

Kuolevuustarkasteluja SHV-tutkintoa varten

16.5.2005

Alkusanat

Tämä SHV-tutkinnon vakuutusmatematiikan sovellukset tenttimateriaaliksi tarkoitettu moniste koostuu kolmesta artikkelista. Ensimmäinen on Martti Pesosen Suomen Aktuaariyhdistyksen kuukausikokouksessa pitämä esitelmä ”*Miksi oletamme kuolevuuden alenemisen jatkuvan?*” Esitelmä sisältää aktuaarien keskeisinä pitämiä kuolevuuden alenemiseen vaikuttavia tekijöitä nyky-yhteiskunnassa.

Toinen artikkeli on Mira Kaupin kirjoittama ”*Lakisääteisen tapaturmavakuutuksen referenssi-kuolevuus*”. Tässä materiaalissa kuvataan kuolevuuden tilastollista mallinnusta. Liitteenä on referenssimalli tapaturmavakuutuslaitoksille eläkemuotoisten korvausten korvausvastuuperusteiden laatimista varten.

Monisteen viimeinen artikkeli on nimeltään ”*Henkivakuutuksen referenssi-kuolevuus K2004*”. Se on lyhyt yhteenveto Mika Mäkisen SHV-työstä ”*Referenssi-kuolevuus henkivakuutusyhtiöille*”. Suomen Aktuaariyhdistys hyväksyi henkivakuutuksen referenssi-kuolevuuden K2004, joka esitellään lyhyesti tässä yhteenvedossa.

MIKSI OLETAMME KUOLEVUUDEN ALENEMISEN JATKUVAN?

fil. tri Martti Pesonen, SHV

Esitelmä Suomen Aktuaariyhdistyksen kuukausikokouksessa

14.9.2004

Aktuaarien eettinen säännöstö edellyttää, että "aktuaari ottaa suorittaakseen vain sellaisia tehtäviä, joihin hänellä on pätevyys ja asianmukainen kokemus".

Tästä syystä minun on korostettava, että olen laatinut tämän esitelmän, jonka lupauduin hetken hairahduksesta tekemään, täysin maallikkona, jolta puuttuu useimpien tässä esitelmässä sivuttujen tietämysalueiden asiantuntemus. Esimerkiksi esitelmän kohdan 3 "ympäristööoppi" on uskoakseni oma viritelmäni, samoin pääosa kohdista 2, 4, 6, 7, 9 ja 12 sekä useimmat kohtien 5, 8, 10 ja 11 johtopäätökset. Ne pohjautunevat suurelta osin lehdistä ja kirjoista lukemaani, mutta en pysty spesifioimaan mahdollisia lähteitä.

Kehotan vakavasti kuulijaa ottamaan tämä seikan huomioon suhtautumisessaan tämän poikkitieteelliseksi tarkoitetun esityksen sisältöön.

Haluan esittää kiitokseni vakuutusmatemaatikko Jyri Särkijärvelle (Pohjola), joka on hakenut internetistä lähdeaineistoa, lukenut luonnosversion sekä ehdottanut siihen parannuksia ja täydennyksiä, sekä ekologian ja evoluutiobiologian apulaisprofessori Anssi Laurilalle (Uppsalan yliopisto) ja biologian ylioppilas Eeva Haloselle (Helsingin yliopisto), jotka ovat niin ikään lukeneet luonnoksen ja esittäneet siihen joitakin lisäyksiä ja täsmennyksiä.

MIKSI OLETAMME KUOLEVUUDEN ALENEMISEN JATKUVAN?

1. BIOLOGIAA

Sukkulamadon (*Caenorhabditis elegans*) normaalin elinkaaren aikana *solunjakautumisten* tuloksena muodostuu 1090 somaattista solua (eli muita soluja kuin sukusolut). Näistä 131 kokee solukuoleman solujen normaalin erilaistumiskehityksen kuluessa, joten aikuisella sukukulamadolla soluja on 959 kappaletta. Kaikilla aikuisilla sukukulamadoilla on siis täysin identtinen solukehitys.*

Kehittyneemmällä eläinlajeilla ja ihmisillä solujen erilaistumiskehitys ei ole yhtä yksikäsitteisesti määrätty. Meillä on kuitenkin sukukulamatojen kanssa yhteinen esi-isä; olemmehan samaa alkuperää. Niinpä myös ihmisen solutasolla tapahtuvaa kehittymistä hedelmöittyneestä munasolusta aikuiseksi yksilöksi ja edelleen vanhukseksi ohjaa geeneihimme koodautunut ohjelma.

Seuraavassa käydään lyhyesti läpi esimerkkien avulla mitä solujen sisällä tapahtuu.

Solun DNA:ssa oleva *telomeeri* on kromosomin vapaata päätä suojaava rakenne. Telomeerissa toistuu monena kopiona ns. telomeerisekvenssi. Nuoren yksilön kantasoluissa telomeeri on maksimaalinen, mutta se lyhenee jokaisessa solunjakautumiseen liittyvässä DNA-replikaatiossa. Telomeerin lyhenemisen edetessä sekvenssin lyheneminen alkaa haitata kromosomin geenien toimintaa siten, että toiminnot hitaasti taantuvat. Solunjakautumisissa tapahtuva telomeerien lyheneminen onkin yksi solulinjojen vanhenemisen ja kuoleamisen syy. Kantasolulla arvioidaan olevan edessään enintään 50 - 70 jakautumiskertaa. Solunjakautumisen rajallisuus asettaa siis erään ylärajan yksilön eliniälle. Pitkät telomeerit ovat eliniän kannalta muutenkin edullisia: ihmiset, joilla on keskimääräistä pidemmät telomeerit elävät keskimäärin pitempään. Kuten edempänä ilmenee, telomeereillä on rooli myös syövän etenemisessä.

