

Verkefnaskýrsla Rf
14 - 04



Rannsóknastofnun
fiskiðnaðarins

Desember 2004

Yfirlit yfir áhættumat í matvælum

Þorsteinn Arnalds



Titill / Title		Yfirlit yfir áhættumat í matvælum	
Höfundar / Authors		Þorsteinn Arnalds	
Skýrsla Rf /IFL report	04-14	Útgáfudagur / Date:	30. desember 2004
Verknr. / project no.		Unnið í samstarfi við Tækniháskóla Íslands	
Styrktaraðilar / funding:			
Ágrip á íslensku:	Í tengslum við undirbúning Rannsóknastofnunar fiskiðnaðarins fyrir áhættumat vegna neyslu fiskafurða hafa verið kannaðar ýmsar heimildir um áhættumat. Heimildaleitin beindist einkum að því að finna upplýsingar um líkangerð vegna áhættumats en jafnframt var aflað upplýsinga um áhættumat almennt. Fjallað er um áhættumat í matvælum almennt sem hluta af áhættugreiningu. Fjallað er sérstaklega um áhættumat vegna efna og vegna örvera, nefnt hverjir geri slíkt mat, hvernig það fer fram og vísindalegan bakgrunn þess. Sjónum er sérstaklega beint að greinum í vísindatímaritum sem fjalla um áhættumat vegna örvera þar sem vitneskja um virðiskeðju matvæla er nýtt til að spá fyrir um áhættu vegna þeirra. Rætt er hvernig háttá megi starfsemi Rf á sviði áhættumats og meðal annars lagt til að sett verði á stofn verkefni um líkangerð til áhættumats vegna örvera.		
Lykilorð á íslensku:	áhættugreining, áhættumat matvæla, áhættulíkön, örveruspálíkön		
Summary in English:	A literature study has been conducted to find references on risk assessment. This has been done as a part of the Icelandic Fisheries Laboratories’ preparation for seafood risk assessment. In addition to finding general references on risk assessment a particular emphasis was given to modelling approaches for risk assessment The study discusses the general concept of food risk assessment as a part of risk analysis. Microbial and chemical risk assessments are addressed separately and organisations that conduct such assessments are mentioned. The scientific background of the assessments and the risk assessment process is described. A special consideration is given to scientific papers that use available information about the food value chain in microbial risk assessment. The future of risk assessment at the IFL is addressed and a recommendation is made that the IFL should start a project on building models for microbial risk assessment.		
English keywords:	risk analysis, food risk assessment, risk modelling, predictive microbiology		

Yfirlit yfir áhættumat í matvælum

Þorsteinn Arnalds

Skýrsla Rf 04-14

TÆKNIHÁSKÓLI
ÍSLANDS
Technical University of Iceland



Reykjavík 2004

Inngangur

Rannsóknastofnun fiskiðnaðarins (Rf) stefnir að því að byggja upp þekkingu og færni á áhættumati fyrir fiskafurðir. Ætlunin er að meta áhættu neytenda af neyslu fisks. Athyglin beinist fyrst og fremst að hættu vegna mengunarefna og örvera. Undirbúningur matsins felst í upplýsingaöflun um áhættumat og að afla fjár til að standa straum af kostnaði við verkefnið. Sótt hefur verið um styrki í samkeppnissjóði og leitað eftir fjármagni á fjárlögum. Meðal annars er umsókn um styrk í undirbúningi samkvæmt þriðja kalli sjöttu rammaáætlunar Evrópusambandsins í samstarfi við ýmsar evrópskar rannsóknastofnanir.

Tækniháskóli Íslands vinnur að því að byggja upp rannsóknir á reiknitækni, þ.e. beitingu stærð- og tölfræðilegra aðferða til úrlausnar ýmissa hagnýtra verkefna innan skólans. Skólinn er í samstarfi við Rf um rannsóknir tengdar reiknitækni og mun hluti af þeirri samvinnu felast í áhættumati fyrir fiskafurðir.

Í þessari skýrslu verður fjallað um mat á áhættu vegna matvæla. Ekki er um að ræða tæmandi samantekt á öllu því áhættumati sem fram hefur farið, frekar er reynt að gefa yfirlit um meginatriði sem varða áhættumat vegna efna og örvera (*toxicological/chemical risk assessment, TRA/CRA* og *microbial risk assessment, MRA*). Lögð hefur verið megináhersla á að afla upplýsinga um áhættumat þar sem beitt hefur verið reiknilíkönun. Hætta vegna efna-mengunar matvæla er einkum til komin vegna mengunar hráefnis. Hætta vegna örvera getur hins vegar bæði skapast vegna mengunar hráefnis svo og fjölgunar örvera í ferlum virðis-keðju. Þetta gerir örveruáhættumat á vissan hátt áhugaverðara vegna þess að hægt er að minnka líkur á þessari hættu með breyttu verklagi í ferlunum og því var lögð nokkru meiri áhersla á könnun heimilda um slíkt mat.

Sérstaklega hefur verið safnað saman upplýsingum um hvernig Íslendingar munu þurfa að standa að áhættumati, þ.e. niðurstöður og leiðbeiningar alþjóðlegra stofnana (*FAO, WHO, Codex*), Evrópusambandsins og loks birtar greinar í vísindatímaritum. Í Bandaríkjunum fer einnig fram umfangsmikið starf á sviði áhættumats og koma þar einkum við sögu stofnanir eins og Matvæla og lyfjastofnun Bandaríkjanna (*Food and Drug Administration, FDA*) og

Umhverfisstofnun Bandaríkjanna (*Environmental Protection Agency, EPA*).

