



Miljørigtig rengøring

Desinfektion med ECA-vand

Slutrapport



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**

Miljørigtig rengøring

Desinfektion med ECA-vand



Udarbejdet af
Teknologisk Institut
Gregersensvej 9
2630 Taastrup
Fødevarerikkerhed

Januar 2025
Forfattere: Emma Bildsted Petersen & Gry Carl Terrell

Indholdsfortegnelse

| | | |
|--------|---|----|
| 1. | Forord..... | 4 |
| 2. | Introduktion | 4 |
| 2.1. | Hvad er ECA-vand, og hvordan fremstilles det? | 5 |
| 2.2. | Anvendelse af ECA-vand, dets desinfektionseffekt og resistensudvikling | 6 |
| 3. | Test og evaluering af ECA-vand | 7 |
| 3.1. | Undersøgelse af desinfektionseffekten | 9 |
| 3.1.1. | Fremgangsmåde | 9 |
| 3.1.2. | Resultater | 11 |
| 3.2. | Undersøgelse af korrosion og anden skade på udstyr | 16 |
| 3.2.1. | Eksperimentelle betingelser | 16 |
| 3.2.2. | Fremgangsmåde | 16 |
| 3.2.3. | Resultater | 17 |
| 3.2.4. | Korrosion af ståloverflader | 18 |
| 3.2.5. | Ikke-metalliske overflader | 20 |
| 3.3. | Undersøgelse af produktkvalitetsforringelser ved desinfektion uden afskyl | 20 |
| 3.3.1. | Fremgangsmåde | 20 |
| 3.3.2. | Resultater | 21 |
| 3.4. | Undersøgelse af stabilitet af ECA-vand | 24 |
| 3.4.1. | Stabilitet af ECA-vand..... | 24 |
| 3.4.2. | Eksperimentelle betingelser | 24 |
| 3.4.3. | Fremgangsmåde | 24 |
| 3.4.4. | Resultater | 25 |
| 3.5. | Undersøgelse af metoder til måling af klor | 30 |
| 3.5.1. | Måling af klorkoncentration i ECA-vand | 30 |
| 3.5.2. | Fremgangsmåde | 30 |
| 3.5.3. | Resultater | 30 |
| 3.5.4. | Konklusion omkring måling af klorkoncentration | 31 |
| 3.6. | Konklusion | 31 |
| 4. | Referencer | 32 |

1. Forord

Rengøring i kødindustrien er forbundet med et højt ressourceforbrug i form af vand, kemi og energi. Dette høje forbrug bidrager i betydelig grad til virksomhedernes samlede miljøbelastning, primært gennem spildevandsudledningen. En særlig udfordring er den betydelige udledning af natriumhypoklorit fra desinfektionsmidler. Natriumhypoklorit er problematisk set både fra et sundheds- og et miljøperspektiv og indgår på listen over uønskede stoffer, hvis brug på sigt bør reduceres eller helt stoppes (Miljøstyrelsen, 2009). Der er derfor et betydeligt pres på kødindustrien for at finde alternative løsninger med henblik på at reducere brugen af disse stoffer.

ECA¹-vand (elektrolyseret saltvand) er et lovende alternativ til natriumhypoklorit, både økonomisk og miljømæssigt. ECA-vand er økonomisk fordelagtigt, da det er billigt at producere, og det relativt lave klorindhold kan bidrage til at reducere udledningen af problematiske stoffer. Derudover har ECA-vand potentiale til at mindske vandforbruget ved rengøring, idet produktet er godkendt til brug uden efterskyl med vand.

Dette projekts resultater er specifikt rettet mod test og evaluering af ECA-vand til overfladedesinfektion. Resultaterne kan ikke anvendes til at vurdere effektivitet eller sundhedsrisici i forbindelse med dekontaminering af fødevarer eller øvrige processer, herunder procesvand.

Denne rapport er udarbejdet som en del af projektet 'Miljørigtig rengøring', der er finansieret af Svineafgiftsfonden. Food Diagnostics A/S har bidraget med ekspertviden og desuden leveret det ECA-vand, der er anvendt i de forsøg, som danner det eksperimentelle grundlag for rapporten.

2. Introduktion

Brugen af ECA-vand til desinfektion har været afprøvet og testet i adskillige sammenhænge gennem de sidste 5-6 årtier. Konceptet ECA-vand blev oprindeligt udviklet i Rusland i midten af 1900-tallet. En af de første anvendelser af ECA-vand var sterilisering af medicinske instrumenter på hospitaler. Senere blev det brugt på forskellige områder såsom landbrug eller husdyrhold, men en mere udbredt brug af ECA-vand har været begrænset af dets korte holdbarhed. Men med løbende forbedringer i teknologien og tilgængeligheden af bedre udstyr har ECA-vand også vundet popularitet som desinfektionsmiddel i fødevarerindustrien (Hricova et al., 2008). En stor udfordring har dog været, at man oplevede store skader på produktionsudstyr pga. korrosion, hvilket fik mange fødevarerproducenter til at afskrive brugen af ECA-vand som en løsning i praksis.

For at kødindustrien på ansvarlig vis kan overgå fra de nuværende desinfektionsløsninger til at bruge ECA-vand, kræves grundig dokumentation af, at der opnås en tilsvarende desinfektionseffekt med det nye produkt. Desuden skal potentielle risici for kvalitetsforringelser af kødprodukter og skader på udstyr afdækkes, og rent praktiske overvejelser omkring stabilitet og kontrolmåling af ECA-vandet skal belyses. Sidst men ikke mindst er det som med alle andre større investeringer nødvendigt at kunne beregne tilbagebetalingstid og potentielle omkostningsbesparelser ved forskellige scenarier, hvilket i dette projekt er løst ved at udarbejde et værktøj til beregning af businesscasen.

I denne rapport opsummeres den eksisterende viden om ECA-vand gennem en sammenfatning af litteraturen samt de nyeste resultater fra forsøg udført af og på Teknologisk Institut i forbindelse med projektet 'Miljørigtig rengøring'.

¹ ECA står for 'Electro Chemical Activation'.

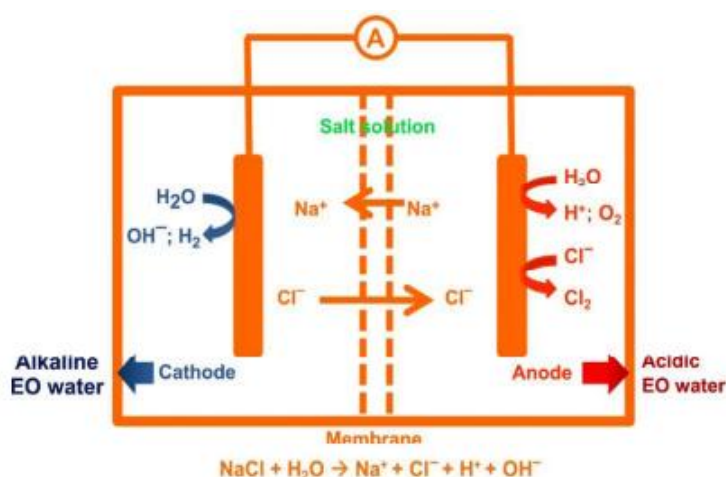
2.1. Hvad er ECA-vand, og hvordan fremstilles det?

ECA-vand genereres på dedikerede anlæg gennem elektrolyse af salt (0,1-0,5% NaCl), hvorpå der dannes en række klorforbindelser med antimikrobiel effekt. Rent praktisk produceres ECA-vand som et koncentrat, der kan tappes fra anlægget til beholdere. Beholderne kan derefter tilkobles eksisterende rengøringsstationer med en doseringsfunktion, der sikrer, at produktet udlægges på overfladerne i korrekt koncentration.

Overordnet set findes der tre typer ECA-vand; alkalisk, acidisk og neutralt, der grundet deres varierende pH-værdier og indhold af kemiske forbindelser har forskellige applikationsmuligheder.

Produktionen af de forskellige typer ECA-vand afhænger af den anvendte teknologi, hvor valget mellem et anlæg med eller uden membran er afgørende. Alkalisk og acidisk ECA-vand fremstilles i en elektrolysecelle, der er opdelt i to kamre af en ion-selektiv membran. Denne membran adskiller anode- fra katodekammeret, hvor oxidation og reduktion af saltopløsningen finder sted, hvilket fører til dannelsen af forskellige kemiske forbindelser.

Under elektrolyse dissocierer NaCl til negativt ladede klorioner (Cl^-) og positivt ladede natriumioner (Na^+). Samtidig dannes hydroxidioner (OH^-) og hydrogenioner (H^+). Positivt ladede ioner som H^+ og Na^+ bevæger sig mod katoden for at optage elektroner og omdannes til brintgas (H_2) og natriumhydroxid (NaOH). De negativt ladede ioner som Cl^- og OH^- bevæger sig mod anoden for at afgive elektroner og omdannes til ilt (O_2), klorgas (Cl_2), hypoklorit (OCl^-) og hypoklorsyre (HOCl).



Figur 1. Elektrolyseproces af saltvand til fremstilling af alkalisk og acidisk ECA-vand, figur lånt fra Handbook of hygiene control in the food industry, Wang et al., 2019a.

Neutralt ECA-vand kan enten produceres ved at blande de alkaliske og acidiske opløsninger eller ved at anvende et enkeltkammersystem uden membran (Hricova et al., 2008). I mange tilfælde er det fordelagtigt at anvende et anlæg uden membran til produktion af ECA-vand i det pH-neutrale område, da vedligeholdelsesomkostningerne er lavere, eftersom der ikke er behov for at udskifte membranen (Adal et al., 2024).

I begge anlægstyper er både saltkoncentrationen og flowhastigheden af vandet gennem elektrolysecellen afgørende faktorer, der påvirker effektiviteten af de klorforbindelser, der dannes. Saltkoncentrationen påvirker mængden af tilgængelige klorioner til omdannelse til hypoklorsyre. En højere saltkoncentration kan føre til en større produktion af aktive klorforbindelser, men der er en optimal koncentration, da for høje niveauer kan forårsage korrosion af elektroderne og dannelse af uønskede biprodukter.

Flowhastigheden bestemmer, hvor længe elektrolytten er i kontakt med elektroderne i elektrolysecel- len. En længere kontakttid kan forbedre elektrolyseprocessen ved at give mere tid til reaktionerne, hvilket kan resultere i en mere komplet omdannelse af saltopløsningen til de ønskede klorforbindelser. Hvis flowet er for hurtigt, kan det medføre, at elektrolytten ikke bliver tilstrækkeligt behandlet, hvilket kan resultere i lavere koncentrationer af aktive klorforbindelser og dermed nedsat effektivitet (Adal et al., 2024).

For at sikre optimal produktion af ECA-vand bør anlægget indeholde et automatiseret kontrolsystem, der giver en advarsel, hvis relevante parametre, der kan påvirke kvaliteten, afviger fra det acceptable.

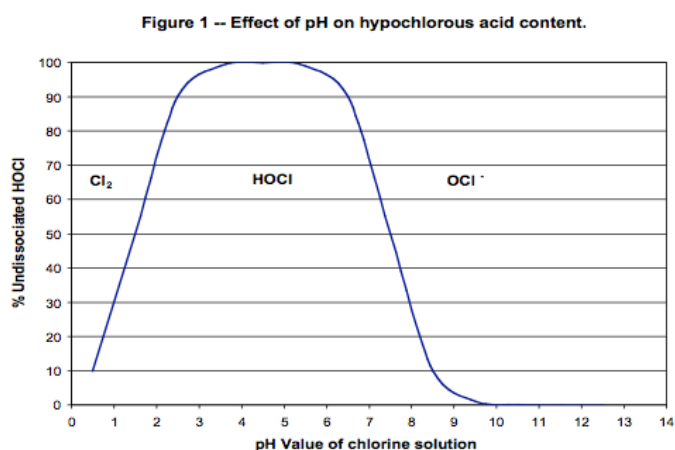
2.2. Anvendelse af ECA-vand, dets desinfektionseffekt og resistensudvikling

I alle kloropløsninger er der en tæt sammenhæng mellem pH-værdi og balancen mellem Cl_2 , HOCl og OCl^- (figur 2); dette gælder også for ECA-vand.

Stærkt alkalisk ECA-vand anvendes primært til rengøringsformål (dvs. ikke til desinfektion) på grund af dets høje pH-værdi og indhold af natriumhydroxid (NaOH). Dog betragtes det ikke som tilstrækkeligt effektivt til rengøring i fødevarerindustrien, hvor smudsniveauet efter produktion ofte er højt og kompli- ceret at fjerne grundet det høje proteinindhold. Til at fjerne sådant smuds kræves sæber med hjælpe- stoffer, så som tensider, fortykningsmidler, enzymer etc., som ikke findes i ECA-vand, men som er til stede i de rengøringsmidler, der normalt anvendes i branchen.

