



Slutrapport

Metodiske problemstillinger – kemi

Daniel Halling Breiner

27. februar 2026

Proj.nr. 2012305

Init. DBRE/MT/LME

Formål med rapporten

Formålet med nærværende rapport er at afrapportere aktiviteter og resultater udført i SAF-projektet "Metodiske problemstillinger – kemi" i 2025.

Projektets formål

- Sikre den danske kødindustri adgang til nyeste viden indenfor kemiske og fysiske analysemetoder.
- Udvikle, optimere og validere udvalgte state-of-the-art-analysemetoder med relevans for den danske kødindustri inkl. vedligehold af akkrediterede metoder.
- Minimere kemikalie- og/eller tidsforbrug for kemiske og fysiske analyser fx gennem optimering af prøvemængde.

Projektets hovedaktiviteter

- Indsamle litteratur og udarbejde oversigt indeholdende kemiske analysemetoder målrettet kvantificering af toksiner produceret af mikroorganismer.
- Hjemtage viden om generelle kemiske og fysiske metoder/problemstillinger inkl. prøveforberedelse
- Løbende effektivisering og kvalitetsvurdering af eksisterende kemisk/fysiske metoder, herunder deltagelse i præstationsprøvninger/ringtest for opretholdelse af akkreditering.
- Udarbejde årsrapport og nyhedsbrev samt gennemføre formidlingsaktiviteter.

Projektets baggrund

Kravene til dokumentation af fødevarekvalitet fra markeder og myndigheder skærpes. For at være på forkant med udviklingen er det nødvendigt at have indsigt i den nyeste viden på området, foruden at opretholde en praktisk tilgang til mere komplicerede analysemetoder baseret på nyere teknologier. Der gennemføres dagligt kemiske og fysiske analyser såvel på virksomhederne som i DMRI's laboratorium.

Der er hos en række fødevarermyndigheder på vigtige eksportmarkeder stigende fokus på og bekymring for toksiner produceret af mikroorganismer. Hidtil har risikovurderingen taget afsæt i fravær af væksten af de pågældende organismer, men der er en øget tendens til, at dokumentationen skal indeholde direkte målinger af toksinerne (koncentration eller påvist/ikke-påvist). Dette er en tydelig drejning i forhold til tidligere, og der er behov for at skabe et overblik over mulige/tilgængelige analysemetoder til det enkelte toksin, fordele/ulempes for de givne metoder, hvilke metoder der accepteres af myndigheder samt viden om toksinernes kemiske profiler.

Kvantificering af toksiner produceret af mikroorganismer

Resultater og observationer fra metodeoptimering og kvalitetsmålinger

Der findes mange forskellige typer af toksiner og dermed også mange forskellige egnede analysemetoder. Her gennemgås kort toksinerne cereulid (*Bacillus cereus*) og enterotoksin (*Staphylococcus aureus*) samt tilhørende analysemetoder. Der er udarbejdet datablade i samme format som F-bilag, der kendes fra det generiske HACCP-materiale.

Cereulid

Cereulid er et varme- og syrestabilt cyklisk peptidtoksin produceret af *Bacillus cereus*. Cereulid er et forholdsvis lille molekyle med en vægt på cirka 1,15 Da. På baggrund af cereulids kemiske stabilitet og toksikologiske betydning anbefaler både forskningslitteraturen og EFSA, at indholdet i fødevarer bestemmes ved en følsom og selektiv analyseteknik som fx LC-MS/MS, der muliggør sikker identifikation og kvantificering selv ved lave koncentrationer.

Enterotoxin A-E

Staphylococcus aureus enterotoksin A til E (SEA, SEB, ..., SEE) er en gruppe varmem stabile, immunologisk forskellige eksotoksiner (udskilles aktivt fra levende bakterier) produceret af *Staphylococcus aureus*.

Toksinerne SEA til SEE er alle relativt komplekse proteiner med en molekylvægt på omkring 26-29 kDa. Størrelsen, kompleksiteten og tilstedeværelsen af mange andre proteiner i fødevarematricen gør det vanskeligt at detektere intakte enterotoksiner direkte med LC-MS/MS.

Derfor foretrækkes i praksis immunologiske metoder, som fx ELISA, til påvisning af *Staphylococcus aureus* enterotoksiner. Disse metoder er både mere følsomme og mere specifikke, da de udnytter antistoffernes evne til at binde sig direkte til toksinerne, selv i meget komplekse prøver. ELISA er derfor en nyttig metode til påvisning af enterotoksiner i fødevarer.

Videnhjemtagning

Hotspotmøde arrangeret af udstyrsleverandør (Shimadzu):

Der var flere interessante præsentationer herunder:

Oxygen Attachment Dissociation (OAD)

Ved traditionel analyse af fedtstoffer i grisekød bestemmes ofte koncentration af den totale mængde fedt og koncentrationerne af udvalgte fedtsyrer fx omega-3 eller omega-6.

