



Notat

Markedsundersøgelser af lavenergiteknologier Bæredygtige fødevarer

Selcuk Kilic & Laurits Beck Nielsen

24 Februar 2021

Projektnr.

P2008875_BF1

Version 01

Init. SKI/LABN

Introduktion

Baggrund

Dette er en leverance for Aktiviteten Fremstillingsprocesser 2021 under Resultatkontrakten Bæredygtige Fødevarer (2021-24). Den overordnede målsætning er at reducere ressourceforbruget, hver under især energiforbruget i forædlingsindustrien, og dermed øge virksomhedernes konkurrenceevne nationalt og internationalt.

Rapporten er støttet af Uddannelses- og Forskningsstyrelsen under Uddannelses- og Forskningsministeriet."

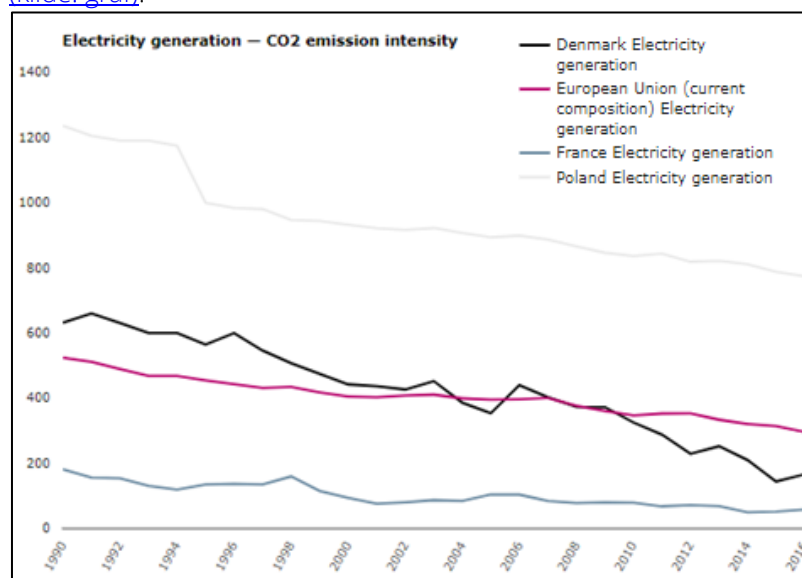
Formål

Formålet er på sigt at udvikle energieffektive teknologikoncepter og dermed øge bæredygtigheden af fødevarereproduktionen. Denne markedsundersøgelse redegør for nye lavenergiteknologier til fødevarerforarbejdning og sammenligner lavenergiteknologier med nuværende køle- og opvarmningsteknologier på el og vandforbrug samt CO2 emission.

Der er i fødevarerindustrien et øget fokus på at reducere afbrænding af fossile brændsler ved overgang til fx bæredygtigt produceret elektricitet som energikilde, og dette bruges som afsæt for undersøgelsen. Store vandbesparelser kan ligeledes også betragtes som bæredygtige.

CO2 emission fra el-produktion

Nedenfor ses udviklingen i CO2 udledning i gram CO2 per produceret kWh elektricitet på det europæiske elnet, og denne faldende tendens tydeliggør, hvorfor der i stigende grad søges at anvende elektricitet til termiske processer i fødevarerindustrien ([kilde: graf](#)).



Til overblik opsummeres tallene fra 1990 og 2016 i tabellen nedenfor:

	1990 gCO ₂ / kWh	2016 gCO ₂ / kWh	Reduktion
EU-gennemsnit	524	296	44%
Danmark	632	166	74%
Frankrig	181	59	68%
Polen	1236	773	37%

Med denne positive udvikling giver det god mening løbende at revidere, om tunge termiske processer drevet af fossile brændsler kan erstattes helt eller delvist med elektriske energikilder. Undersøgelsen fokuserer naturligvis også på teknologier, som kan øge bæredygtigheden eller effektivitet/virkningsgrad af processer som endnu ikke kan konverteres fra fossile energikilder eller allerede drives elektrisk.