Til desinficerende formål kan både acidisk, svagt alkalisk og neutralt ECA-vand anvendes, hvor hypo- klorisyre (HOCl) er det aktive stof, der er ansvarligt for den antimikrobielle effekt. Hypoklorisyre menes at være mere effektiv mod mikroorganismer end natriumhypoklorit (NaOCl), hovedsageligt på grund af forskelle i molekylestørrelse og ladning. HOCl er et lille, neutralt molekyle, hvilket gør det lettere at trænge igennem bakteriernes cellevægge. Natriumhypoklorit består derimod af hypokloritioner (OCl^-), som er større og bærer en negativ ladning. Denne ladning hæmmer diffusion gennem cellemembra- ner, der ofte også er negativt ladede. Desuden gør den større molekylestørrelse det sværere for hypo- kloritionen at trænge igennem bakteriecellevægge, hvilket betyder, at hypoklorisyre menes at kunne anvendes i langt lavere koncentrationer end natriumhypoklorit.

Yderligere faktorer, der bidrager til den antimikrobielle effekt af ECA-vand, inkluderer opløsningens oxidationsreduktionspotentiale (ORP). En væske med høj ORP kan oxidere og dermed ødelægge bak- teriernes cellevægge. Den lave pH i acidisk ECA-vand gør yderligere mikroorganismerne mere sårbare over for hypoklorisyre. En væsentlig udfordring ved brugen af acidisk ECA-vand er dog dets stærkt kor- rosive natur, hvilket betyder, at produktet ikke bør anvendes til daglig desinfektion.



Figur 2. Balancen mellem Cl_2 , HOCl og OCl^- hænger nøje sammen med pH-værdien (Kilde: McGlynn, W., 2016).

I industriel sammenhæng er et ECA-vandprodukt med et pH tæt på neutral derfor mere interessant, idet indholdet af HOCl er balanceret med en lav korrosivitet. Den lave korrosivitet af ECA-vand har flere positive effekter, herunder bedre arbejdsmiljø for sanitørerne, mindre slid på udstyr samt mulighed for at anvende produktet uden efterskyl med vand, såfremt det specifikke produkt er godkendt til formålet af Fødevarestyrelsen.

Før ECA-vand tages i brug, skal producenten endvidere dokumentere produktets desinfektionseffekt i henhold til en række standarder, såsom EN-12756. Disse standarder sikrer, at produktet opfylder specifikke kriterier for effektivitet, herunder en defineret kontakttid, fx en 5 log-reduktion efter 5 minutter. Testene udføres typisk i laboratorier ved hjælp af suspensioner, hvilket kan gøre det udfordrende at overføre resultaterne til industrielle forhold, hvor mange faktorer kan påvirke den endelige effektivitet. Desinfektionseffekten af både acidisk og neutralt ECA-vand er testet på forskellige overfladetyper og forskellige mikroorganismer gennem tiden, og resultaterne er opsummeret af Hricova, D. et al., 2008. Resultaterne er dog stadig vanskelige at overføre til en industriel sammenhæng, da både koncentration, bakteriebelastning og fraværet af organisk materiale under testforholdene afviger fra de faktiske forhold i industrien. Der findes i øjeblikket ingen offentliggjorte studier, der dokumenterer effekten af neutralt ECA-vand i en industriel kontekst.

En bekymring for en overgang til nye desinfektionsmidler, der anvendes i lavere koncentration, er udviklingen af antimikrobiel resistens. Udvikling af antimikrobiel resistens er en generel bekymring og en velkendt udfordring for antibiotika, da mikroorganismer over tid kan erhverve gener, der gør dem i stand til at metabolisere eller neutralisere antibiotika, hvilket reducerer effektiviteten af disse lægemidler. Derimod er resistens mod desinfektionsmidler sjældnere, fordi de aktive komponenter i disse produkter rammer flere cellulære mål sammenlignet med antibiotika. For eksempel menes klorforbindelser (herunder hypoklorsyre) at forårsage oxidative skader, der ødelægger cellemembraner, proteiner og DNA inden i cellen. Desinfektionsmidler anvendes ofte i højere koncentrationer end antibiotika, hvilket yderligere reducerer risikoen for resistensudvikling.

En undtagelse fra dette mønster er resistens mod desinfektionsmidler indeholdende kvaternære ammoniumforbindelser. Brug af disse midler ved subletale koncentrationer har vist at kunne føre til øget tolerance og resistensudvikling (forskningsresultater opsummeret af Terrell, 2024).

Dette problem er ikke observeret med klorbaserede produkter som fx hypoklorsyre. Det understreger dog stadig vigtigheden af at anvende alle typer desinfektionsmidler, inklusive ECA-vand, i overensstemmelse med de anbefalede retningslinjer og med nøje opmærksomhed på korrekt dosis og koncentration for at minimere risikoen for resistensudvikling.

3. Test og evaluering af ECA-vand

Food Diagnostics A/S blev valgt som samarbejdspartner, idet de forhandler flowanlæg, der vil kunne opfylde kapacitetskravene for større danske fødevarerproducenter.

ECA-vand, produceret af Food Diagnostics A/S, blev testet af Teknologisk Institut i perioden fra maj til december 2024. ECA-vandet blev leveret som færdigproduceret koncentrat til Teknologisk Institut i 25 kg beholdere.

Specifikationer for det anvendte ECA-vand findes i tabel 1.

Koncentrationen af klor (fri og total klor) er målt ved brug af Kemio™ Disinfection (Palintest).

Tabel 1. Oversigt over det testede produkt.

| | |
|---|------------------------------|
| Leverandør | Food Diagnostics |
| Klorindhold i koncentratet (total klor) | 3620 ppm |
| pH af koncentratet | 9,59 (n=1, 25°C) |
| Opbevaringsforhold for koncentratet | Mørkt, køligt (13,2 ± 0,7°C) |
| Brugskoncentration (anbefalet) | 250-400 ppm |
| pH brugsopløsning 250 ppm | 8,42 (n=3, 25°C) |
| pH brugsopløsning 400 ppm | 8,56 (n=3, 25°C) |

Denne rapport opsummerer resultater fra følgende analyser og tests:

- Desinfektionseffekt ved industriel simulering i pilot plant
- Korrosion og anden skade på udstyr og overflader
- Produktmæssige kvalitetsforringelser ved brug af ECA-vand uden efterskyl
- Stabilitet af ECA-vand ved opbevaring
- Metoder til måling af klor

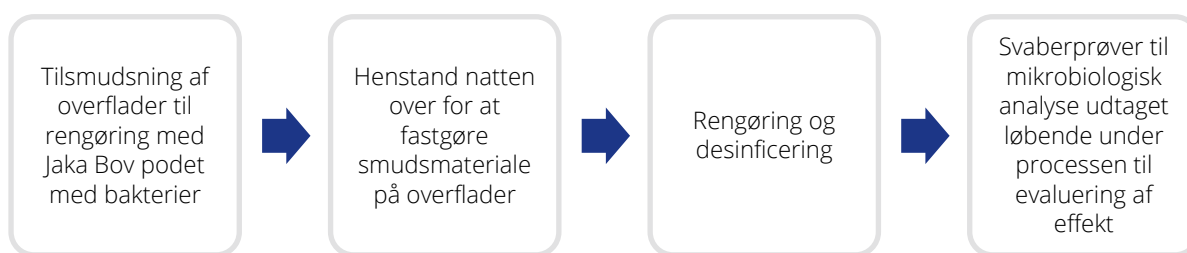
3.1. Undersøgelse af desinfektionseffekten

Formålet med disse forsøg var at evaluere og sammenligne effekten af neutralt ECA-vand med natriumhypoklorit under industrielt simulerede forhold med hensyn til smudsniveau, overfladetyper og rengøringsprocesser (inklusive både protokol og udstyr). Desinfektionsmidlernes effektivitet blev testet under både rene og urene forhold, defineret ud fra, hvorvidt der var mindre rester af organiske materiale tilbage på overflader, inden desinfektionsmidlerne blev udlagt.

I begge forsøg blev ECA-vand (med/uden efterskyl) samt natriumhypoklorit testet på tre overfladetyper: stål, modulbånd samt glatte bånd. Alle desinfektionsmidler blev testet i tre separate forsøg på hver overfladetype samt under urene og rene forhold.

3.1.1. Fremgangsmåde

Forsøgene blev gennemført i pilot plant på Teknologisk Institut efter forsøgssetup beskrevet i figur 3. Testoverfladerne ses af figur 4.



Figur 3. Forsøgsflow for test og sammenligning af ECA-vand med natriumhypoklorit.

De forskellige overflader blev indledningsvist gjort snavsede med et modelsmuds fremstillet af kogt, steril dåseskinke (Jaka Bov) podet med en cocktail af fordærvelsesbakterier (ikke-sporerdannende) isoleret fra kødprodukter:

- *Pseudomonas fluorescens* (DMRI-CC 3776)
- *Brochotrix thermosphacta* (DMRI-CC 4618)

Stammerne blev vækket fra frost (-80°C) og opformeret i BHI bouillon (20°C/5 dage), hvorefter de to stammer blev blandet i forholdet 1:1 (podekultur). Modelsmodsen blev fremstillet ved at blende en blanding af Jaka Bov og vand (sterilt) i forholdet 2,5:1. Herefter blev der tilsat 1,5 ml podekultur til modelsmodsen, svarende til et forventet podeniveau på 5 log CFU/g.

De tilsmudsede overflader blev henstillet ca. 18 timer ved 10°C for at simulere en almindelig produktionsdag i industrien. Herefter blev overfladerne fastspændt på stativer (figur 4) og rengjort efter protokollerne anført i tabel 5 (urene eller rene forhold). Vand og kemiprodukter blev udlagt på overfladerne via et standard lavtryksanlæg (25 bar) fra Ecolab.

Protokollerne blev sammensat i samarbejde med projektets følgegruppe med henblik på at efterligne den proces (kemi, dosis og kontakttider), der normalt anvendes til rengøring og desinficering i kødindustrien.



Figur 4. Forsøgssetup for test af desinfektionseffekt. De tilsmudsede overflader blev fastspændt på stativet. Stativet blev placeret 1 meter fra dysehovedet. 1 stativ med 5 plader repræsenterer én test. På billedet er der udtaget svaberprøver til bestemmelse af startkimal, før overfladerne blev rengjort og desinficeret.

Desinfektionseffekten blev evalueret ved at udtage svaberprøver af overfladerne til bestemmelse af total kimal. Svaberprøverne blev udtaget inden opstart af rengøringsprotokol, igen efter brug af sæbe samt efter desinficering. Svaberprøverne blev udtaget med fugtet gazeklud. Til forsøgene, hvor ECA-vand ikke blev afskyllet, blev der anvendt præfabrikerede svaberklude indeholdende 10% neutraliseringsagent (natriumthiosulfat). Efter svabring blev der tilført 50 ml FKP til kludene, og prøven blev stomacheret i 1 min (defineret som 0 fortynding). Herefter blev prøverne spredt i passende fortynding på PCA (dybdeudsæd) og inkuberet ved 20°C i 5 dage.

