret i [Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.Figur 3](#).

En række faktorer skal afdækkes inden anskaffelsesprocessen af udstyr til fugtbestemmelse kan påbegyndes. Det er vigtigt først at klargøre formålet med udstyret. Er det til afregning eller styring af kedlen? Hvilke krav er der til nøjagtighed og præcision? Derefter bør type af udstyr, placering og kalibrering overvejes. Disse aspekter er koblede og kan derfor ikke adskilles helt.

2.1. Metrologi

Det er relevant kort at redegøre for nogle metrologiske begreber. Det første er **sporbarhed**. Med sporbarhed menes at en måling kan føres tilbage den relevante SI-enheds definition. I Figur 1 er det vist hvordan den metrologiske sporbarhedskæde kunne se ud for måling af materialefugt i træflis med online måleudstyr. SI-definitionen for materialefugt er massefraktion, dvs. kg vand per kg materiale. Den primære metode i Figur 1 (f.eks. Teknologisk Instituts referencemetode for materialefugt) måler materialefugt



Figur 4. Metrologisk sporbarhedskæde for materialefugt i træflis.

direkte i en særligt udviklet måleopstilling. Ved at sammenligne målinger udført med tørre-vejemetoden [eg](#) med målinger foretaget [i](#) med en primær metode er det i princippet muligt at gøre tørre-vejemetoden (næste trin i Figur 1) sporbar under visse omstændigheder, se "kalibrering". Hvis tørre-vejemetoden er gjort sporbar, er det også muligt at kalibrere det installerede online fugtmåleudstyret [et](#).

Anvendelsen af Teknologiske Instituts referencemetode for materialefugt på træflis er beskrevet i "M4: SOFT – Reference Method".

I nær forbindelse til ovenstående er de to begreber **kalibrering** og **justering**. Når måleudstyr kalibreres, sammenlignes dets visning med værdien af en tilsvarende referencemåling. Det er et krav at referencen er sporbar. I denne rapport sammenlignes fugtmåleudstyrets visninger med målinger foretaget med tørre-vejemetoden. Tørre-vejemetoden er her ikke sammenlignet med referencemetoden og således ikke sporbar. Det er derfor ikke muligt at foretage en egentlig kalibrering af fugtmåleudstyret. Der er derimod muligt at lave en justering. Justeringen indebærer at udstyrets visning korrigeres på en sådan måde, at der er bedst mulig overensstemmelse med tørre-vejemålingerne.

Præcision og **nøjagtighed** er to andre metrologiske begreber som let kan forveksles. Præcision er et udtryk for, i hvilken grad en måling kan reproduceres med omtrent samme resultat. En lille spredning på tallene i en måleserie svarer til høj præcision (også kaldet god/stor præcision). Nøjagtigheden udtrykker resultatets overensstemmelse med den søgte størrelse.

3. Hvad skal der tages højde for ved placering af udstyr?

Som det fremgår af ovenstående, har placering af instrumentet stor betydning for hvad der kan måles. Følgende skal derfor overvejes:

1. Udstyret skal kunne foretage den ønskede måling
 - a. Tillader placeringen målingerne? Skal data f.eks. anvendes til styring af kedler skal der måles på brændslet umiddelbart inden afbrænding. Måling i forbindelse med modtagekontrol skal kunne henføres til det relevante parti.
 - b. Er afstanden mellem flis og udstyr passende? Undersøg hvilke krav producenten stiller og tjek om de kan opfyldes.
 - c. Er der forstyrrende elementer i nærheden? Det kan f.eks. være andre måleinstrumenter som interfererer, elektrisk støj, vibrationer m.v.
2. Udstyret skal måle på en repræsentativ del af træflisen. Som nævnt giver [in-line](#) måling på transportbånd gode muligheder for at måle på en meget stor del af flisen. Alternativt vil [prøveudtagning](#) i faldende strøm el.lign. typisk være repræsentativ. Derimod stiller off-line måleudstyr større krav til prøveudtagningsproceduren.
3. Drift
 - a. Er udstyret beskyttet mod slid?
 - b. Er det et krav at udstyret holdes rent? Kan det lade sig gøre?
 - c. Er det muligt at foretage inspektion, vedligeholdelse og rengøring af udstyret?