Tendensen giver også anledning til at revidere processer som fx produktkøling vha. overrissing med vand, som ikke i sig selv udgør en stor drivhusgasudledning, men som derimod resulterer i et meget væsentligt vandforbrug. I takt med emissionsintensiteten af elektriciteten falder kan det være fordelagtigt at overgå til køleprocesser drevet af elektricitet, hvis den øgede drivhusgasudledning vurderes at stå på mål med det reducerede vandforbrug og den samlede bæredygtighedsvurdering.

Low Charge DX ammoniak køleanlæg som afløser for traditionel oversvømmet drift

Koncept

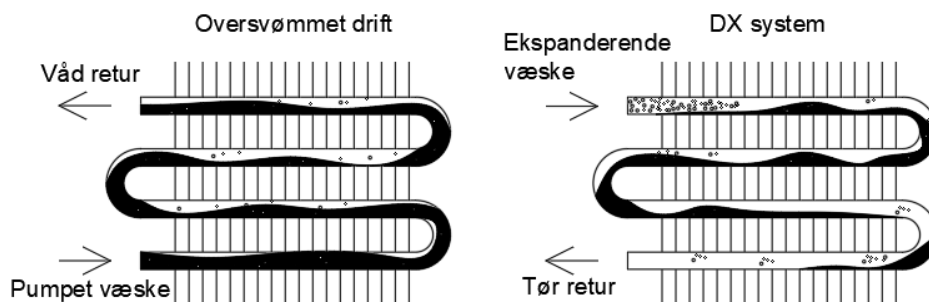
Oversvømmede ammoniak køleanlæg er langt den mest normale systemtype i fødevarerindustrien når store kølekapaciteter kræves. Det skyldes, at ammoniak betragtes som et det mest energieffektive kølemiddel på markedet. Endvidere er ammoniak også et naturligt kølemiddel som ikke har drivhussegenskaber eller ozonlagnedbrydende potentiale (ODP). Den største ulempe ved ammoniak er, at det er ekstremt giftigt ved kontakt eller indånding i situationer med signifikant udslip, og at der derfor er store krav til anlægsdesign, drift og fyldning.

Princip af traditionel proces

Ved drift af traditionelle oversvømmede anlæg pumpes en stor væskemængde ud til fordamperen (kuldefladen), så der i denne opnås effektiv varmeovergang ved at den oversvømmes med kølemiddel, hvor kun en fraktion (typisk til 20-25%) af væsken fordamper, således at der ledes en væsentlig væskemængde tilbage til kølemaskinen, som ofte er placeret 50-150m fra fordamperen. Det fører til et væsentligt tryktab som skal overvindes af kølekompressorerne som fører til et øget elektrisk energiforbrug. Oversvømmede anlæg kræver derfor en stor fyldning af ammoniak kan udgøre en stor personfare ved rørbrud eller brand.

Princip Low Charge DX ammoniak køleanlæg

Et DX-anlæg (Direct Expansion) derimod, har ikke en kølemiddelpumpe men en tryksat (varm) væskeledning direkte fra overtrykssiden af anlægget, som automatisk fører væsken ud til fordamperen, og en ventil ved fordamperen sørger for kun at lukke en væskemængde ind som passer til varmebelastningen således at der i returlinjen kun er tør gas så det førnævnte tryktab forbundet med en båd returlinje undgås. Et DX-anlæg med ammoniak som kølemiddel sætter tørre krav til fordamperdesign og størrelse samt nyere sensor og styringsteknologi som er blevet lettere tilgængeligt på markedet de seneste år. DX-anlæg kan installeres så en ammoniakmængden i produktionsområdet reduceres med en faktor 30-50 ift. oversvømmede anlæg. Nedenfor illustreres forskellen på de to systemtyper grafisk:



Vurdering af indsatsområde

Det vurderes, at et af de bedste indsatsområder ift. applikationen af DX low charge teknologien er ved anvendelse i industrielle indfrysingsprocesser, hvor fødevarer i karton indfryses på paller. Denne type systemer er typisk designet til en maksimalbelastning, som kun opretholdes i få timer ud af en 24-48 timers indfrysingscyklus. I takt med at varmebelastningen falder og indfrysningen begynder, driftes disse systemer i et dellastsområde, hvor cirkulationstallet bliver u hensigtsmæssigt højt, og det føromtalte tryktab stiger væsentligt, ift. den faktiske køleydelse.

