

Praktisk anvendelse af nærinfrarød teknologi til on-line måling

af R..P. Hammond, Applications Development Manager, Infrared Engineering Ltd. Maldon, Essex, England

Introduktion

Nærinfrarød teknikker har været anvendt til løsning af on-line analyseopgaver i mere end 25 år. I starten var fugtighed den væsentlige måleparameter, da det er den komponent i produkter fra industrielle processer, det er mest almindeligt at kontrollere og evt. regulere. Dette blev snart fulgt af coating-fladevægts målinger på produkter som lim på papir og også af tykkelsesmåling af plastfolie såsom polyethylen, polypropylen og polyester. Mange flere anvendelser er kommet til gennem årene og anvendelsesområdet vokser til stadighed.

Blandt de potentielle brugere er der muligvis to eller tre forskellige undergrupper med hver deres egne behov. Dem, der er knyttet til produktionen ønsker normalt kontinuert og direkte måling på produktet under fremstillingen og de benytter et infrarødt instrument som et processtyringsværktøj. Installationerne er enten permanente eller langvarige og instrumentet er dedikeret til den relevante måling (eller målinger). Kvalitetskontrolbrugere er mere optaget af langtidsovervågning og er mindre interesseret i automatisk processtyring, så en kontinuert måling opfattes så muligvis ikke som særligt vital. Procesudviklings- og -forskningsgrupper er ofte beskæftiget med midlertidige installationer og hvilke målinger, der er relevante, kan variere fra projekt til projekt. De er derfor mere optaget af fleksibilitet end af robusthed og brugervenlighed.

Til at tilgodese behovene hos disse forskellige brugere findes der to klart adskilte grupper af instrumenter med forskellig oprindelse. Det produktionsorienterede instrument er normalt fra begyndelsen designet til industrielt brug on-line. Instrumentet er normalt prækonfigureret til de relevante målinger og de specielle bølgelængder, der kræves dertil stammer fra mellem 2 og 12 omhyggeligt udvalgte interferensfiltre. De forskningsorienterede instrumenter er hovedsageligt blevet tilpasset ud fra laboratorieinstrumenter og er ofte i stand til at måle hele det nærinfrarøde spektrum ved hjælp af en monokromator, et interferometer eller som den nyeste udvikling det akustooptiske tunede filter. Den ekstra målefleksibilitet disse tilbyder betales der for ved en større kompleksitet og en højere anskaffelsessum. Begge grupper instrumenter kan benyttes i forbindelse med kvalitetskontrol - valget afhænger af lokale omstændigheder. Denne artikel omhandler primært det mere enkle filterinstrument, som har den største udbredelse i industrielle omgivelser til proceskontrol, og har til hensigt at gennemgå metoder og krav til on-line analyse med praktiske eksempler.

Procesingeniørens krav

Prioriteterne for produktionens bruger kan være meget forskellig fra andre grupper og et instrument, som fungerer tilfredsstillende under laborativilkår vil antagelig ikke tilgodese

deres behov. Kravene, som er kort beskrevet nedenstående, kan anvendes til ikke kun infrarøde instrumenter, men reelt alle on-line sensorer.

Der er normalt behov for realtids information til at muliggøre umiddelbare beslutninger eller endnu bedre - automatisk proceskontrol. Den totale anskaffelsessum for instrumentet inklusiv installation og idriftsættelse skal kunne give en acceptabel tilbagebetalingstid, som vil kunne være 12 måneder eller mindre.

Instrumentets betjening skal være nem at lære og behovet for indblanding af operatøren skal være minimalt. Vedligeholdelsesbehovet bør være lille for at give maksimal driftstid, specielt hvis det indgår i en lukket sløjfe regulering.

Instrumentet skal være pålideligt og kunne tåle procesmiljøet og det skal kunne forventes at det kan være i funktion kontinuert 24 timer i døgnet. Naturligvis er en overholdelse af nødvendige standarder for sikkerhed og hygiejne vigtig.

Nærinfrarøde måleprincipper

Det nærinfrarøde område er defineret som den del af det elektromagnetiske spektrum som rummer bølgelængder på 700-2500 nm (dvs længere end synligt rødt). Hovedparten af on-line infrarøde instrumenter udnytter lys i bølgelængdeområdet 1000 til 2500 nm.