Áhættugreining

Áhættumat er einn þáttur áhættugreiningar (*risk analysis*). Auk áhættumats eru áhættustjórnun (*risk management*) og áhættufræðsla (*risk communication*) hluti af áhættugreiningu. Þessir þættir tengjast því náið en eru að mörgu leiti ólíkir og óháðir. Í þessari skýrslu verður sjónum einkum beint að áhættumati en stjórnun og fræðslu ekki gerð skil.

Áhættumat í matvælum

Rekja má upphaf skipulagðrar áhættugreiningar á vegum Matvælastofnunar Sameinuðu þjóðanna (*Food and Agriculture Organisation, FAO*) og Alþjóða heilbrigðismálastofnunarinnar (*World Health Organisation, WHO*) til ráðstefnu á þeirra vegum sem lagði til að sérstakur aðili kannaði öryggi aukaefna í matvælum. Í kjölfar þess var stofnað sameiginlegt ráð *FAO/WHO* um aukaefni í matvælum (*Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, JECFA*) og hittist það fyrst árið 1956 til að ræða öryggi aukaefna.

Codex staðlastofnunin (*Codex Alimentarius Commission*) sem er á vegum WHO og FAO ákveður staðla um öryggi matvæla með tilliti til efna- og örverumengunar. Vísindalegar rannsóknir fara hins vegar ekki fram á vegum Codex, heldur kallar hún eftir áliti sérfræðinga og þá sérstaklega á vegum WHO og FAO. Codex var stofnuð í byrjun sjöunda áratugarins.

Að beiðni Codex héldu FAO og WHO (1995) fund sérfræðinga um það hvernig nota mætti áhættumat þegar gerðir eru staðlar fyrir matvæli. Markmiðið með notkun áhættugreiningar er að samræma ákvarðanir og gera þær gagnsæjar. Búnar voru til ýmsar skilgreiningar fyrir áhættugreiningu matvæla. Settur var fram rammi um áhættumat þar sem matinu er skipt í hættukennsl (*hazard identification*), hættulýsingu (*hazard characterisation*), mat á inntöku (*exposure assessment*) og áhættulýsingu (*risk characterisation*). Sjónum var eingöngu beint að hættu af völdum efna og líffræðilegra orsaka. Bent var á að nauðsyn væri á öflun aukinna upplýsinga og þekkingar um mat á áhættu vegna örvera. Varað var við að oftúlka niðurstöður áhættumats, þ.e. að nauðsynlegt væri að gera sér

grein fyrir óvissu í áhættumati þar sem óvissan væri oft umtalsverð.

JECFA hefur eins og fram kemur að framan hist frá því 1956. Upphaflega var efni fundanna að meta öryggi aukaefna í matvælum. Í dag sér nefndin einnig um að meta áhrif annarra eiturefna og lyfjaleifa. Alls hafa verið metin 1300 aukaefni og 25 önnur eiturefni og um 80 leifar dýralyfja. Haldnir eru fundir tvisvar á ári og er annað hvort fjallað um eiturefni eða lyfjaleifar.

Sameiginlegir sérfræðingafundir FAO/WHO um hættumat vegna örvera (*Joint FAO/WHO Expert Meetings on Microbiological Risk Assessment, JEMRA*) hófust árið 2000. Markmið þeirra er að þörf fyrir vísindaráðgjöf um áhættumat og gera hættumat vegna örvera. Meginverkefni JEMRA eru:

- Að vera uppspretta vísindalegra upplýsinga og gera áhættumat.
- Þátttaka í gerð verklagsreglna.
- Gagnasöfnun og gagnaöflun.
- Notkun áhættumats í tengslum við áhættustjórnun.
- Miðlun upplýsinga og þekkingar.

Codex nýtir sér ráðgjöf JECFA og JEMRA þegar stofnunin gerir staðla sem snerta öryggi matvæla.

Áhættumat matvæla tengist einnig GATT viðskiptasamningnum en í Uruguay-lotu hans náðist samkomulag um heilnæmi og plöntuheilnæmi (*Sanitary and Phytosanitary (SPS) Agreement*).

Áhættumat vegna efna

Áhættumat vegna efnainnihalds matvæla á sér mun lengri sögu en áhættumat vegna örvera. Þetta hefur meðal annars tvennt í för með sér: Aðferðir sem notaðar eru við efnaáhættumat eru í vissum skilningu frumstæðari en fyrir örverur. Í stað þess að reyna að meta raunverulega áhættu, þ.e. líkur á óæskilegum afleiðingum eru mörk um leyfilegt efnainnihald settar með tilliti til sjónarmiða svo sem þess að neysla hafi lítil sem engin áhrif. Hins vegar stendur „hættumat“ vegna efnainnihalds dýpri rótum hjá stjórnvöldum og iðnaði.

Codex hefur lengi fengist við áhættumat vegna efnainnihalds matvæla og hefur gefið út leiðbeiningar um viðunandi dagsneyslu (*Acceptable Daily Intake, ADI*) á aukaefnum og þolanlegan vikuskammt (*Tolerable Weekly*

Intake, TWI) mengunarefna. Einnig hefur Codex ákveðið hámarksleifar (*Maximum Residue Level, MRL*) fyrir lyfjaleifar í dýravöðva. Gengið er út frá því að þessi viðmiðunargildi séu fullnægjandi í öllum löndum til þess að áhætta neytenda sé viðunandi án þess að hún hafi alltaf verið metin.