Et førende kølefirma i Australien har i en artikel redegjort for store energibesparelser (50-60%) ved praktisk anvendelse og direkte sammenligning mellem to frysehuse med hhv. traditionelt oversvømmet system og DX low charge system (1). DMRI forventer ikke at besparelspotentialet er så stort i alle tilfælde, men at det med stor sandsynlighed vil ligge på mindst 15% ved direkte sammenligning mellem oversvømmet og DX-drift for indfrysingsapplikationer.

I Danmark indfryses omkring 1.500.000 ton kød om året som svarende til omtrent 220 GWh elektrisk energi omsat i indfrysningstuneller landet over til blot kød (2). Hvis blæserelektricitet fraregnes (men blæservedvarme medtages) ligger besparelspotentialet på landsbasis på cirka **25 GWh/år sparet elektricitet eller 5000 ton CO2/år**. Det forholdsmæssige besparelspotentiale gør sig også gældende for indfrysingsprocesser til grøntsager, fisk, brød, frosne måltidsprodukter osv.

Producenter og relevante aktører

Der er ikke nogen producenter eller køleleverandører, som har monopol på DX-teknologien, da den i sandhed er velkendt ved brug i mindre anlæg med andre kølemidler. Det innovative består i, at nye sensorsystemer og styringer til overkommelige priser vinder frem, og disse muliggør denne systemtype ift. driftssikkerhed og regulering.

Et eksempel på en "vapor quality sensor" kan findes her:

<https://www.hbproducts.dk/da/produkter/dampkvalitetssensor>

Et eksempel på opdateret fordamperdesign med henblik på DX drift med ammoniak kan ses her:

<https://www.thermofin.de/en/download.php?download=Flyer-Alu-Verdampfer-EN-Screen>

Koncept

Højtemperaturvarmepumper

Et stort antal varmebehandlingsprocesser i fødevarerindustrien er drevet af en central dampkedel, som typisk forbrænder naturgas eller olie. Dampen bliver fordelt gennem rør i fabrikkerne og kondenserer i de forskellige varmekildeforbrugende processer som fx kogning, sterilisering og autoklavering.

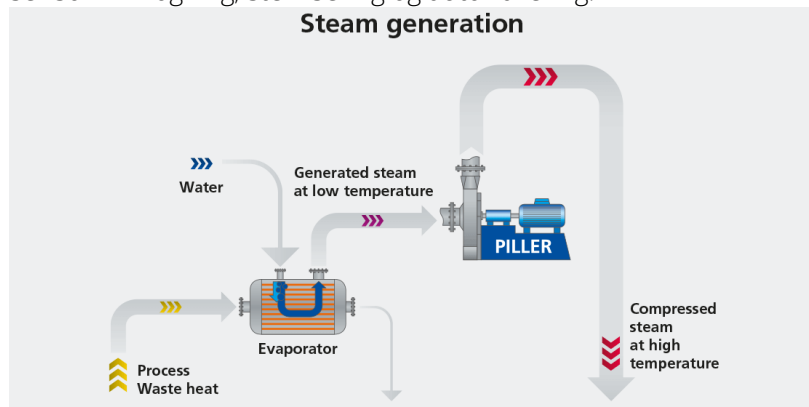


Illustration fra: <https://www.piller.de/products-applications/industrial-heat-pump/>

Vurdering af indsatsområde

Varmepumper som kan producere vanddamp med en mætningstemperatur på 130-140°C med en varmekilde på 75-90°C vil være i stand til at afløse dampgeneration til mange forskellige varmebehandlingsprocesser i fødevarerindustrien. Det åbner muligheden for at anvende fjernvarme som varmekilde til procesformål i stedet for afbrænding af gas på stedet. Varmepumper, hvis medie er vanddamp, kan i dette område arbejde med en COP på 6 og op til 30 alt efter trykforhold i den givne situation (3). Ved den lavest angivne COP vil 1 enhed elektricitet blive til 6 enheder varme i dampproduktionen. For at sammenligne varmekildernes CO₂ udledning opskrives disse i en tabel nedenfor:

Varmekilde	Emission gCO ₂ /kWh
Fjernvarme	70
Naturgas	180
Elektricitet	166

Gasfyrede dampkedlers virkningsgrad kan variere meget i praksis, men hvis man laver en simpel sammenligning med en kedel med en virkningsgrad på 80% og en dampproducerende varmepumpe med fjernvarme som varmekilde og COP på 6, kan man synliggøre potentialet:

Gasfyret kedel: $180/0,8 = 225 \text{ gCO}_2/\text{kWh damp}$

Varmepumpe: $(5/6) \times 70 + (1/6) \times 166 = 86 \text{ gCO}_2/\text{kWh damp}$ (62% reduktion)

Producenter og relevante aktører

Der er altså tale om en væsentlig emissionsreduktion, og dette potentiale øges væsentligt, hvis varmen i stedet stammer fra varmegenvinding fra anden proces eller nabofabrik. Teknologien er endnu ikke udbredt i dansk fødevarerindustri men er meget anvendt i fx kemisk industri. Et eksempel på teknologileverandør kan ses på denne hjemmeside:

<https://www.piller.de/products-applications/industrial-heat-pump/>

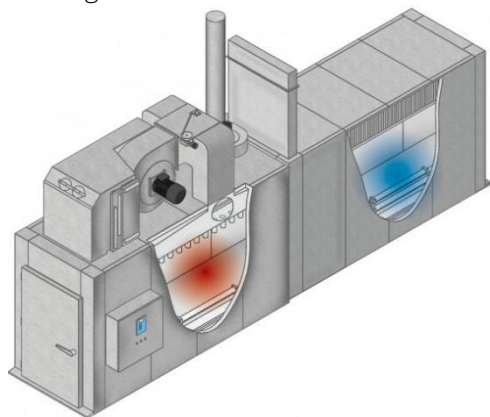
Immersionsskøling i brine (reduktion af vandforbrug)

Koncept

Vandforbruget i den danske fødevarerproduktion kan i visse processer være relativt højt, så det kan godt give mening at overveje andre processer til disse vandtunge processer. Til fx nedkøling af forædlede kødprodukter, kan der godt anvendes mere effektive teknologier. Typisk sker nedkølingen i dag ved overbrusning i kogeskab og for at reducere vandforbruget kunne et alternativ til denne proces være immersionsskøling i brine. Denne procesændring vil naturligvis føre til et højere elforbrug men samtidigt en væsentlig reduktion i vandforbrug, og i takt med at elektricitetsproduktionen bliver grønnere, vil dette blive mere attraktivt fra et bæredygtigheds-synspunkt.