Målemetoden er baseret på det faktum, at de forskellige molekyle-grupper absorberer infrarødt lys ved forskellige veldefinerede bølgelængder. Jo større koncentration af en bestemt gruppe, jo mere lys bliver absorberet ved disse bølgelængder. Atombindingerne i et molekyle kan visualiseres ved skruefjedre som vibrerer ved en resonansfrekvens når de rammes af og delvist absorberer lysenergi ved bestemte bølgelængder. Hovedparten af de grupper, der har en absorption i det infrarøde område er dem med atombindinger, der

involverer brint - f.eks. O-H, C-H og N-H.

Figur 1 viser et eksempel på et diffus reflektans spektrum for papir ved et lavt og højt fugtighedsindhold. Absorptionsbåndene ved 1450 og 1940 nm skyldes vibration af OH grupperne i frit vand.

Ændringen i lysets intensitet ved en absorptionsbølgelængde, når det passerer gennem et gennemsigtigt medie som f.eks. en væske eller klar folie, følger en eksponentialfunktion (Beer- Lambert's lov):

$$\text{Log} (I_0 / I_t) = k \cdot c \cdot t$$

hvor

I_0 = indfaldende energi

I_t = transmitteret energi

t = vejlængde for lyset

c = koncentration af absorberen

k = konstant

Det kan ses at hvis koncentrationen af absorberen er konstant, kan vejlængden (dvs tykkelsen) måles og omvendt - hvis vejlængden er konstant, så kan koncentrationen bestemmes.

I praksis er en direkte måling af den indfaldende energi, I_0 , ikke praktisk, så den bestemmes ved hjælp af en eller flere 'reference'-bølgelængder som ligger tæt ved absorptionsintervallet. Logaritmen af forholdet mellem lysintensitet ved

referencebølgelængden og absorptionsbølgelængden er proportional til produktet af koncentration og vejlængde og er uafhængig af belysningens absolutte niveau. Ligningen kan også anvendes til reflektansmålinger ved at erstatte I_t med I_r (reflekteret energi). Reflektansteknikker bliver normalt anvendt til måling af koncentration i diffust spredende (dvs uigennemsigtige) medier og til koncentration eller tykkelse af transparente materialer som er coatet på et diffust spredende substrat såsom limcoating på papir. I et uigennemsigtigt materiale vil den del af det indfaldende lys som trænger gennem overfladen blive udsat for efterfølgende refleksioner fra grænselag inde i materialet før det vender tilbage som spredt lys. Indtrængningsdybden afhænger af materialets spredningskarakteristik og af bølgelængden for det indfaldende lys og den kan variere fra nogle få μm til flere millimeter. På baggrund af denne begrænsede indtrængning i uigennemsigtige materialer er det nødvendigt at den overflade, som betragtes ved målingen, er repræsentativ for eller har en veldefineret relation til den samlede mængde af materiale. Dette er især vigtigt for fugtighedsmålinger, hvor produktet umiddelbart efter tørring eller befugtning ikke straks vil være i ligevægt. En fornuftig strategi i disse tilfælde er at tillade så lang tid som praktisk muligt til at få materialet i ligevægt ved at placere målingen et godt stykke nedstrøms fra ovnen eller befugtningsanlægget. For granulater og pulverprodukter vil en opblanding med et rive- eller plovarrangement lige før målestedet fjerne overfladeeffekten.

Udvælgelsen af absorptionsbølgelængder for de relevante komponenter er relativt enkel. Knap så nemt, men til gengæld meget vigtigt, er det at vælge referencebølgelængder og at udvikle den algoritme, som kombinerer den spektrale information på passende måde til at give et resultat, der er uafhængigt af variationer i andre komponenter og mulige interferensfænomener. Metoder til valg af bølgelængder og udvikling af algoritmer er et enormt stort og spændende emne og rækker ud over denne artikels rammer. Den effektive udnyttelse af målingen bør være den industrielle brugers primære mål og ikke udvikling af målemetoden. Leverandører af on-line nærinfrarøde instrumenter vil under alle omstændigheder normalt fortrække at levere en komplet løsning fremfor kun hardware. En nyttig introduktion til kalibreringsmetoder for interesserede gives af Osborne, Fearn, og Hindle¹.