Table 5. Rengørings- og desinfektionsprotokol (rene og urene forhold).

| | Produkt | Kontaktid | Vandtemperatur | Antal passager |
|-----------------------|--|-----------|----------------|----------------|
| Urene forhold* | | | | |
| Grovskyl | Ingen grovskyl | | 45 | |
| Rengøring | 3,5% Topaz MD4 | 10 | 45 | 0,5 |
| Afskyl | | | 30 | 1 |
| Desinfektion | 250 ppm ECA-vand 3,5% natriumhypoklorit | 10 | 30 | 1 |
| | | 10 | 30 | 1 |
| Afskyl | | | 30 | 1 |
| Rene forhold | | | | |
| Grovskyl | | | 45 | 1 |
| Rengøring med sæbe | 3,5% Topaz MD4 | 10 | 45 | 1 |
| Afskyl | | - | 30 | 3,5 |
| Desinfektion | 250 ppm ECA-vand 3,5% natriumhypoklorit | 10 | 30 | 1 |
| | | | 30 | 1 |
| Afskyl | | - | 30 | 1 |

*Ikke visuelt ren overflade inden udlægning af desinfektionsmiddel

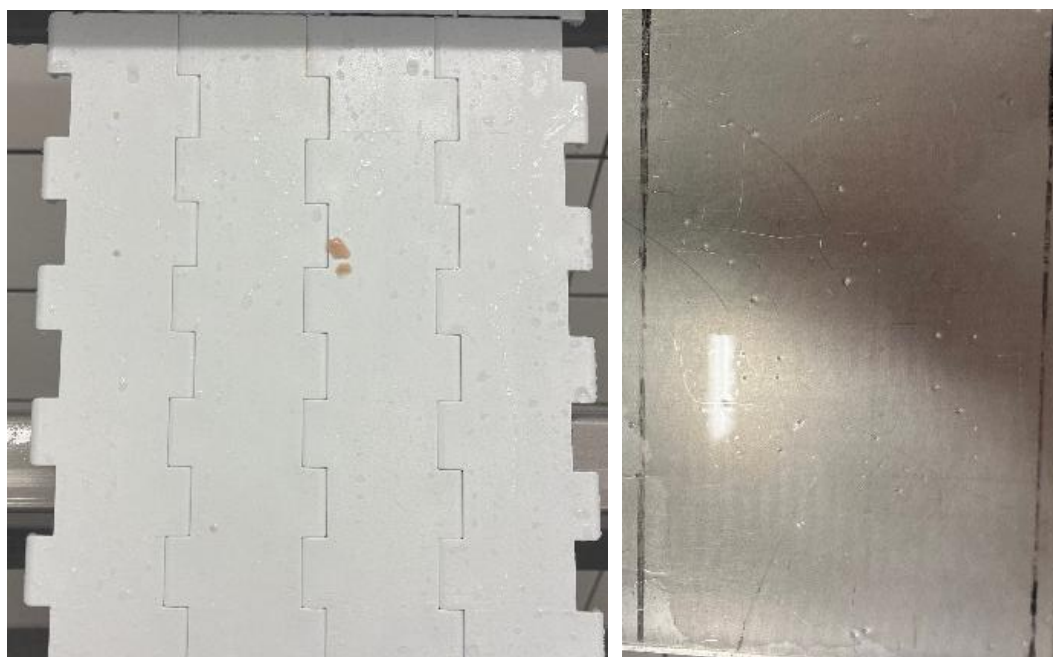
3.1.2. Resultater

Af figur 6-11 fremgår resultaterne af test af natriumhypoklorit og ECA-vand på de forskellige overflader under hhv. rene og urene forhold, defineret ud fra om overfladerne var visuelt rene inden udlægning af desinfektionsmiddel. Af figureerne fremgår det totale kimtal (log CFU/cm²), før rengøring blev opstartet, efter brug af sæbe samt efter desinfektion (med eller uden efterskyl). Af tabel 6 og 7 fremgår det totale kimtal efter desinfektion angivet som CFU/cm² for test under hhv. rene og urene forhold. I tabellen, hvor resultater for test under urene forhold er angivet, fremgår det, ved hvilke prøver overflader ikke blev vurderet visuelt rene ved udlægning af desinfektionsmidlerne. Billeder af ikke visuelt rene overflader fremgår af figur 5.

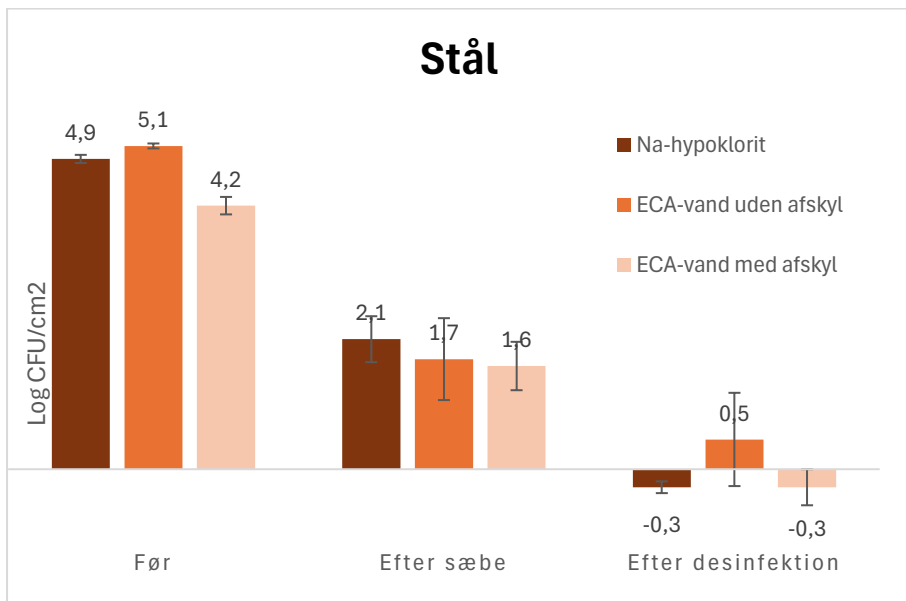
De samlede resultater viser, at desinfektionseffekten af ECA-vand både med og uden efterskyl med vand er sammenlignelig med den, der opnås med natriumhypoklorit.

Ved test under urene forhold, når desinfektionsmidlerne udlægges (figur 6-8), reduceres det totale kimtal med cirka 2-3 log efter rengøring med sæbe og vand. Resultaterne viser, som forventet, at der er risiko for, at effektiviteten af både natriumhypoklorit og ECA-vand reduceres, når overfladerne ikke er visuelt rene, når desinfektionsmidler udlægges (tabel 6). Det fremgår dog også af resultaterne, at når overfladerne ikke er visuelt rene, spiller afskylning af desinfektionsmidlerne med vand en væsentlig rolle for den endelige renhed (tabel 6). Når natriumhypoklorit eller ECA-vand anvendes med efterfølgende afskylning, varierer det totale kimtal på de urene overflader efter desinficering fra <1 til 51 CFU/cm². Til sammenligning svinger kimtallet på urene overflader, når ECA-vand bruges uden efterfølgende afskylning, mellem 13 og 332 CFU/cm². Når overfladerne er rene, og ECA-vand anvendes uden afskylning, opnås der en acceptabel effekt, der svarer til den, der opnås, når desinfektionsmidlerne skylles af (tabel 7).

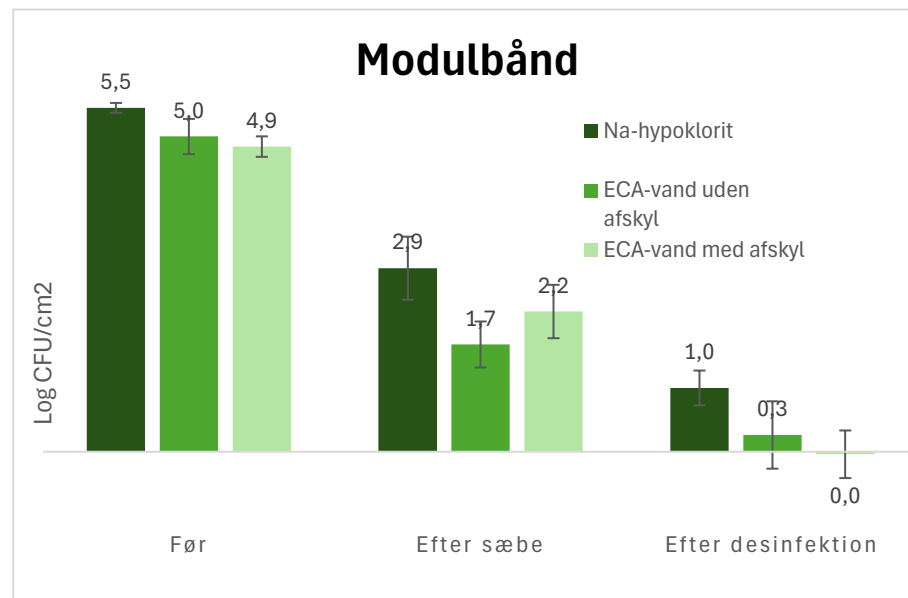
Ved test under rene forhold, når desinfektionsmidlerne udlægges (figur 9-11), ses det, at rengøring med sæbe og vand reducerer det totale kimtal markant med op til 5 log, hvilket gør det vanskeligt at sammenligne desinfektionsmidlernes effekt. Med hensyn til brug af ECA-vand uden efterskyl med vand kan det dog udtrækkes fra resultaterne, at desinfektionsmidlet er tilstrækkeligt effektivt, hvis overfladerne er rene, når ECA-vandet påføres.



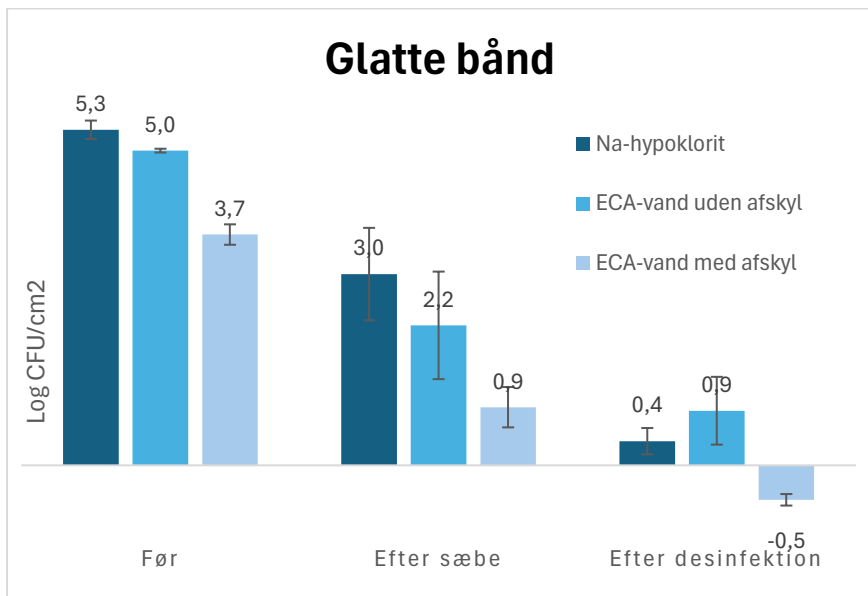
Figur 5. Billeder af ikke visuelt rene overflader ved udlægning af desinfektionsmiddel



Figur 6. Desinfektionseffekt på stål, urene forhold



Figur 7. Desinfektionseffekt på modulbånd, urene hold

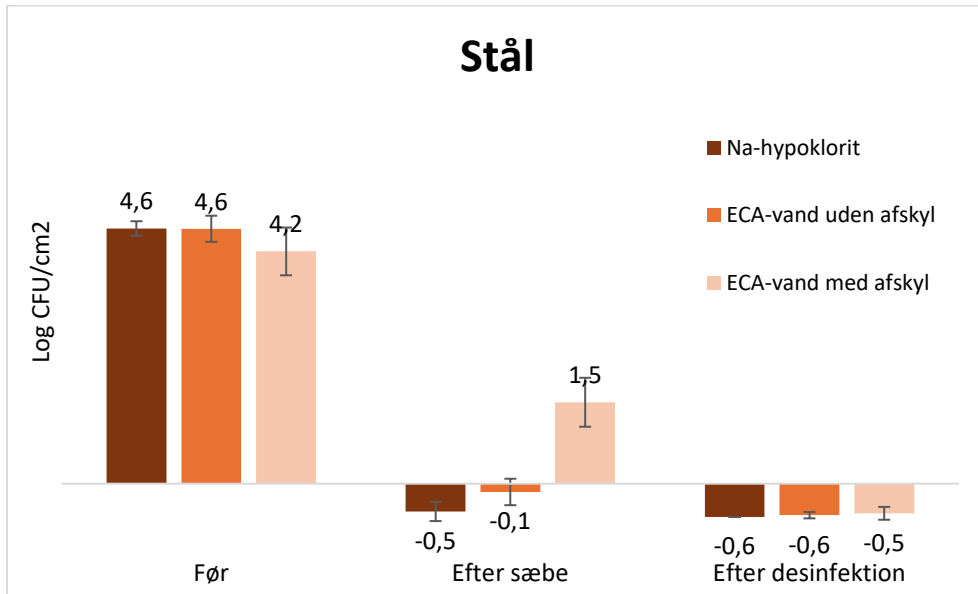


Figur 8. Desinfektionseffekt på glatte bånd, urene forhold

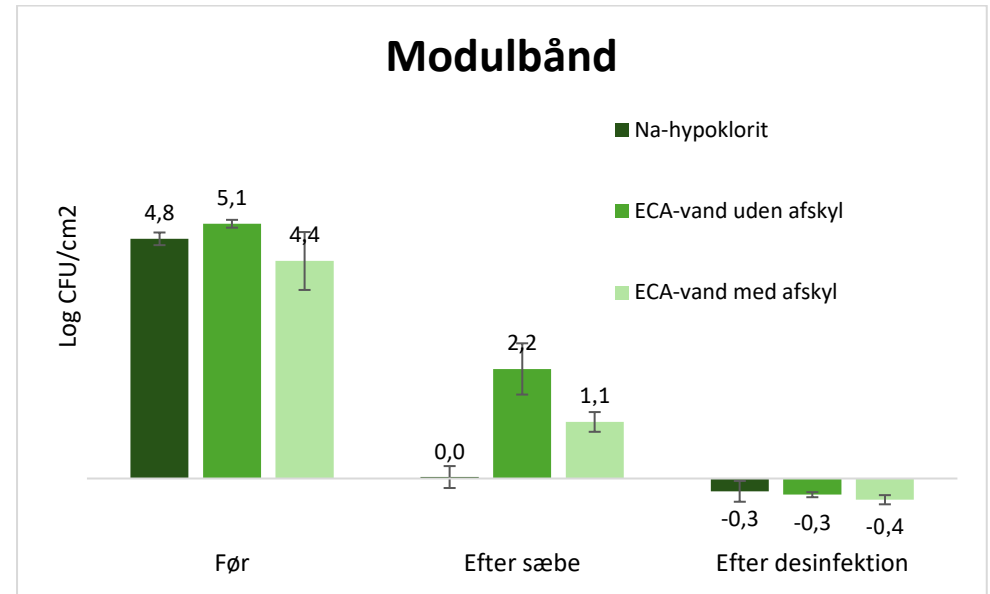
Tabel 6. CFU/cm² efter desinficering af overflader, urene forhold

