

Mikrobiologiska risker vid el-avbrott

Vetenskapligt underlag



Denna titel kan laddas ner från: [Livsmedelsverkets sida för att beställa eller ladda ner material](#).

Citera gärna Livsmedelsverkets texter, men glöm inte att uppge källan. Bilder, fotografier och illustrationer är skyddade av upphovsrätten. Det innebär att du måste ha upphovsmannens tillstånd att använda dem.

© Livsmedelsverket, 2024.

Författare:

John Bylund, Roland Lindqvist & Jakob Ottoson.

Rekommenderad citering:

Livsmedelsverket. Bylund, J., Lindqvist, L. & Ottoson, J. 2024. Mikrobiologiska risker vid elavbrott. Livsmedelsverkets PM. Uppsala.

ISSN 1104-7089

Omslag: Livsmedelsverket

Förord

Detta PM utgör ett vetenskapligt underlag om mikrobiologiska risker vid tillväxt av bakterier på kylförvarade livsmedel som en följd av ökad temperatur i kylskåpet under ett elavbrott. Underlaget har tagits fram på beställning av den före detta avdelningen för Hållbara matvanor (Dnr 2023/00736) och kommer att ligga till grund för råd om hur en konsument kan hantera kylförvarade livsmedel efter ett längre elavbrott. Underlaget är uppdelat i faroidentifiering, exponeringsuppskattning och riskkaraktärisering där de specifika frågeställningarna besvaras.

Ansvariga för underlagets innehåll är John Bylund, Roland Lindqvist och Jakob Ottoson, mikrobiologer och riskvärderare på avdelningen för Risk och nyttovärdering. Underlaget har granskats av Jonas Toljander, mikrobiolog och riskvärderare på avdelningen för Risk och nyttovärdering.

Helena Brunnkvist, avdelningschef på avdelningen för Risk och nyttovärdering.

Oktober 2024

Innehåll

Förord	3
Innehåll	5
Bakgrund	7
Omvärldsspaning	7
Kundo	7
Offentliga måltider	7
Ökade mat- och elpriser	7
Livsmedelsverkets råd om förvaring av kylvaror	8
Övergripande frågeställning:	9
Specifika frågor som ska besvaras:	9
Data och metod	11
Data och datakällor	11
Litteratursökning	11
Söksträngar och databaser	11
Avgränsningar	11
Metoder	12
Simuleringar av temperaturförändring efter elavbrott	12
Prognosmikrobiologiska beräkningar av bakterietillväxt	13
Faroidentifiering	14
Hur vanliga är elavbrott	14
Livsmedel och prioriterade mikroorganismer	15
Toxinbildande bakterier	16
Patogener	17
Exponeringsuppskattning	20
Temperaturen i livsmedel efter elavbrott	20
Empiriska observationer	21
Modeller och simuleringar	24
Förebyggande åtgärder	27
Tillväxt av bakterier under temperaturhöjning	29
Livsmedels förmåga att stödja tillväxt	29
Tillväxt i livsmedel under ett simulerat elavbrott	34
Riskkaraktisering	37
Svar på frågor	37
Fråga 1	37
Fråga 2	38
Fråga 3	39
Fråga 4	40
Referenser	41
Bilaga 1. Exempel på livsmedel som finns i ett kylskåp	44
Bilaga 2. Svar från Energimyndigheten	46

Bakgrund

Omvärldsspaning

Kundo

Under 2022 har avdelningen Hållbara matvanor noterat ett ökat intresse för Kundos publika frågetråd om mat som stått framme i rumstemperatur (frågan inkluderar även elavbrott och trasig kyl/frys). Från januari till och med september ökade antalet sidvisningar från cirka 4000 till 5500 visningar per månad. Ökningen skulle möjligen kunna vara ett tecken på ökat intresse av att spara mat på grund av höga matpriser. Det finns en växande vilja att inte slänga mat i onödan. Många konsumenter känner sig dock osäkra på vad som kan ätas och vad som kan bli hälsoskadligt på grund av tillväxt av patogena bakterier och bildning av bakteriella toxiner.

Offentliga måltider

Det serveras dagligen cirka tre miljoner offentliga måltider inom vård, skola och omsorg. Dessa måltider är viktiga för att bland annat sköra personer ska få den mat de behöver. Om det i måltidsverksamheten uppstår en störning, till exempel ett elavbrott, behöver de personer som arbetar inom verksamheten agera snabbt för att ta hand om den mat som kan räddas och sortera bort det som kan utgöra en hälsorisk.

Det pågår arbete med att stärka beredskapen inom offentliga måltider. En del i detta är att planera och ta höjd för kriser som uppstår. I samband med detta har Livsmedelsverket tagit emot frågor om hur länge kylvaror klarar sig i samband med elavbrott.

Ökade mat- och elpriser

Det osäkra världsläget har lett till att matpriserna steg med tio procent under 2022. Det drabbar i första hand sedan tidigare utsatta grupper, men det finns tecken på att fler än tidigare hotas av matfattigdom.

Energisituationen i Sverige är kraftigt ansträngd. Elpriserna var höga under hösten och vintern 2022/2023. Det finns också risk att elen inte kommer att räcka för vissa timmar under vintertid. Det kan leda till att elbolagen gör planerade elavbrott för att klara elbelastningen. Elen kan även stängas av om elräkningen inte betalas. Det finns redan nu tecken på att en del konsumenter inte har råd att betala sina elräkningar. Utöver planerade elavbrott och avstängd el finns som alltid även risken för oplanerade elavbrott. Sådana har tidigare främst orsakats av kraftiga stormar, men på grund av rådande säkerhetsläge kan sabotage inte uteslutas.

Det är möjligt att konsumenter och kanske också livsmedelsföretag höjer temperaturen i sina kylar i syfte att spara energi. En högre förvaringstemperatur försämrar dock hållbarheten på kylvarorna. Det kan även vara så att kylar och frysar stängs av under perioder i syfte att spara energi i det egna hushållet. Från Storbritannien har det rapporterats om magsjukor av olika slag på grund av att kylar frivilligt har stängts av under natten.

Livsmedelsverket har haft kontakt med Energimyndigheten angående energiförbrukning vid olika kylskåpstemperaturer. Svar har inkommit från Energimyndighetens kontrakterade testlaboratorium i Danmark, se Bilaga 2.

Dyr mat och elavbrott skulle kunna leda till att kylvaror som förvarats under timmar eller dygn vid för hög temperatur äts upp i större utsträckning än tidigare. En del kylvaror stödjer bakterietillväxt medan andra inte gör det. Okunskap om vilka livsmedel som kan bli hälsoskadliga efter timmar i förhöjd temperatur i kombination med ovilja att kasta mat kan leda till att fler än vanligt drabbas av magsjuka.

Livsmedelsverkets råd om förvaring av kylvaror

Livsmedelsverket har råd om att förvara kylvaror vid 4 °C. Det ger en förhållandevis bra hållbarhetstid och risken för tillväxt av många patogena bakterier är lägre än exempelvis förvaring vid 8 °C. Det finns också ett specifikt råd om att inte låta kylvaror ligga framme i rumstemperatur längre än två timmar. Råden baseras på det vetenskapliga underlaget Tillväxt under avsvälning, förvaring och upptining (Rapport nr 2/2017 del 2).

Baseras på optimal tillväxt utan lag-tid

Rådet om förvaring högst upp till två timmar i rumstemperatur baseras på mikrobiologiska prognoser som är gjorda för olika förvaringstemperaturer för ett antal arter patogena bakterier. Det är så kallade ”worst case” scenarios av en tio gångers förökning, vilket innebär att utöver varierande temperaturer så är prognoserna baserade på att bakterierna har optimala tillväxtbetingelser med avseende på pH-värde samt vatten- och näringstillgång. I rådet är inte heller någon lag-tid inräknad. På så sätt finns en god säkerhetsmarginal i rådet. Men rådet är å andra sidan väl strängt tilltaget, vilket kan leda till matsvinn i och med att mat som skulle kunna vara säker riskerar att kastas.

De bakterier som enligt prognoserna växer snabbast vid 25 grader är *Bacillus cereus* och *salmonella*. Andra bakterier som växer nästan lika snabbt är *yersinia*, *listeria* och *stafylokokker*.

Ingen hänsyn tagen till att tillväxt kan variera i olika livsmedel

I underlaget till rådet tas inte hänsyn till att bakterier växer olika snabbt i olika slags kylvaror. Olika kylvaror utgör olika förutsättningar för bakterietillväxt och den påverkas av en rad yttre miljöfaktorer. Det som har störst betydelse är temperatur, pH och vattenaktivitet. Andra faktorer som påverkar hållbarheten är förpackningsätt och tillsats av konserveringsmedel.

Gynnsamt för bakterietillväxt är livsmedel som har ett pH-värde i intervallet cirka 5,5 – 7,5 och en vattenaktivitet som ligger nära 1,0, till exempel 0,99. Sådana egenskaper har råvaror av olika slag, till exempel mjölk, rå fisk, kött och kyckling. Förvaras sådana livsmedel i temperaturer mellan 20 och 40 °C kan tillväxten gå fort.

Många kylvaror är förädlade produkter av dessa råvaror. Vid tillverkningen av olika produkter förändras förutsättningarna för bakteriell tillväxt genom exempelvis värmebehandling eller torkning eller tillsats av surgörare, salt, socker eller konserveringsmedel. I många förädlade kylvaror är därför ovanligt att det råder optimala förhållanden för bakteriell tillväxt.

Risklivsmedel för värmetåliga toxiner

De flesta livsmedelsburna sjukdomsframkallande bakterier dör vid upphettning och Livsmedelsverket har råd om att genomsteka fågelkött, fågelfärs och köttfärs. Samtidigt ges information att de flesta sjukdomsframkallande bakterier dör snabbt när temperaturen uppnått 70 °C (SLV-rapport nr 3/2017). Vid lägre tillagningstemperaturer, till exempel 60 grader tar det längre tid för att bakterierna ska avdödas.

Bacillus cereus och Staphylococcus aureus kan dock under gynnsamma förhållanden bilda värmetåliga gifter som inte förstörs vid vanlig matlagning i hemmet. Dessa bakterier är vanligare i vissa livsmedel än andra. Till exempel är det känt sen tidigare att kräkvarianten av Bacillus cereus är vanlig i stärkelserika livsmedel som pasta, ris och potatis. Stafylokocker förekommer i livsmedel som har hanterats manuellt. Men finns det andra livsmedel som kan utgöra risk? Det skulle kunna utgöra en grund för vilka livsmedel som inte kan göras säkra genom upphettning i händelse av ett elavbrott.

Sporbildare

I värmebehandlade livsmedel som matrester av olika slag kan sporer av Clostridium perfringens samt diarrévarianten av Bacillus cereus gro ut till aktivt delande celler. Clostridium perfringens kan föröka sig ner till 12 °C och vissa köldtåliga Bacillus-stammar kan föröka sig ner till 6 °C. Bakterierna dör av värme, men om maten inte upphettas tillräckligt mycket innan den ska ätas finns risk för matförgiftning när de bildar enterotoxiner i tarmen.

Övergripande frågeställning:

Enheten Hållbara matvanor behöver ett vetenskapligt underlag som beskriver tillväxt av olika sjukdomsframkallande bakterier i olika grupper av kylvaror vid olika temperaturer i samband med elavbrott. Underlaget kommer att ligga till grund för Livsmedelsverkets råd och information om vilka kylvaror som är säkra eller inte säkra efter ett elavbrott.

Specifika frågor som ska besvaras:

1. Temperaturen i kylen beror på hur länge kylen varit utan el, kylens volym och hur fylld med mat den är. Hur förändras temperaturen i ett kylskåp när elen har varit borta i 2, 4, 8, 12, 24, 36 och eventuellt 48 timmar? Utgå från ett strömbortfall i en fullstor respektive en halvstor fylld kyl.
2. Vilka egenskaper har vanliga kylvaror (råvaror/tillagat/ätfärdigt) som vid förhöjd förvaringstemperatur stödjer förhållandevis snabb, långsam och mycket långsam mikrobiologisk tillväxt? Med snabb tillväxt avses 1-5 timmar för tio gångers förökning, med långsam och mycket långsam tillväxt avses 5-10 timmar respektive 10-20 timmar för motsvarande tillväxt. Lag-tiden är inte inräknad.
 - a. Ge exempel på några kylvaror i respektive kategori. Om möjligt ange pH-värde, vattenaktivitet, salthalt och tillsatser.
3. Välj ut några kylvaror som stödjer mikrobiologisk tillväxt och ange tillväxthastigheten i de olika kylvarorna för Salmonella, Listeria, Yersinia, patogena E. coli (ETEC, EPEC, EAEC)

samt toxinbildare Bacillus, Staphylococcus och Clostridium i de temperaturer som räknas fram enligt scenariot i fråga 1. Exempel på livsmedel som förvaras i kylskåp anges i Bilaga 1.

- a. I vilka kylvaror är det troligt att sjukdomsframkallande halter av värmebeständiga toxiner av *S. aureus* och *B. cereus* har hunnit produceras?
 - b. Hur påverkas risken för patogener med låg infektionsdos, som EHEC och Shigella, av ett långvarigt elavbrott?
4. Vad kan man göra för att förebygga/ minska mikrobiologiska risker före, under och efter ett elavbrott?

Data och metod

Data och datakällor

Data för underlaget har hämtats från publicerad litteratur (se Litteratursökning) och från olika hemsidor med beräkningsverktyg och modeller. Det beräkningsverktyg som användes var Combase tillväxtsimulering i buljongmodeller (USDA, 2018).

Litteratursökning

Detta vetenskapliga underlag bygger på data från litteraturen och till viss del på egen bearbetning av data som tagits fram i publicerade studier. Flera litteratursökningar gjordes i databaserna PubMed och FSTA (Tabell 1). Utöver systematiska litteratursökningar användes artiklar och bokkapitel som påträffades i referenslistor eller genom explorativa sökningar i Google och Google Scholar, samt tidigare publicerade vetenskapliga underlag från Livsmedelsverket, Europeiska myndigheten för livsmedelssäkerhet (EFSA) och andra myndigheter. Uppgifter om livsmedels vattenaktivitet och pH har tagits fram genom tidigare publicerade vetenskapliga underlag från Livsmedelsverket, facklitteratur om livsmedel och livsmedelsmikrobiologi samt via explorativa sökningar i Google och Google Scholar. Värden på pH och vattenaktivitet extraherades till tabeller tillsammans med information om huvudsaklig livsmedelskategori samt underkategori i två Excelfiler som ”extramaterial” i diariet. För faroidentifiering och -karaktärisering användes av RN/BZ redan framtagna underlag.

Söksträngar och databaser

Söksträngar som användes för att besvara de olika frågorna är dokumenterade i Tabell 1.

Tabell 1. Litteratursökningar som gjordes för att hitta information om mikrobiologiska risker vid elavbrott.