On-line instrument forudsætninger

Direkte on-line måling sætter flere alvorlige begrænsninger i instrumentdesignet som ikke ville gøre sig gældende for laboratorieapparater. Præsentationen af produktet for instrumentet er normalt dynamisk, så en høj målefrekvens med et godt signal/støjforhold er krævet. Kontinuerlig måling af et produkt i bevægelse (f.eks. en bane eller materiale på et transportbånd) tillader beregning af en præcis gennemsnitsværdi, hvilket ikke ville være muligt ved prøveudtagning for et off-line apparat hvis der er væsentlige lokale variationer. I nogle bane-baserede processer er det umuligt at udtage prøver til off-line analyse under fremstillingen, så on-line er den eneste løsning.

I tilfælde af baner med høj hastighed hvor målehoveder normalt traverseres frem og tilbage på tværs af banen for at få en tværsnitsprofil, er målefrekvensen specielt vigtig og en afstand mellem målingerne på 200 ms eller derunder er krævet for at opnå meningsfyldt information.

Ideelt skulle målingen udføres uden nogen kontakt med eller indgreb i flow'et af det målte produkt. For nærinfrarød laboratorieanalyse er det normalt nødvendigt at præsentere prøven i kontakt med en defineret overflade såsom et prøvecellevindue. Sådanne

restriktioner er ikke acceptable for de fleste on-line anvendelser, især med meget fugtige, klæbrige eller aggressive produkter. Et instrument, som betragter produktet i en afstand på 10-30 cm er langt mere ønskværdigt. Det optiske og elektroniske design skal inkludere strategier til at tolerere fluktuationer i produktets afstand specielt for visse omfangsrige landbrugsprodukter på transportbånd, som f.eks. tobaksblade der kan variere i dybde med 20 cm. Enhver form for prøveforberedelse som f.eks. formaling er udelukket da dette ville involvere udtagning af prøver fra produktionslinien.

Sådanne procedurer er i strid med begrebet kontinuert måling, så et on-line instrument skal være i stand til at håndtere et bredt udvalg af produktformater, partikelstørrelser og andre former for variationer. Instrumentet skal designes, så målingen ikke påvirkes når materialet belyses af fremmed dagslys eller kunstlys af en art der er normal for produktionsmiljøer. Alternativet vil være mørklægning af en del af produktionslinien, hvilket ofte ikke vil være praktisk.

En on-line føler skal kunne tolerere arbejdsvilkår som er betydeligt barskere end dem, der eksisterer i et laboratorium. Omgivelsestemperatur og fugtighed, vibrationer og ustabil spændingsforsyning er eksempler på dette. Dertil kommer at mange procesmiljøer er støvede og fugtige og måske endda korrosive. Undertiden kræves det at målehovederne skal monteres hvor der kan dannes en eksplosionsfarlig atmosfære ved blanding af luft og brændbare gasser, dampe eller fint støv. I disse omgivelser skal alt udstyr i den klassificerede zone være enten egensikkert, flammetæt eller forsynet med luft så der opstår overtryk indvendigt. Certificering i henhold til den relevante nationale standard kan eventuelt være krævet. Mange fødevarer- og drikkevarer-procesanlæg kræver at instrumenteringen efterlever bestemte hygiejnestandarder. Indkapslinger i rustfrit stål kræves og alle dele i kontakt med produktet skal være fri for bakteriefælder og være i stand til at modstå alle rensningsprocedurer.

Sidst men ikke mindst er en meget god langtidsstabilitet vigtig, især hvis instrumentet indgår i en reguleringssløjfe. Den hyppige standardisering/kalibrering, som ofte er nødvendig for laboratorieapparater, er simpelthen ikke praktisk gennemførlig for et on-line instrument.

Det kan virke umuligt at tilfredsstille alle de nævnte krav, men instrumenter designet specielt til brug for on-line analyse har haft held med at nå disse målsætninger.

Anvendelsesområder

Et enormt antal produkter er egnede til on-line nærinfrarød analyse. Den fysiske form af produktet vil diktere den optiske konfiguration for målehovedet. Målinger på pulver og granulat samt fiberprodukter som kemiske stoffer og mineraler, fødevarer, papir og pap samt tobak bliver normalt udført med diffus reflektans målehoveder. Fugtighed er den mest almindelige måling i alle disse produkter, men andre kan være fedt og protein i fødevarer, opløsningsmidler (i makrokoncentration) i kemiske stoffer, nikotin og sukker i tobak samt coatning på papir, pap og andre uigennemtsigtige substrater. Mange coatninger påføres som en opløsning eller emulsion i vand eller organisk opløsningsmiddel, som derefter dampes væk i en ovn. Hvis tørstofkoncentrationen er konstant vil måling af opløsningsmidlet inden tørring kunne udføres og bruges til meget præcist at bestemme den endelige coating.