| Overfladetype | | Stål | | | Modulbånd | | | Glatte bånd | | |
|---------------------|----------|--------------------|----------------------|---------------------|--------------------|----------------------|---------------------|--------------------|----------------------|---------------------|
| Desinfektionsmiddel | | Natrium-hypoklorit | ECA-vand uden afskyl | ECA-vand med afskyl | Natrium-hypoklorit | ECA-vand uden afskyl | ECA-vand med afskyl | Natrium-hypoklorit | ECA-vand uden afskyl | ECA-vand med afskyl |
| Test 1 | Svaber 1 | 1* | 2 | 3 | 24* | <1 | 3* | <1 | 8 | <1 |
| | Svaber 2 | <1 | 23 | 1 | 20* | <1 | 1* | 2 | 3 | <1 |
| | Svaber 3 | <1 | 95* | 1 | 1 | 2 | 1 | 5* | <1 | <1* |
| Test 2 | Svaber 1 | <1 | <1 | <1 | 17* | <1 | <1 | 4 | 332* | <1 |
| | Svaber 2 | 1 | <1 | <1 | 51* | 5 | <1 | 5* | 13* | <1* |
| | Svaber 3 | <1 | 2 | <1* | 18* | <1 | <1 | 3 | <1 | <1 |
| Test 3 | Svaber 1 | <1 | 150* | 2 | 21* | <1 | 2* | 3 | 120* | <1 |
| | Svaber 2 | 2* | <1 | 2 | 4 | 290* | 2 | 2 | 8 | <1 |
| | Svaber 3 | <1 | <1 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 6 | <1 |

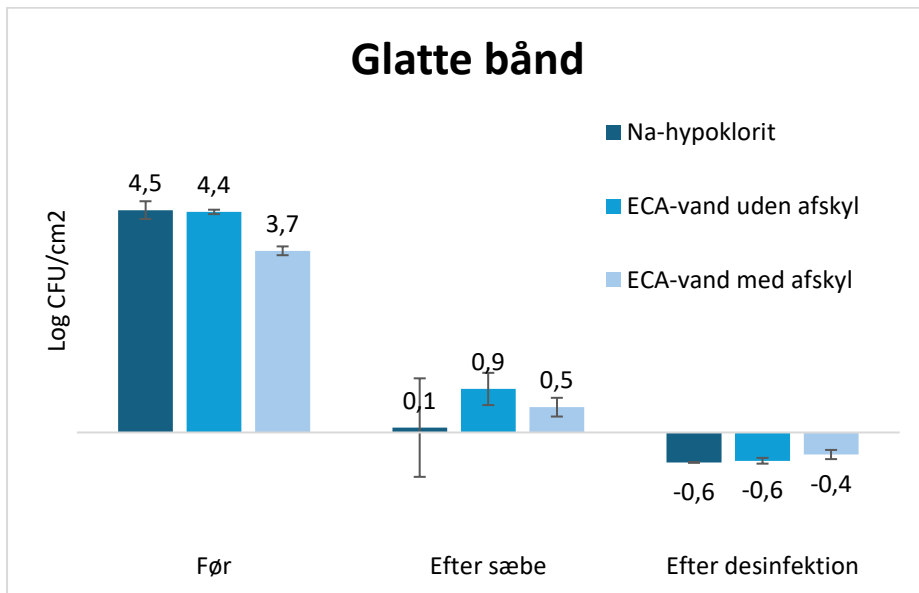
*Ikke visuelt ren overflade inden udlægning af desinfektionsmiddel



Figur 9. Desinfektionseffekt på stål, rene forhold



Figur 10. Desinfektionseffekt på modulbånd, rene hold



Figur 11. Desinfektionseffekt på glatte bånd, rene forhold

Tabel 7. CFU/cm² efter desinficering af overflader – Rene forhold.

| Overfladetype | | Stål | | | Modulbånd | | | Glatte bånd | | |
|---------------------|----------|--------------------|----------------------|---------------------|--------------------|----------------------|---------------------|--------------------|----------------------|---------------------|
| Desinfektionsmiddel | | Natrium-hypoklorit | ECA-vand uden afskyl | ECA-vand med afskyl | Natrium-hypoklorit | ECA-vand uden afskyl | ECA-vand med afskyl | Natrium-hypoklorit | ECA-vand uden afskyl | ECA-vand med afskyl |
| Test 1 | Svaber 1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | - | <1 | <1 |
| | Svaber 2 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | - | <1 | <1 |
| | Svaber 3 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | - | <1 | <1 |
| Test 2 | Svaber 1 | <1 | <1 | <1 | 4 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| | Svaber 2 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| | Svaber 3 | <1 | <1 | <1 | <1 | 1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| Test 3 | Svaber 1 | <1 | <1 | <1 | <1 | 1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| | Svaber 2 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| | Svaber 3 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | 1 | <1 | <1 | 2 |

3.2. Undersøgelse af korrosion og anden skade på udstyr

Risikoen for korrosion og anden skade på udstyr fra ECA-vand afhænger i høj grad af ECA-vandets pH-værdi samt indhold af hypoklorsyre (Wang et al., 2019b; Iram et al., 2021; Krishnan et al., 2023). Ud over at beskadige produktionsudstyret udgør korrosion også en fødevarerisikofaktor, idet bakterier kan etablere sig og gro i de mikroskopiske nicher, der opstår i overfladerne.

Som led i projektet blev der gennemført forsøg for at undersøge, om ECA-vand er korrosivt overfor de ståltyper, der hyppigt anvendes i fødevarerindustrien, og om det forårsager anden skade på typiske ikke-metalliske overflader.

3.2.1. Eksperimentelle betingelser

Korrosionsforsøget blev gennemført over en periode på 10 uger. Metalliske overflader blev elimineret fra forsøget, når der blev konstateret korrosion. Ikke-metalliske overflader blev vurderet efter 9 ugers eksponering.

Der blev testet to koncentrationer af ECA-vand (250 ppm og 400 ppm), en natriumhypokloritopløsning samt rent vand (kontrol).

Kemiprodukterne blev testet både med og uden forudgående vask og skyl. Følgende eksperimentelle betingelser blev testet:

1. 250 ppm ECA-vand uden forudgående vask/skyl
2. 250 ppm ECA-vand med forudgående vask/skyl
3. 400 ppm ECA-vand uden forudgående vask/skyl
4. 400 ppm ECA-vand med forudgående vask/skyl
5. 1,0% natriumhypoklorit uden forudgående vask/skyl
6. 1,0% natriumhypoklorit med forudgående vask/skyl
7. Vand fra hanen uden forudgående vask/skyl (kontrol)

Korrosionsrisikoen ved de 7 forskellige eksperimentelle betingelser blev testet på følgende overflader:

- Stålblade AISI 304 (med og uden ridser/skader, stående eller liggende)
- Fjeder (pianotråd)
- Fjeder (rustfri AISI 302)
- Kniv
- Konservesdåse
- Skrue AISI 304
- Modulbånd
- Glat bånd

3.2.2. Fremgangsmåde

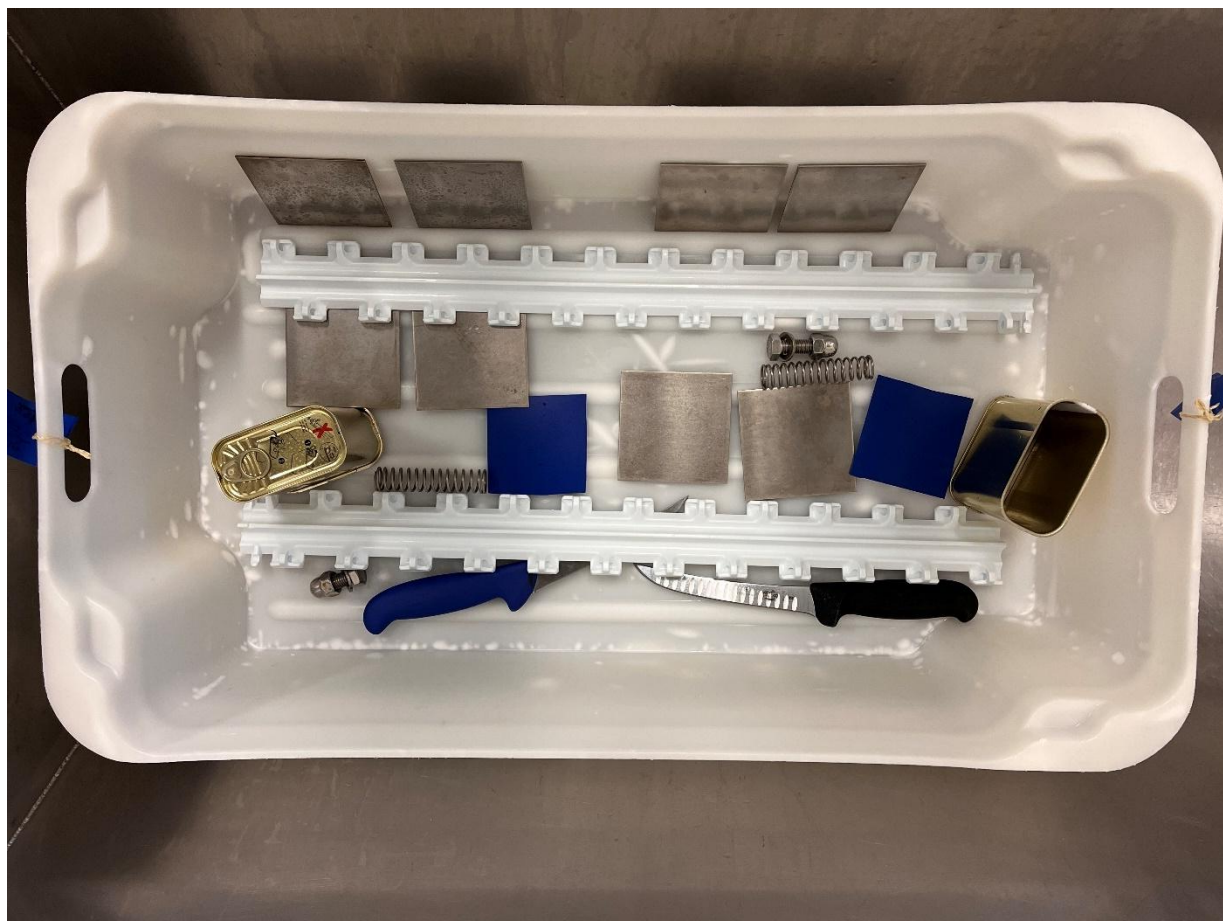
Prøvemønstrene blev placeret i kasser (figur 12) og opbevaret i pilot plant ved ca. 8°C og 70% relativ luftfugtighed, hvor temperatur og luftfugtighed blev logget gennem hele forsøgsperioden.

Brugsopløsninger af kemikalierne blev fremstillet friske ved starten af hver uge. Der blev foretaget målinger af pH samt fri og total klor i brugsopløsningerne, inden de blev taget i brug.

Overfladerne blev sprayet dagligt (mandag-fredag) med de respektive kemiprodukter. De overflader, der blev testet med forudgående vask/skyl, blev vasket af med sæbevand, skyllet og tørret forud for den daglige kemibehandling.

Metalliske prøveemner blev testet ugentligt for korrosion. I tilfælde af korrosion blev prøveemnet taget ud af forsøget, fotograferet, og korrosionsdatoen blev registreret.

Ikke-metalliske prøveemner blev efter 9 uger vurderet visuelt og taktilt for eventuelle kvalitetsforringelser.



Figur 12. Prøveemner i kasse til korrosionsforsøg.

3.2.3. Resultater

Resultaterne for ståloverflader af AISI 304 kvalitet er gengivet i figur 14, og resultaterne for de øvrige ståloverflader er at finde i figur 15. Søjler, der i figur 14 og 15 når 'Max', indikerer tilfælde, hvor der ingen korrosion er observeret i hele forsøgsperioden (10 uger).

Resultaterne for den visuelle vurdering af glatte bånd er illustreret i figur 16. Der blev ikke observeret nogen kvalitetsforringelse af de glatte bånd, da de efter 9 uger blev udtaget til taktil vurdering.