Databas	Datum	Information söktes om	Söksträng	Sökträffar	Urval
PubMed	31/1-23	Fråga 1 och 4	Refrigerator AND temperature AND power failure	24	3
FSTA	31/1-23	Fråga 1 och 4	Refrigerator AND temperature AND power failure	1	0

Avgränsningar

Nyare metoder eller tekniker för konstruktion av kylskåp eller alternativa elförsörjningar har inte ingått i underlaget utan fokus ligger på funktionen och prestanda för de vanligaste, hos konsumenterna, förekommande typerna av kylskåp. Bedömningen har i huvudsak gjorts utifrån tillväxt av bakteriella patogener och toxinproduktion. För tillväxt av mögelsvampar och andra förskämningsorganismer hänvisas till Livsmedelsverket (2023a) och Svanström (2022). Dock har bedömningen om livsmedels generella förmåga att stödja tillväxt gjorts utifrån tillväxthastigheten hos en på livsmedel i kylskåp vanligt förekommande förskämningsbakterie, *Brochotrix thermosphacta* (se vidare nedan).

Metoder

Simuleringar av temperaturförändring efter elavbrott

Utöver litteraturdata har en del modelleringar genomförts för att belysa frågeställningen hur temperaturen i livsmedel stiger efter ett elavbrott.

Först modifierades en ekvation som beskriver hur temperaturen i ett livsmedel som sätts in i kylan med tiden närmar sig temperaturen av de övriga livsmedlen i kylskåpet (Duret et al., 2014). Vid ett elavbrott sker det omvända och för att beskriva detta behöver det antas att de omgivande livsmedlen redan har antagit rumstemperaturen. Därför modifierades ekvationen till:

$$T(t) = T_0 + (T_{rum} - T_0) \times \left(1 - e^{\left(-\frac{H \times t}{m \times C_p}\right)}\right) \quad (1)$$

Där $T(t)$ är temperaturen i livsmedlet vid tiden t , T_{rum} är rumstemperaturen, T_0 är livsmedlets temperatur när elavbrottet börjar, m är mängden av livsmedlet (kg), H är livsmedlets värmeledning ("thermal conductance", Watt per Kelvin), C_p är värmekapacitet ("thermal capacity, J per Kg och Kelvin). Värden på dessa storheter rapporterades för paketerad skinka i (Duret et al., 2014).

Ekvation 1) användes också för att mer realistiskt simulera andra livsmedel genom att bearbeta empiriska data som faktiskt representerade en uppvärmning efter ett elavbrott (Ovca & Jevsnik, 2009). Då plottades $\ln(T^*) = \ln((T - T_{eq}) / (T_0 - T_{eq}))$ som en funktion av tiden. T_{eq} antogs motsvara rumstemperaturen. Då blir lutningen $-H/m \times C_p$. Lutningen användes direkt i exponenten för e i ekvation 1, multiplicerat med tiden, eftersom den representerar situationen med en viss mängd och förpackning och placering i kylskåpet men i princip skulle H kunna beräknas eftersom m är känd, och C_p för flera livsmedel (dock inte i en förpackning) finns publicerade.

I en tredje ansats gjordes en simulering som bygger på verktyg med modeller som tagits fram inom ett EU-projekt, Frisbee (Gwanpua et al., 2015). Verktöget som användes innebär att bygga upp en kylkedja, i detta fall med två steg, ett fungerade frys-/kylskåp och sedan samma skåp under elavbrott där kylskåpstemperaturen sätts till rumstemperaturen (INRAE, 2023). Modellen bygger på samma antaganden som i Duret et al (Duret et al., 2014), och innebär liknande begränsningar eftersom den är utvecklad för att simulera en kylprocess och inte tvärtom.

Slutligen användes en regressionsmodell för att ge ytterligare underlag för temperaturförändringen efter ett elavbrott (Scarcelli & Nelson, 2013). Modellen var framtagen som ett försök att bestämma hur länge maten är säker, i studien definierat som 5 °C eller lägre, efter ett elavbrott. Vatten i plastflaskor användes som modell för livsmedel och data med och utan is som "ballast", placering i kylskåpet, mängden livsmedel, starttemperatur, och rumstemperaturen undersöktes som faktorer. Den slutliga modellen med signifikanta faktorer efter "backwards stepwise regression" var:

$$tt_5 = 802,675 - 127,473 \times (Hylla3) + 80,127 \times (Hylla2) + 359,151 \times (Is.inte.Is) - 184,109 \times (Start.Temp) \quad (2)$$

Där tt_5 är tiden till att överstiga 5 °C i minuter. Förvånansvärt nog ingick inte rumstemperatur och mängden livsmedel i den slutliga regressionsmodellen, något som författarna menar berodde på de experimentella förhållandena i just den här studien (Scarcelli & Nelson, 2013).

Prognosmikrobiologiska beräkningar av bakterietillväxt

Prognosmodeller användes för att beräkna hur mycket olika patogena, toxinbildande eller förstörande bakterier kan förökas i olika livsmedel samt sannolikheten att toxinbildning sker under ett elavbrott. Medan den generella förmågan att stödja mikrobiell tillväxt (fråga 2) gjordes brett för många olika livsmedel så gjordes för fråga 3 en prioritering av livsmedel som ofta är förknippade med utbrott orsakade av de specifika bakterier som efterfrågades (se nedan). Den relativa riskökningen efter tillväxt av patogener med låg infektionsdos (fråga 3b) gjordes utifrån dos-responsmodellen för *E. coli* O157 vilken i sin tur är baserad på data från livsmedelsburna utbrott och utbrott från vatten och miljö (Strachan et al. 2005).

Simuleringar i ComBase

I syfte att besvara fråga två (vilka livsmedel som stöder en förhållandevis snabb/långsam tillväxt) samt fråga 3 (tillväxthastighet för patogener och toxinbildare i ett antal kylvaror) gjordes en simulering vid 12 respektive 15 °C för att bestämma generationstiden för *Brochotrix thermosphacta*, som vid förhöjda halter ger livsmedlet en dålig lukt. Anledningen till att använda sig av *Br. thermosphacta* är för att bakterien kan tillväxa vid låga temperaturer samt att det finns möjlighet att modellera tillväxten i ComBase. *Br. thermosphacta* är framförallt en förskämningbakterie som är förknippad med förekomst på kött (Livsmedelsverket 2023a). En nackdel med valet av *Br. thermosphacta* är att bakterien inte tillväxer vid pH < 5,5. Vidare studerades tillväxten av toxinbildarna *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus* och *Clostridium botulinum* samt för livsmedlen relevanta patogener såsom *Listeria monocytogenes*, *Yersinia enterocolitica*, shigatoxinproducerande *Escherichia coli* (STEC) och *Salmonella* spp. vid 15 °C och 20 °C.

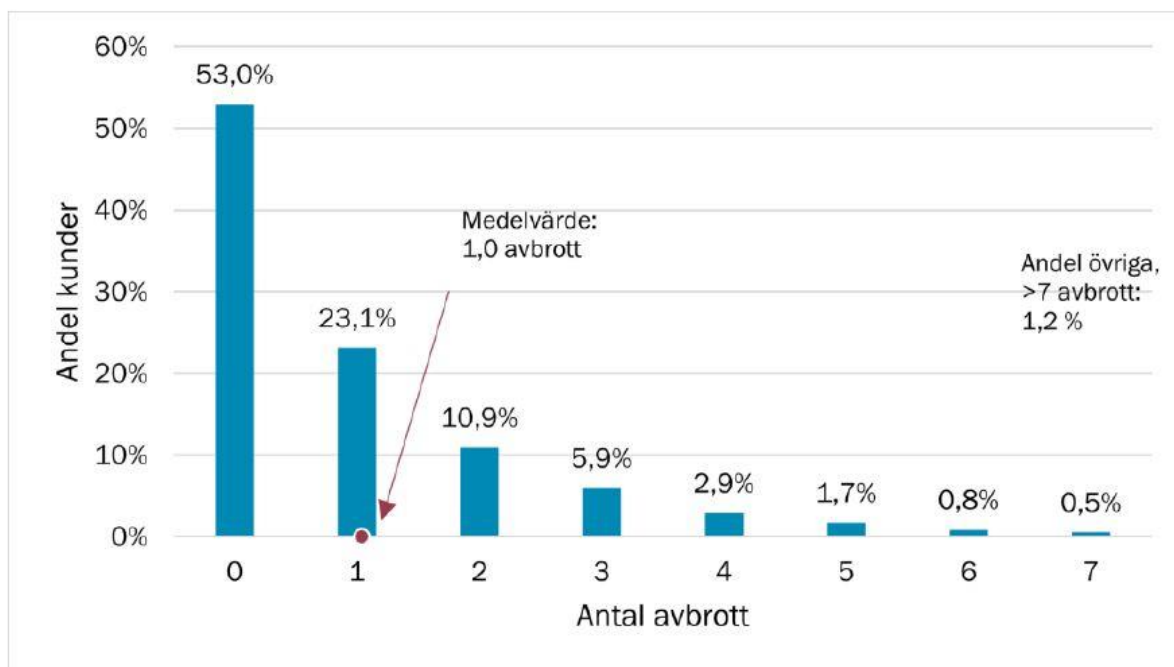
I ytterligare en ansats modellerades tillväxten för *Br. thermosphacta*, *B. cereus* och *L. monocytogenes* under ett simulerat elavbrott under en antagen temperaturökning i ComBase. Temperaturökningen baserades på modellerna för köttfärs från Ovca & Jevsnik (2009) med en starttemperatur på 5 °C i kylskåpet och 25 °C i rummet. Eftersom försöken inte varade längre än sex timmar extrapolerades den fortsatta temperaturökningen i 48 timmar med en exponentiell och en konstant modell. Som starthalter användes 100 CFU/g för *Bacillus* och *Brochotrix* samt 1 CFU/g för *Listeria*. Målet var att notera efter hur lång tid, samt vid vilken temperatur, förstörelseorganismen hade hunnit växa till en halt av 10⁷ CFU/g (5 log₁₀ tillväxt), toxinbildaren till 10⁵ CFU/g (3 log₁₀ tillväxt) och patogenen till 10² CFU/g (2 log₁₀ tillväxt). Eftersom mikroorganismerna med stor sannolikhet har adapterat på livsmedlet i fråga under en längre tid gjordes simuleringarna utan att inkludera lagfas. Dock kan germineringen av *B. cereus* och *C. botulinum* sporer förväntas ge en viss förväntad lag-tid.

Faroidentifiering

Hur vanliga är elavbrott

Leveranssäkerheten av el kommer enligt prognoser att stå inför en del utmaningar framöver med ett ökat beroende av väderberoende elproduktion, otillräcklig överföringskapacitet, troliga klimatförändringar med en ökad frekvens av extremväder, och även en ökande hotbild utifrån säkerhetsläget. Väderpåverkan illustreras inte minst av genomslaget av stora stormar eller andra större väderhändelser på statistiken över leveranssäkerheten (Energimarknadsinspektionen, 2022).

Varje år rapporterar elnätsföretagen in uppgifter till Energimarknadsinspektionen om hur många och hur långa elavbrott de haft i sina olika nät (Energimarknadsinspektionen, 2022); (Dataportal, 2023). Energimarknadsinspektionen delar in avbrott i korta, 100 millisekunder till 3 minuter, och långa avbrott, längre än 3 minuter. Vidare delas avbrotten in i aviserade respektive oaviserade utbrott. Ungefär hälften av kunderna har minst ett längre oaviserat elavbrott per år. Leveranssäkerheten anges med ett antal indikatorer, ofta medelvärden, men situationen är sådan att en majoritet av kunderna har färre avbrott än medelvärdet och en minoritet har relativt många avbrott (Figur 1; Energimarknadsinspektionen, 2022). Generellt har landsbygdsnät sämre leveranssäkerhet än tätortsnät, med en total medelavbrottsstid på 70,8 minuter och medelavbrottsfrekvensen på 1,0 avbrott per kund och år. Det kan bero på att landsbygdsnät är mer exponerade för väderrelaterade störningar än tätortsnät och ofta har en lägre redundans.



Figur 1. Fördelning av antal långa (>3 min) oaviserade elavbrott för enskilda kunder 2021 (Energimarknadsinspektionen, 2022).

Mellan åren 2003 och 2021 har det genomsnittliga antalet långa oaviserade elavbrott per kund och år legat mellan 1,04 (2021) och 1,6 (2011). För 2021 varierade antalet långa oaviserade avbrott i landets kommuner mellan 0,04 och 12,77 (Energimarknadsinspektionen, 2023). Den genomsnittliga sammanlagda avbrottstiden för långa oaviserade avbrott per kund och år mellan 2003-2021 varierade från 63 (2021) till 152 (2013) minuter, förutom år med stora stormar, t ex 912 minuter (2005, Gudrun) och omkring 186 (2011, Dagmar) minuter (Energimarknadsinspektionen, 2022). Kanske viktigare än den totala genomsnittliga elavbrottstiden per kund och år är avbrottstiden per elavbrott. Enligt ellagen får ett elavbrott inte överstiga 24 timmar. År 2021 (siffror för 2020 inom parentes) var den genomsnittliga tiden för långa oaviserade utbrott 60,34 (69,19) minuter och antalet kunder som drabbades av elavbrott på 12 timmar eller längre var 13290 (33202) vilket motsvarade 0,24 (0,59) % av kunderna. Motsvarande siffror för avbrott längre än 24 timmar var 3576 (5991) kunder motsvarande 0,06 % (0,11 %). Mellan 2007 och 2021 sticker åren med stora stormar ut och antalet kunder som drabbades av avbrott längre än 24 timmar var då 225 001 (Per, 2007), 72 464 (Dagmar) samt 53 329 (2019, Alfrida), och 72 825 (2013, flera mindre stormar).

Livsmedel och prioriterade mikroorganismer

Exempel på livsmedel för vilka simuleringar efterfrågades finns i Bilaga 1. De prioriterade farorna som identifierades i Livsmedelsverket (2023a) är även dem som är mest aktuella här. I tabell 2 listas information om deras tillväxtspann med avseende på temperatur, pH och vattenaktivitet.

Tabell 2. Exempel på bakteriella faror som kan vara aktuella att beakta i förskämd mat. Information hämtad från facklitteratur (ICMSF, 1996) och gränserna för tillväxt förutsätter att förhållandena i övrigt är optimala (tagen från Livsmedelsverket 2023a)

Bakteriell fara	Temperatur, min-max (°C)	pH, min-max	Vattenaktivitet (a_w), min
<i>Mesofiler</i>			
- Salmonella spp.	5,2-46	3,8-9,5	0,940
- Patogena E. coli	7-46	4,4-9	0,950
<i>Psykrotrofer</i>			
- Yersinia enterocolitica	-1,3-42	4,2-9,6	0,970
- Listeria monocytogenes	-0,4-45	4,4-9,4	0,920
<i>Toxinbildare, ej sporbildande</i>			
- Staphylococcus aureus	7-48	4-10	0,830
- Staphylococcus toxin	10-48	4,5-9,6	0,870
<i>Toxinbildare, sporbildande aerob</i>			
- Bacillus cereus	4-55	5,0-8,8	0,930
- Emetiskt toxin (cereulide) ^a	12-41	^a	^a
<i>Toxinbildare, sporbildande anaerob</i>			
- Clostridium botulinum typ II ^b (icke-proteolytisk)	3,3-?	5-? ^c	0,97
- Clostridium botulinum typ I ^b (proteolytisk)	10-?	4,6-? ^c	0,930

^a Det är mycket som fortfarande inte är känt kring bildandet av det emetiska toxinet cereulide och hur det korrelerar till tillväxt av Bacillus cereus (Buss da Silva et al., 2022). Angivet temperaturintervall ska därmed ses som osäkert.