Produkter som er gennemsigtige eller matte overfor lys ved de benyttede infrarøde bølgelængder bliver normalt analyseret ved at måle lyset, som passerer igennem med en eller slags transmissionssensor. Anvendelseseksempler inkluderer plastfolietykkelse (fra

nogle få my til flere millimeter), komponenter i visse fiberbaserede baner (som f.eks. bindemiddel i glasfibermåtter) og væsker (som vand i opløsningsmidler og alkohol i drikkevarer).

Målehoveder som udnytter spejlrefleksion benyttes til at måle tynde beskyttelses laklag, typisk under 10 my i tykkelse, på metalsubstrater som aluminium, stål eller metalliseret folie. Meget tynde folier og coatinger kan ofte med fordel måles med bølglængder over den øvre grænse på 2500 nm som normalt forbindes med nærinfrarød. Under visse omstændigheder er det f.eks. muligt at udnytte det meget kraftige C-H bånd, som findes ved 3400 nm, for at opnå en enorm forøgelse i følsomhed og dermed et fremragende signal/støj forhold. Dette bølglængdeområde kan i de fleste anvendelser ikke benyttes idet den meget kraftige absorption medfører 'mætning'. Dette opstår når så meget lys bliver absorberet ved målebølglængden at en stigning i vejlængde eller koncentration for det, der analyseres, ikke længere resulterer i en tilsvarende stigning i absorptionen.

Diskontinuerte produkter

Der er mange situationer, hvor der ikke kan sikres et kontinuert produktflow, eller hvor produktet selv består af adskilte emner såsom blade eller biscuits. Under disse omstændigheder er der forskellige metoder til selektering (eller gating) af målinger for at sikre at instrumentudgangssignalet er relateret til produktet og ikke til mellemrummene. Måling af fugtighed i biscuits er et typisk eksempel. Små optiske følere før og efter målepositionen forbindes gennem et logikkredsløb til instrumentet således at det kun reagerer, når det betragter en biscuit. Mange fødevare- og kemiske produkter bliver produceret med kontinuerte batch operationer. En måling kan foretages på batch'en under dens behandling (som f.eks. omrøring mv.) eller under transport af batch'en mellem processerne. Et eksternt gating signal kan benyttes i disse tilfælde til at suspendere målingen mellem batch'ene.

The nævnte anvendelser er på ingen måde fuldt dækkende, men illustrerer det meget brede anvendelsesområde der findes for on-line nærinfrarøde målinger. Det følgende afsnit går mere i detalje med et lille udvalg af meget forskellige anvendelser.

Fugtighed i tobak

For hvert af de mange trin i behandling af tobak, fra tobaksmark til færdigt produkt, er der et optimalt fugtighedsniveau, som kan variere fra omkring 2% op til omkring 50%. Motivationen til at opnå et bestemt fugtighedsniveau varierer med positionen i processen, men den omfatter opretholdelse af kvaliteten, minimering af tab i form af spild eller ødelæggelse, maksimering af anlægseffektivitet og reduktion af energiforbrug (f.eks. ved at optimere tørringen). Tobak er et kostbart materiale, så den økonomiske gevinst ved at

minimere tabet er høj.