International Life Sciences Institute (ILSI) í Evrópu er rannsóknarstofnun sem er staðsett í Belgíu og er kostuð að mestu af matvælafyrirtækjum. ILSI stóð fyrir rannsóknarverkefninu FOSIE (*Food Safety in Europe: Risk Assessment of Chemicals in the Food and Diet*). Var verkefnið kostað af fimmtu rammaáætlun Evrópusambandsins. Í verkefninu var tekin saman staða þekkingar á áhættumati vegna efna. Verkefnishópurinn skiptist í nokkra undirhópa sem skiluðu yfirliti fyrir mismunandi svið. Niðurstöðurnar voru gefnar út í röð greina sem í meginatriðum var ein frá hverjum vinnuhópi fyrir sig. Fjallað var um hættukennsl með eiturefnafræði dýra (*animal-based toxicology*) (Barlow o.fl., 2002), aðferðum eiturefnafræði á tilraunastofu (*methods of in vitro toxicology*) (Eisenbrand o.fl., 2002), hættulýsingu efna í fæðu: áhrif inntöku, eiginleikar og framreikningur (*hazard characterisation of chemicals in food and diet: dose-response, mechanisms and extrapolation issues*) (Dybing o.fl., 2002), stærfræðilíkön og eigindlegar aðferðir (*mathematical modelling and quantitative methods*) (Edler o.fl., 2002), mat á inntöku (*assessment of intake from the diet*) (Kroes o.fl., 2002), framlag faraldsfræði (*the contribution of epidemiology*) (Van den Brandt o.fl., 2002) og áhættulýsing efna í matvælum (*risk characterisation of chemicals in food and diet*) (Renwick o.fl., 2003).

Renwick o.fl. 2003 benda á að niðurstöðu áhættulýsingar megi setja fram með ýmsum hætti:

- Ráðleggingar um að almenn neysla feli ekki í sér neina hættu.
- Lagt sé til viðmiðunargildi neyslu sem yfir langan tíma skapaði hverfandi áhættu. Dæmi um slíkt er viðunandi dagsneysla (ADI).
- Mælanlegt mat á áhættu sem fylgir tiltekinni neyslu.
- Hlutfall milli skammta sem skapa hverfandi áhættu í tilraunum og metinnar neyslu, þ.e. nokkurs konar öryggisbil.

- Sú niðurstaða að vegna eðlis hættunnar sé ekki hægt að meta inntöku sem er hættulítill.

Meðal þeirra atriða sem Renwick o.fl.(2003) telja að þarfnist sérstakra rannsókna eru:

- Betri vísindalegur grunnur áhættumatsaðferða þannig að hægt sé að spá fyrir um áhættu og þannig veita þeim sem fást við áhættustjórnun upplýsingar til ákveða hvaða aðgerðir séu viðeigandi.
- Þróa mat á óvissu sem tengist áhrifum efna á líkamann í stað almennra öryggisstuðla sem nú eru notaðir. Til dæmi er notaður öryggisstuðull $\times 10$ þegar yfirfæra á niðurstöður á aðrar tegundir og einnig $\times 10$ til að bregðast við breytileika hjá mönnum.
- Aðferðir sem brúa bilið á milli niðurstaðna frá ólíkum tegundum (manna og dýra) með samvinnu eiturefnafræðinga, faraldsfræðinga og stærðfræðinga.
- Samræming á framkvæmd og niðurstöðum neyslukannana til að auðvelda mat á inntöku.
- Bætt mat á áhrifum neyslu efna í mismunandi fæðu og samverkandi áhrifum mismunandi efna.
- Líkön til að kanna áhrif breytileika í fæðusamsetningu á upptöku efna fæðunnar.
- Áhrif vinnslu á efnainnihald matvæla.
- Mat á inntöku ofnæmisvalda og neikvæðar afleiðingar sem þeir geta haft í för með sér með líkindafræðilegum aðferðum.
- Tenging milli líkana sem meta inntöku tiltekinna efna og líkana til að meta innri nánd (*internal exposure*).
- Notkun og gilding (*validation*) líkindafræðilegra aðferða við mat á inntöku, áhrifum inntöku, mælingum á mannlegum breytileika.
- Notkun aðferða til meðhöndlunar strjálra gagna.
- Þróun aðferða til að vega saman áhættu og heilnæmi (*risk-benefit*) af neyslu.

Þessi listi er ekki tæmandi um þau efni sem lagt er til að verði rannsökuð en reynt var að telja sérstaklega til þau atriði sem lúta að tölfræðilegum vandamálum og gerð líkana.

Eigi að meta heildaráhættu vegna neyslu matvæla, t.d. með því að sameina niðurstöður

áhættumats vegna efna og örvera er nauðsynlegt að reiknað sé til enda, þ.e. metnar séu líkur á óæskilegum afleiðingum, en ekki einungis magn mengunarefna.

Áhættumat vegna örvera

Á vegum Codex (Anon, 1999) voru gerðar leiðbeiningar um áhættumat vegna örvera (MRA). Útskýrð eru helstu atriði varðandi örveruáhættumat. Meðal atriða sem eru tilgreind er að skilja eigi á milli áhættumats og áhættustjórnunar, áhættumatið eigi að skiptast í fjóra þætti þ.e. hættukennsl, hættulýsingu, mat á inntöku og áhættulýsingu. Lýsa á óvissu og uppsprettu hennar og að haga gagnaöflun þannig að unnt sé að ákvarða óvissu og lágmarka hana. Auk þess á að greina á milli óvissu og breytileika eins og kostur er. Einnig kemur fram að sér í lagi eigi að nota þekkingu um það hvernig örverur fjölga sér, lifa og deyja í fæðu og áhrif á menn, þar með talin óbein áhrif (*secondary*).

Með því að skilja á milli áhættumats og áhættustjórnunar er reynt að tryggja að matið verði óbjagað. Ef hins vegar stjórnun og mat blandast saman er mikilvægt að ákvarðanir séu gagnsæjar. Við upphaf áhættumats er mikilvægt að skilgreina hvernig nota á matið og þar með hvert úttakið á að vera. Dæmi um mögulegt úttak er mat á fjölda sýkinga á ári eða áhætta af neyslu einnar máltíðar. Sem hluta af hættulýsingu er mælt með að áhrif inntöku (*dose-response*) sé metin ef unnt er.