^b Clostridium botulinum antas kunna bilda toxin vid samma intervall som gäller för tillväxt (ICMSF, 1996). ^c I ComBase anges lägsta tillväxt för proteolytiska stammar 14 °C, pH 4,7 och a_w 0,954. Motsvarande för icke-proteolytiska är 4 °C, pH 5,1 samt a_w 0,974 (USDA 2023).

Toxinbildande bakterier

Bacillus cereus

Bacillus cereus är en sporbildande jordbakterie. Sporererna är motståndskraftiga mot t.ex. värme och då de gror ut och tillväxer kan två olika toxiner bildas varav det ena är värmestabilt. *B. cereus* sprids från jord till livsmedelsråvaror och kan förekomma i många typer av produkter, t.ex. mejerier, grönsaksrätter, stärkelsesrika livsmedel som ris och risrätter samt värmebehandlade produkter som puddingar och såser. Olika stammar av *B. cereus* har olika tillväxtbetingelser. Vissa är köldtåliga (psykrotrofa) och kan tillväxa ned till 4 - 5 °C medan andra kan föröka sig vid högre temperaturer (mesofila), max ca 55 °C. Optimal tillväxttemperatur är ca 30 till 40 °C (Livsmedelsverket 2023a).

B. cereus orsakar två typer av matförgiftning, varav en variant ger diarré och en variant ger kräkning orsakad av toxin som bakterien bildar i livsmedlet. Diarré-varianten kan ge kraftiga magsmärtor, gasbildning och vattning diarré som uppkommer efter 8-16 timmar och oftast går över efter 24 timmar. De symtom som uppkommer vid förgiftning med kräkt toxin är mycket likt de som orsakas av stafylokockenterotoxin, d.v.s. magkramp och kräkning. Dessa symtom uppkommer efter 1 - 5 timmar och går över inom 24 timmar. För båda varianterna av matförgiftning behövs mellan 10^5 - 10^8 *B. cereus* per gram livsmedel för att orsaka sjukdom (FDA, 2012).

Clostridium botulinum

Clostridium botulinum är en anaerob, sporbildande bakterie som kan finnas i miljön, såsom i jord och sediment, samt i tarmen hos fisk och däggdjur. *C. botulinum* består av fyra olika serotyper (typ I-IV) som förenas genom sin förmåga att bilda kraftigt nervgift, s.k. botulinumtoxin, som orsakar sjukdomen botulism. Sporererna är mycket tåliga för yttre miljöfaktorer och kan överleva såväl torra som upphettning. Botulinumtoxin bildas när sporererna övergår till växande bakterier och börja tillväxa och *C. botulinum* antas kunna bilda toxin vid samma intervall som gäller för tillväxt, det vill säga från pH 4,6 för proteolytiska stammar (typ I) och pH 5 för icke-proteolytiska stammar (typ II) (Livsmedelsverket 2023a). Botulinumtoxinet är inte värmestabilt och förstörs efter cirka tio minuter vid 80 °C. Exempel på livsmedel som orsakat botulism är felaktigt konserverade livsmedel, hemgjorda krydd- och grönsaksinläggningar som förvarats vid för hög temperatur samt vakuumpackad gravad eller rökt fisk (Livsmedelsverket 2023b).

De tidiga symtomen på botulism är lika oavsett vilken toxintyp som orsakat förgiftningen. Dessa inkluderar illamående, kräkningar, mag-tarmproblem och allmän sjukdomskänsla med yrsel, trötthet, samt muntorrhet. Symtom uppkommer generellt efter 18-36 timmar efter intag av kontaminerat livsmedel, men kan variera från 6 timmar upp till 10 dagar. Vidare kan neurologiska symtom uppkomma såsom ögonmuskelförlamning, synstörningar, dubbelseende, svårighet att svälja och talsvårigheter. Efterhand kan andningsförlamning uppkomma. Utan behandling kan botulism ha ett dödligt förlopp (Lindström et al., 2006, McLauchlin & Grant, 2007).

Staphylococcus aureus

Staphylococcus aureus är en bakterie som förekommer allmänt i miljön samt på huden eller i näsan hos människor och djur. Det som utmärker *S. aureus* är att bakterien har en mycket god förmåga att överleva under torra förhållanden, samt kan tillväxa i livsmedel med låg vattenaktivitet. Livsmedel som vanligtvis kopplas samman med matförgiftning orsakad av *S. aureus* är sådana som hanteras

manuellt. Bakterien måste kunna tillväxa i livsmedel för att kunna bilda det värmetåliga toxin som orsakar matförgiftning (FDA 2012; Folkhälsomyndigheten 2023).

För att bli förgiftad krävs att maten som konsumeras innehåller mellan 20 - 100 nanogram stafylokockenterotoxin, och för att den mängden enterotoxin ska bildas uppskattas att det behövs i storleksordningen 10^5 - 10^6 bakterier per gram livsmedel. För känsliga individer behövs lägre halt av toxin för att orsaka sjukdom (Adams & Moss 2008). Inkubationstiden, det vill säga tiden mellan konsumtion och insjuknande är kort (oftast 2 - 4 timmar) varvid symtom som magkramp och kräkningar uppträder. Sjukdomsförloppet är snabbt övergående, med fullt tillfrisknande efter cirka 24 - 48 timmar (Livsmedelsverket 2023b).

Patogener

Listeria monocytogenes

Listeria monocytogenes är en bakterie som orsakar infektionen listerios hos människa. *L. monocytogenes* är allmänt spridd i naturen och finns därför på många livsmedelsråvaror. Bakterien kan få fäste, och vara svår att bli av med, i lokaler och på utrustning där livsmedel tillverkas. På så sätt kan bakterien förorena de livsmedel som tillverkas där. Det som utmärker *L. monocytogenes* är att den kan föröka sig i kylskåpstemperatur och utan tillgång till syre, till exempel i vakuumpförpackningar. I produkter med lång hållbarhet i kylskåp kan listeria därför hinna föröka sig till nivåer som är skadliga för riskgrupper innan hållbarhetstiden gått ut. Det gäller framförallt livsmedel som förvarats några veckor i kylskåp och ska ätas utan att hettas upp, till exempel vakuumpförpackad rökt och gravad fisk, skivat köttplätt, patéer, mögel- och kittostar och vissa kalla ätbara maträtter (Livsmedelsverket 2023b). Även färdigförpackade grönsaker har varit vektor för ett antal listeriautbrott, framförallt i Nordamerika.

Symtom på sjukdomen varierar beroende på vem som drabbas. Personer som inte tillhör någon av riskgrupperna blir vanligtvis inte sjuka. Personer med nedsatt immunförsvar och sköra äldre kan drabbas av blodförgiftning eller hjärnhinneinflammation. För dessa personer är listerios en mycket allvarlig sjukdom med en dödlighet mellan 20 och 30 procent. Det förekommer även klassiska mag- och tarmbesvär såsom diarré och kräkningar. Gravida kan få diffusa influensaliknande symtom. Infektionen kan spridas till fostret som smittas (Livsmedelsverket 2023b). I värsta fall leder smittan till missfall eller allvarligt sjukt barn. Inkubationstiden har angetts från några dygn till tre veckor, ibland ännu längre, särskilt för fall hos gravida (Goulet et al. 2013).

Salmonella spp.

Salmonella spp. är gram-negativa, icke sporformande och stavformiga bakterier. De flesta stammar är rörliga med flageller som sitter spridda över bakterieytan. Salmonellastammar är fakultativt anaeroba, de kan således överleva både i närvaro och i frånvaro av syre. Tillväxtoptimum för de flesta serotyperna är vid 37°C och pH 7 men tillväxt kan ske i ett brett spektra av förhållanden; 5°C - 47°C och pH 3,8 - 9,5 (tabell 2). Salmonellabakterier kan isoleras från många olika typer av livsmedel, både animaliska och vegetabiliska. Otillräcklig uppvärmning och/eller temperaturer som tillåter tillväxt av *Salmonella* i livsmedlet samt korskontamination är ofta förknippat med smitta (Adams & Moss 2008; Livsmedelsverket 2023a). På senare år har andelen fall som orsakats av icke-animalier ökat i Sverige; kryddor, sallat och babyspenat är exempel på livsmedel som har orsakat utbrott.

Salmonella i storleksordningen 10^5 - 10^6 bakterier krävs normalt för att orsaka infektion (salmonellos), vilket oftast förutsätter uppförökning av bakterien i livsmedlet (Kothary & Babu 2001). Inkubationstiden är oftast ett till tre dygn. Infektionen ger vanligen ett akut insjuknande med magkramper, feber, diarréer av varierande intensitet och ibland kräkningar. Ofta är symtomen lindriga och infektionen kan också förlöpa symtomlös. Komplikationer med ledinflammation kan uppträda. Bakterierna kan spridas till blodet och orsaka blodförgiftning, framför allt hos patienter med försämrat immunförsvar (FDA 2012).

Shigatoxinproducerande E. coli (STEC)

STEC (shigatoxinproducerande E. coli) är varianter av den vanliga tarmbakterien Escherichia coli som på grund av extra virulensfaktorer kan orsaka mag-tarmsjukdom hos människor. E. coli tillhör släktet Enterobacteriaceae och ingår i den normala tarmfloran hos djur och människor. Det är en gram-negativ, icke sporbildande, stavformig bakterie som ofta är rörlig med flageller. E. coli kan tillväxa ned till pH 4,4 och i ett brett temperaturspektrum, ca 10-50 °C. Tillväxtoptimum är dock vid pH ca 7 och 37 °C (tabell 2). Den viktigaste reservoaren för STEC är nötdjur men även andra idisslare, som får och getter, kan vara smittkällor. Smittan sprids fekalt-oralt och många olika livsmedel har kopplats samman med utbrott (Adams & Moss 2008). I Sverige har utbrott exempelvis orsakats av opastöriserad mjölk, sallat som bevattnats med förorenat vatten, otillräckligt tillagade hamburgare och kallrökt korv (Livsmedelsverket 2023b).

Inkubationstiden är normalt 2-4 dagar men kan vara så lång som 8 dagar. Infektion karaktäriseras av diarréer, som oftast börjar som vattniga för att senare bli blodiga, och kraftiga magsmärtor men låg eller ingen feber. Illamående och kräkningar kan förekomma. Vid okomplicerade förlopp går sjukdomen normalt över inom en vecka, utsöndring av bakterier via avföringen fortsätter dock normalt i 2 - 3 veckor och ibland längre tid. Symptomen vid STEC-infektion varierar från asymtomatiska till mycket allvarliga. I cirka 5 % av fallen leder infektionen till njurstörningen hemolytiskt uremiskt syndrom (HUS). Symptom vid HUS är sönderfall av de röda blodkropparna, lågt antal blodplättar och nedsatt njurfunktion. Ofta krävs intensivvård och dialys och njurskadorna kan bli kroniska. STEC-infektion är vanligast hos barn i förskoleåldern och även komplikationen HUS är vanligast i denna ålderskategori, alla åldrar kan dock drabbas. Även äldre och människor med nedsatt immunförsvar utvecklar oftare ett allvarligt sjukdomsförlopp (FDA 2012; Folkhälsomyndigheten 2023).

Yersinia spp.

Yersinia enterocolitica och Y. pseudotuberculosis är vanliga i miljön och förekommer naturligt i tarmen främst hos grisar, får, kor respektive vilda djur som exempelvis vildsvin. Genom djurens avföring kan bakterierna förorena jord och vattendrag och därigenom också spridas till andra djur. Griskött är den vanligaste smittkällan för Yersinia spp., men yersinia-bakterier kan också finnas i till exempel opastöriserad mjölk, obehandlat dricksvatten samt vegetabilier som till exempel bevattnats med förorenat vatten. Yersinia spp. kan tillväxa över ett brett temperaturintervall, -1 °C till 40 °C, med ett optimum om cirka 29 °C (Adams & Moss 2008). Till skillnad från många andra bakterier kan de alltså tillväxa även vid kylskåpstemperatur, vilket kan bli ett problem i produkter som förvaras länge i kyla som till exempel vakuumpförpackat griskött. Under de senaste åren har det även rapporterats ett flertal yersiniautbrott i Norden kopplade till bladgrönt (Folkhälsomyndigheten 2023; EFSA 2022).

Infektion med *Y. enterocolitica* och *Y. pseudotuberculosis* ger likartade symtom med magkramp, feber och diarré som utvecklas efter 1 till 11 dagar efter konsumtion. Infektionen är självläkande och går över efter 5 till 14 dagar. Infektion med *Y. pseudotuberculosis* förknippas oftare med inflammation av lymfkörtlar i buken (Naktin & Beavis 1999). I vissa fall kan följsjukdomar uppkomma, såsom olika autoimmuna komplikationer eller inflammatorisk reumatism (Adams & Moss 2008). *Yersinia enterocolitica* är en vanligare orsak till yersinos jämfört *Y. pseudotuberculosis*, år 2022 var 71 % av diagnostiserade fall orsakade av *Y. enterocolitica*, 7 % av *Y. pseudotuberculosis* och i 22 % av fallen var arten okänd (Folkhälsomyndigheten 2023).