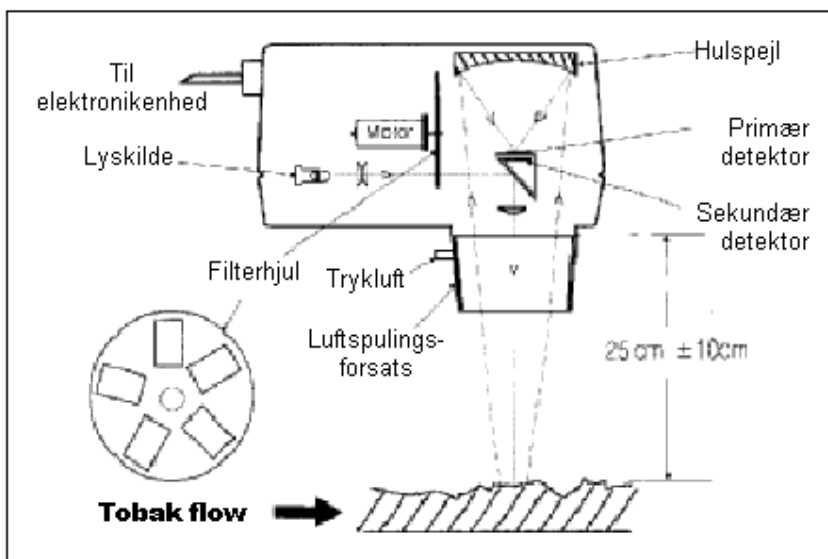


Fig. 2. Snit gennem målehoved

Infrared Engineering Limited udviklede TM55plus backscatter (diffus reflektans) føleren, så den er velegnet på ethvert sted i processen. En snit gennem målehovedet er vist i Figur 2. Infrarød stråling fra en kvart-halogen pære bliver fokuseret til et parallelt strålebundt, som sendes gennem et hjul med 5 interferensfiltre, der roterer med en frekvens på ca 20 Hz. De efter hinanden følgende pulser af infrarødt lys ved udvalgte bølgelængder, der herved produceres, rettes nedad og danner en cirkulær måleplet med omkring 4 cm diameter på tobaksoverfladen, som bevæger sig nedenunder. Lyset bliver delvist absorberet og delvist spredt. En del af det spredte lys vender tilbage gennem et vindue og opsamles af et sfærisk spejl, der fokuserer det på en blyulfid primærdetektor. Et båndpasfilter placeret umiddelbart over detektoren blokerer energi ved bølgelængder udenfor det valgte område for filtrene i hjulet. Detektorsignalet bliver forstærket og derefter digitaliseret inden det behandles i en algoritme.

Selvom blade fra kun to grundtyper af tobak bliver benyttet, kommer de fra mange forskellige lande og høstes og tørres på forskellige måder. Det resulterer i en råvare, som er meget varierende og der kræves derfor en blanding af forskellige tobakker for at få en konsistent færdigvare. Et aspekt ved denne naturlige variation er den effekt, det kan have på de spektrale egenskaber, hvilket videre kan påvirke målingen. Øget spredning medfører en reduktion i den effektive vejlængde for lyset, hvilken med en simpel model med beregning af det logaritmiske forhold resulterer i reduceret følsomhed. For at producere en måling som med succes kunne håndtere de spektrale variationer var det nødvendigt at udvikle en absorption/scatter algoritme, som kompenserede for variationen i lysspredningsegenskaber og producerede et lineært udgangssignal over hele fugtighedsområdet.

Da dybden af produktet på transportbåndet kan variere betydeligt blev det optiske system designet til at minimere indflydelsen fra produktafstanden, hvilket resulterede i en krydsfølsomhed på kun 0,1% for området 15 til 35 cm. For at opnå et stabilt udgangssignal blev der også gjort særlige foranstaltninger til udglatning af data for at reducere effekten af den meget variable produktoverflade.

Som med de fleste on-line målinger har sammenkoblingen af udgangssignalet med udstyr der giver en automatisk regulering givet de største gevinster. I tillæg til fugtighed har

målingen af nikotin og sukker også haft succes on-line. For en sammenligning med off-line infrarød instrumentering henvises til Long2,

Protein i mel

I visse lande, heriblandt UK, bliver proteinniveauet i mel styret ved at tilsætte hvedegluten, som er et kostbart produkt sammelignet med det almindelige mel. En nøjagtig måling af protein on-line ville klart være til fordel for mølleren ved at give ham mulighed for at tilsætte det minimum, der kræves for at opnå det ønskede niveau.

En MM55 refleksionsensor er med held blevet inkorporeret i et automatisk glutenreguleringssystem. Det optiske layout er meget lig med hvad der blev beskrevet i det tidligere eksempel, men produktet måles gennem et 10 mm tykt glasvindue i en afstand på 20 cm. Siden mel er et meget homogent produkt og passerer hen over et fastmonteret vindue, er præsentationen meget veldefineret så der stilles færre krav til instrumentet end i tobaksmålingen.