Resultaterne for visuel og taktil vurdering af modulbånd er ikke vist. Det var ikke muligt at observere nogen visuel eller taktil kvalitetsforringelse på modulbånd, da de efter 9 uger blev udtaget til vurdering.

Generelt gælder for både stål og glatte bånd, at der er markant forskel på, om desinfektionsmidlet bliver skyllet af fx i forbindelse med den daglige rengøring, eller om der blot påføres nyt desinfektionsmiddel uden forudgående afskylning.

Overvågning af temperatur og luftfugtighed:

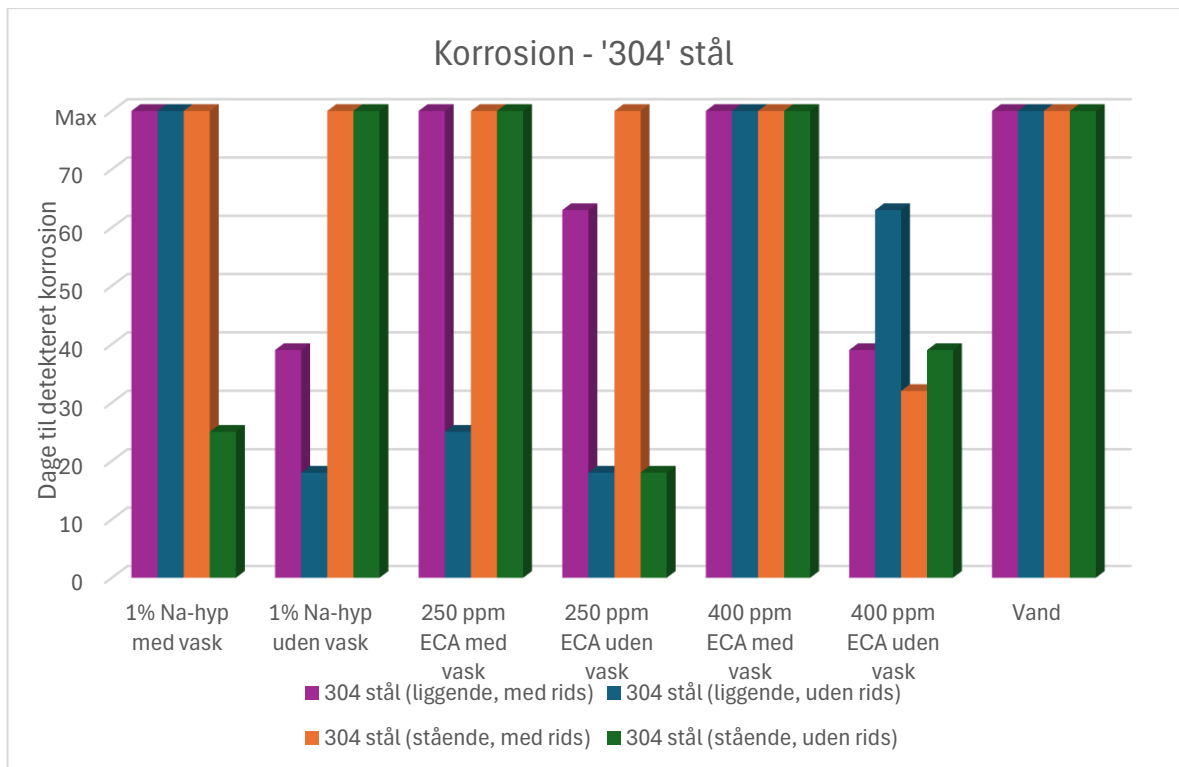
| Temperatur | Temperatur | Relativ luftfugtighed | Relativ luftfugtighed |
|-------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|
| Middelværdi | Standardafvigelse | Middelværdi | Standardafvigelse |
| 8,3°C | 0,5°C | 67,4% | 8,3% |

3.2.4. Korrosion af ståloverflader

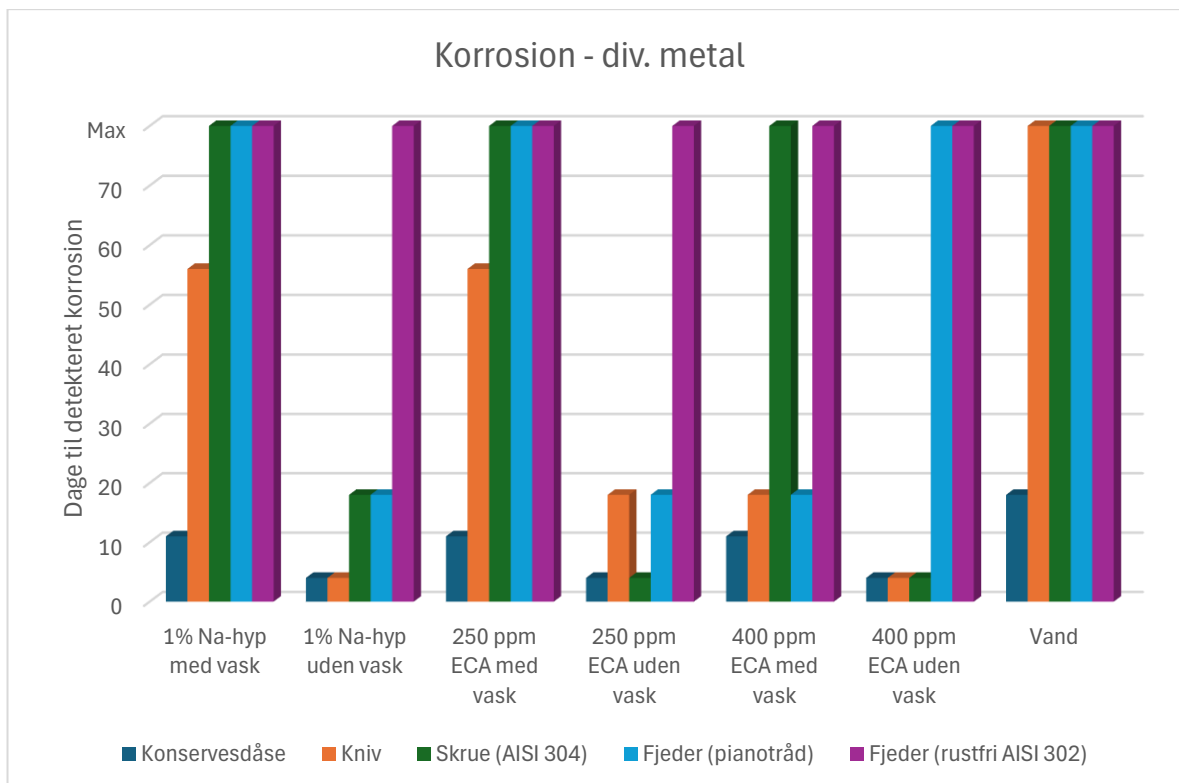
Eksempler på korrosion ses i figur 13. Med enkelte 'outliers' vurderes det overordnet, at hvis desinfektionsmidlet (alle tre testede typer) dagligt bliver fjernet (fx i forbindelse med rengøring), så er det ikke væsentligt mere korrosivt end rent vand. Dog skal det pointeres, at jo bedre kvalitet stål, jo mindre betydning havde det, om desinfektionsmidlet blev fjernet dagligt. Således blev der meget hurtigt observeret korrosion på konservesdåser – også ved spray med rent vand – mens ingen af de rustfrie fjedre i AISI 302 stål blev korroderede i forsøgsperioden, uanset behandling.



Figur 13. Korrosion på forskellige ståloverflader. a: konservesdåse (1% Na-hyp, uden vask, dag 4), b: stålplade AISI 304 (250 ppm ECA, med vask, dag 24), c: kniv (1% Na-hyp, med vask, dag 56).



Figur 14. Registrering af antal dage til der var synlig korrosion på ståloverflader (AISI 304) efter behandling med tre forskellige desinfektionsopløsninger (med eller uden forudgående vask) eller vand (kontrol). Ståloverfladerne var placeret enten vandret (liggende) eller lodret (stående) og var enten ubeskadigede (uden rids) eller beskadigede (med rids). Ved kombinationer, hvor søjlen går til 'Max', blev der ikke konstateret korrosion i hele forsøgsperioden (10 uger).



Figur 15. Registrering af antal dage til der var synlig korrosion på diverse metaloverflader efter behandling med tre forskellige desinfektionsopløsninger (med eller uden forudgående vask) eller vand (kontrol). Ved kombinationer, hvor søjlen går til 'Max', blev der ikke konstateret korrosion i hele forsøgsperioden (10 uger).

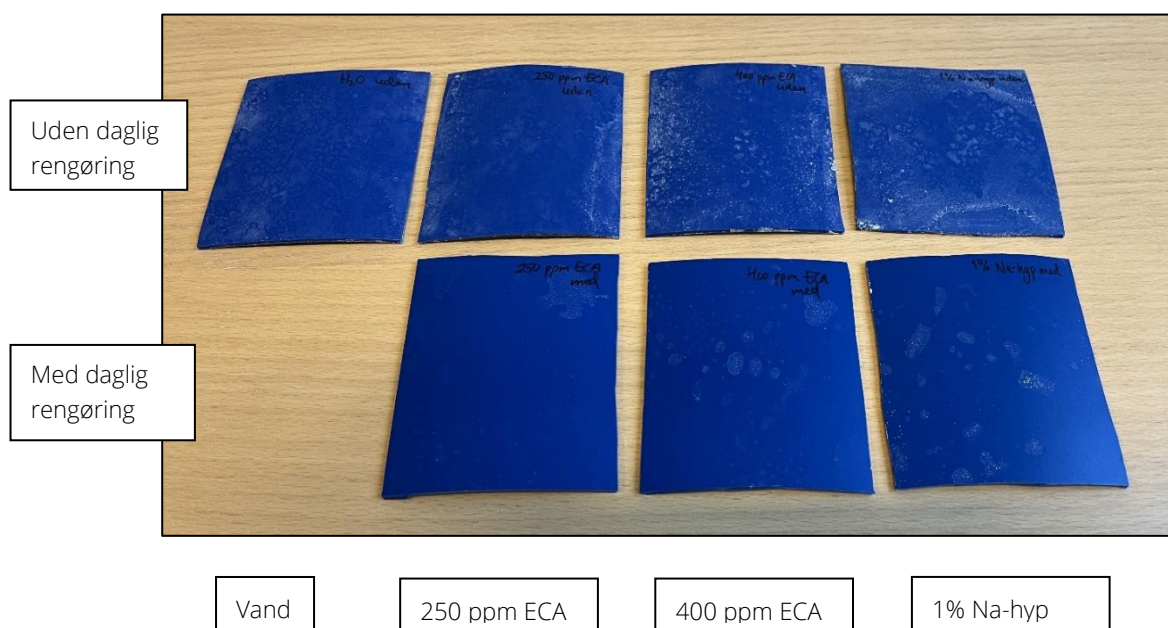
3.2.5. Ikke-metalliske overflader

Glatte bånd (figur 16):

- Udpræget mineralske aflejring på alle, der ikke blev vasket (også dem, der blot blev sprayet med vand)
- Spray med vand og 250 ppm ECA (uden vask) havde lidt mindre aflejring end 400 ppm ECA og 1% Na-hyp
- Markant færre aflejring på bånd, der blev vasket og skyllet dagligt

Modulbånd (ikke vist):

- Ikke muligt at se forskel i aflejring
- Ikke muligt at mærke forskel i elasticitet ved kryds-vrid



Figur 16. Glatte bånd vurderet efter 9 ugers behandling. Der er tydelig forskel på mængden af aflejring, alt efter om overfladerne har været rengjort dagligt. Der er også en svag tendens til mere aflejring ved 400 ppm ECA og 1% Natriumhypoklorit (begge uden daglig rengøring) end ved 250 ppm og rent vand (begge uden daglig rengøring).

3.3. Undersøgelse af produktkvalitetsforringelser ved desinfektion uden afskyl

Formålet med disse forsøg var at undersøge, om brugen af ECA-vand uden efterskyl med vand øgede risikoen for kvalitetsforringelser på de produkter, der senere blev fremstillet på det desinficerede udstyr. Denne risiko omfatter både afsmitning af klorklugt og misfarvninger.

3.3.1. Fremgangsmåde

Forsøgene blev udført med både fersk kød og spegepølseskiver, som blev udsat for kontakt med desinfektionsmidlet. ECA-vand blev testet i sin koncentrerede form samt i den anbefalede brugsopløsning (250 ppm). ECA-vandet blev enten påført direkte på kødet (2 sprøjt med vanddispenser) eller havde indirekte berøring med produktet gennem kontakt med desinficerede bånd i 2 minutter, enten lige efter desinficering (vådt bånd), eller efter desinfektionsmidlet var indtørret. Til sammenligning blev samme test gennemført for natriumhypoklorit. Kødprodukterne blev efter behandlingen MA-pakket (70% O₂/20% CO₂) og opbevaret på køl ved 5°C.