Exponeringsuppskattning

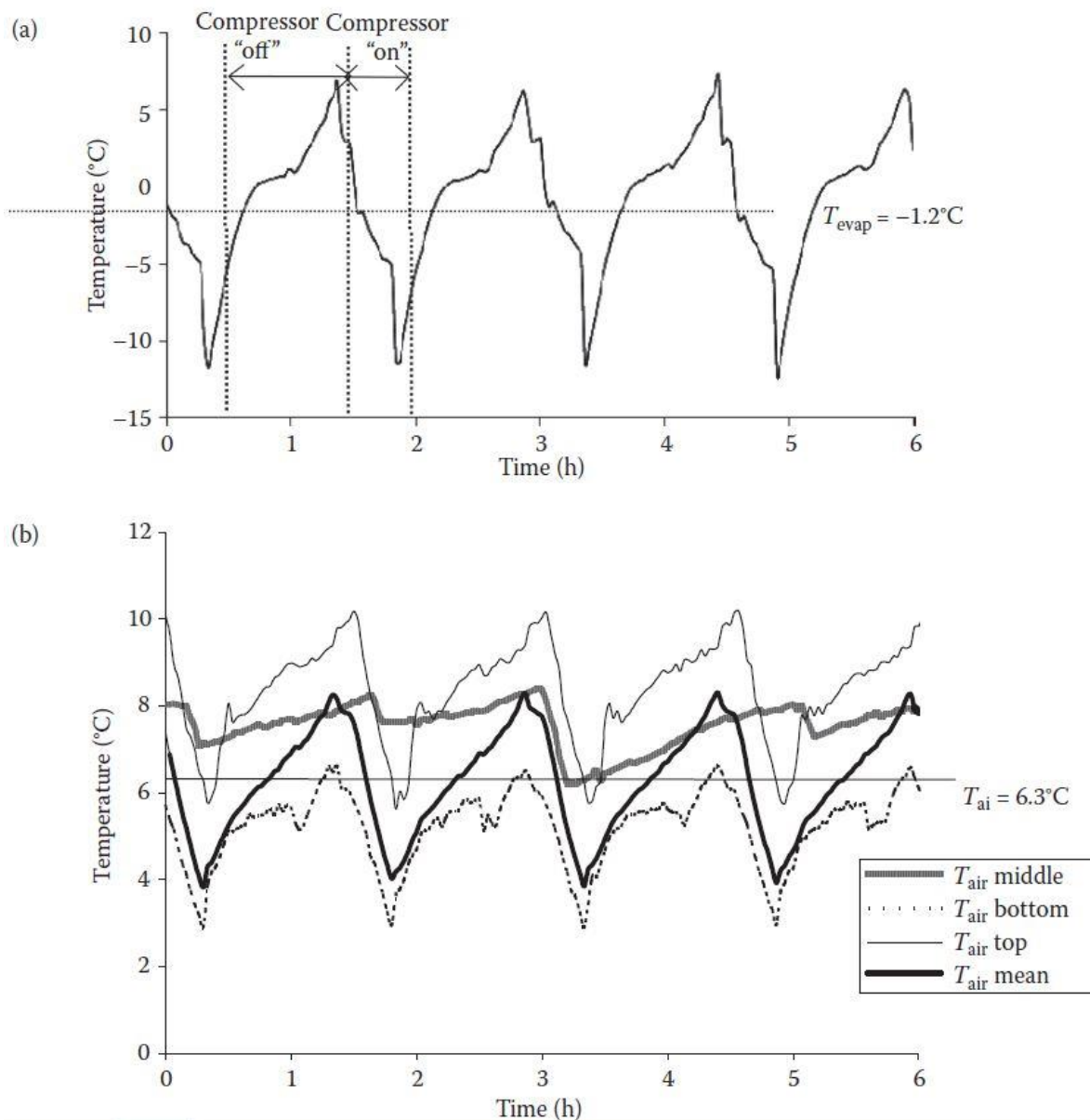
Temperaturen i livsmedel efter elavbrott

En av de viktigaste åtgärderna för säker mat är att förvara den vid temperaturer som minimerar eller förhindrar förökningen av sjukdomsframkallande mikroorganismer, särskilt bakterier. Temperaturen i ett livsmedel som förvaras i ett kylskåp som har blivit strömlöst beror på många faktorer. Förutom hur länge kylen varit utan el, beror livsmedlets temperatur på kylskåpets egenskaper (t ex typ av skåp, kompressorer, väggdjocklek, isolering, volym), inställning av kyltemperaturen, kylens ålder och kondition (t ex kompressorns status, läckage kring dörrlister), frekvens och tid som dörren öppnas, livsmedlets placering (vilken hylla och placering på hyllan eller i dörren), omgivningens temperatur, och hur fylld med mat den är, typ av livsmedel och förpackning (Melo et al., 2000, Ovca & Jevsnik, 2009) (James et al., 2017). Betydelsen av var och en av dessa faktorer kan dessutom variera beroende på de andra faktorerna (Scarcelli & Nelson, 2013).

Det finns en hel del litteratur och modeller som beskriver betydelsen av dessa faktorer men då utifrån perspektivet att kyla ner och hålla livsmedel kylda. Värmeöverföring i ett kylskåp kan ske genom tre processer. Naturlig *konvektion* innebär överföring med luft som flyttar sig och luftflödet beror på variationer i luftens täthet på grund av skillnader i fuktighet och temperatur. *Värmestrålning*, elektromagnetisk strålning som överförs mellan ytor men inte via materia. *Konduktion*, värmeledning (W/K) genom kontakt mellan materia som överför energi via moleky rörelser.

Det finns i princip tre olika konstruktioner på kylskåp, statiska, med fläkt för luftcirkulation, eller med en fläkt inne i bakväggen (Laguerre, 2010). Statiska konstruktioner är den vanligaste typen för privatkonsumenter. I den statiska typen överförs värme via naturlig konvektion. Placeringen och storleken av kylplattan (evaporatorn) bestämmer tillsammans med hyllornas utformning var det är varmast och kallast i kylen. Med någon av kylskåpstyperna med fläkt är temperaturen jämnare fördelad i kylskåpet. Djockleken på väggarna är oftast omkring 4 cm och de är uppbyggda av ett inre lager av polystyren, ett isolerande polyuretanlager och ytterst en metallplåt.

En illustration av hur temperaturen varierar även i ett fungerande kylskåp beroende på placering och kompressorns på- och av-cykler syns i figur 2. I ett kylskåp med livsmedelsprodukter kyls de genom naturlig konvektion, värmestrålning mellan ytan på livsmedlen och väggytorna i kylskåpet, och genom konduktion och värmestrålning mellan produkterna (Laguerre, 2010).



Figur 2. Illustration av hur temperaturen varierar i ett litet kylskåp (50x50x90 cm) som har termostaten inställd på 6 °C. a) visar temperaturen, T_{evap} , på evaporatorn, kylplattan (50x30 cm på bakväggen), och b) visar lufttemperaturen, T_{air} i olika delar av kylen (Laguerre, 2010). De horisontella linjerna visar respektive medeltemperatur av T_{evap} och genomsnittet av medeltemperaturen för T_{air} över 24 timmar.

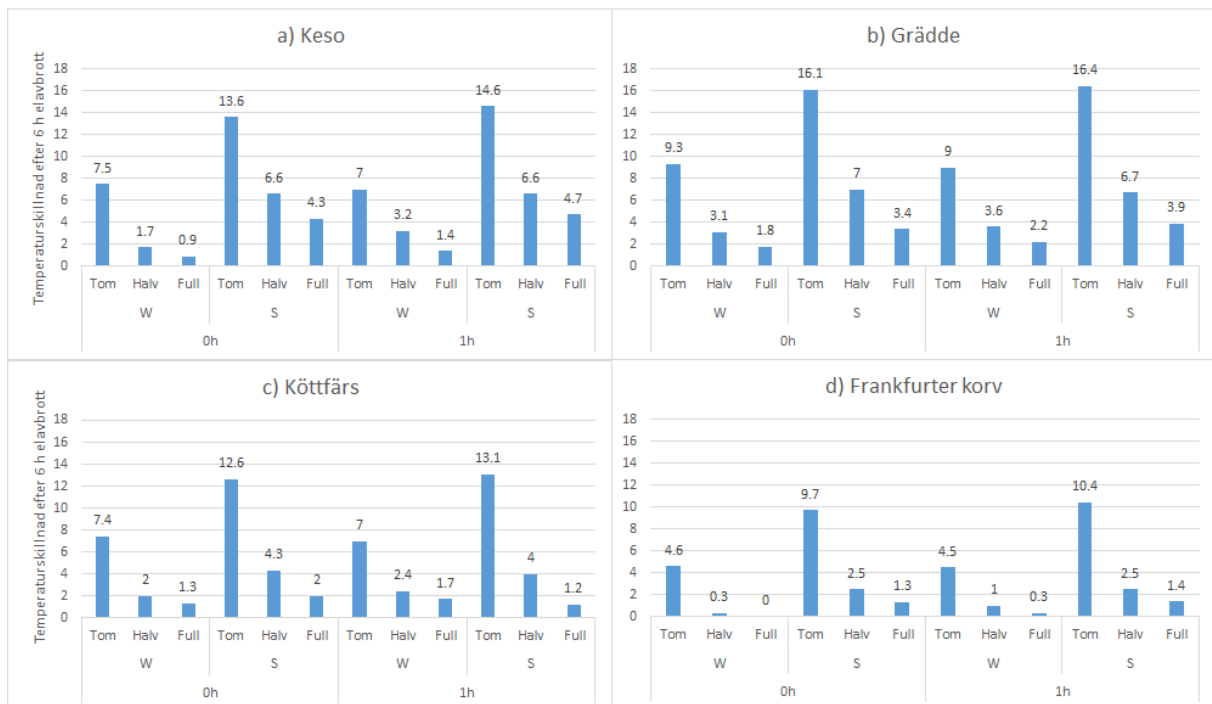
Empiriska observationer

Få studier har tittat på utvecklingen av temperaturen i kylskåpet efter ett strömavbrott. Några sådana studier med livsmedel och en del med vaccin har identifierats. Resultaten från en studie som följde temperaturen i några livsmedel (250 g keso översta hyllan, 250 ml grädde i tetrapack på mellanhylla, 800 g köttfärs i plastpåse på bottenhyllan, 350 g Frankfurter korv i original plastfolie i lådan för grönsaksförvaring) i ett litet kylskåp (156 liter, 3 hyllplan), under 6 timmars elavbrott vid omgivningstemperaturer på 19 eller 30 °C för att spegla vinter respektive sommarförhållanden, visas i figur 3 (Ovca & Jevsnik, 2009).

Omgivningstemperaturen i rummet (vinter eller sommarförhållanden) samt hur full kylen var påverkade temperaturen i de undersökta livsmedlen i det förhållandevis lilla kylskåpet mest (Ovca &

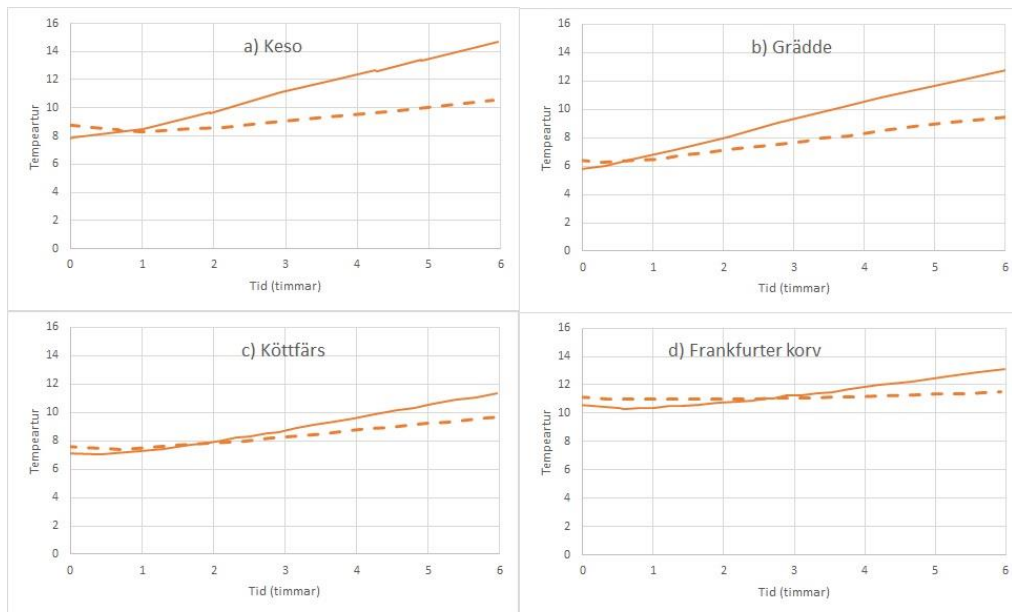
Jevsnik, 2009). Störst skillnad i temperatur efter 6 timmars avbrott var det för grädde på mellanhyllan i en i övrigt tom kyl och sommartemperatur. Minst skillnad var det för Frankfurter korv i grönsakslådan i en fylld kyl vid vintertemperaturer.

Under försökets betingelser var effekten av att öppna kylskåpsdörren varje eller varannan timme under 6 timmar inte stor. Även under värsta-falls betingelser (tom kyl, livsmedlet nära dörren, och sommartemperatur, omkring 30 °C) var skillnaden mindre än 0,5 °C mellan att inte öppna dörren och att öppna den varje timme för alla livsmedel.



Figur 3. Temperaturskillnader i kärntemperatur för olika livsmedel i ett tomt, delvis fyllt eller helt fyllt kylskåp efter 6 timmars elavbrott under omgivningstemperaturer som speglar sommar (S) eller vinterförhållanden (W). Kylskåpsdörren öppnades inte alls (0h) eller varje timme (1h). Modifierat efter (Ovca & Jevsnik, 2009).

Så beroende på betingelserna ökade temperaturen i livsmedlen mellan < 1 upp till 16,4 °C efter 6 timmars elavbrott. Vilken betydelse detta har för eventuell tillväxt av patogener och förskämningsbakterier beror på de absoluta temperaturerna. I figur 4 visas temperaturprofilen från några av försöken i Ovca & Jevsnik (2009). Skillnaderna som syns i temperaturen beror på livsmedlens egenskaper och deras massa, samt inte minst var de förvaras. Till exempel förvaras Frankfurter korven inne i grönsakslådan vilken är avskild från resten av kylskåpet, och förmodligen nedanför kylplattan, vilket kan förklara den höga initiala temperaturen. Under de inledande 6 timmarna av elavbrottet är temperaturökningen förhållandevis linjär, den minskning som ses i figur 4 beror enligt författarna på om strömmen bröts under kompressorns på- eller av-cykel. Om den initiala temperaturen hade varit lägre så hade det tagit en längre tid att överskrida kylskåpstemperaturen 8 grader eller andra kritiska temperaturer.



Figur 4. Kärntemperatur i olika livsmedel i ett delvis fyllt kylskåp efter 6 timmars elavbrott utan dörröppningar vid sommar (hel linje) eller vinterförhållanden (streckad linje) enligt (Ovca & Jevsnik, 2009). Notera att det är olika mängd och förvaringsplats på livsmedlen. a) 250 g Keso översta hyllan, b) 250 ml grädde mellanhylla, c) 800 g köttfärs i plastpåse på bottenhyllan, d) 350 g Frankfurter korv i lådan för grönsaksförvaring.

Resultaten från (Ovca & Jevsnik, 2009) är, trots att de enbart bygger på försök i ett enstaka, och ganska litet, kylskåp generella genom att de illustrerar betydelsen av skillnaden mellan den initiala temperaturen i livsmedlet vid elavbrottet och omgivningstemperaturen, hur fyllt kylskåpet är, livsmedlets egenskaper och placering.