Det er indlysende at valg af udstyrstype og placeringen af udstyret er tæt koblet. Som følge deraf skal type af udstyr og placering betragtes samlet. Det giver f.eks. ikke mening at vælge en in-line-placering ved et transportbånd, hvis udstyret ikke er egnet til dette.

Ud over ovenstående aspekter vedr. måling og drift skal kalibrering også tages i betragtning. Er det ikke muligt at kalibrere [og justere](#) udstyret – f.eks. fordi det ikke er muligt at udtage referenceprøver – er det [heller](#) ikke muligt at gøre måleudstyret retvisende. Derfor skal hele kalibreringsproceduren overvejes:

- Hvordan tilvejebringes materialet til referenceprøver til laboratorieanalyse (typisk LoD = tørre-veje).
- Hvordan sikres det at referenceprøver svare til det, der måles med in-line måleudstyret.
- Hvordan sikres det at referenceprøverne dækker hele måleområdet jævnt?

Kalibreringsaspektet diskuteres nedenfor.

4. Justering og kalibrering

Forskellen på justering og kalibrering er diskuteret ovenfor. I mange tilfælde kan der kun udføres en justering, og i det tilfælde anbefales tørre-vejemetoden (LoD = Loss on Drying) til referencemålingerne. Det grundlæggende princip i justeringsprocessen er at en række referenceprøve af træflis måles både med fugtmåleudstyret og referencemetoden. Hvis det ikke kan lade sig gøre at måle på eksakt den samme flis med det to metoder, er det nødvendigt at måle på tilsvarende flisprøver. Dette stiller imidlertid store krav til proceduren, således det sikres at prøverne er *helt* tilsvarende.

Udført korrekt giver tørre-vejemetoden nøjagtige resultater. Eksempler på fejlkilder er følgende:

- Prøvematerialet tørrer efter prøveudtagning og inden første vejning
- Prøvematerialet optager fugt efter tørring og inden anden vejning (vej umiddelbart efter afkøling)
- Anden vejning er forkert fordi vægten er påvirket af den varme prøve
- Ovnens temperatur er ikke korrekt
- Tørretiden er ikke tilstrækkelig
- Ventilationen i oven er ikke tilstrækkelig

Det er vigtigt at der fra begyndelsen etableres fagligt forsvarlige kalibreringsprocedure. Der bør også laves en plan for hvornår/hvor ofte udstyres kalibreres. Det skal sikres at personalet er instrueret tilstrækkeligt godt.

Det skal sikres at kalibreringsprøverne varierer betydeligt i fugtindhold, så hele måleområdet er jævnt dækket. Ellers er der stor risiko for at kalibrering ikke er korrekt i yderkanterne af måleområdet. Det kan være nødvendigt at producere specielle prøver til kalibrering, f.eks. ved befugtning eller delvist tørring af eksisterende flis.

Måling fra bånd: Hvis det ikke er muligt at foretage kalibreringen på eksakt den samme prøve som in-line-udstyret har målt på udtages prøver fra "båndet" i veldefineret tidsinterval (f.eks. 3 – 5 minutter) over hvilket der også måles in-line. For sikre en repræsentativ [sampling-prøveudtagning](#) udtages der et stort antal fraktioner (på tværs af båndet), som efterfølgende blandes grundigt; herfra udtages der 3 prøver til LoD.



Særlig opmærksomhed skal rettes mod prøver med høj fugtværdi, hvor der kan forventes særlige udfordringer i forhold til fugtmålinger.

Kalibrering bør foretages under almindelige klimabetingelser.

5. Konkrete eksempler: Case-studies

I forbindelse med SOFT-projektet er forskellig former for udstyr til fugtmåling undersøgt. I det følgende beskrives kort nogle af fordelene og ulemperne ved forskellige former for udstyr. Der er eksempler på nøjagtighed af de forskellige måletyper i "M6 - Notat om on-site proof-of-concept målekampagne v2".

5.1. In-line målinger baseret på mikrobølger (MW)

Mikrobølgeudstyr (MW) er meget kort fortalt baseret på at måle træflisens påvirkning af mikrobølger. Dæmpningen af mikrobølgernes intensitet anvendes i mange tilfælde, men også faseforskydningen kan anvendes. Det er typisk nødvendigt at korrigere målingerne for fladedensiteten (almindeligvis målt i kg/m^2), og derfor udføres ofte en supplerende radiometrisk måling.