Forskere har udviklet en ny analysemetode kaldet Oxygen Attachment Dissociation, der kan give viden om den præcise opbygning af de enkelte fedtsyrer. To fedtsyrer kan have den samme kemiske formel, men have vidt forskellige egenskaber alt efter den aktuelle struktur. Viden om strukturen af den enkelte fedtsyre vil (på sigt) kunne bruges ved specifik optimering af produkter indeholdende fedt.

Grøn kemi

Grøn kemi (eller bæredygtig kemi) handler overordnet om at designe, udvikle og anvende kemiske produkter og processer, der mindsker eller eliminerer brugen og dannelsen af farlige stoffer. Målet er at gøre kemi sikrere for mennesker og miljøet, samtidig med at innovation og effektivitet bevares.

Der kan arbejdes med grøn kemi fra mange vinkler. Det kemiske laboratorium på DMRI arbejder løbende med emnet og har tidligere rapporteret besparelser i kemikalieforbrug for [analyse af protein i kød- og kødprodukter](#).

Forbedret metodeudvikling med AI

AI er populært, og der er hele tiden udvikling i potentialet i det daglige arbejde. Foredraget handlede om brugen af AI i metodeudvikling på komplicerede instrumenter. Ved at fodre en AI med forskellige opsætninger af en metode samt resultaterne kan man få AI'en til at analysere mønstre og foreslå optimeringer. Dermed kan man forbedre udviklingsarbejdet i laboratorier, når nye metoder skal sættes op, eventuelt ved at bygge på allerede eksisterende metoder.

Dialog med leverandører

Der gennemføres løbende dialog med udstyrsleverandører for at sikre et indblik i udviklingen af nye produkter på markedet. Laboratoriet har i 2025 været fokuseret på at blive opdateret på viden om HPLC-instrumentet.

"Grøn standard"

Der er en stadigt stigende interesse i at fremstille hybridprodukter, hvor en større eller mindre del af kødet er erstattet af vegetabilier. Der var derfor et behov i laboratoriet for at fremstille en matricestandard, som i indhold bedre kan anvendes som reference i forskellige analyser ved at simulere kødprodukter med indhold af grøntsager samt gængse konserveringsmidler.

Hovedformålet med udviklingen af standarden var at opnå højere datakvalitet ved at anvende en velegnet matricekontrol, når hybridprodukter analyseres.

Der blev fremstillet en 'grøn standard'. Indholdet i standarden blev baseret på flere kriterier:

- Den skulle kunne homogeniseres og være sammenhængende
- Den skulle indeholde forskellige vegetabilier
- Den skulle indeholde konserveringsmidler
- Den skulle indeholde fibre

Tabel 1. Forslag til sammensætning af en "grøn standard" til brug som kontrol ved analyse af hybridprodukter.

Ingrediens	Procent
IS/Vand	27,2%
1313 Bov	37,7%
Snitter u. svær	5,8%
Gulerødder	5,8%
Kartoffelmel	3,9%
Ærteprotein	1,5%
Skrællede æbler	5,8%
Sojakoncentrat	1,5%
Citrusfibre	6,8%
Vakuumsalt	0,9%
Phosphat	0,3%
Na-Laktat	1,5%
Na-Acetate	0,5%
Nitritsalt	1,0%

Løbende effektiviseringer Acetat og laktat

Acetat og laktat er gængse konserveringsmidler i kødprodukter og derfor også vigtige analyser i det kemiske laboratorium (DMRI). Prøveforberedelsen er omfattende: Proteinfældning ved Carrez-metoden, dernæst filtrering, farveudvikling med et enzymatisk kit, hvorefter prøvens indhold af laktat eller acetat analyseres ved en måling af prøvens farve på et spektrofotometer. En af udfordringerne med denne metode er, at en fordobling af antallet af prøver medfører en fordobling af tids- og ressourceforbruget.

Derfor var der et ønske om teoretisk at vurdere andre analysemetoder for en mere effektiv analyseproces – og evt. med automatisering af dele af processen. Der blev foretaget en sammenligning mellem følgende metoder: analyse ved brug af HPLC, ionkromatografi, enzymatiske assays (nuværende metode), gaskromatografi, kapillærelektroforese og NMR-spektroskopi. Her var analyse ved brug af HPLC den mest lovende analysemetode i forhold til laboratoriets rammer og behov.

Akkreditering

Der er gennemført præstationsprøvninger med tilfredsstillende resultat, og laboratoriet fik forlænget akkrediteringen ved DANAK-audit i august 2025.

Øvrig formidling

[Historie publiceret i nyhedsbrev om brugen af AI](#) til at lette overførsel af data fra tekstfil til regneark.