Eventuelle kvalitetsforringelser blev vurderet rent sensorisk ved brug af et panel bestående af 4-5 medarbejdere fra Teknologisk Institut. Dommerne blev instrueret i at bedømme, om de enkelte prøver var afvigende i forhold til en reference, der var blevet behandlet med vand frem for desinfektionsmiddel.

Bedømmelserne blev foretaget på en skala fra 1 til 4. Karaktererne 1-2 blev givet for ingen eller mindre afvigelser i forhold til referencen, mens karaktererne 3-4 blev givet for afvigende eller meget afvigende prøver. Hvis dommerne gav en karakter højere end 1, blev de bedt om at kommentere på bedømmelsen for at fastslå, om afvigelsen var relateret til kemisk behandling eller andre faktorer.

Det ferske kød blev sensorisk vurderet dagen efter behandling med desinfektionsmiddel og igen efter 3 dages opbevaring ved 5°C. Spegepølserne blev sensorisk vurderet 2 dage efter behandlingen og igen efter 4 dages opbevaring ved 5°C. På hver forsøgsdag blev de sensoriske vurderinger foretaget med dobbeltbestemmelse; dvs. at dommerne udførte bedømmelserne to gange hver forsøgsdag.



Figur 17. Kødprodukterne var i kontakt med desinficerede udstyrsoverflader (ECA-vand eller natriumhypoklorit) i 2 minutter. Efter kontakttiden blev kødprodukterne MA-pakket og opbevaret på køl, indtil de sensoriske kvalitetsmæssige undersøgelser blev foretaget.

3.3.2. Resultater

De sensoriske resultater for både fersk kød og spegepølser ses af henholdsvis tabel 8 og 9. Afvigelser relateret til kemiske behandlinger er markeret med rødt, mens resultater uden afvigelser i forhold til referencen er angivet med grønt.

Når fersk kød kom i kontakt med desinfektionsmidler i koncentreret form, enten indirekte via båndet eller ved direkte påføring, førte det til misfarvning, klorlugt og harskning af kødet. Kvalitetsforringelser var mere markante, når det ferske kød var behandlet med koncentreret natriumhypoklorit, hvor kødet blev vurderet afvigende både på dag 1 og 3. Når kødet var behandlet med ECA-vand i dets koncentrerede form, blev afvigelser fundet dagen efter behandlingen, mens dommerne ikke kunne se eller lugte forskel på disse prøver og referencen efter 3 dage på køl.

Behandling med ECA-vand, når det blev fortyndet til brugsopløsning, medførte ikke de samme kvalitetsmæssige udfordringer. Der blev ikke observeret sensoriske afvigelser såsom ændringer i lugt eller udseende, når ECA-vand i brugsopløsning blev påført direkte på kødet eller kom i kontakt med et bånd, hvor desinfektionsmidlet var indtørret. Dog bemærkede en dommer, at kødet blev en smule bløgere og havde en let afvigende lugt, når det havde to minutters kontakt med båndet, umiddelbart efter

ECA-vandet var blevet påført (vådt bånd). De øvrige dommere havde også nogle afvigende kommentarer til det friske kød, der havde været i kontakt med det våde bånd.

Billeder af det ferske kød behandlet med ECA-vand (koncentrat/brugsopløsning) ved direkte påføring fremgår af figur 18.

Table 8. Sensoriske resultater for fersk kød behandlet med desinfektion. Behandlingen blev udført enten ved direkte påføring på kødet eller gennem kontakt med et desinficeret transportbånd (vådt eller tørt). De sensoriske vurderinger blev foretaget dagen efter behandlingen samt efter tre dages opbevaring på køl. Resultaterne er angivet som den maksimale karakter givet for udseende eller lugt. Afvigelser (karakter 2-4) relateret til kemiske behandlinger er markeret med rødt, mens resultater uden afvigelser i forhold til referencen er angivet med grønt.

| <i>Desinfektionsmiddel direkte kødprodukt</i> | <i>Dag 1</i> | <i>Dag 3</i> | <i>Kommentarer</i> |
|---|--------------|--------------|---|
| <i>Natriumhypoklorit, koncentrat</i> | | | Dag 1+3: misfarvet, harsk og klorklugt |
| <i>Natriumhypoklorit, brugsopløsning</i> | | | Dag 1: klorklugt |
| <i>ECA-vand, koncentrat</i> | | | Dag 1: misfarvet, harsk og klorklugt |
| <i>ECA-vand, brugsopløsning</i> | | | |
| <i>Desinfektionsmiddel vådt på båndet</i> | | | |
| <i>Natriumhypoklorit, koncentrat</i> | | | Dag 1+3: misfarvet, harsk og klorklugt |
| <i>Natriumhypoklorit, brugsopløsning</i> | | | Dag 1: klorklugt |
| <i>ECA-vand, koncentrat</i> | | | Dag 1: misfarvet, harsk og klorklugt |
| <i>ECA-vand, brugsopløsning</i> | * | | Dag 1: en smule blegere, lidt afvigende lugt* |
| <i>Desinfektionsmiddel indtørret på båndet</i> | | | |
| <i>Natriumhypoklorit, koncentrat</i> | | | Dag 1+3: misfarvet, harsk og klorklugt |
| <i>Natriumhypoklorit, brugsopløsning</i> | | | |
| <i>ECA-vand, koncentrat</i> | | | |
| <i>ECA-vand, brugsopløsning</i> | | | |

*Kun én dommer vurderede, at prøverne var afvigende sammenlignet med referencen.



ECA brugsopløsning
Indtørret på bånd

ECA brugsopløsning
Vådt bånd

ECA-koncentrat
Direkte på kød

Reference
Vand

Figur 18. Fersk kød behandlet med ECA-vand enten ved direkte påføring eller gennem kontakt med desinficerede bånd (våd eller indtørret). Billeder blev taget dag 3 efter behandling, hvor kødet havde været MA-pakket og opbevaret på køl i perioden.

De sensoriske afvigelser i spegepølser, der blev behandlet med desinfektionsmiddel, var mindre fremtrædende sammenlignet med vurderingerne af fersk kød. Dette tilskrives sandsynligvis spegepølsernes røgede og krydrede aroma, som kan maskere en eventuel kemisk behandling.

Ligesom med det ferske kød kan behandling med natriumhypoklorit i koncentreret form medføre kvalitetsmæssige udfordringer såsom misfarvning, harskning eller en klor-/kemisk lugt. Direkte påføring af koncentreret ECA-vand på spegepølser skiver forårsager harskning af produktet. Dog sås der ingen afvigelser, når produktet kom i kontakt med bånd (våde eller indtørret) sammenlignet med referencen. Ingen af dommerne kunne lugte eller se forskel på spegepølserne, når de blev behandlet med ECA-vand fortyndet til brugsklar opløsning, uanset behandlingsmetoden.

Billeder af spegepølser behandlet med ECA-vand (koncentrat/brugsopløsning) eller koncentreret natriumhypoklorit ved direkte påføring fremgår af figur 19.

Table 9. Sensoriske resultater for spegepølse behandlet med desinfektion. Behandlingen blev udført enten ved direkte påføring på kødet eller gennem kontakt med et desinficeret transportbånd (vådt eller tørt). De sensoriske vurderinger blev foretaget 2 dage efter behandlingen samt efter 4 dages opbevaring på køl. Resultaterne er angivet som den maksimale karakter givet for udseende eller lugt. Afvigelser (karakter 2-4) relateret til kemiske behandlinger er markeret med rødt, mens resultater uden afvigelser i forhold til referencen er angivet med grønt.

| <i>Desinfektionsmiddel direkte kødprodukt</i> | <i>Dag 2</i> | <i>Dag 4</i> | <i>Kommentarer</i> |
|---|--------------|--------------|--------------------------------------|
| <i>Natriumhypoklorit, koncentrat</i> | | | Dag 2+ 4: gullig, svømmehal |
| <i>Natriumhypoklorit, brugsopløsning</i> | | | Dag 4: bleg, harsk |
| <i>ECA-vand, koncentrat</i> | | | Dag 4: harsk |
| <i>ECA-vand, brugsopløsning</i> | | | |
| <i>Desinfektionsmiddel vådt på båndet</i> | | | |
| <i>Natriumhypoklorit, koncentrat</i> | | | Dag 2+4: klorklugt, harsk, misfarvet |
| <i>Natriumhypoklorit, brugsopløsning</i> | | | |
| <i>ECA-vand, koncentrat</i> | | | |
| <i>ECA-vand, brugsopløsning</i> | | | |
| <i>Desinfektionsmiddel indtørret på båndet</i> | | | |
| <i>Natriumhypoklorit, koncentrat</i> | | | Dag 2+4: klorklugt, misfarvet |
| <i>Natriumhypoklorit, brugsopløsning</i> | | | Dag 1: kemisk lugt. |
| <i>ECA-vand, koncentrat</i> | | | |
| <i>ECA-vand, brugsopløsning</i> | | | |



ECA brugsopløsning udtørret på bånd

ECA brugsopløsning Vådt bånd

ECA-koncentrat Direkte på kød

Reference Vand

Klorkoncentrat Direkte på kød

Figur 19. Spegepølser behandlet med ECA-vand enten ved direkte påføring eller gennem kontakt med desinficerede bånd (våd eller indtørret). Billeder er taget dag 2 efter behandling, hvor spegepølserne har været MA-pakket og opbevaret på køl i perioden.

Samlet set viser resultaterne, at risikoen for kvalitetsmæssige udfordringer – som klorlugt eller misfarvning af kødprodukter – er lav, når ECA-vand bruges uden efterfølgende skylning. Dette gælder især, når udstyr og overflader er tørre, inden produktionen påbegyndes.

3.4. Undersøgelse af stabilitet af ECA-vand

3.4.1. Stabilitet af ECA-vand

Stabiliteten af ECA-vand har været en tilbagevendende bekymring i industrien. Litteraturstudier (Wang et al., 2019b; Iram et al., 2021; Krishnan et al., 2023) og egne erfaringer har peget på, at ECA-vand er sårbart overfor suboptimale opbevaringsforhold med effektforringelse til følge.

Formålet med forsøget var at undersøge stabiliteten af ECA-vand, når det opbevares som koncentrat (~pH 8,5 og ca. 4500 ppm) under optimale forhold (lukket beholder, koldt og mørkt) samt under belastede forhold (åben/semiåben beholder, lys, kontamineret med organisk materiale samt opbevaret ved lunere temperatur).

3.4.2. Eksperimentelle betingelser

Stabilitetsforsøget blev gennemført over en periode på 3 uger.

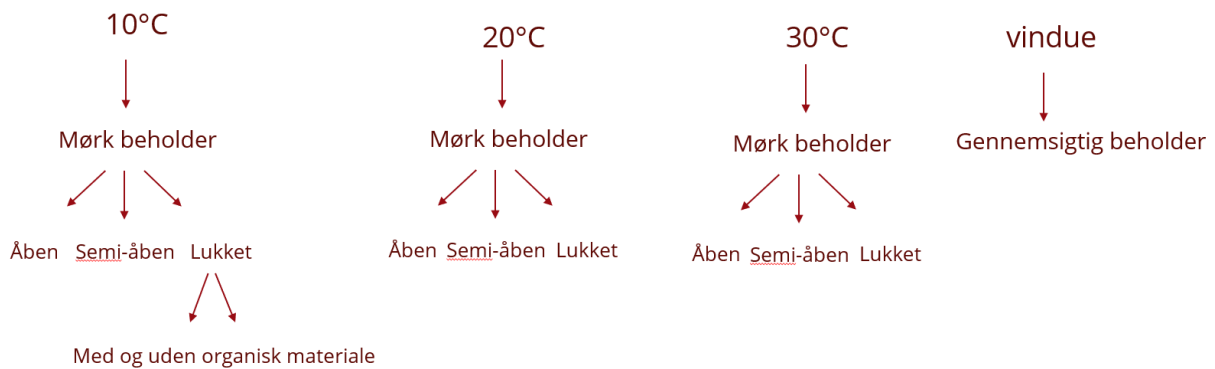
- Temperaturer: 10°C, 20°C, 30°C, temperatur i vindueskarm (ca. 17°C)
- Lysforhold: sollys/dagslys (i vindueskarm), mørke
- Tæthed af beholder: lukket, semiåben, åben
- Renhed: uden/med organisk materiale

3.4.3. Fremgangsmåde

Beholdere af HDPE-plast blev ved forsøgets start påfyldt ECA-vand-koncentrat. Én beholder var gennemsigtig, og de øvrige var mørke. Én af de mørke beholdere blev tilsat en klump organisk materiale (Jaka Bov) (figur 20a). Beholderne blev enten lukket tæt, semilukket eller efterladt helt uden låg og inkuberet ved forskellige temperaturer, som vist i figur 20b.