Í leiðbeiningum Codex er ekki beinlínis sagt fyrir um hvernig meta eigi áhættuna heldur gefinn almennur rammi. Sé hins vegar farið eftir þeim eru tvö atriði sem eru einkennandi fyrir þær og falla að hugmyndum sem settar hafa verið fram af Rf um áhættumat

- Nota á þekkingu á því hvernig fjöldi örvera þróast. Því liggur nokkuð beint við að fylgja matvælum frá uppruna til neytanda og nýta þekkingu á þeim ferlum sem áhrifa hafa á matvælin á þeirri leið.
- Lögð er áhersla á að meta áhrif inntöku og þar með gefið í skyn að meta eigi áhættu einstaklinga en ekki bara magn mengunarefna.

Ekki lagt til að tiltekin líkön verði notuð til að ná fram markiðunum og er því vísindamönnum gefið svigrúm til að þróa mismunandi

aðferðir eftir því hvað þeim þykir best henta í hverju tilviki.

Áhættumat á vegum opinberra aðila

Á 32. fundi nefndar Codex um heilnæmi matvæla (*Codex Committee on Food Hygiene*) var lagt til að áhættumat fyrir eftirfarandi örverur og matvæli yrði sett í forgang:

- *Salmonella* í eggjum, fuglakjöti og svínakjöti.
- *Listeria monocytogenes* í tilbúnum réttum.
- *Campylobacter jejuni* í kjúklingum.
- *Enterohemorrhagic Escherichia coli* í spírum og hökkuðu kjöti.
- *Vibrio parahaemolyticus* í skelfiski (Sumner o.fl., 2004).

Áhættumatið er unnið í þrepum. Fyrsti hlutinn er mat á inntöku og hættulýsing en annar hlutinn er áhættulýsing. Finna má drög að niðurstöðum verkefnanna á vefsíðum FAO/WHO en þeim er ekki lokið. Almennt er áhættumatið unnið út frá ferlum, þ.e. reynt er að meta áhrif ferla á þróun örverufjölda og hvaða áhættu sá fjöldi hefur í för með sér.

Meðal þeirra matvæla sem rannsökuð hafa verið er kaldreyktur fiskur (Anon., 2004). Í þeirri rannsókn er notuð Monte Carlo hermun til að finna dreifingu örverufjölda í tilbúnum reyktum laxi út frá líkönum af ferlum sem áhrif hafa á þróun örverufjölda.

Að vinnu á vegum Codex/JEMRA koma helstu sérfræðinga á sviði áhættumats örvera og er því matið á því stigi sem þekking í heiminum gefur tilefni til á hverjum tíma.

Greinar í vísindatímaritum

Aðgreining milli óvissu (*uncertainty*) og breytileika (*variability*) er mikilvæg við gerð líkana til að meta áhættu (Nauta, 2000). Óvissa skapast af því að ekki eru fyrirliggjandi upplýsingar til að meta tiltekna stika líkana sem getur meðal annars stafað af skorti á gögnum. Breytileiki er aftur á móti til kominn þar sem þýðið (*population*) er ekki einsleitt (t.d. ólíkar neysluvenjur, mismunandi næmi o.s.frv.) og minnkar því ekki þó að gögn og líkön batni.

Notermans o.fl. (1997) gerðu tilraunir með geymslupól mjólkur með tilliti til þróunar á fjölda *Bacillus cereus* örvera. Gerðar voru

tilraunir með áhrif geymslu á þróun örverufjölda og út frá því metnar líkur á að tiltekið magn örvera væri í mjólk við neyslu. Áhrif inntöku voru ekki metin þannig að út fengist raun-veruleg áhætta af neyslu, heldur var miðað við reglur í Evrópulöndum þegar ákveðið var viðunandi magn örvera í mjólk. Líkön Notermans eru einnig frumstæð og þekking á því hvernig örverur fjölga sér er ekki nýtt, heldur er einungis mælt hversu mikið magn örvera mjólk, sem geymd hefur verið við tiltekna aðstæður, inniheldur

Hoonstra og Notermans (2001) fjalla um mismunandi áhættumat og meðal annars muninn á áhættumati sem fyrirtæki létu gera og áhættumati stjórnvalda, þ.e. annars vegar áhættumati sem notað er til að setja mörk fyrir viðunandi innihaldi mengandi þátta í vörum og hins vegar áhættumati sem fyrirtæki framkvæma til að finna hvort vörur þeirra standist settar kröfur. Áhættumat fyrirtækjanna er ekki eiginlegt áhættumat í skilningi viðmiðana CODEX þar sem það felur hvorki í sér hættulýsingu (*dose-response*) né mat á inntöku. Hoonstra og Notermans segja þessa þætti svo flókna að það sé erfitt fyrir fyrirtæki að meta þá þó að þeir séu mikilvægir í ákvarðanatöku stjórnvalda. Áhættumat fyrirtækja beinist hins vegar fyrst og fremst að því að greina þá þætti í framleiðslunni sem hafa mest áhrif á hættuna og finna hvar hagkvæmast er að bregðast við. Slíkt áhættumat er því í raun skylt GAMES (*Hazard Analysis Critical Control Point*, HACCP) greiningu. Tekið er dæmi um áhættumat til að setja viðunandi mörk fyrir *E. coli* O157:H7 í pylsum. Notuð er Monte Carlo hermun til að meta áhrif vinnslu á örveruinnihald og þannig meta hversu mikið af *E. coli* vörur gætu innihaldið á borði neytenda. Áhrif inntöku eru ekki tekin með í reikninginn. Einnig er tekið dæmi um áhættumat sem nýst gæti við ákvarðanatöku í fyrirtækjum fyrir sömu tegund örvera. Á grundvelli þeirra niðurstaðna eru lagðar til nokkrar aðferðir til að auka öryggi framleiðslunnar.