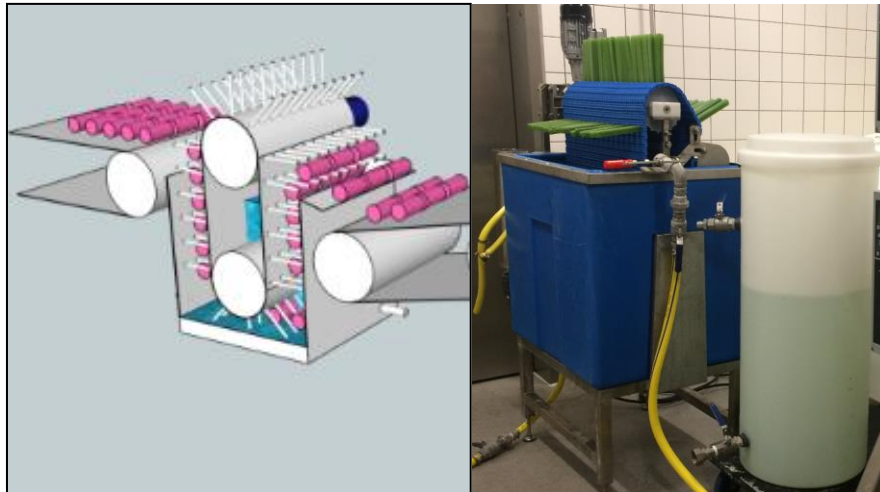
Princip af traditionel proces

Et traditionelt kogeskab med en kontinuerlig køler ses i billedet forinden af leverandøren Protech. Kogeprocessen tilbereder kødprodukter fra en kerntemperatur 10°C til 75°C, og efterfølgende bliver kødprodukterne overbruset med vand så kerntemperaturen falder til 10-15°C for små produkter og 40-45°C for produkter af større kaliber. Det er forbruget af vand til netop overbrusning der har et stort vandforbrug.



Immersionsskøling med brine

Immersionsskøling med brine evt. glykol er en teknologi som kan erstatte overbrusningsprocessen. Kødprodukterne bliver taget ud af kogeskabet og i stedet for overbrusning bliver de ført direkte ned i kølekarret efter endt varmebehandling. Karret vil indeholde en vandig opløsning af fødevarer-godkendt propylenglykol. Kødprodukterne omslutes en ikke-permeabel tarm eller en membran som er fleksibelt. Den ikke-permeable tarm eller membran peeles efter skylle/blæse processen. Udformning af anlæg til immersionsskøling med glykol kan ses i nedenstående billede.



*Vurdering af ind-
satsområde*

Traditionel proces

Ved praktiske måling i en produktion er følgende målt: Overbrusning af kødprodukter med en diameter på Ø50 og en vægt på 1,04 kg/stk (260kg i alt), hvor kernetemperaturen er 75°C, blev ved overbrusning med 10°C vand kølet til gns. temperatur på 25°C efter 30 minutter. Forbruget af vand i denne proces var 860 liter eller 3440 liter/ton produkt.

Efter at kødprodukterne er blevet overbruset skal de køles ned til 5°C fra en gns. temperatur på 25°C. Der estimeres et elforbrug på 6,5 kWh/t til køleprocessen til drift af kølerum.

Immersionenkøling

Med immersionenkøling på de samme kødprodukter vil kødprodukterne blive kølet ned fra kernetemperaturen 75°C og til en gns. temperatur på 5°C. Forbrug af vand til immersionenkøling vil være 108 liter/ton. Dette forbrug stammer primært fra tilførsel af vand som løbende tabs.

Forbruget af strøm til immersionenkøling vil være højere, da der konstant skal være køling til vandkarret. Der estimeres et elforbrug på 27,3 kWh/t til at oprette en konstant temperatur på -16°C i kølekarret. Immersionenkøling byder også på en væsentlig reduktion i procestid, hvis temperaturudligning tillades efter indpakning.

	Vandforbrug [liter/ton]	Elforbrug [kWh/ton]
Traditionel overbrusning	3440	6,5
Immersion- køling	108	27,3
Forskel	3332	+20,8

Besparelsen på vandforbruget ved at gå over til immersionenkøling i glykol vil være **3332 liter/ton**. Til gengæld vil elforbruget øges med **20,8 kWh/ton**, dog skal dette tal sættes i perspektiv til, at vi i dag i højere grad producerer grønnere elektricitet via vindmøller og solceller.

Tallet for CO₂ udledning i gram CO₂ per produceret kWh elektricitet i Danmark var i 2016 på 166 gCo₂/kWh. Udledning af CO₂ vil derfor øges til **3,45 kgCo₂/ton** med anvendelsen af immersionskøling. Den forøgede udledning af CO₂ vil blive reduceret yderligere, da udledningen af CO₂ per produceret kWh elektricitet antages nedadgående for Danmark fra 2016 og op til 2021.