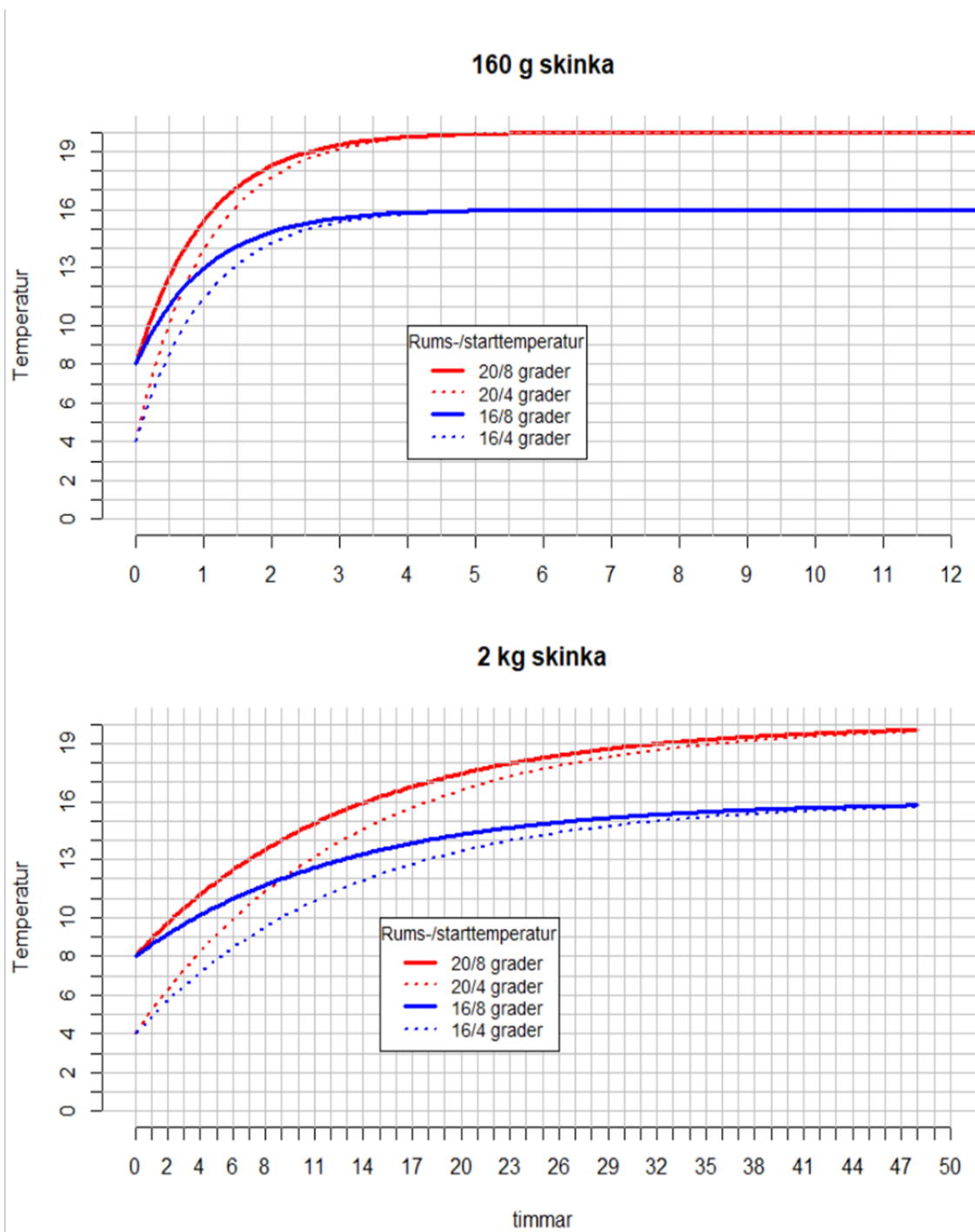
- Fyllt kylskåp ger en långsammare temperaturökning
- Högre omgivningstemperatur ger en snabbare temperaturökning
- Egenskaperna hos livsmedlet i form av värmelagringskapacitet och värmeledningsförmåga viktiga för hur snabbt temperaturökningen sker och ökningen beror också på placeringen i kylskåpet och förpackningsmaterialet. I denna studie är det svårt att särskilja betydelsen av dessa olika faktorer

Chojnacky & Rodriguez (2020) undersökte hur mängden av andra livsmedel i kylskåpet ("ballast load"), i detta fall 500 eller 1000 ml plastflaskor fyllda med vatten, påverkade hur länge vaccin kunde förvaras vid acceptabla temperaturer (2-8 °C) efter ett strömavbrott. Studien fann att med en ballast på mer än 10 % (procent vattenvolym av total volym i kylskåpet) så ökades tiden till över fyra timmar, i snitt 7 timmar vid 17 % ballast och knappt 11 timmar vid 25 % ballast. En annan studie utvärderade vanliga kylskåps (400 liter) förmåga att lagra vaccin vid korrekta temperaturer. Kylskåpet var inställt på 4-5 °C och temperaturen i vaccin förpackade på olika sätt följdes efter avstängning av strömmen (Chojnacky et al., 2010). Utan flaskor med vatten i kylskåpsdörren (ballast) gick temperaturen i alla typer av vacciner (medium täthet med vaccinförpackningar, finns definierade med bilder i rapporten) över 8 °C inom 3 timmar. Motsvarande tid var inom 5 timmar vid medeltäthet när också flaskor med vatten förvarades som ballast i kylskåpet.

Ytterligare en studie med fyllda vattenflaskor rapporterade att för starttemperaturer mellan 2 och 4 °C, nåddes 8 °C efter 7-11 timmar, och 10 °C efter 11-18,5 timmar beroende på hur fullt kylskåpet var. Som jämförelse, i ett kylskåp med is (totalt omkring 22 kg fördelat på 14 behållare fördelade på två olika hyll-plan), nåddes temperaturen 8 °C i vattenflaskorna efter omkring 13,5 till 20,3 timmar (Scarcelli & Nelson, 2013).

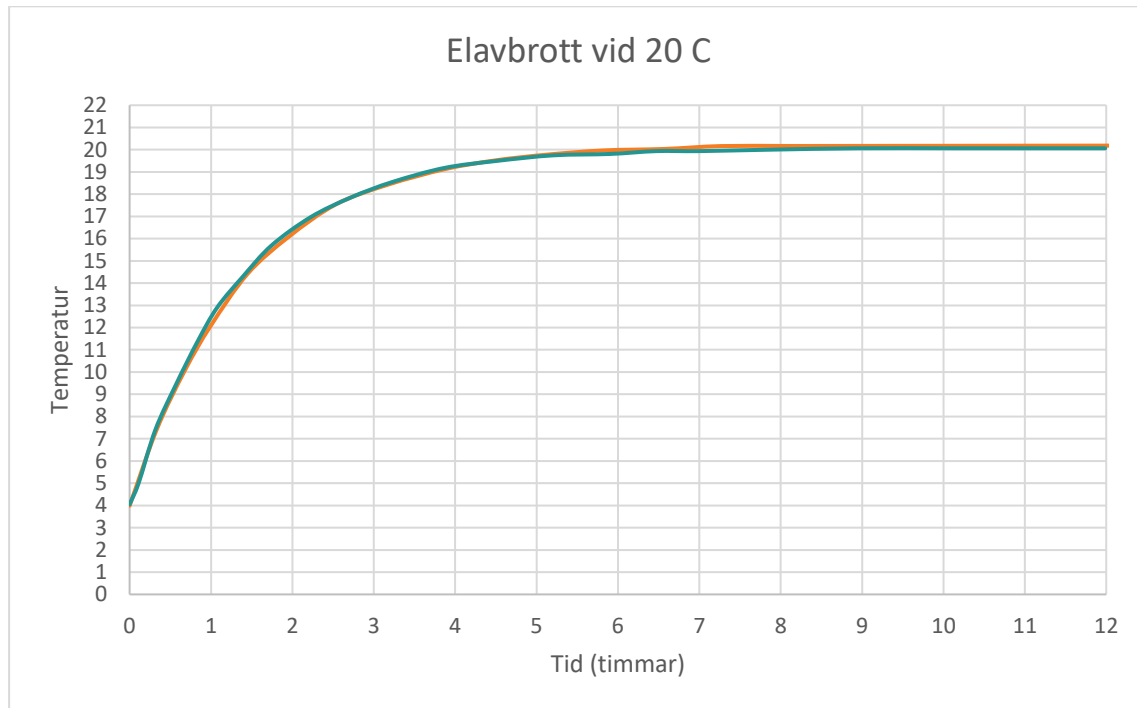
Modeller och simuleringar

På samma sätt som det är brist på empiriska data är det väldigt få studier har försökt beskriva temperaturen i kylskåpet efter ett strömavbrott i form av matematiska modeller. Detta gör generella slutsatser och prediktioner svåra. I en studie som simulerade temperaturen i en kylkedja kombinerades teoretiska modeller för temperaturprofiler med prognosmodeller för tillväxt av *L. monocytogenes* (Duret et al., 2014). Temperaturmodellen simulerade variationen av temperaturen i olika delar av livsmedelskedjan beroende på var i kylkedjan livsmedlet var och på temperaturen i omgivningen och mängden av andra livsmedel i kylarna. Scenarierna och modellerna gällde alltså när kompressorerna fungerade och inte vid elavbrott. Om vi trots det använder samma modeller kan man simulera hur temperaturen ändras vid ett elavbrott. Eftersom modellerna baseras på kontinuerligt fungerande kompressorer och nedkylning från omgivande luft och livsmedel är det osäkert hur väl modellerna fungerar om de istället används med omvända temperaturgradienter, det vill säga att ett kallt livsmedel värms upp av omgivningen. Den osäkerheten behöver beaktas i tolkningen av prognoserna. I vårt exempel simuleras temperaturen i en skinka som antas ha en vikt på 160 g eller 2 kg för att illustrera effekten av mängden av livsmedlet. Det går inte i den här modellen att simulera påverkan av hur full kylan är annat än genom att variera temperaturen på de omgivande livsmedlen. Det kan antas att temperaturhöjningen tar längre tid ju mer livsmedel som finns i kylan, vilket stöds av andra observationer och då kan temperaturen på de omgivande livsmedlen sättas något lägre än rumstemperaturen (t ex 16 °C vid en rumstemperatur på 20 °C) (figur 5). Det är ju mycket inexakt och visar på begränsningen att modellerna är utvecklade för att simulera hur ett livsmedel kyls ner i fungerande kylskåp då kylan från omgivande livsmedlen bidrar till nedkylningen (Duret et al., 2014). Vid elavbrottet blir förloppet omvänt och för att använda modellen har vi antagit att omgivande livsmedel redan har rumstemperatur och bidrar till uppvärmningen.



Figur 5. Simulerade temperaturer i 160 g eller 2 kg skinka som förvaras i ett kylskåp under elavbrott efter (Duret et al., 2014). Den initiala temperaturen i skinkan är 4 eller 8 °C och rumstemperaturen antogs vara 20 eller 16 °C. Den lägre temperaturen antogs godtyckligt för att kunna beskriva effekten av ett kylskåp som är ganska fullt. Notera olika skala på x-axeln.

Inom ett EU projekt togs olika modeller fram för att bland annat beräkna kyltemperaturer och energiåtgång i kylkedjan (Gwanpua et al., 2015, INRAE, 2023). Ett av verktygen kan, med i stort sett samma begränsningar som i föregående simuleringar byggda på Duret et al. (2014), användas för att simulera ett kortare eller längre elavbrott (Figur 6). Simuleringen förutsäger en höjning från 4 till över 10 °C inom mindre än 1 timme och ingen effekt av 50 eller 100 % fyllt skåp.



Figur 6. Simulerad yttemperatur på ett livsmedel med Frisbee-projektets modell för kylkedja. En rumstemperatur på 20 °C antogs och kylan var 50 (grön) eller 100 (röd) % fylld vilket inte gav något utslag i simuleringen.

Prediktioner från en regressionsmodell som publicerats för ett kylskåp med och utan flaskor med is återges här också som jämförelse (Scarcelli & Nelson, 2013). Modellen beskriver tiden till att 5 °C nås på olika hyllor för olika starttemperaturer i det undersökta kylskåpet. På hylla 2 tar det, utan is, 8.5 timmar innan temperaturen går från 2 till 5 °C, och 2.4 timmar från 4 till 5 °C. Med is är motsvarande tider 14.5 respektive 8.4 timmar. Även om de absoluta värdena är osäkra illustrerar det den goda effekten av att ha is eller andra kylda/frysta livsmedel i kylan för att fördröja temperaturhöjningen.

Data som specifikt beskriver temperaturen i olika livsmedel efter ett elavbrott rapporteras i (Ovca & Jevsnik, 2009). Om dessa data används för att ta fram en modell med samma antaganden som Duret et al. (Duret et al., 2014) kan temperaturhöjningen för de mängder och livsmedel i studien simuleras för detta kylskåp vid olika starttemperaturer och ett delvis fullt kylskåp genom insättning i ekvation 1 (tabell 3). Eftersom data bara täcker de sex inledande timmarna blir resultaten osäkra och därför jämförs i tabellen även med en simulering där temperaturhöjningen antas vara konstant istället för exponentiell (enligt ekvation 1 (Duret et al., 2014)). Enligt data är temperaturen under första timmen variabel, bland annat beroende på i vilken fas kompressorn är när elavbrottet inleds och den variationen ingår inte i simuleringsresultaten. Detta underskattar förmodligen den simulerade tiden till en viss temperatur något.

Tabell 3. Simulerade tider (timmar) till att olika måltemperaturer överskrids för olika livsmedel och initiala temperaturer efter ett elavbrott på sommaren med temperaturer på 25 °C. Resultaten bygger på att ursprungsdata (Ovca & Jevsnik, 2009) anpassades till ekvation 1 som beskrivs i metodavsnittet och speglar temperaturförändringen i det specifika livsmedlet (här också mängd, förpackning och placering i kylskåpet) i detta kylskåp. Som jämförelse visas simulerad tid för överskridande av temperaturgräns beräknad med en modell som antar att temperaturökningen är konstant enligt data i figur 4. Jämförelsen görs eftersom resultaten är osäkra då de bygger på extrapolering av data som täcker endast sex timmar.

Temperaturgräns (°C)	Initial Temp. (°C)	Simulerat antal timmar till temperaturgräns överskrids vid elavbrott vid 25 °C (exponentiell modell/konstant modell)			
		Köttfärs	Keso	Grädde	Frankfurter korv
8	4	5/5	3,5/3,5	4/4	10/10
8	6	3/2,5	2/2	2/2	5,5/5
8	8	0,5/0,5	0,5/0,5	0,5/0,5	0,5/0,5
10	4	8/7,5	5,5/5,5	6/6	15,5/14
10	6	5,5/5,5	4/4,5	4,5/4,5	11/10,5
10	8	3/3	2,5/2,5	2,5/2,5	6/5,5
12	4	11,5/10	8/7,5	8,5/8	22/18,5
12	6	9/8,5	6,5/6	7/6,5	17,5/15
12	8	6,5/6,5	4,5/4,5	5/5	12,5/11,5
15	4	17,5/14	12/10	13,5/10,5	34/25
15	6	15/12,5	10,5/9	11,5/9,5	29,5/23
15	8	12,5/11	9/8	9,5/8,5	24,5/20

Förebyggande åtgärder

Vid ett elavbrott utgör temperaturgradienten ΔT , den drivande kraften vid en värmeöverföring, Q (W), via konduktion, från omgivande rum genom kylskåpsväggen in i kylan. Värmeöverföringen motverkas av ett motstånd, R , och beror också på kylskåpets sammanlagda area, A (m^2). Motståndet kan skrivas om i termer av väggens värmekonduktivitet, k ($W/m \times K$) och kylskåpsväggens tjocklek, Δx (m) (Geankoplis, 1993; Scarcelli & Nelson, 2013). Förenklat uttryck:

$$Q = \frac{A \times \Delta T}{R} = \frac{k}{\Delta x} \times A \times \Delta T \quad (3)$$

Ju lägre värmekonduktivitet för materialet i kylskåpsväggen, och ju tjockare vägg desto längre tid tar det för temperaturen att stiga i kylskåpet. Exempelvis har polyuretan en värmekonduktivitet mellan 20 och 35 $mW/m \times K$, expanderad polystyren omkring 35 $mW/m \times K$, medan vacuumisolerade paneler har 2 $mW/m \times K$ eller lägre (Verma & Singh, 2019). Arean påverkar också men eftersom formen på de flesta kylskåp är likartad växer volymen snabbare än arean med storleken vilket ändå medför att större kylskåp generellt är mer effektiva än små kylskåp (Scarcelli & Nelson, 2013).