Figur 20a. Eksempler på beholdere med koncentreret ECA-vand brugt i stabilitetsforsøget: tilsat organisk materiale (tv), lukket/semiåben/åben (midtfor) og gennemsigtig beholder (th).



Figur 20b. Parametre for test af stabilitet af neutralt ECA-vand.

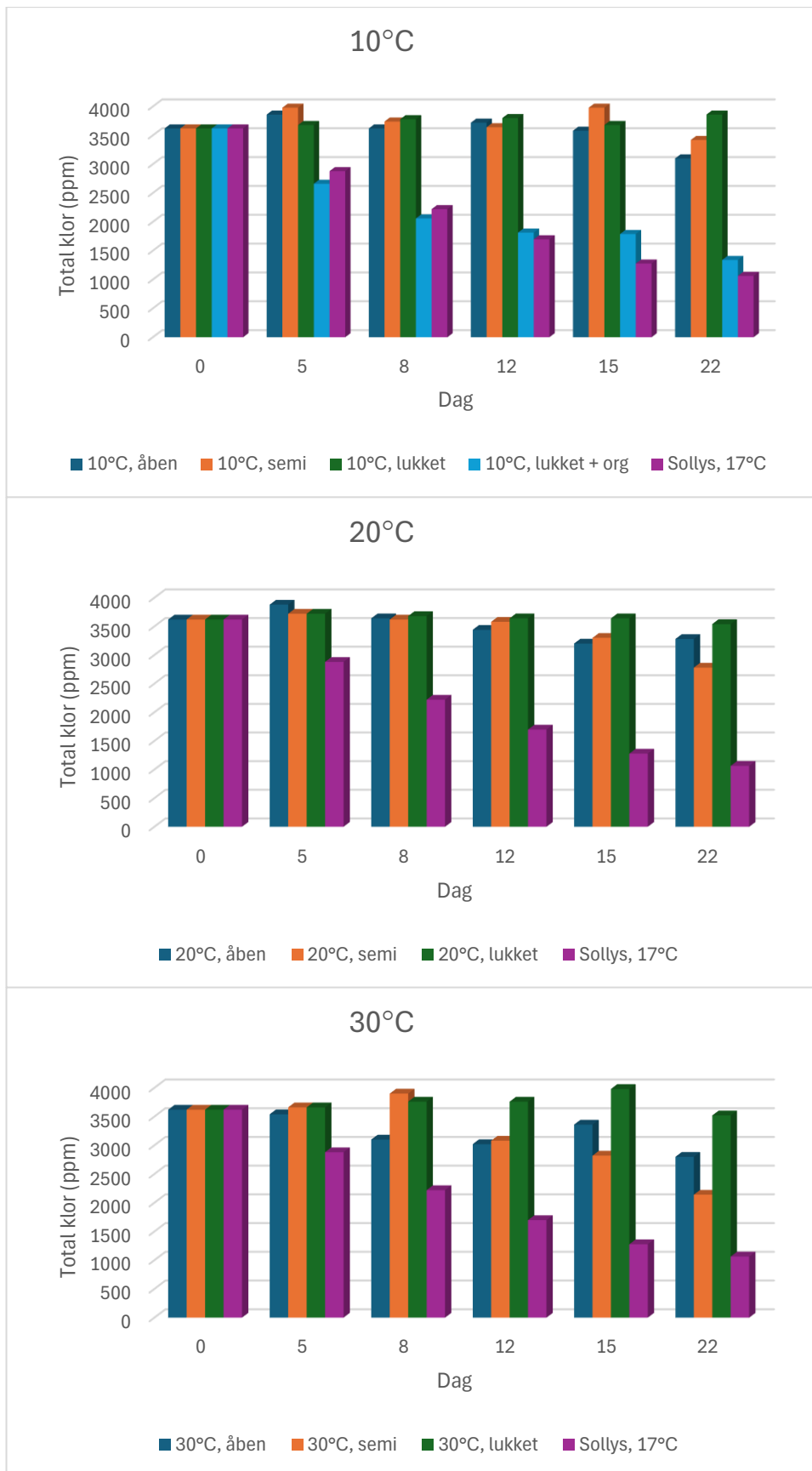
Klorconcentrationen og pH blev målt løbende i lagringsperioden ved brug af Kemio™ Disinfection apparat og pH-meter.

3.4.4. Resultater

På bare tre uger sås tydelige tendenser for, hvordan opbevaringstemperatur, tæthed af beholder, tilstedeværelse af organisk materiale samt eksponering for sollys påvirkede klorindholdet og dermed effekten af ECA-vand-koncentrat (figur 21, 22 og 23).

Helt generelt kan det siges:

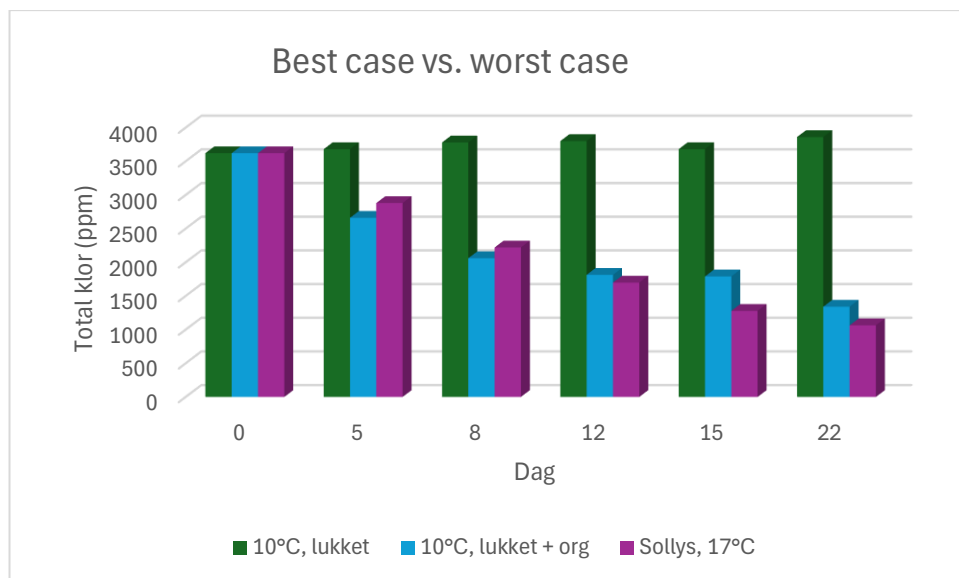
- Såfremt beholderen holdes tæt lukket og beskyttes mod forurening med organisk materiale og sollys, så er det ikke så afgørende, hvilken temperatur produktet opbevares ved (i intervallet 10°C til 30°C) (figur 21 og 22)
- Hvis der er risiko for, at beholderen ikke altid er tætsluttende, er det bedre at opbevare produktet ved 10°C end ved 30°C. I ikke-tætsluttende beholder og ved en opbevaringstemperatur på 30°C kan produktet miste op til 40% af klorindholdet (figur 22)
- Hvis produktet bliver forurenede med organisk materiale eller udsat for sollys, ses der hurtigt en drastisk effekt på klorindholdet: På bare tre uger har ECA-vandet mistet 60-70% af det totale klorindhold sammenlignet med produkt, der er opbevaret under ideelle forhold (figur 23)



Figur 21. Opbevaringstemperaturens påvirkning af klorkoncentrationen. Hvis beholderen er lukket, ikke er forurenet og ikke er udsat for sollys, er der ingen effekt af temperaturen i intervallet 10-30°C.



Figur 22. Tætheden af beholderens påvirkning af klorkoncentrationen. Hvis beholderen er lukket, er der ingen effekt af temperaturen i intervallet 10-30°C (forudsat at den ikke er forurenet og ikke er udsat for sollys, jf. figur 21). Hvis beholderen ikke er lukket, så falder klorkoncentrationen – jo varmere, jo hurtigere fald. På bare tre uger kan ECA-vandet miste op til 40% af klorindholdet.

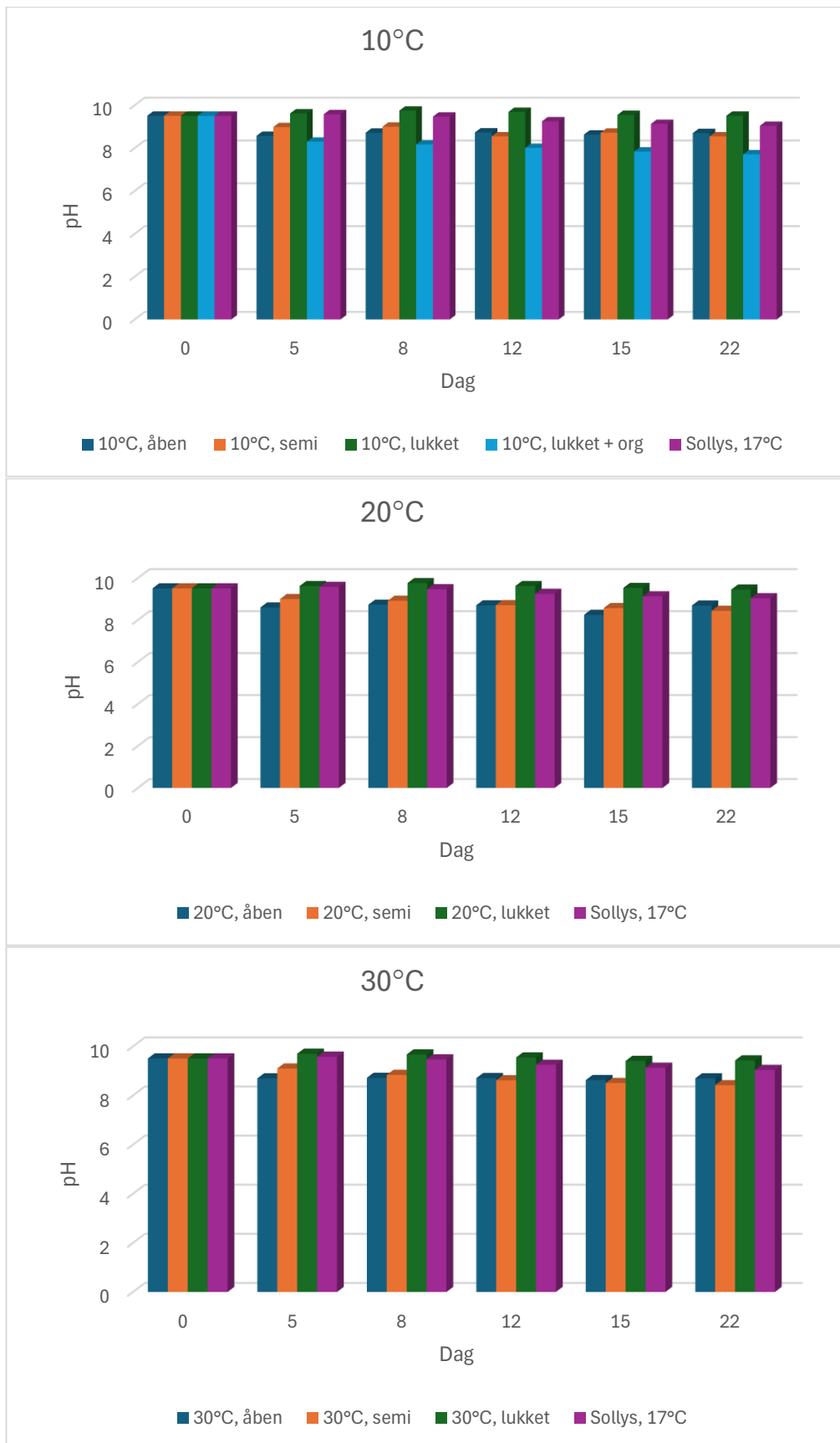


Figur 23. Ideelle opbevaringsforhold (10°C i lukket container) sammenlignet med de mest uheldige opbevaringsforhold, dvs. hvor produktet bliver forurenet med organisk materiale eller bliver udsat for sollys. På bare tre uger har ECA-vandet mistet 60-70% af klorindholdet.

Sideløbende med klormålingerne blev der målt pH for at undersøge, om der var en effekt på pH-værdien (figur 24).

Helt generelt kan det siges at:

- Såfremt beholderen var lukket, ikke var forurenet og ikke var udsat for sollys, var der ingen effekt på pH-værdien i den periode, forsøget blev udført
- Tilstedeværelsen af organisk materiale påvirkede pH lidt mere end eksponering for sollys
- Tætheden af beholderen påvirkede pH mere end eksponering for sollys



Figur 24. Opbevaringstemperaturens påvirkning af pH-værdien. Hvis beholderen er lukket, ikke er forurenset og ikke er udsat for sollys, er der ingen effekt på pH-værdien. Tilstedeværelse af organisk materiale påvirker pH lidt mere end eksponering for sollys. Tætheden af beholderen påvirker pH mere end eksponering for sollys.