Cassin og fleiri (1998) notuðu ferla-áhættulíkan (*Process Risk Model*, PRM) til að meta áhættu vegna *E. coli* í hamborgurum. Tvö líkön voru þróuð, annað til að lýsa þróun örverufjölda í gegn um framleiðsluferlið og á borð neytenda og meta þar með inntöku. Annað líkan mat því næst áhrif inntökunnar (*dose-response*). Óvissa og breytileiki var metinn með

Monte Carlo hermun. Hermilíkanið var gert í @Risk sem er viðbótarforrit fyrir Excel. Niðurstaðan var sú að fyrir ung börn væri dánaráhætta $1.9 \cdot 10^{-7}$ í hverri máltíð. Áhætta vegna heilkennis blóðrofs og þvageitrunar (*Hemolytic Uremic Syndrome*) var metin $3.7 \cdot 10^{-6}$ fyrir sama hóp. Kannaðar voru aðferðir til að minnka áhættuna og áhrif þeirra metin með líkaninu. Tekið er fram að aðferðin sé í samræmi við leiðbeiningar Codex (WHO, 1995).

Evrópuverkefnið FAIR var unnið í samstarfi stofnana sem starfað höfðu á sviði örverufræði og áhættumats. Þær voru INRA (Frakkland), IFR (Bretland), Nottingham háskóli (Bretland), IATA (Spánn), ATO (Holland) og RIVM (Holland). Einnig tóku þátt matvælaframleiðendur og samtök þeirra á Spáni, Ítalíu og í Frakklandi. Carlin o.fl. (2000) tóku saman helstu niðurstöður verkefnisins (FAIR CT97-3159). Sjónum var beint að áhættu vegna grænmetis í tilbúnum köldum réttum. Hættukennsl og hættulýsing fór fram með heimildakönnun og því að beita sérþekkingu þátttakenda. Niðurstaða hennar var að *B. cereus* og *Clostridium botulinum* sköpuðu mesta hættu. Mat á inntöku fékkst með því að meta áhrif ferla í virðiskeðjunni á þróun fjölda örvera. Ekki var farið með áhættumatið til enda, þ.e. metnar líkur á óæskilegum afleiðingum fyrir neytendur. Niðurstöður Barker o.fl. (2002) um hvernig nota mætti Bayesnet til að meta fjölda *C. botulinum* voru notaðar í verkefninu. Sett er fram líkan til að spá fyrir um fjölda örvera, sem síðan mætti nota í stærra líkani til að meta áhættu. Einnig er lagt til að auðveldlega megi að beita líkaninu á aðrar tegundir örvera með lítilsháttar aðlögun.

Gerwen o.fl. (2000) kynntu þrepskipt og gagnvirkt mat á fæðuöryggi (*Stepwise and Interactive Evaluation of Food Safety*, SIEFE) sem er sérfræðikerfi til áhættumats. Kerfið skiptist í tvö lög þar sem allir þættir áhættumatsins eru teknir fyrir tvisvar. Fyrri umferð er gróf, hálf eigindleg greining sem gefur fyrstu nálgun áhættumats og bendir á þá þætti sem mestu máli skipta. Í seinni umferðinni eru þessir þættir skoðaðir betur ásamt líkönum. Aðferðinni var síðan beitt á smurost (*cheese spread*) og *C. botulinum* gerð A og B sem í annarri rannsókn höfðu verið taldar mikilvægustu hættuvaldar í smurosti. Mat á heildarneyslu smurosts sem stuðst var við er ónákvæmt og því var endanlegt áhættumat óvísst. Bent var á að þeir þættir sem hvað mest áhrif hefðu á

niðurstöðu áhættumatsins væru hætta á mengun á seinni stigum og neysla og því væri æskilegt að skoða þessa þætti betur í áhættumati í framtíðinni.

Í skýrslu RIVM setur Nauta (2001) fram hugmynd að ferla- þrepskiptu áhættulíkani (*Modular Process Risk Model*, MPRM) til að meta inntöku (*exposure*). Matið tengdist eða var afsprengi FAIR verkefnisins. Hugmyndin er um margt lík aðferð Cassin (1998). Nauta kortleggur feril vöru frá búi til borðs (*farm to fork*). Hvert þrep er flokkað sem vöxtur, slátrun, blöndun, skipting, brotnám og krossmengun (*growth, inactivation, mixing, partitioning removal and cross contamination*). Gera má líkön um þróun örverufjölda í hverjum þessara grunnferla. Aðferðinni er skipt í sjö þætti: 1) skilgreiningu markmiða (þ.e. til hvers á að nota líkanið), 2) lýsingu á ferli vörunnar, 3) skipting ferla upp í þrep, þ.e.a.s. í einum af flokkunum sex sem að framan getur og byggja þannig upp líkanramma og kanna möguleg líkön fyrir hvert þrep, 4) söfnun gagna og sérfræðiálita eftir því sem við á, 5) vali líkana með tilliti til notkunar, þekkingar og gagna 6) fellingun líkana að gögnum 7) mati á inntöku.

Nauta beitir þessari aðferð síðan á *B. cereus* í kældum unnum matvælum með lengdu geymsluþoli (*refrigerated processed food of extended durability*). Vegna skorts á upplýsingum um næmi (*dose-response*) er hins vegar ekki gert eiginlegt áhættumat, heldur látið staðar numið þegar búið er að meta inntöku. Matinu er einnig lýst í grein Nauta o.fl. (2003).

Eins og getið var að framan er eitt af mikilvægari verkefnum við áhættumat að greina á milli óvissu og breytileika í líkönum, þ.e. finna hvað af breytileika niðurstöðu má rekja til náttúrulegs breytileika og hvað til óvissu líkana. Nauta (2000) fjallar um mikilvægi þess að greina þarna á milli og hvernig megi gera það í líkönum til að meta áhættu af örverum. Tekið er dæmi af áhættumati fyrir *B. cereus* og sýnt hvernig það skiptir höfuðmáli fyrir niðurstöðu áhættumats hvernig óvissa er meðhöndluð. Þannig er stærð og líkur hugsanlegs faraldurs vanmetin ef ekki er greint á milli þessara tveggja þátta.