Värmeflödet in i kylskåpet är bara en av processerna som påverkar livsmedelstemperaturen och alla processer, även effekten av livsmedlen själva behöver beaktas för pålitliga resultat (Laguerre, 2010; Scarcelli & Nelson, 2013). Temperaturförändringen i livsmedlen över tid, $\Delta T(t)$, beror på livsmedlets värmekapacitet, C_p (J /Kg×K), och mängden av livsmedlen, M (kg).

$$Q = C_p \times M \times (T_{t+\Delta t} - T_t) \quad (4)$$

Att simulera livsmedelstemperaturer kräver alltså avancerade beräkningar och tillgång till mycket ingångsdata men ekvationerna är även värdefulla för att de, tillsammans med de empiriska data och simuleringarna ger förståelse och stöd till diskussioner om förebyggande åtgärder. Exempelvis kan temperaturökning reduceras om temperaturgradienten minskas, företrädesvis genom att kylskåpet står kallt, om motståndet mot värmeöverföring ökas, eller om massan i kylan eller värmekapaciteten på det som förvaras där ökas.

Temperaturen i maten i kylan efter olika tider av elavbrott beror på så många faktorer att det försvårar annat än mycket generella råd med en stor säkerhetsmarginal. Råd med en vetenskaplig basis behöver utgå från att konsumenter har någon information om tid som elavbrottet varar och den faktiska temperaturen. En viktig åtgärd är då att ha termometrar som inte är beroende av elnätet i kylskåpet.

Det är bra att ha en låg temperatur i kylskåpet från början eftersom det ger extra tid innan kritiska temperaturer nås. Temperaturhöjningen går också långsammare om det finns en större mängd kylda livsmedel i kylan. Detta kan uppnås genom att stoppa in flaskor med kallt eller hellre fryst vatten, eller en större mängd frysta livsmedel eller kylklampor. När vattnet tinas kan vattnet användas för dricksvatten eller livsmedlen lagas till eftersom de annars förstörs då frysen också är strömlös.

Tillväxt av bakterier under temperaturhöjning

Livsmedels förmåga att stödja tillväxt

I tabell 4 redovisas egenskaper hos en del livsmedel som vanligtvis finns i ett kylskåp. Med stöd av dessa gjordes simuleringar i ComBase enligt beskrivning i metoddelen för att karaktärisera förmågan att stödja snabb, ganska långsam (mellan) respektive långsam mikrobiell tillväxt enligt definitionen i frågeställningen (en \log_{10} på < 5 , 5-10 respektive > 10 timmar) vid 12 och 15 °C. De livsmedel som inte stöder en snabb tillväxt har som regel ett lågt pH. Dock gick det inte att simulera tillväxten av *Br. thermosphacta* under pH 5,5, vilket medför att alla livsmedel med lågt pH klassificeras som stödjer långsam bakteriell. Dock är tillväxttakten för relevanta patogener också relativt långsam vid lågt pH. I dessa livsmedel kommer tillväxten av förstörelsefloran att domineras av mjölksyrabakterier, mögel och jäst (Livsmedelsverket 2023a).

För vissa produkter saknas grundläggande uppgifter om pH och vattenaktivitet samt erfarenheter från utbrott på grund av att de är relativt nya på marknaden. Detta gäller framför allt olika nya vegetariska alternativ såsom växtbaserade drycker och pålägg m.m. varför det inte går att göra några uppskattningar för dessa livsmedel. Med tanke på hur de produceras är *B. cereus* med stor sannolikhet den fara som i regel kan tänkas finnas i/på dem. Vidare kan *L. monocytogenes* kontaminera vissa av produkterna efter värmebehandling ("post-processing"). I några fall, såsom för kokt ris där det saknades uppgifter i "extramaterialet" antogs vattenaktiviteten endast bero på salthalten och sattes till 0,997 (0,6 % NaCl) för tillagad mat och matrester.

Utöver livsmedlets egenskaper, som kan variera inom en kategori (tabell 4, "extramaterial"), påverkas också tillväxten av vilken, samt hur stor, mikrobiotan är i eller på livsmedlet (Livsmedelsverket 2023a). Andra källor till osäkerhet är huruvida det är en bruten eller obruten förpackning, hur länge förpackningen varit bruten och, för temperaturökningen, yt-volymförhållandet samt hur mycket av livsmedlet som finns kvar i den aktuella förpackningen. Om det anges att produkten ska förtäras snabbt efter öppnande är det en indikation på att hållbarheten i öppnad förpackning är begränsad och antagligen inte klarar särskilt lång tid vid högre temperaturer.

I tabell 4 visas även den uppskattade tiden för två \log_{10} (100 gånger) tillväxt¹ vid 15 °C och 20 °C av för livsmedlen potentiella patogener som de på något sätt är, eller kan förväntas vara, förknippade med (Livsmedelsverket 2023a). Baserat på en dos-responsmodell för *E. coli* O157 (Strachan et al. 2005) uppskattas cirka en procent infekteras för en dos motsvarande en STEC-bakterie. Efter tio gångers tillväxt, d.v.s. 10 bakterier är motsvarande andel 7,8 % medan uppskattningsvis 28 % infekteras av en os motsvarande 100 bakterier.

¹ För en \log_{10} (10 ggr) tillväxt tar det halva den angivna tiden

Tabell 4. Exempel på livsmedel i vilka det förväntas en långsam (1 log₁₀ tillväxt på >10 h), ganska långsam (mellan, 1 log₁₀ tillväxt på 5-10 h) respektive snabb (1 log₁₀ tillväxt på < 5 h) tillväxt utan lagfas av *Brochotrix thermosphacta*, deras pH och vattenaktivitet (a_w). När ett spann anges så visas aktuella värden för pH och a_w vid vilka simuleringen utfördes inom parentes. *Brochotrix thermosphacta* tillväxer inte vid pH < 5,5 och vid lägre pH klassificerades tillväxthastigheten vid pH 5,5. Vid lägre pH kan dock andra bakterier, framför allt mjölksyrabakterier, samt jäst och mögel tillväxa. Dessutom visas tid för 2 log₁₀ tillväxt av för livsmedlen potentiella bakteriella patogener vid 15 °C och 20 °C baserat på simuleringar i ComBase. I de fall pH eller a_w även låg utanför tillväxtområdet för en relevant bakteriell fara användes lägsta värde i ComBase för den aktuella bakterien utfall att det låg inom eller i närheten av det för livsmedlet aktuella spannet

Livsmedel	Exempel	pH ^a	a _w	Tillväxthastighet för <i>Br. thermosphacta</i>		Potentiell bakteriell fara	Tid (timmar) för 2 log ₁₀ tillväxt av potentiell fara		Lägsta värde som medger tillväxt av fara ^b	
				12 °C	15 °C		15 °C	20 °C	pH	a _w
Smör, margarin, bordsmargarin		6,1 - 6,4 (6,2)	0,89 - 0,98 (0,95)	långsam	långsam	-				
Sylt, marmelad		3,5 - 4,0 (4,0)	0,80 - 0,88 (0,85)	långsam	långsam	-				
Dressing (klar)	Fransk vinägrett	4	0,924	långsam	långsam	-				
Senap		3,6 - 6 (4,5)	0,94	långsam	långsam	-				
Ketchup		3,9	0,933	långsam	långsam	-				
Juice	Apelsin, äpple	3,3 - 4,0 (4)	0,97 - 0,99 (0,98)	långsam	långsam	-				
Lufttorkade charkprodukter	Skinka, korvar	5,4 - 6,1 (6,0)	0,69 - 0,97 (0,92)	långsam	långsam	<i>Yersinia</i>	130	74		0,957
Syrade mjölkprodukter	Yoghurt, filmjolk, gräddfil	4,4 - 4,6 (4,6)	0,985	långsam	långsam	<i>L. monocytogenes</i> ^c	82	44		
Hårdost	Hyvelbara ostar	5,1 - 5,8 (5,5)	0,91 - 0,97 (0,95)	långsam	långsam	<i>L. monocytogenes</i> ^c	73	39		
						<i>B. cereus</i>	137	81		
Färskost	Feta	4,5	0,98	långsam	långsam	<i>L. monocytogenes</i> ^c	104	56		

Livsmedel	Exempel	pH ^a	a _w	Tillväxthastighet för Br. thermosphacta		Potentiell bakteriell fara	Tid (timmar) för 2 log ₁₀ tillväxt av potentiell fara		Lägsta värde som medger tillväxt av fara ^b	
				12 °C	15 °C		15 °C	20 °C	pH	a _w
Inlagd fisk ^d	Sill	4,5 – 5,0 (5,0)	0,974	långsam	långsam	S. aureus	56	22		
						C. botulinum typ II ^f	181	93	5,1	
Kallrökta charkprodukter	Medvurst	4,6 - 5,3 (5,0)	0,88 - 0,97 (0,92)	långsam	långsam	Yersinia	219	121		0,957
						E. coli	159	73		0,961
Vegoprodukter ^e	Skivat pålägg	4,7 - 6,7 (5,4)	0,94 - 0,99 (0,97)	långsam	långsam	B. cereus	56	32		
						L. monocytogenes	42	25		
Frukt (ej vissa meloner)	Skuren	2,5 - 5,6 (4,3)	0,98 - 0,99 (0,98)	långsam	långsam	Salmonella	65	26		
						E. coli	132	58	4,5	
Vegoprodukter ^e	Skivat pålägg	4,7 - 6,7 (5,4)	0,94 - 0,99 (0,97)	långsam	långsam	B. cereus	56	32		
						L. monocytogenes	46	25		
Rökt eller gravad fisk	Lax	6,1-6,3 (6,5)	0,97	långsam	mellan	L. monocytogenes	26	14		
						C. botulinum typ II ^f	49	25		0,974
Picklade grönsaker, ättiksinläggningar	Gurka	3,2 - 4,6 (4,0)	0,99	långsam	mellan	S. aureus	87	36	4,4	
						C. botulinum typ I ^f	180	78	4,7	
Färskost	Philadelphia, keso	4,5 – 5 (5,0)	0,99	långsam	mellan	L. monocytogenes ^c	46	25		
						B. cereus	27	15		

Livsmedel	Exempel	pH ^a	a _w	Tillväxthastighet för <i>Br. thermosphacta</i>		Potentiell bakteriell fara	Tid (timmar) för 2 log ₁₀ tillväxt av potentiell fara		Lägsta värde som medger tillväxt av fara ^b	
				12 °C	15 °C		15 °C	20 °C	pH	a _w
Skaldjur i saltlake	Räkor, musslor, kräftstjärtar	5,2 - 5,6 (5,4)	0,98	långsam	mellan	S. aureus	36	14		
						L. monocytogenes	37	20		
						C. botulinum typ II ^f	62	32		
Färsk pasta	Linguine	6,0 - 6,9 (6,5)	0,92 - 0,98 (0,96)	långsam	mellan	B. cereus	54	29		
						C. botulinum typ II ^f	49	25		0,974
Dessertost	Brie, camembert	6,0 - 7,7 (7,0)	0,96 - 0,98 (0,97)	långsam	mellan	L. monocytogenes	25	14		
						E. coli	59	26		
Matlådor med ris, pasta eller potatis	Kokt ris	6 - 6,7 (6,5)	0,997	mellan	snabb	B. cereus	16	7		
Köttretter	Köttgryta eller matlåda med kött	6 - 6,4 (6,2)	0,997	mellan	snabb	B. cereus	17	8		
						C. perfringens	41	16		
Rotsaker	Rivna morötter	5,9 - 6,4 (6,2)	0,98 - 0,99 (0,988)	mellan	snabb	Yersinia	18	11		
Cantaloupe-, honungsmelon	Skuren	6,2 - 6,7 (6,5)	0,985	mellan	snabb	L. monocytogenes	19	10		
						Salmonella	25	10		
Skurna grönsaker	Bladgrönt, spenat m.fl.	5,5 - 6,8 (6,1)	0,994 - 0,998 (0,996)	mellan	snabb	L. monocytogenes	19	10		
						Yersinia	14	9		
						Salmonella	20	8		
						E. coli	20	8		

Livsmedel	Exempel	pH ^a	a _w	Tillväxthastighet för Br. thermosphacta		Potentiell bakteriell fara	Tid (timmar) för 2 log ₁₀ tillväxt av potentiell fara		Lägsta värde som medger tillväxt av fara ^b	
				12 °C	15 °C		15 °C	20 °C	pH	a _w
Grädde	Även matlagingsgrädde	6,5	0,98	mellan	mellan	B. cereus	24	12		
Rött kött	Nöt, lamm, vilt	5,4 - 6,0 (5,9)	0,995	mellan	snabb	E. coli	22	9		
						Salmonella	21	9		
Rött kött	Fläsk	5,9 - 6,1 (6,0)	0,995	mellan	snabb	Yersinia	15	9		
						Salmonella	20	8		
Mjölke ^g	Lätt, mellan, standardmjölk	6,3 - 6,5 (6,4)	0,98 - 0,99 (0,985)	mellan	snabb	B. cereus	21	11		
Fågelkött	Kyckling, kalkon	6,2	0,995	mellan	snabb	Salmonella	20	8		
Fisk	Både fet och mager fisk	6,0 - 7,0 (6,5)	0,995	mellan	snabb	L. monocytogenes	17	9		
Skaldjur	Räkor, krabba, hummer	5,7 - 7,2 (6,5)	0,98	mellan	mellan	S. aureus	26	10		

^a Br. thermosphacta tillväxer inte vid pH < 5,5 och tillväxthastigheten klassificerades vid 5,5 för alla livsmedel med ett lägre pH. Däremot kan mjölksyrabakterier förväntas tillväxa och förändra livsmedlets struktur och lukt; ^b I de fall pH och a_w vid vilken klassificeringen i tillväxthastighet utfördes ligger under det värde vid vilken patogenen tillväxer anges värdet patogenen simulerades vid; ^c Listeria kan enligt modellerna tillväxa under dessa förhållanden, däremot är sannolikheten att det skulle ske under verkliga förhållanden begränsade (Livsmedelsverket 2017); ^d Denna är en kylvara och även om tillväxten bedöms som långsam vid 15 °C bör producentens rekommendationer följas; ^e Baserat på medelvärdet från Livsmedelsverket (2022); ^f De icke-proteolytiska (typ II) stammarna tillväxer snabbare än de proteolytiska (typ I), särskilt vid lägre temperaturer. Däremot klarar de inte av att tillväxa i lika lågt pH (USDA 2023). ^g Laktosfria produkter kan förväntas klara sig bättre eftersom de innehåller för bakterierna mindre lättillgänglig energi.