3.5. Undersøgelse af metoder til måling af klor

3.5.1. Måling af klorkoncentration i ECA-vand

Da det ikke altid er let at sikre sig, at ens kemiprodukter bliver opbevaret fuldstændigt optimalt til alle tider, er det også vigtigt at vide, hvilke metoder der findes til at kontrollere, at kvaliteten er tilfredsstillende. For at undersøge mulighederne blev to forskellige klor teststrips afprøvet på ECA-koncentratet og sammenlignet med målinger foretaget med Kemio™ Disinfection (Palintest).

3.5.2. Fremgangsmåde

Afprøvede klor teststrips:

- **Bredt interval:** Chlorine 0-2000 ppm test strips (free) (Precision Laboratories), 540 DKK/100 strips
- **Smalt interval:** Low Level Chlorine Strips, 0-300 ppm (Precision Laboratories), 155 DKK/50 strips

Koncentrationen af ECA-vand-koncentratet:

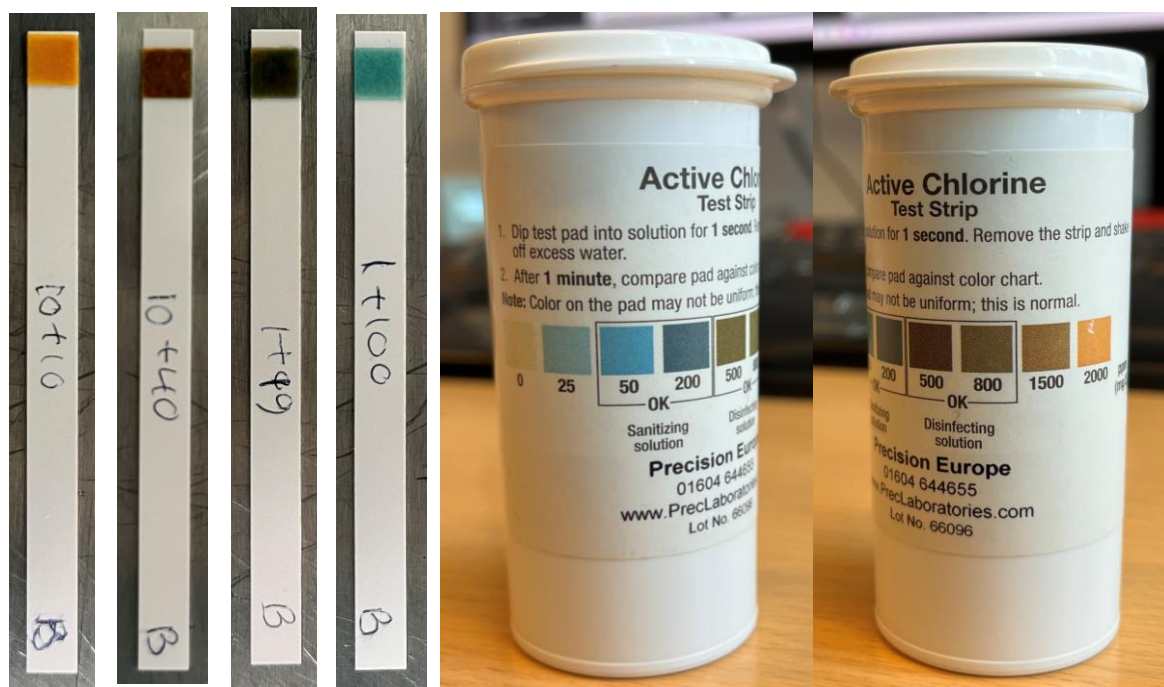
- 4500 ppm (opgivet fra leverandør)
- 3620 ppm (målt med Kemio™ Disinfection)

ECA-vand-koncentratet blev fortyndet med destilleret vand for at undersøge, hvor præcist stripsene kunne aflæses ved forskellige koncentrationer i testintervallet.

3.5.3. Resultater

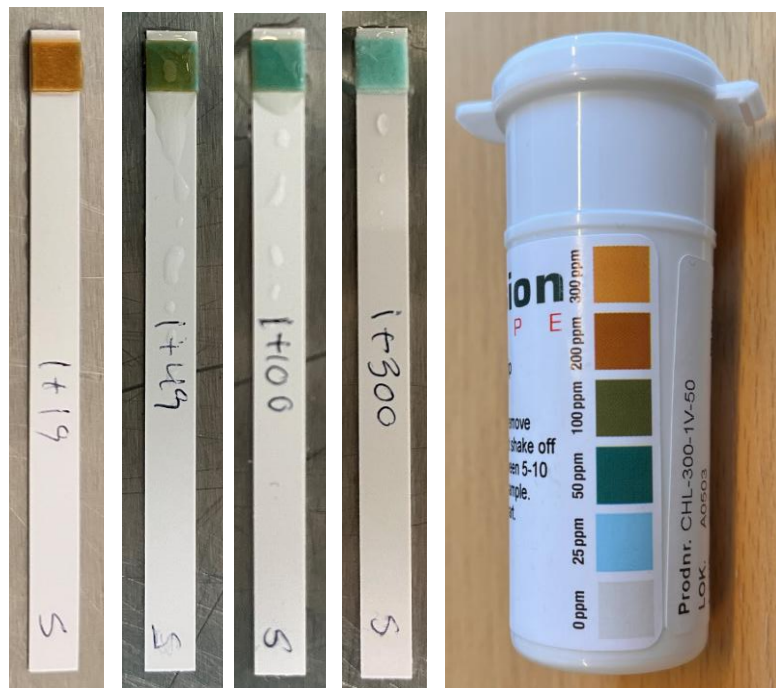
Bredt interval:

| Fortyndingsforhold | Beregnet (ift. opgivet) | Beregnet (ift. målt) | Aflæst (farve) |
|--------------------|-------------------------|----------------------|----------------|
| 10+10 (50%) | 2250 ppm | 1810 ppm | 2000 ppm |
| 10+40 (20%) | 900 ppm | 724 ppm | 800 ppm |
| 1+19 (5%) | 225 ppm | 181 ppm | 300 ppm |
| 1+99 (1%) | 45 ppm | 38 ppm | 50 ppm |



Small interval:

| Fortyndingsforhold | Beregnet (ift. opgivet) | Beregnet (ift. målt) | Aflæst (farve) |
|--------------------|-------------------------|----------------------|----------------|
| 1+19 (5%) | 225 ppm | 191 ppm | 200 ppm |
| 1+49 (2%) | 90 ppm | 76 ppm | 100 ppm |
| 1+100 (1%) | 45 ppm | 36 ppm | 50 ppm |
| 1+300 (0,3%) | 15 ppm | 12 ppm | 25 ppm |



3.5.4. Konklusion omkring måling af klorkoncentration

Klor teststrips er en simpel og billig måde at kontrollere, at klorkoncentrationen i ECA-vandet er som forventet. De kan være lidt svære at aflæse, da farverne på stripsene ikke altid stemmer overens med den skala, der skal aflæses i forhold til. Især i mellemområdet, hvor farverne toner ind i hinanden, kan det være en udfordring. Af de to typer strips var det stripsene med det smalle interval (0-300), der var lettest at aflæse. For begge typer strips gælder det, at de bedst aflæses i yderområderne. Vælger man at bruge strips, anbefales det at lave en fortynding, der rammer omkring 25 ppm eller 250 ppm for strips med målinterval på 0-300 ppm og omkring 25 ppm eller 1800 ppm for strips med målinterval på 0-2000 ppm.

3.6. Konklusion

Resultaterne viser, at desinfektionseffekten af ECA-vand med eller uden efterskyl med vand er sammenlignelig med natriumhypoklorit ved test i pilot plant setup. For at opnå tilstrækkelig renhed ved brug af ECA-vand uden efterskyl med vand understreges det dog af resultaterne, at overflader skal være visuelt rene, når desinfektionsmidlet påføres.

Der er i projektet ikke identificeret nogen betydende risici, hverken mht. produktkvalitet eller korrosion af udstyr ved at overgå til at bruge desinfektion med ECA-vand uden efterskyl med vand. Risikoen for at få produktkvalitetsmæssige udfordringer som klorklugt eller misfarvning af kødprodukter, når de efterfølgende er i kontakt med de desinficerede overflader, er lav, når ECA-vand bruges uden efterfølgende skylning. Dette gælder især, når udstyr og overflader er tørre, inden produktionen påbegyndes.

Med hensyn til korrosion af udstyr og overflader af stål vurderes det overordnet, at hvis desinfektionsmidlet dagligt bliver fjernet (fx i forbindelse med rengøring), så er det ikke væsentligt mere korrosivt end rent vand. Dog skal det pointeres, at jo bedre kvalitet stål, jo mindre betydning har det, om desinfektionsmidlet skylles af på daglig basis. Hvis desinfektionsmidlet ikke bliver fjernet dagligt, så svarer korrosionen nogenlunde til at have en lille restkoncentration af natriumhypoklorit på udstyret. På ikke-metalliske overflader konstaterede vi på de glatte bånd udpræget mineralske aflejringer på alle overflader, der ikke blev rengjort dagligt (også selvom der blot blev sprayet med vand). Glatte bånd sprayet med vand eller 250 ppm ECA (uden daglig rengøring) havde lidt mindre aflejringer, end hvis de blev sprayet med 400 ppm ECA eller 1% Na-hyp. Der var markant færre aflejringer på glatte bånd, der blev vasket og skyllet dagligt.

Opbevaring af koncentreret ECA-vand på et mellemlager inden brug er acceptabelt, hvis det opbevares under korrekte forhold, hvor produktet ikke eksponeres for sollys eller organisk materiale, da klorindholdet hurtigt henfalder i disse tilfælde. Der bør derfor stilles krav til, at koncentratet er emballeret, så det beskyttes mod lys samt sikres, at der ikke er risiko for kontaminering af emballage med organisk materiale i tilfælde af genanvendelse af dunkene ved løbende produktion af ECA-vand. Vores forsøg har vist, at sollys eller tilstedeværelse af organisk materiale kan forårsage et fald i klorconcentrationen på op til 60-70% på kun tre uger. Ligeledes er det vigtigt at sikre, at ECA-vand opbevares i en tætslutende beholder, dog kun hvis produktet opbevares ved 20-30°C. Vores forsøg peger på, at op til 40% af klorindholdet kan gå tabt indenfor 3 uger, hvis produktet opbevares i en utæt beholder ved en forhøjet temperatur, hvorimod der ikke blev registreret henfald, såfremt beholderen var tæt lukket (uanset temperatur).

4. Referencer

- Samiye Adal, Berrak D. Ki yak, Gülşah Ç. Kos, Özge Süfer, Azime Ö. Karabacak, Nuray İ, Çinkır, Yasemin Çelebi, Jeevarathinam, Sarvesh Rustagi, R. Pandiselvam (2024) Applications of electrolyzed water in the food industry: A comprehensive review of its effects on food texture. *Future Foods*, Vol. 9, 2024, 100369, ISSN 2666-8335, <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2024.100369>.
- DS/EN 12756 Pumper – Mekaniske tætninger, overordnede dimensioner, betegnelse og materialekoder
- Gry Terrell (2024). *Desinfektion med kvaternære ammoniumforbindelser*. Miljørigtig rengøring, projekt nr. 2011312
- Hricova, D., Stephan, R. and C. Zweifel (2008) Electrolyzed Water and Its Application in the Food Industry. *Journal of Food Protection*, Vol. 71, No. 9, 2008, Pages 1934–1947.
- Iram, A., Wang, X., and A. Demirci (2021) Electrolyzed Oxidizing Water and Its Applications as Sanitation and Cleaning Agent. *Food Engineering Reviews* (2021) 13:411–427. <https://doi.org/10.1007/s12393-021-09278-9>
- Krishnan, C.S., Lyons, K.M., Tompkins, G.R., and R.D. Cannon (2023) Storage-related stability and antimicrobial efficacy of bottled, neutral-pH Electrolysed Oxidising Water. *Journal of Dentistry* 137 (2023) 104656.
- McGlynn, W. (2016) Guidelines for the use of chlorine bleach as a sanitizer in food processing operations, FAPC-116 (www.fapc.okstate.edu).

- Miljøstyrelsen. (2009). *Listen over uønskede stoffer 2009*. Hentet fra <https://mst.dk/publikationer/2010/juli/listen-over-uoenskede-stoffer-2009>
- Wang, X, Demirci, A, Puri, V.M. (2019a) Handbook of hygiene control in the food industry, Chapter 34, Elsevier Science & Technology, ISBN: 9780081001554
- Wang, H., Duan, D., Wu, Z., Xue, S., Xu, X., and G. Zhou (2019b) Primary concerns regarding the application of electrolyzed water in the meat industry. Food Control 95 (2019) 50–56.



TEKNOLOGISK
INSTITUT