Notkun spálíkana um örveruvöxt er áhugaverður kostur við áhættumat vegna örvera. Reynt er þá að spá fyrir um þróun fjölda örvera eftir því hvaða meðhöndlun vörur fá. Nauta (2002) spurði þeirrar spurningar hvort hægt

væri að nota spálíkönin til þessara nota. Niðurstaða hans var að það væri ekki hægt á þeim tíma. Ástæða þess er að flest spálíkön taka ekki tillit til breytileika, heldur gefa þau eitt tiltekið svar, punktspá. Við gerð spálíkananna hefur því verið lögð megináhersla á söfnun gagna sem nýtast í þessum tilgangi en minna hugað að gögnum sem gefa vísbendingar um óvissu og breytileika.

Bemrah o.fl.(2003) meta áhættu vegna *Salmonella* mengunar í kalkúna *cordon bleu* í frönsku mötuneyti. Ferlið frá frysti mötuneytisins að neyslu var hermt með Monte Carlo aðferðum. Notað var mat á áhrifum inntöku úr fyrri rannsókn. Metin var áhætta einstaklinga á að smitast af salmonellu, hætta á faraldri og fjöldi væntanlegra tilfella. Borin var saman áhætta af neyslu *cordon bleu* sem eldað hafði verið í ofni annars vegar og djúpsteiktur hins vegar. Niðurstaðan var að nánast engin áhætta fylgi matnum sem eldaður var í ofni en að sá djúpsteikti væri nokkuð hættulegri.

Hald o.fl. (2004) bjuggu til líkan byggt á Bayes aðferðum til að meta framlag einstakra matvæategunda til áhættu af völdum *Salmonella* í Danmörku. Notað var WinBUGS forritið og Markov keðju Monte Carlo hermun. Í rannsókninni eru áhrif framleiðsluferla ekki skoðuð heldur eru gefnar upplýsingar um hlutfall sýkinga í tilteknum matvæategundum.

Klapwijk o.fl. (2000) gefa yfirlit um hættumat vegna örvera sem fram hafði farið á þeim tíma og leggja línurnar fyrir áframhaldandi vinnu. Bent er á að skortur á gögnum um áhrif inntöku fyrir flesta sýkingarvalda geri eiginlegt áhættumat erfitt. Lýst er vinnu ILSI í Evrópu í tengslum við örveruhættumat. Einnig er fjallað um vinnu Evrópusambandsins innan SCOOP (*Scientific Cooperation on Questions relating to Food*) við að afla upplýsinga um stöðu þekkingar á örveruáhættumati. Sendir voru spurningar til margra Evrópulanda og spurt um vinnu á sviði áhættumats í löndunum. Á grundvelli niðurstaðna sem þannig fengust var safnað ítarlegri gögnum eftir því sem þurfa þótti. Niðurstaðan var sú að þörf væri á að koma á fót rannsóknarverkefnum innan fimmtu rammaáætlunar ESB.

Örveruáhættumat er í örri þróun í Evrópu og verið er að byggja upp slíka starfsemi í mörgum Evrópulöndum. Þrátt fyrir það hefðu fá áhættumatsverkefni verið unnin í samræmi við leiðbeiningar Codex. Gefið hefur verið út yfirlit

um greinar og skýrslur sem birst höfðu um örveruáhættumat til og með 1999 (Klapwijk, 2000). Yfirlitsgreinin telur alls 66 greinar og þar af eru 24 bandarískar. Einnig er athyglisvert að einungis sjö greinar fjalla um eiginlegt áhættumat, aðrar eru annað hvort yfirlitsgreinar eða greinar almenns eðlis. Þetta sýnir glögglega að örveruáhættumat er tiltölulega ný grein og má búast við að ef sambærileg samantekt væri gerð nú væri fjöldi greina og skýrslna um eiginlegt áhættumat margfaldur.

Pouillot o.fl. (2003) nota Bayes aðferðir til að meta óvissu og breytileika í fjölgun örvera. Skoðuð er þróun á fjölda *Listeria monocytogenes* í mjólk og byggt á áður birtum gögnum sem safnað er saman úr ýmsum áttum. Notuð er Markov keðju Monte Carlo hermun í WinBugs. Rannsóknin er frekar á sviði spálíkana fyrir örveruvöxt en áhættumats, þó að niðurstöðurnar nýtist við áhættumat.

Oscar (2004) gerði áhættumat fyrir *Salmonella* í heilum kjúklingi. Líkanið gerði ráð fyrir tiltekinni mengun við sölu og fylgdi síðan vörinni eftir á borð neytanda. Notuð var Monte Carlo hermun í @Risk til að herma ferlið. Bæði var notast við birt gögn og spálíkön til að segja fyrir um þróun á örverufjölda. Spáð var 0.44 tilfellum salmonellusmits á hverja 100 þúsund neytendur sem var í samræmi við faraldsfræðileg gögn í Bandaríkjunum þar sem 0.66–0.88 tilfelli salmonellusmits eru á hverja 100 þúsund neytendur kjúklinga.