Tillväxt i livsmedel under ett simulerat elavbrott

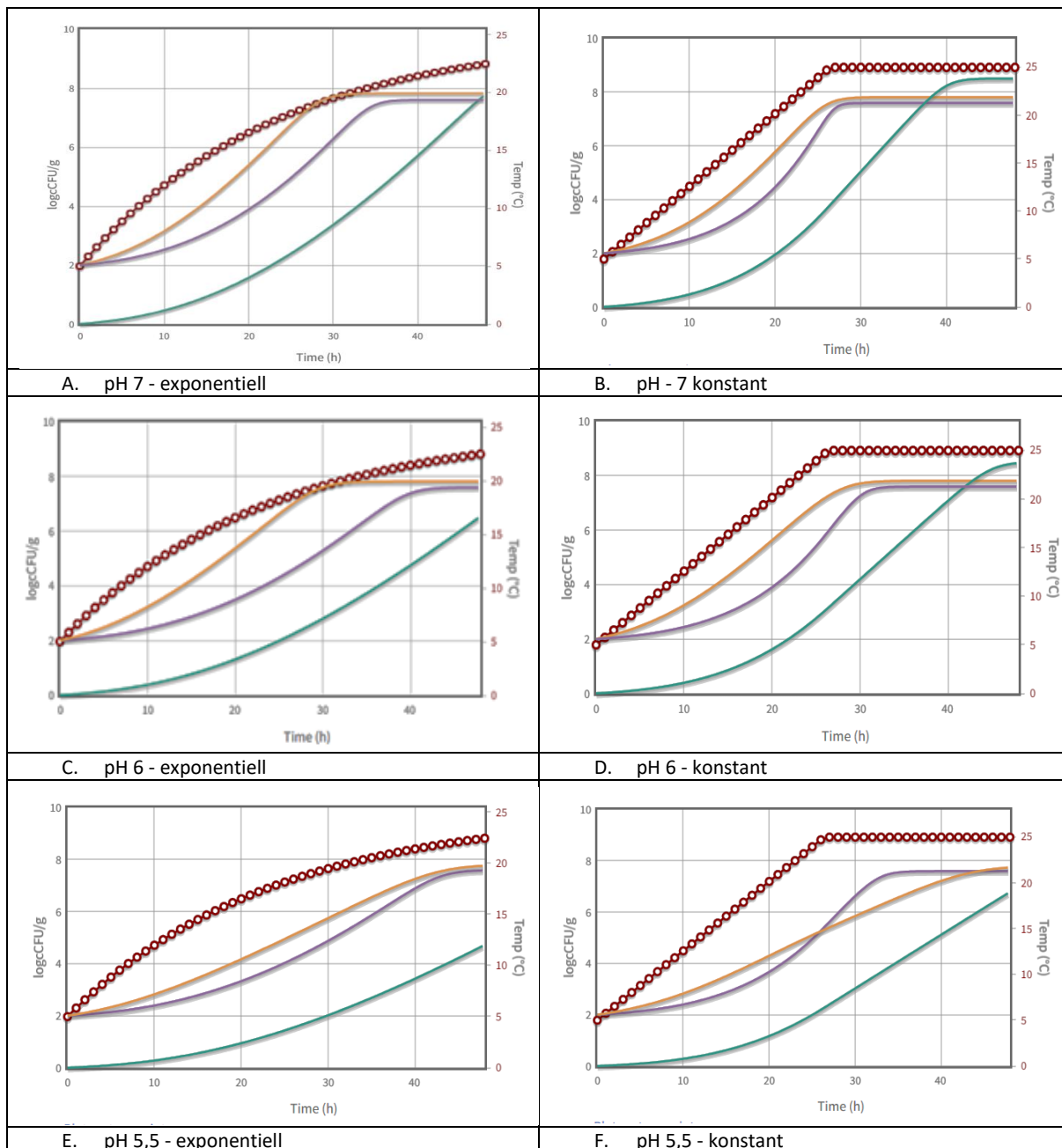
Simuleringar gjordes i ComBase enligt beskrivning i metoddelen med temperaturökningskurvan i köttfärs som bas samt med en starttemperatur på 5 °C och en rumstemperatur på 25 °C. Simuleringen bygger på en liten kyl som är fylld med livsmedel och närmare optimala tillväxtförhållanden (pH = 7,0; $a_w = 0,997$; NaCl = 0,6 %). De kritiska gränser för de mikroorganismer som modellerades sattes till 10^7 CFU/g för förstörelseorganismer, 10^5 CFU/g för toxinbildare och 10^2 CFU/g för patogener och starthalterna antogs vara 10^2 CFU/g (*B. cereus* och *Br. thermosphacta*) samt 10^0 CFU/g för *L. monocytogenes*.

L. monocytogenes är den begränsande organismen vid simulering vid pH 7. Om man antar att temperaturen ändras enligt ekvation 1 tar det 21 timmar för *L. monocytogenes* att nå en halt av 100 CFU/g och temperaturen i livsmedlet var då strax under 18 °C (Figur 7A). De kritiska halterna med avseende på förstörelseflora och toxinbildning skedde efter 25 timmar och 18 °C respektive 26 timmar och 18,5 °C (Figur 7A).

Med antagande om en konstant temperaturökning förkortas tiden till vilken kritiska nivåer uppnås i tillväxtsimuleringen till 19 timmar för *L. monocytogenes* och 23 timmar för *Br. thermosphacta* och *B. cereus*. Däremot var temperaturerna i livsmedlet när de kritiska nivåerna uppnåddes högre enligt denna modell: 20 °C för *L. monocytogenes*, 21,4 °C för *B. cereus* och 23 °C för *Br. thermosphacta* (figur 7B). Detta visar på vikten av att veta både ungefär hur länge ett el-avbrott har pågått samt vilken temperatur kylen (eller ännu hellre livsmedlet) har vid tiden för inventeringen.

Om tillväxten simulerades vid pH 6 och med en temperaturökning enligt ekvation 1 var mönstret detsamma men med en förlängning av tiden till de kritiska värdena på en timme, samt en halv grads ökning av temperatur (figur 7C). Motsvarande tillväxt i livsmedel med pH 5,5 tog enligt simuleringen 30 timmar (19,5 °C) (figur 7E). Liksom i simuleringarna vid pH 7 tog det kortare tid att uppnå de kritiska halterna, men att dessa uppnåddes vid högre temperatur, om en konstant temperaturökning i livsmedlet användes i modellen (figur 7D och 7F).

Eftersom Listeriahalten i livsmedel där organismen inte påvisats troligen ligger under en CFU/g så kan man utgå ifrån att de kritiska slutnivåerna som simuleringen syftade till att uppmäta sker efter ungefär lika lång tid och vid samma sluttemperatur d.v.s. efter runt 20 timmar (18 °C) för livsmedel med pH 7, 24 timmar (19 °C) för livsmedel med pH 6 och 25 timmar (19,5 °C) för livsmedel med pH 5,5. I livsmedel med högre salthalter eller lägre vattenaktivitet på grund av tillsatser tar det ytterligare någon timme samt en halv grads temperaturökning (20 °C) för att nå dessa nivåer (data visas inte). Eftersom initialhalten inte är känd presenteras även tiden för 10, 100 och 1000 gånger tillväxt för organismerna under dessa scenarier i tabell 5.



Figur 7 A-F. Tillväxt av *Brochotrix thermosphacta* (orange), *Bacillus cereus* (lila) samt *Listeria monocytogenes* (grön) utan lagfas i pH 7 (A, B), pH 6 (C, D), pH 5,5 (E, F) och a_w 0,997 (0,6 % NaCl) under ett simulerat strömavbrott i 48 timmar. Temperaturen i livsmedlet motsvaras av de röda symbolerna och kommer från en modellerad temperaturökning i köttfärs i en liten fylld kyl vid en kylskåpstemperatur på 5 °C och en rumstemperatur på 25 °C med antagande om exponentiell (vänster) och konstant (höger) temperaturökning (Ovca & Jevsnik, 2009).

Tabell 5. Tid i timmar för 10, 100 och 1000 gånger tillväxt för *L. monocytogenes*, *B. cereus* och *Br. thermosphacta* utan lagfas i livsmedel med pH 7, pH 6 och pH 5,5 under ett simulerat strömavbrott enligt temperaturkurvorna i figur 7. Vattenaktiviteten var 0,997 vilket motsvarar en salthalt på 0,6 %

pH	Tillväxt	<i>Listeria monocytogenes</i>		<i>Bacillus cereus</i>		<i>Brochotrix thermosphacta</i>	
		Exponentiell	Konstant	Exponentiell	Konstant	Exponentiell	Konstant
7	10	15,7	15	14,4	13,5	9	9
7	100	22,6	20	20,5	18,5	14,3	14
7	1000	28	24	25	21,5	18,5	17,6
6	10	17,3	16	16	15,2	8,6	8,7
6	100	25	22	23	20,5	14	13,7
6	1000	31	26	28,6	24	18,5	17,6
5,5	10	20,5	18,6	17,3	16	11,6	11,3
5,5	100	30	25	24,8	21,5	18,8	18,1
5,5	1000	37	30	30,6	25	25,3	24,3

Riskkaraktärisering

Svar på frågor

Fråga 1.

Hur förändras temperaturen i ett kylskåp när elen har varit borta i 2, 4, 8, 12, 24, 36 och eventuellt 48 timmar? Utgå från ett strömbortfall i en fullstor respektive en halvstor fylld kyl.

- Temperaturförändringen beror, förutom hur länge kylan varit utan el, på
 - kylskåpets egenskaper (t ex typ av skåp, kompressorer, väggjocklek, isolering, volym),
 - inställning av kyltemperaturen,
 - kylens ålder och kondition (t ex kompressorns status, läckage kring dörrlister),
 - frekvens och tid som dörren öppnas,
 - livsmedlets placering (vilken hylla och placering på hyllan eller i dörren),
 - omgivningens temperatur,
 - hur fylld med mat kylan är,
 - typ av livsmedel och förpackning
 - Betydelsen av var och en av dessa faktorer kan dessutom variera beroende på de andra faktorerna
- På grund av den stora variationen av dessa faktorer är det svårt att ge ett entydigt svar på frågan och istället har empiriska data och teoretiska simuleringar tagits fram för att illustrera variationen och effekten av olika faktorer i tabeller och figurer.
- Exempelvis, efter 6 timmars elavbrott ökade temperaturen i fyra olika livsmedel mellan <1 °C till $16,4$ °C beroende på årstid, placering i kylskåpet, mängd och förpackning, och hur fullt kylskåpet var.
- Simuleringar som bygger på modeller för den omvända processen, nedkylning, visar att temperaturer över 10 °C nås inom 1-10 timmar beroende på initial temperatur, omgivningstemperatur och mängd livsmedel.
- Simulering genom en modell framtagen i underlaget och som bygger på empiriska data vid ett elavbrott illustrerar tiden till olika kritiska temperaturgränser ($8, 10, 12, 15$ °C) vid olika initial temperatur ($4, 6, 8$ °C) för fyra förpackade livsmedel (Köttfärs, Keso, Grädd, Frankfurter korv). Simuleringarna är endast illustrationer eftersom de bygger på en enda studie utförd i ett förhållandevis litet kylskåp under några få betingelser.

- Temperaturprofilerna i denna delfråga har använts för att genom prognosmikrobiologiska övertaganden identifiera relevanta faror, tider och temperaturer som underlag för konsumentråd (svar på fråga 3).

Fråga 2.

Vilka egenskaper har vanliga kylvaror (råvaror/tillagat/ätfärdigt) som vid förhöjd förvaringstemperatur stödjer förhållandevis snabb, långsam och mycket långsam mikrobiologisk tillväxt? Med snabb tillväxt avses 1-5 timmar för tio gångers förökning, med långsam och mycket långsam tillväxt avses 5-10 timmar respektive 10-20 timmar för motsvarande tillväxt. Lag-tiden är inte inräknad.

- Ge exempel på några kylvaror i respektive kategori. Om möjligt ange pH-värde, vattenaktivitet, salthalt och tillsatser.**

De kylvaror som stödjer en förhållandevis snabb tillväxt har som regel ett neutralt pH och hög vattenaktivitet, d.v.s. låg socker- och/eller salthalt samt saknar tillsatser (Livsmedelsverket 2023a). Tillsatser i sig ger som bäst effekt ihop med andra faktorer såsom låg temperatur och pH, det vill säga, i livsmedel som stödjer en snabb tillväxt påverkas inte tillväxthastigheten i så stor utsträckning av tillsatser (Livsmedelsverket 2022) och tillsatser har inte tagits i beaktande i tillväxtsimuleringarna. För många av de livsmedel som står framme i affären ökar inte den relativa risken på grund av elavbrottet så länge förpackningen inte har brutits eller skalet förstörts, såsom för t.ex. ägg, rotsaker, hela frukter och grönsaker, (glas)konserver m.fl.

- I tabell 4 listas ett antal livsmedel och deras förmåga att stödja bakteriell tillväxt baserat på tillväxtsimuleringar av en förstörelseorganism² vid 12 respektive 15 °C. För mer detaljerat underlag kring vilket pH och a_w som klassificeringen baserades på samt mer information över dessa parametrar i olika livsmedel hänvisas till ”extramaterial”.
- Snabb tillväxt kan förväntas ske i de flesta oprocessade livsmedel såsom kött, fisk och grönsaker om inte pH är naturligt lågt såsom i många frukter (Livsmedelsverket 2023a). Andra grupper av livsmedel som stödjer en förhållandevis snabb tillväxt vid högre temperaturer är icke syrade mejeriprodukter med ett pH > 6 såsom mjölk, grädde och ett flertal mjuka dessertostar (tabell 4).
 - Ganska långsam (mellan) tillväxt kan förväntas i/på de flesta livsmedlen vid någon av de två temperaturerna vid vilken simuleringen utfördes (tabell 4).
 - De livsmedel där en uteslutande långsam bakteriell tillväxt kan förväntas har i regel ett lågt pH och/eller vattenaktivitet såsom fermenterade, torkade och sötade produkter (Livsmedelsverket 2023a).
 - Förutom tiden för temperaturökningen i kylskåpet/livsmedlet (svar på fråga 1) finns andra faktorer som påverkar tillväxttakten och hållbarhetstiden såsom bakteriehalten i/på livsmedlet

² Brochotrix thermosphacta, vilken inte tillväxer vid pH < 5,5. I dessa livsmedel kommer den bakteriella tillväxten att domineras av mjölsyrabakterier (Livsmedelsverket 2023a)

vid tiden för avbrottet, om förpackningen har öppnats samt volymen, massan och ytvolymförhållandet av det aktuella livsmedlet/livsmedelsförpackningen. Dessutom finns det skillnader mellan livsmedel inom varje livsmedelsgrupp medan kategoriseringen i tillväxthastighet har utgått från ett värde för pH respektive vattenaktivitet ("extramaterial").

Fråga 3.

Välj ut några kylvaror som stödjer mikrobiologisk tillväxt och ange tillväxthastigheten i de olika kylvarorna för Salmonella, Listeria, Yersinia, patogena E. coli (ETEC, EPEC, EAEC) samt toxinbildare Bacillus, Staphylococcus och Clostridium i de temperaturer som räknas fram enligt scenariot i fråga 1. Exempel på livsmedel som förvaras i kylskåp anges i Bilaga 1.