Metoden er særligt egnet til måling på transportbånd, med sender og modtage placeret hhv. under og over båndet. Målingerne er penetrerende, hvilket betyder at der måles på en meget stor del af træflisen. Udstyret kan i den anvendte form derimod ikke anvendes til at-line- eller off-line-målinger.

En anden fordel ved udstyret er at det ikke er følsomt overfor støv. Det er heller ikke udsat for slid, idet det ikke er i direkte kontakt med flisen.

En ulempe ved udstyret er at kalibrering er vanskelig. Placeringen in-line – i vores tilfælde mellem døgnsilos og kedler – gør at [udstyret](#) kun kan kalibreres [på via](#) den flis som tilfældigvis kommer forbi på et givet tidspunkt. Der er derfor en betydelig risiko for at kalibreringsprøverne ikke dækker hele fugtmåleområdet og at de ikke er jævnt fordelt [over dette](#). Placering af særligt forberedt prøvemateriale til kalibreringen er vanskelig og kræver afbrydelse af brændseltilførslen til kedlerne.

5.2. Måling med NIR

NIR-målinger er baseret på det faktum at refleksion af infrarød stråling afhænger af fugtindholdet. Modsat MW-målingerne trænger den infrarøde stråling kun få mm ind i flisen. Det har den fordel at målingerne ikke behøver at blive korrigeret for lasten (kg/m^3). På den anden side er der en risiko for at overfladeeffekter kan påvirke målingerne.

Udstyret er testet både in-line (Verdo i Randers) og off-line (Aabybro). I sidste tilfælde var udstyret monteret på et specielt stativ med roterende prøvebakke, se [Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.Figur 3](#). I in-line-testen var udstyret

placeret over transportbåndet mellem døgn silo og kedler (ved siden af MW-udstyret i Figur 2). Af de forskellige in-line-metoder afprøvet i SOFT-projektet udviste NIR-målingerne den bedste præcision, dvs. den mindste spredning.

NIR-udstyret er ligesom MW-udstyret ikke i direkte kontakt med flisen og derfor ikke udsat for slid. Derimod kan det påvirkes af støv. (Et trykluftsystem er installeret for at holde udstyrets linse ren, men periodisk rengøring kan alligevel blive påkrævet.)

Kalibreringsmæssigt er der de samme udfordringer som nævnt ovenfor for MW-udstyret. Det ville dog i princippet være muligt at designe udstyr til kalibrering parallelt med båndet, fordi udstyret er relativt let at flytte. Anvendes udstyret i off-line-versionen er kalibreringen væsentligt simple.

5.3. Måling med fugttransducer

Måleprincippet for en fugttransducer minder meget om det for mikrobølger, med de undtagelser at 1) sender og modtager er bygget sammen til en enhed og 2) der anvendes rf-bølger i stedet for mikrobølger (lavere frekvens). Sammenlignet med de øvrige metoder afprøvet i SOFT-projektet udviste fugttransduceren lidt bedre præcision en MW-udstyret, men ikke så god som in-line NIR-målingerne.

Transduceren er ikke så egnet til in-line-målinger. Kontakt med flisen er påkrævet under målingerne, og transduceren ville derfor blive udsat for et betydeligt slid grundet den konstante påvirkning af flis som bevæger sig forbi. Mulighederne er derfor en at-line-placering som vist i [Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.Figur 3](#) eller en off-line-placering (testet i SOFT projektet). I disse placeringerne vil udstyret kun være udsat for et begrænset slid. Påvirkning med støv er ikke et problem.

En betydelig fordel ved transduceren er at den umiddelbart er væsentligt lettere at kalibrere. Det er nemlig muligt at placere en kalibreringsprøve ovenpå transduceren og derefter overføre prøven til tørre-vejeanalyse.

6. Reference

Denne guideline bygger bl.a. på rapporten "M6 - Notat om on-site proof-of-concept målekampagne v2" som er udarbejdet under SOFT-projektet. I denne rapport demonstreres anvendelsen af forskellige typer udstyr. Den vigtigste konklusion fra rapporten er at kalibreringsprocessen er essentiel i forhold til at opnå fugtmålinger af høj kvalitet.



TEKNOLOGISK
INSTITUT