Parsons o.fl. (2005) bera saman þrjár mismunandi aðferðir við að meta áhættu vegna *Salmonella* spp. í fuglajakjöti. Meginstig framleiðsluferilsins voru skilgreind sem frjóvgun, útungun, eldi og vinnsla. (*Breeder Farm, Hatchery, Broiler Farm, Processor*) Hverju stigi var svo skipt í þrep, inntak, úttak og möguleg krossmengun skilgreind. Kerfið var síðan hermt með þremur aðferðum: 1) Bayes neti, 2) Markov keðju Monte Carlo aðferð og 3) venjulegt Monte Carlo hermilíkan. Niðurstaða samanburðarins var að Bayes net væru hraðvirkust en gæfu jafnframt ónákvæmasta mynd af líkindadreifingum. Venjuleg Monte Carlo hermun á auðveldast með að ná utan um flókin kerfi með mörgum ótengdum þáttum en tölfræðilegar ályktanir (*inference*) eru erfiðar auk þess sem hún er tímafrek. Markov keðju Monte Carlo aðferðir eru málamiðlun milli hinna tveggja aðferðanna.

Rf hefur hug á að skoða möguleika á því að gera áhættulíkan sem nýst gæti við ákvarðanir í fyrirtækjum og hjá stjórnvöldum. Til þess þyrfti að vera til aðgengilegt notendavænt tól sem mæti áhættu miðað við tilteknar forsendur. Ross og Sumner (2002) gerðu einfalt slíkt líkan í Excel. Líkanið vinnur í meginatriðum þannig að það þýðir eigindlegar (*qualitative*) fullyrðingar sérfræðings um áhrif ýmissa þátta yfir í magnbundnar (*quantitative*) stærðir. Áhættumatið fæst síðan með einfaldri margföldun þessara stærða.

Niðurstöður

Áhættumat á matvælum er umfangsmikið svið þar sem að koma sérfræðingar úr ýmsum áttum, svo sem af sviði matvælarannsóknna, eiturefnafræði, líffræði og hagnýtrar stærðfræði. Rannsóknir á áhættumati eru á mörgum sviðum. Til þess að hægt væri að sinna rannsóknum á öllum sviðum áhættumats á Íslandi þyrfti stóran hóp sérfræðinga. Það er ef til vill ekki raunhæft að koma slíkum hópi á fót en vænlegra gæti verið að nýta sem mest af þeim rannsóknum sem fram fara á sviði áhættumats við uppbyggingu þess hér á landi og reyna auk þess að stunda rannsóknir á afmörkuðum sviðum þess.

Út frá sjónarhóli reiknitækni eru einna mestir möguleikar til rannsókna annars vegar við mat á áhrifum inntöku á neytendur og hins vegar við þróun líkana af framleiðsluferlum til að meta áhrif þeirra á þróun örverufjölda. Fyrri möguleikinn er nokkuð utan almenns starfsviðs Rf þó að ekki sé óeðlilegt að stofnunin hasli sér völl á því sviði í samstarfi við aðra íslenska aðila, ef ætlunin er að gera eiginlegt áhættumat skv. leiðbeiningum Codex.

Með því að beina sjónum að líkanagerð um þróun örverufjölda í virðiskeðjunni styrkist einnig önnur starfsemi Rf en sú sem beinlínis snýr að áhættumati. Slíkar rannsóknir gætu nýst við geymsluþolsspár, hönnun framleiðslulína og leiðbeiningar um geymslu og flutninga. Því er talið heppilegast að skoða þennan þátt fyrst.

Lagt er til að búið verði til vel afmarkað rannsóknaverkefni sem felst í mati á áhættu vegna einnar tiltekinnar örveru í tiltekinni fiskafurð. Á þennan hátt mætti byggja upp meiri þekkingu á þeim aðferðum sem notaðar hafa verið við áhættumat.

Einnig auðveldar slík rannsókn að greina hvar nauðsynlegt er að safna frekari gögnum og

gerir kleift að koma auga á mikilvæg rannsóknarefni. Rannsóknin fælist þá í að safna saman öllum gögnum sem nota má við matið, öflun sérfræðialita þar sem gögn vantar og gerð líkans sem tekur á öllum þáttum sem áhrif hafa á áhættuna, þ.e. framleiðsluferlum, neyslueiginleikum og áhrifum inntöku. Gerð var tillaga að slíku rannsóknarverkefni og sótt um til Rannsóknasjóðs Rannís s.l. haust.

Heimildir

- Anon 1999. Principles and guidelines for the conduct of microbiological risk assessment. CAC/GL-30. Codex. 6 bls.
- Anon. 2004. Risk assessment of *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat foods. *FAO/WHO Technical report, Microbiological Risk Assessment Series 5*, 269 bls. (http://www.who.int/foodsafety/publications/micro/mra_listeria/en/)
- Barlow, S.M., Greig, J.B., Bridges, J.W., Carere, A., Carpy, A.J.M., Galli, C.L., Kleiner, J., Knudsen, I., Koeter, H.B.W.M., Levy, L.S., Madsen, C., Mayer, S., Narbonne, J.-F., Pfannkuch, F., Prodanchuk, M.G., Smith, M.R. og Steinberg, P. 2002. Hazard identification by methods of animal-based toxicology. *Food Chemistry and Toxicology* 40: 145–191.
- Barker, G.C., Talbot, N.L.C. og Peck, M.W. 2002. Risk assessment for *Clostridium botulinum*: a network approach. *International Biodeterioration & Biodegradation* 50: 167–175.
- Bemrah, N., Bergis, H., Colmin, C., Beaufort, A., Millemann, Y., Dufour, B., Benet, J.J., Cerf, O. og Sanaa, M. 2003. Quantitative risk assessment of human salmonellosis from the consumption of a turkey product in collective catering establishments. *International Journal of Food Microbiology* 80: 17–30.
- Carlin, F., Girardin, H., Peck, M.W., Stringer, S., Barker, G., Martinez, A., Fernandez, P., Waites, W.M., Movahedi, S., Van Leusden, F., Nauta, M.J., Moezelaar, R., Del Torre og M., Litman, S. 2000. A FAIR collaborative programme: research on factors allowing a risk assessment of spore-forming pathogenic bacteria in cooked chilled foods containing vegetables (FAIR CT97-3159). *International Journal of Food Microbiology* 60: 117–135.
- Cassin, M.H., Lammerding, A.M., Todd, E.C.D., Ross, W. og McColl, R.S. 1998. Quantitative risk assessment for *Escherichia coli* O157:H7 in ground beef hamburgers. *International Journal of Food Microbiology* 41: 21–44.
- Dybing, E., Doe, J., Groten, J., Kleiner, J., O'Brien, J., Renwick, A.G., Schlatter, J., Steinberg, P., Tritscher, A., Walker, R. og Younes, M. 2002. Hazard characterisation of chemicals in food and