Som eksempel bliver der produceret 90.000 ton skinker og pølser til eksport i Danmark, og hvis immersionsteknologien anvendes til denne produktion vil det årlige potentiale se således ud:

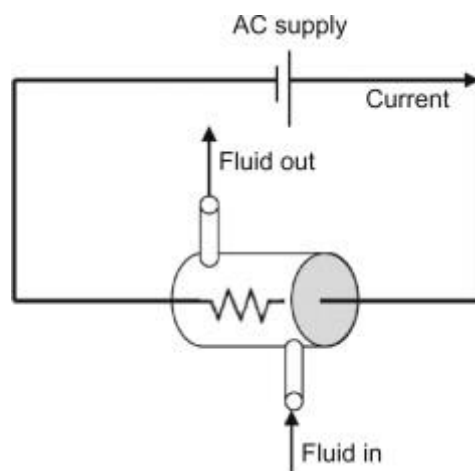
Eksempel: 90.000 ton kødprodukter		
	Vandforbrug [m ³]	CO ₂ emission [ton]
Traditionel overbrusning	3.100.000	97,1
Immersionsskøling	10.000	408,9
Forskel	3.090.000	+310,8

Koncept

Ohmsk opvarmning

Ohmsk opvarmning (OH) er en veletableret metode til hurtig opvarmning, der i levedsmiddelinudstrien har fundet anvendelse til opvarmning af flydende levedsmidler som eksempelvis juice, suppe, frugtpuré o.l. Opvarmningen foregår ved at lede strøm gennem produktet, og det store potentiale ved metoden er, at den er meget hurtig (få minutter), energieffektiv, samt at varmen tilføres uden gradienter (ingen påbrænding/overbehandling). I takt med øget elektrificering af fødevarerproduktion og faldende CO₂ udledning per kWh elektricitet, vil denne teknologi blive mere og mere interessant i flere sammenhænge.

Konceptet og virkemåden for flydende produkter illustreres nedenfor:



Pasteurisering af mælk med OH En applikationsmulighed som ikke er bredt udnyttet, er pasteurisering af mælk. Pasteurisering er en lovpligtig og standard proces ved mælkeproduktion, og derfor bruges der store mængder af energi på denne proces. I 2020 producerede danske landmænd omkring 5.700.000 ton mælk (4). De fleste industrielle anlæg anvender varmt vand eller damp som varmekilde, hvor energien i sidste ende stammer fra afbrænding af gas eller olie i en kedel. Som udgangspunkt kan denne proces sagtens elektrificeres med OH-udstyr med meget høj virkningsgrad.

Vurdering af indsatsområde Med en virkningsgrad på 80% ved dampproduktion i kedel og en virkningsgrad på energioverførslen til pasteuriseringsanlæg på 80% kan et groft overslag på det årlige energiforbrug til pasteurisering laves. Industrielle anlæg kan opnå en varmegenvinding på 82% (5), og der vil i overslaget blive antaget en varmegenvindingsgrad på 70%. Opvarmning med OH udstyr beregnes med virkningsgrad 90%. Varmegenvindingsgraden vil være ens for begge anlægstyper.

Varme krævet til pasteurisering af mælk per år beregnes til: **137.000.000 kWh/år**.
CO₂ udledning med gasfyret kedel: **38.500 tonCO₂/år**
CO₂ udledning med OH udstyr: **25.200 tonCO₂/år**
Potentiel besparelse: **13.200 tonCO₂/år (34% reduktion)**

Producenter og relevante aktører Emmepiemme srl er en italiensk producent af OH udstyr med en lang række projekter i deres portefølje:
<https://www.emmepiemme-srl.com/>

Referencer

- (1) Jensen, Stefan. Best Practice Energy Performance Benchmarking for Refrigerated Warehouses, Refrigeration 2020 Conference, Melbourne.
- (2) Kramer and Kristofersson. Energy optimization of batch freezing tunnel for meat, ELFORSK projekt 348-036, juni 2018.
- (3) Bin Hu, Di Wu, R.Z. Wang. Water vapor compression and its various applications, Institute of Refrigeration and Cryogenics, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China
- (4) Landbrug og Fødevarer, Indvejning fra danske mælkeproducenter (19-03-2021) - pr. måned (1.000 ton)
- (5) Kazimirova, Viera. Heat Consumption and Quality of Milk Pasteurization, June 2013 Slovak University of Agriculture in Nitra, Slovakia