Imidlertid er de protein-absorptionsbånd, der benyttes, ca seks gange svagere end vand-absorptionsbånd, så en god fotometrisk ydelse, der giver et godt signal/støj forhold, er stadig vigtigt. Proteinsignalet fra instrumentet indgår som et tilbageføringssignal i en reguleringssløjfe, der styrer gluten doseringssneglen og dermed proteinniveauet. Gluten kontrol systemet blev evalueret af Flour Milling and Baking Research Association og publiceret i Chorleywood Digest i Januar 1992.

Tykkelse af barrierelag i indpakningsfolie

Mange typisk anvendte plasttyper til indpakning er vældig gode fugtighedsbarrierer men relativt dårlige iltbarrierer. For at producere en struktur, som har de nødvendige fugtigheds- og iltspærrelag, bliver plasttyper som polyethylen eller polypropylen coextruderet med EVOH (Ethylen Vinyl Alkohol), som er en fremragende iltbarriere men er relativt dyr.

Selv om styring af den totale tykkelse for folien er nødvendig, er det meget vigtigt at styre EVOH laget for at opnå de ønskede spærreegenskaber og samtidig minimere forbruget af det dyre materiale. EVOH laget udgør måske 5-20 μm af den totale tykkelse på 50-300 μm .

Infrarød analyse er den eneste mulige metode til selectivt at måle tykkelsen af de individuelle komponenter i coextrudering af denne type. Det er muligtgjort ved de tydelige forskelle i det spektrale forløb for disse materialer. Ved omhyggelig udvælgelse af passende absorptions- og referencebølgelængder kan et udvalgt lag måles med næsten perfekt mangel på krydsfølsomhed for de andre materialer, der er tilstede i folielaminatet.