- diet: dose-response, mechanisms and extrapolation issues. *Food Chemistry and Toxicology* 40: 237–282.
- Edler, L., Poirier, K., Dourson, M., Kleiner, J., Mileson, B., Nordmann, H., Renwick, A., Slob, W., Walton, K., Würtzen, G. 2002. Mathematical modelling and quantitative methods. *Food Chemistry and Toxicology* 40: 283–326.
- Eisenbrand, G., Pool-Zobel, B., Baker, V., Balls, M., Blaauboer, B.J., Boobis, A., Carere, A., Kevekordes, S., Lhuguenot, J.-C., Pieters, R. og Kleiner, J. 2002. Methods of in vitro toxicology. *Food Chemistry and Toxicology* 40: 193–236.
- Gerwen, S.J.C., Giffel, M.C. te, Riet, K. Van 't, Beumer, R.R. og Zwietering, M.H. 2000. Stepwise quantitative risk assessment as a tool for characterization of microbiological food safety. *Journal of Applied Microbiology* 88: 938–951.
- Hald, T., D. Vose, Wegener, H.C. og Koupeev, T. 2004. A Bayesian approach to quantify the contribution of animal-food sources to human salmonellosis. *Risk analysis* 24: 255–269.
- Hoornstra, E. og Notermans, S. 2001. Quantitative microbiological risk assessment. *International Journal of Food Microbiology* 66: 21–29.
- Klapwijk, P.M., Jouve, J.-L., Stringer, M.F. Microbiological risk assessment in Europe: the next decade. *International Journal of Food Microbiology* 58: 223–230.
- Kroes, R., Muller, D., Lambe, J., Lowik, M.R.H., van Klaveren, J., Kleiner, J., Massey, R., Mayer, S., Urieta, I., Verger, P. og Visconti, A., 2002. Assessment of intake from the diet. *Food Chemistry and Toxicology* 40: 327–385.
- Nauta, M.J., 2000. Separation of uncertainty and variability in quantitative microbial risk assessment models. *International Journal of Food Microbiology* 57: 9–18.
- Nauta, M.J., 2001. A modular process risk model structure for quantitative microbiological risk assessment and its application in an exposure assessment of *Bacillus cereus* in a REPFED. RIVM report 149106 007. RIVM, Bilthoven. 100 bls. (<http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/149106007.pdf>)
- Nauta, M.J., Litman, S., Barker, G.C. og Carlin, F. 2003. A retail and consumer phase model for exposure assessment of *Bacillus cereus*. *International Journal of Food Microbiology* 83: 205–218.
- Nauta, M.J. 2002. Modelling bacterial growth in quantitative microbiological risk assessment: is it possible? *International Journal of Food Microbiology* 73: 9–18.
- Notermans, S., Dufrenne, J., Teunis, P., Beumer, R., Giffel, M. te og Peeters Weem, P.. 1997. A risk assessment study of *Bacillus cereus* present in pasteurised milk. *Food Microbiology* 14: 143–151.
- Oscar, T.P. 2004. A quantitative risk assessment model for *Salmonella* and whole chickens. *International Journal of Food Microbiology* 93: 231–247.
- Parsons D.J., T. G. Orton, J. D'Souza, A. Moore, R. Jones og C. E. R. Dodd. 2005. A comparison of three modelling approaches for quantitative risk assessment using the case study of *Salmonella* spp. in poultry meat. *International Journal of Food Microbiology* 98: 35–51.
- Pouillot, R., Albert, I., Cornu, M., og Denis, J. 2003. Estimation of uncertainty and variability in bacterial growth using Bayesian inference. Application to *Listeria monocytogenes*. *International Journal of Food Microbiology* 81: 87–104.
- Renwick, A.G., Barlow, S.M., Hertz-Picciotto, I., Boobis, A.R., Dybing, E., Edler, L., Eisenbrand, G., Greig, J.B., Kleiner, J., Lambe, J., Müller, D.J.G., Smith, M.R., Tritscher, A., Tuijelaars, S., Van den Brandt, P.A., Walker, R., Kroes, R. 2003. Risk characterisation of chemicals in food and diet. *Food Chemistry and Toxicology* 41: 1211–1271.
- Ross, T. og Sumner, J. 2002. A simple, spreadsheet-based, food safety risk assessment tool. *International Journal of Food Microbiology* 77: 39–53.
- Sumner, J., DePaola, A., Osaka, K., Karunasager, I., Walderhaug, M., Bowers, J. 2004. *Hazard identification, exposure assessment and hazard characterization of Vibrio spp. in seafood*. Joint FAO/WHO Activities on Risk Assessment of Microbiological Hazards in Foods. Preliminary Document. 108 bls. (<ftp://ftp.fao.org/esn/food/vibrio.pdf>)
- Van den Brandt, P., Voorrips, L., Hertz-Picciotti, I., Shuker, D., Boeing, H., Speijers, G., Guittard, C., Kleiner, J., Knowles, M., Wolk, A., Goldbohm, A. 2002. The contribution of epidemiology. *Food Chemistry and Toxicology* 40: 387–424.
- WHO 1995. Application of risk analysis to food standards issues. Report of the joint FAO/WHO expert consultation. WHO/FNU/FOS/95.3.