- a. **I vilka kylvaror är det troligt att sjukdomsframkallande halter av värmebeständiga toxiner av S. aureus och B. cereus har hunnit produceras?**
- b. **Hur påverkas risken för patogener med låg infektionsdos, som EHEC och Shigella, av ett långvarigt elavbrott.**

Liksom för förskämmande bakterier påverkas tillväxten av bakteriella faror i ett livsmedel av dess inre egenskaper (pH, vattenaktivitet m.m.) och yttre miljöfaktorer (temperatur, atmosfär m.m.). Dessutom påverkas tillväxten av interaktioner och eventuell konkurrens med övriga mikroorganismer i livsmedlet (Livsmedelsverket 2023a). Det sistnämnda går dock inte att simulera med det verktyg som användes. Generellt sett så är sjukdomsframkallande bakterier inte särskilt goda konkurrenter jämfört med förskämmningsorganismer, vilket medför att förskämmningsmikrobiotan ofta verkar begränsande på patogenernas tillväxt och att livsmedlet upplevs som dåligt innan det blir hälsofarligt (EFSA, 2020). Undantag kan vara om livsmedel processats på ett sätt som kraftigt minskar bakgrundsmikrobiotan, till exempel genom pastörisering eller tillagning (Livsmedelsverket 2023a). Vid simulering i en modell för tillväxt under temperaturökning i livsmedel, baserad på svar på fråga 1 (Ovca & Jevsnik, 2009), beräknades kritiska nivåer av tillväxt ha skett, från starthalter motsvarande en listeriabakterie, 100 B. cereus och 100 Br. thermosphacta per gram, efter 19 timmar och vid temperaturer i livsmedlet motsvarande 18 – 20 °C (figur 7). Dessa siffror är dock endast indikativa och påverkas av initial halt i livsmedlet samt osäkerheterna i simuleringarna som redovisas i svar 2. Dock ger simuleringarna en bild av ungefär efter vilka tider och vid vilka temperaturer problem med såväl förstörelse som risk för magsjuka via intoxication och/eller (toxiko)infektion kan ske i livsmedel som stödjer förhållandevis snabb bakteriell tillväxt. Eftersom initialhalten inte är känd presenteras även tiden för 10, 100 och 1000 gånger tillväxt för organismerna under motsvarande temperaturökningar i tabell 5.

- a. I tabell 4 anges tiden för två log tillväxt för olika toxinbildande bakterier i livsmedel de vanligtvis förknippas med eller kan tänkas förknippas med baserat på hur de processas (Livsmedelsverket 2023a). I de allra flesta fall handlar det om överlevande sporer av B. cereus som har varit orsak till utbrott efter tillväxt i/på stärkelserika produkter såsom pasta, ris och potatis. Sporerna kan vidare överleva pastöriseringssteget vilket gör att de kan finnas och eventuellt tillväxa i mejeriprodukter såsom mjölk. Det finns dock endast få rapporter om utbrott via mjölk vilket kan bero på att psykrotrofa stammar sällan hinner gro ut och bilda toxin, kanske på grund av att mjölken anses förskämd innan B. cereus uppnått tillräckliga halter, eller för att fallen sällan upptäcks (Livsmedelsverket 2023a). Med tanke på hur växtbaserade produkter, såsom drycker, produceras kan B. cereus även kunna utgöra en

relevant fara i dessa. Det fanns dock inte tillräckligt med information för att kunna göra en uppskattning av tillväxttakten i dessa vilket utgör en kunskapslucka.

Livsmedel som vanligtvis kopplas samman med matförgiftning orsakad av *S. aureus* är sådana som hanterats manuellt, såsom handskalade räkor, färdiggjorda smörgåsar m.fl. En viktig faktor är att *S. aureus* kan tillväxa i livsmedel med låg vattenaktivitet såsom i produkter med saltlag om innehållet har blivit kontaminerad efter öppnandet av förpackningen. Tiden för tillväxt är dock relativt lång vid temperaturer under 20 °C (tabell 4).

Exempel på livsmedel som orsakat botulism är felaktigt konserverade livsmedel såsom hemgjorda krydd- och grönsaksinläggningar som förvarats vid för hög temperatur samt vakuumpackad gravad eller rökt fisk. Tiden för 100 gånger tillväxt är relativt lång, men om tillväxten kommit igång under en viss tid vid högre temperatur finns möjlighet för fortsatt tillväxt vid låga temperaturer för vissa, icke-proteolytiska, stammar (tabell 2).

- b. I tabell 4 anges tiden för två log tillväxt (100 gånger förökning) av för livsmedlen potentiella patogener såsom *Yersinia*, *L. monocytogenes*, *Salmonella* och *STEC* vid 15 °C och 20 °C. Baserat på en dos-responsmodell för *E. coli* O157 (*STEC*) (Strachan et al. 2005), som överlappar med en modell för *Shigella* i människa, infekteras cirka en procent av exponerade konsumenter av en dos motsvarande en bakterie. Efter en log tillväxt, d.v.s. för en dos på 10 bakterier, är motsvarande andel 7,8 % och för 100 bakterier 28 %.

Fråga 4.

Vad kan man göra för att förebygga/ minska mikrobiologiska risker före, under och efter ett elavbrott?

- Temperaturen i maten i kylan efter olika tider av elavbrott beror på så många faktorer att det försvårar annat än mycket generella råd med en stor säkerhetsmarginal
- Råd med en vetenskaplig basis behöver utgå från att konsumenter har någon information om tid som elavbrottet varat, initial temperatur och den faktiska temperaturen.
- En viktig åtgärd är då att ha termometrar som inte är beroende av elnätet i kylskåpet.
- Övriga handfasta åtgärder är t.ex. att öka mängden kylda livsmedel i kylan genom att stoppa in flaskor med kallt eller hellre fryst vatten, eller en större mängd frysta livsmedel eller kylklampar (se till att ha dessa). När vattnet tinas kan vattnet användas för dricksvatten eller livsmedlen lagas till eftersom de annars förstörs då frysen också är strömlös.

Referenser

ADAMS, M.R. & M.O. MOSS 2008. Food Microbiology. 3rd ed. The Royal Society of Chemistry, Cambridge.

BUSS DA SILVA, N., ELLOUZE, M., ROUZEAU-SZYNALSKI, K., JOHNSON, N., ZWIETERING, M. H. & DEN BESTEN, H. M. W. 2022. Predicting *B. cereus* growth and cereulide production in dairy mix. *International Journal of Food Microbiology*, 364, 109519.

CHOJNACKY, M., MILLER, W. & STROUSE, G. 2010. Thermal Analysis of Refrigeration Systems Used for Vaccine Storage: Report on Pharmaceutical Grade Refrigerator and Household Refrigerator/Freezer.

CHOJNACKY, M. & RODRIGUEZ, A. L. 2020. Effect of thermal ballast loading on temperature stability of domestic refrigerators used for vaccine storage. *PLoS One*, 15, e0235777.

DATAPORTAL, S. 2023. DIGG - Sveriges myndighet för digital förvaltning.

DURET, S., GUILLIER, L., HONG-MINH, H., FLICK, D. & LAGUERRE, O. 2014. Identification of the significant factors in food safety using global sensitivity analysis and the accept-and-reject algorithm: application to the cold chain of ham. *Int. J Food Microbiol*, 180, 39-48.

EFSA 2020. Guidance on date marking and related food information: part 1 (date marking). *EFSA Journal*, 18.

EFSA 2022. The European Union One Health Zoonosis Report. *EFSA J* 20: 7666.

ENERGIMARKNADSINSPEKTIONEN 2022. Leveranssäkerhet i Sveriges elnät 2021. Statistik och analys av elavbrott.

ENERGIMARKNADSINSPEKTIONEN. 2023. Leveranssäkerhet i elnätet [Online]. Available: www.ei.se [Accessed 2023-03-20].

FDA 2012. Bad Bug Book, Foodborne Pathogenic Microorganisms and Natural Toxins. Second Edition. ed. K.A. Lampel. Food and Drug Administration, Silver Spring.

FOLKHÄLSOMYNDIGHETEN 2023. Smittsamma sjukdomar A-Ö. Webb.

GEANKOPLIS, C. J. 1993. Transport Processes and Unit Operations, London, Prentice-Hall International, Inc.

GOULET, V., KING, L.A., VAILLANT, V. & DE VALK, H. 2013. What is the incubation period for listeriosis? *BMC Infect Dis* 13: 11.

GWANPUA, S. G., VERBOVEN, P., LEDUCQ, D., BROWN, T., VERLINDEN, B. E., BEKELE, E., AREGAWI, W., EVANS, J., FOSTER, A., DURET, S., HOANG, H. M., VAN DER SLUIS, S., WISSINK, E., HENDRIKSEN, L. J. A. M., TAOUKIS, P., GOGOU, E., STAHL, V., EL JABRI, M., LE PAGE, J. F., CLAUSSEN, I., INDERGÅRD, E., NICOLAI, B. M., ALVAREZ, G. & GEERAERD, A. H. 2015. The FRISBEE tool, a software for optimising the trade-off between food

quality, energy use, and global warming impact of cold chains. *Journal of Food Engineering*, 148, 2-12.

ICMSF 1996. Microorganisms in food 5 - Characteristics of microbial pathogens. In: ROBERTS, T. A., BAIRD-PARKER, A. C. & TOMPKING, R. B. (eds.). New York, NY: Springer.

INRAE. 2023. FRISBEE tool: cold chain simulator [Online]. Available: https://www6.jouy.inrae.fr/frise_eng/Scientific-production/Tools-and-models [Accessed 7 February 2023].

JAMES, C., ONARINDE, B. A. & JAMES, S. J. 2017. The Use and Performance of Household Refrigerators: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16, 160-179.

KOTHARY, M.H. & U.S. BABU 2001. INFECTIVE DOSE OF FOODBORNE PATHOGENS IN VOLUNTEERS: A REVIEW. *Journal of Food Safety*, 21(1): 49-68.

LAGUERRE, O. 2010. Heat Transfer and Air Flow in a Domestic Refrigerator.

LINDSTRÖM, M., KIVINIEMI, K. & KORKEALA, H. 2006. Hazard and control of group II (non-proteolytic) *Clostridium botulinum* in modern food processing. *Int J Food Microbiol*, 108, 92-104.

LIVSMEDELSVERKET 2017. Förekomst och tillväxt av *Listeria monocytogenes* i Livsmedel. Riskvärderingsrapport. Livsmedelsverkets rapportserie nr 2017-09 del 2, Uppsala.

LIVSMEDELSVERKET 2022. *Listeria monocytogenes* - Tillväxt i fermenterad korv, vegetabiliska pålägg och vid tillsats av konserveringsmedel i ätfärdiga livsmedel. Livsmedelsverkets PM 2022. Uppsala.

LIVSMEDELSVERKET 2023a. Riskprofil: Mikrobiologisk förskämning av livsmedel – svinn och säkerhet. Livsmedelsverkets rapportserie L-2023 nr 01. Uppsala.

LIVSMEDELSVERKET 2023b. webb. www.livsmedelsverket.se

MCLAUHLIN, J. & GRANT, K. A. 2007. *Clostridium botulinum* and *Clostridium perfringens*. In: SIMJEE, S. (ed.) *Foodborne Diseases*. Totowa, NJ: Humana Press.

MELO, C., SILVA, L. W. D. & PEREIRA, R. H. 2000. Experimental Evaluation of the Heat Transfer Through the Walls of Household Refrigerators. *International Refrigeration and Air Conditioning Conference*.

NAKTIN, J. & BEAVIS, K. G. 1999. *Yersinia Enterocolitica* and *Yersinia Pseudotuberculosis*. *Clinics in Laboratory Medicine*, 19, 523-536.

OVCA, A. & JEVŠNIK, M. 2009. Temperature and time impact on food safety in domestic refrigerator. *International J. of Sanitary Engineering Research*, 3.

SCARCELLI, J. M. & NELSON, D. C. 2013. Loss of electricity and refrigerated foods: avoiding the danger zone. *Hospitality Review*, 31.

STRACHAN, N.J.C., DOYLE, M.P., KASUGA, F., ROTARIU, O. & OGDEN, I.D. (2005). Dose response modelling of *Escherichia coli* O157 incorporating data from foodborne and environmental outbreaks. *Int J Food Microbiol* 103: 35-47.

SVANSTRÖM, Å. 2022. Risker med frukt, grönsaker och rotfrukter som har möglat. Livsmedelsverkets rapportserie L 2022 nr 09. Uppsala.

USDA 2023. ComBase. www.combase.cc. United States Department of Agriculture.

VERMA, S. & SINGH, H. 2019. Vacuum insulation in cold chain equipment: A review. Energy Procedia, 161, 232-241.

Bilaga 1. Exempel på livsmedel som finns i ett kylskåp

Råvaror	Exempel
Rött kött	Nöt, gris, lamm, vilt
Fågelkött	Kyckling, kalkon
Fisk	Både fet och mager fisk
Skaldjur	Kokta
Ägg	Råa
Mjök	Lätt, mellan, standardmjök
Frukt	
Grönsaker	
Rotsaker	
Förädlade produkter	
Kötträtter	
Kycklingrätter	
Fiskrätter	
Skaldjursrätter	
Grönsaksrätter	
Rotsaksrätter inkl kokt potatis	
Pastejer av kött, fågel, fisk och vegetabilier	
Varmrökta charkprodukter	Skinka, korvar
Kallrökta charkprodukter	Medvurst
Lufttorkade charkprodukter	Skinka, korvar
Gravad och kallrökt fisk	Lax, regnbåge och andra arter
Varmrökt fisk	Lax, regnbåge och andra arter
Inlagd fisk	Främst sill
Fiskpålägg i tub	Kaviar
Skaldjur i saltlake	Räkor, musslor, kräftstjärter
Filmjök/yoghurt/matlagningsyoghurt	
Creme fraiche	
Grädde	Även matlagningsgrädde
Hårdost	Hyvelbara ostar
Färskost	Inklusive fetaost
Dessertost	
Smör, margarin, bordsmargarin	
Växtdrycker (havre-, mandel, sojabaserat)	

Råvaror	Exempel
Växtbaserad grädde	
Vegetarisk ost	Inklusive fetaliknande vegetariska ostar
Pannkaka, pajer	
Färsk pasta	
Vegoprodukter (tofu, quorn, spreads mm)	
Grönsakssallad, skurna grönsaker	
Inlagda grönsaker	
Skuren frukt	
Juice	
Sylt, marmelad	
Kokt eller stekt ägg	Utan skal
Kokt ägg	Med skal

Bilaga 2. Svar från Energimyndigheten

Svar från Energimyndighetens kontrakterade danska testlaboratorium på Livsmedelsverkets fråga om energiförbrukning vid olika temperaturer inkom 2022-12-22.

It has been up in the medias that some people turn of their refrigerators or changes the thermostat for a higher temperature. But if it is correct or just a story created by the medias I do not know. Anyway, it is a bad idea.

The durability of food depends on the storage temperature, in many cases this can be extended by lowering the temperature, even below what is normally recommended, which in Denmark is +5°C. By increasing the temperature, durability will deteriorate, and food waste will increase.

We do not have any exact measurement on how much you save by changing the thermostat by 1 K, but probably 4-5 %.

We do not measure temperature rise for refrigerators, the time will be short, but depend on how much you have inside the appliance. On freezers this parameter is measured on a nearly fully loaded freezer. I have just made some rough calculations on a refrigerator we tested here the temperature rise was about 1K on 25 minutes at an ambient temperature on +16°C and 1 K on about 15 minutes at an ambient temperature on +32°C. This was made on a refrigerator without any load.

We do not have any data on the changes in energy consumption depending on how much the refrigerator is loaded, but I presume that the influence is small, as long as you do not overload. During test of energy consumption both refrigerators and freezers are tested without any load, except for small brass cylinder for the temperature sensors.

Ambient temperatures have a great impact on the energy consumption, all refrigerators are tested both at +16°C and +32°C. On a recent tested refrigerator with a volume on 387 liters the energy consumption was 0,160 kWh/24h at +16°C and 0,511 kWh/24h at +32°C ambient temperature. This with an internal temperature on +4°C. My expectations will be that the savings are about 4-5 % every K, the ambient temperature is lowered. Do not go below the declared climate class, normally 10-43°C for refrigerators, freezers and combi appliances with two thermostats. Combi appliances with one thermostat, mostly 16-38°C.