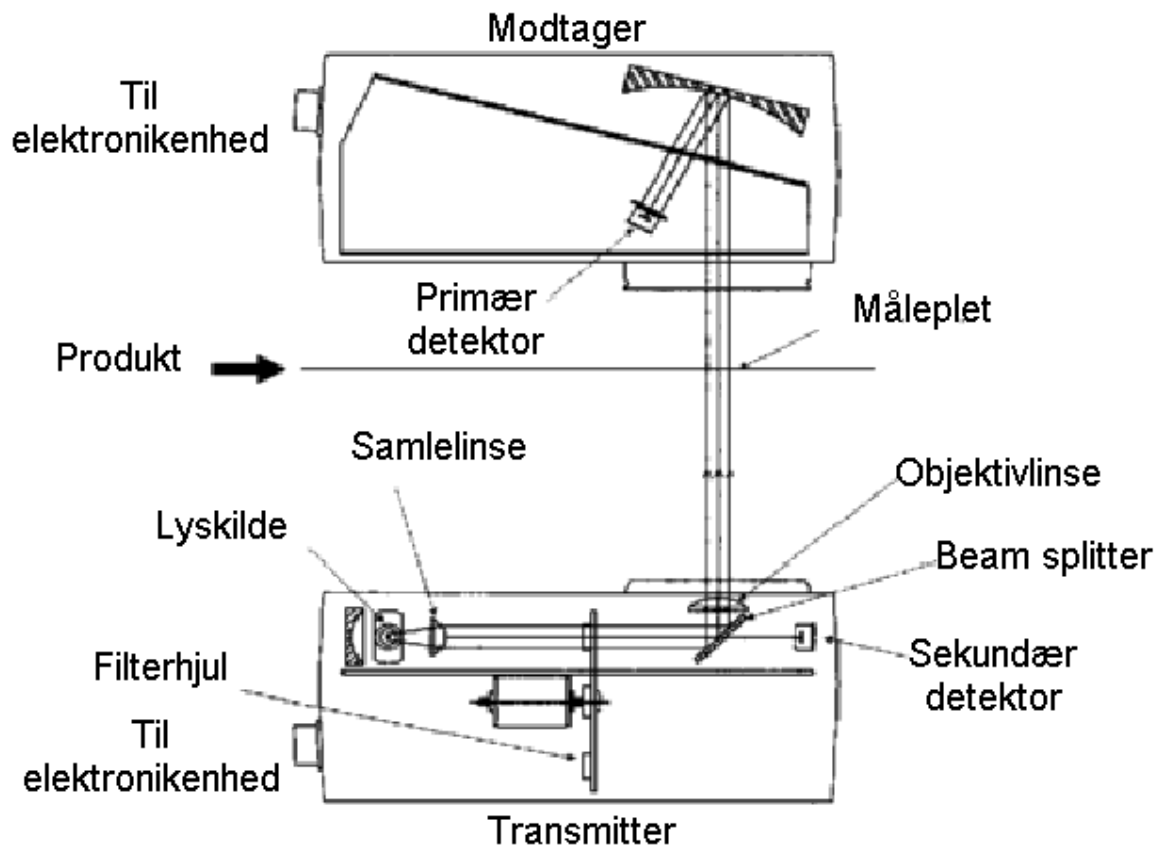


Fig. 3. Optisk layout for en typisk on-line transmissions-sensor

Den typiske instrumentkonfiguration, der benyttes til folietykkelsesmåling er transmission, og det optiske layout for en typisk on-line transmissionsføler er vist i figur 3.

Den metode, der bruges til at danne de udvalgte infrarøde bølgelængder, er mægt til backscatter instrumentet med den undtagelse at - da det er nødvendigt at måle lys, der passerer igennem produktet - er den primære detektor monteret i en separat modtager på den modsatte side af banen. Det normale krav i denne applikation er at måle over den totale bredde og dette gøres ved at scanne sender og modtager synkront på tværs af banen mens deres relative positioner fastholdes omhyggeligt.

I netop denne anvendelse er det muligt at drage nytte af meget kraftige absorptionsbånd, som er knyttet til EVOH ved omkring 3000 nm, for at opnå den optimale følsomhed og selektivitet. Brugen af bølgelængder, der er længere end 2500 nm, medfører behov for en termoelektrisk (Peltier-) kølet blyselenid-detektor i stedet for den mere almindelige ukølede blyulfid-detektor. Almindelig borsilikat glas er en dårlig infrarød transmitter i dette område så linser og vinduer skal også være fremstillet af et alternativt materiale som f.eks. kalciumklorid.

Emnet infrarød plastfolie-tykkelsesmåling er behandlet mere i dybden i Hindle[3].

Alkohol og ekstrakt i øl

Punktafgiften på øl solgt i UK afhænger af alkoholvolumenprocenten. Mange bryggerier fremstiller med vilje øl med for høj styrke som de fortynder med vand til det rette niveau. Konsekvenserne af at fortynde for lidt kan være dyrebare på grund af den ekstra skat og desuden reduktionen i produceret mængde. Helt åbenlyst kan en præcis on-line alkohol måling ved blandestationen producere enorme gevinster.

I de fleste væskeapplikationer bestemmes koncentrationen af en komponent ved at måle transmissionen af lys gennem en fast spalte eller et målekammer. De fleste målinger i transparente væsker kan anvende en matematisk model baseret på den simple Beer-Lambert's lov. On-line måling i en øl-linie kan imidlertid være vanskelig fordi vilkårene er meget krævende. For at forhindre dannelse af kulsyrebobler holdes øllet under højt tryk (op til 6 atm) og produktet er kølet ned til 0-5°C. Der benyttes en meget effektiv renseprocedure til rørene som involverer brugen af ludopløsninger og damp ved højt tryk. Et instrument, der udfører en direkte måling i ølrørstrengen, må være i stand til at tåle sådanne vilkår.

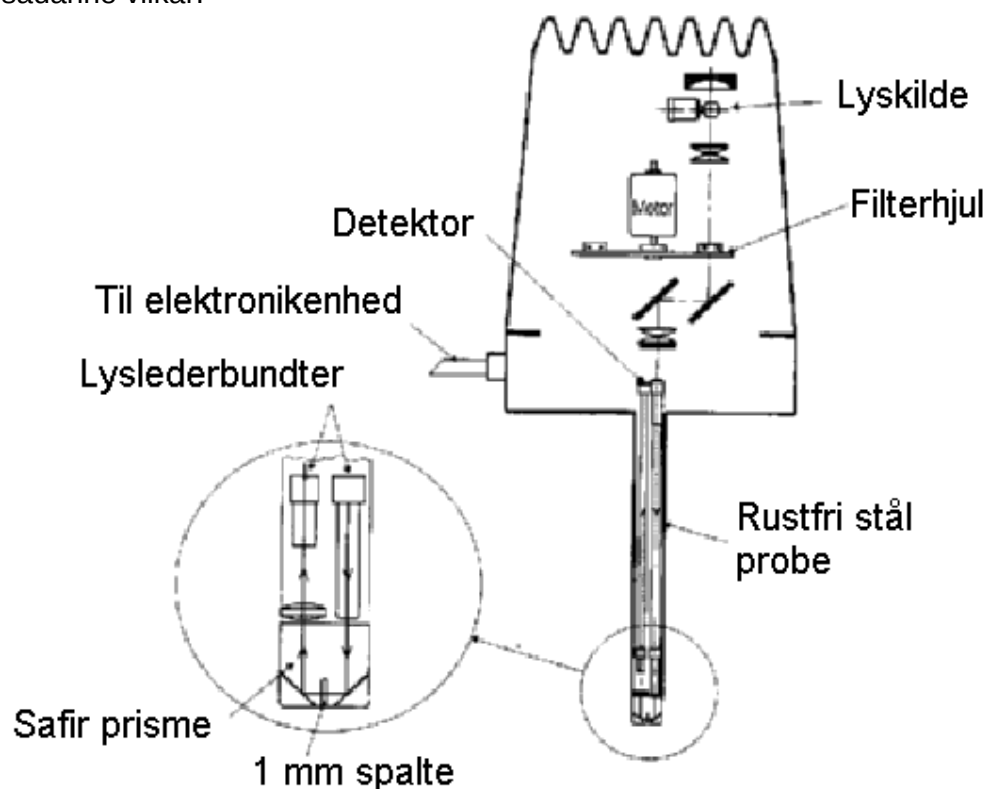


Fig. 4. Skematisk diagram for en føler der er designet til at udføre en direkte måling i et rør med øl

Et skematisk diagram af en føler designet til denne anvendelse er vist på figur 4. I dette eksempel anvendes lysledere til at transmittere lys gennem en probe af rustfrit stål med en diameter på 25 mm. Lyset passerer gennem et safirprisme tilbage til en detektor. Spidsen af probeen befinder sig i rørstrengen og produktet strømmer gennem en 1 mm bred spalte i prismet.

En udtrækningsmekanisme tillader proben at blive stukket ind i og trukket ud af rørstrengen uden at påvirke væskeflow'et. Algoritmerne til at bestemme alkohol og ekstrakt er ekstremt præcise og følsomheden overfor øltype, tryk, temperatur og opløst kulsyre er ubetydelig. For en mere detaljeret beskrivelse samt resultater fra on-line forsøg henvises til Fellows[4].

Konklusioner

Hovedformålet med denne artikel har været at fremhæve de krav, der stilles til on-line målinger i et industrielt miljø og at vise, hvorledes applikationsspecifikke infrarøde følere kan tilgodese disse behov. I en kort artikel som denne er det kun muligt at give en kort beskrivelse af nærinfrarøde måleprincipper, men selektiviteten og den relativt enkle funktionsmåde for teknikken burde være blevet åbenlys. Udfordringen for en instrument-producent er ikke kun at udvide det allerede brede anvendelsesområde for teknikken, men også at forbedre eksisterende målinger gennem hardware udvikling og bedre forståelse af sammenhængen mellem lys og faststof. Selv en perfekt on-line måling er kun til gavn, hvis de data den producerer udnyttes effektivt. Udfordringen for den industrielle bruger er fuldt at udnytte den tilgængelige information til at sikre de økonomisk gevinster som i sidste ende er resultatet af en bedre kontrol af processen.

Referencer

1. Osborne, B.G., Fearn, T. and Hindle, P.H. (1993) *Practical NIR Spectroscopy*, Harlow: Longman 2nd Ed. P.99-117
2. Long, T.N. (1993) *Application of Near Infrared in the Tobacco Industry. Proceedings of the 2nd European Symposium on Near Infrared Spectroscopy - Aspects of Industrial Use.* Biotechnological Inst, Kolding, Denmark.
3. Hindle, P.H. (1984) *Thickness Measurement - The Infrared Method Paper.* Technology and Industry, Sept.
4. Fellows, T.G. *Recent Experience in the In-line Measurement of ABV and OG.* The Brewer V.81, No 967.