Solussa vaurioita aiheuttavat esimerkiksi reaktioherkät *happiradikaalit*, jotka pommitavat jokaisessa solussa esimerkiksi tuman DNA:ta noin 10.000 kertaa päivässä. Lisäksi ne pommittavat jatkuvasti myös solussa energiaa tuottavien mitokondrioiden DNA:ta sekä soluseinää. Muun muassa elimistössä olevat *antioksidantit* torjuvat näitä iskuja reagoimalla happiradikaalin kanssa ennen kuin se ehtii vahingoittaa solua.

Laboratoriokokeet karpäsillä ja rotilla osoittavat, että esimerkiksi antioksidanteilla voi olla merkittävä vaikutus yksilön elinikään. Ainakin, jos antioksidantteja on liian vähän, niin elinikä alenee huomattavasti. Erilaisia antioksidantteja on lukuisia, ja liiallisina annoksina ne saattavat olla vahingollisia. Antioksidanttien vaikutuksia ihmiseen ei vielä hallita kovin hyvin, mutta niitä koskeva tutkimus on laajaa, ja on luultavasti vain ajan kysymys, milloin tulokset alkavat vaikuttaa pidentävästi ihmisten odotettavissa olevaan elinikään.

* Tämän selvitti v. 1976 brittiläinen molekyylibiologi John Sulston, joka palkittiin Nobel-palkinnolla vuonna 2002.

Astetta kookkaampia ihmisen terveyden uhkaajia ovat erinäiset mikrobit, erityisesti *virukset* ja *bakteerit*. Vahingollisia mikrobeja vastaan ihmisen elimistö on varustautunut erilaisilla suojauskeinoilla, joista tärkein lienee *immuunijärjestelmä*. Immuunijärjestelmä muodostuu soluista, jotka ovat erikoistuneet tuhoamaan ihmisen elimistöön joutuneita vieraita organismeja sekä myös elimistön omia vioittuneita soluja.

Ihmisen ikääntyessä yhä suuremmaksi uhkaksi terveydelle muodostuu *syöpä*: pahanlaatuisen kasvaimen havaitseminen on 70-vuotiaan tapauksessa noin 100 kertaa todennäköisempää kuin 19-vuotiaalla.

Biologien mukaan syövän voidaan ajatella syntyvän kaoottisessa prosessissa, jota ohjaavat Murphyn ja Darwinin lait: mikä voi mennä pieleen, myös menee pieleen ja kilpailuympäristössä parhaiten sopeutuvat menestyvät. Ihmisessä elinaikana arviolta 10 biljoonan* solun täytyy toimia yhdessä, jotta yksilö eläisi 80 -vuotiaaksi. Jos mikä tahansa näistä lukemattomista soluista voi kehittyä kasvaimeksi, niin oikeastaan tulisi ihmetellä, miksi väestöstämme vain alle puolella koskaan havaitaan syöpä?

Melko yleisesti ollaan yksimielisiä siitä, että ihmisen henkeä uhkaavalta syövältä edellytetään seuraavia kuutta erityiskykyä (Scientific American, Volume 14, Nr 3, 2004):

- Syöpäsolu jakautuu tilanteessa, jossa terve solu jäisi odottamaan merkkiä esimerkiksi vioittuneelta naapurilta.
- Syöpäsolu ei reagoi puristuvien naapureittensa kemialliseen "lopetajakautumisen" käskyyn.
- Syöpäsolu onnistuu ohittamaan solun oman itsetuho-ohjelman, joka normaalisti käynnistyy terveen solun vahingoituessa riittävästi.
- Syöpäsolujen jakautuessa solut muodostuvassa pesäkkeessä ajautuvat erilleen verisuonista, jolloin hapen ja ravinteiden saanti tyrehtyy. Terveessä solussa tämä laukaisisi solun itsetuhojärjestelmän, mutta syöpäsoluissa näin ei käy. Ne kukoistavat, koska onnistuvat jotenkin suostuttelemaan verisuonet infrastruktuurin rakentamiseen.
- Syövässä solulinja muuttuu kuolemattomaksi silloin kun solun säätelymekanismi muuttuu siten, että telomeraasientsyömin tuotto käynnistyy, jolloin telomeerien huolto aktivoituu, ja telomeerien lyheneminen syöpäsolulinjan DNA-replikaatiossa pysähtyy. Syöpäsolu voi tämän jälkeen kopioitua rajoittamattomasti.
- Syöpä onnistuu tunkeutumaan ympäröivään kudokseen ja sen jälkeen kylvämään *etäpesäkkeitä* muualle kehoon.

Vasta etäpesäkkeet tekevät syövästä yleensä kuolettavan. Riittävän nopeasti aloitettu hoito voi nykyisin pelastaa potilaan vielä tällöinkin.

Ihmisen elimistö toimii *hormonien* ja hermoston yhteisen säätelyn alaisena. Hormonit ovat kemialliselta koostumukseltaan laaja-alainen ryhmä vaikuttaja-aineita, jotka ohjaavat sekä fysiologisia toimintoja että käyttäytymistä. Niitä erittävät muun muassa umpirauhaset, joita pikku-

* biljoona = 10^{12}

riikkinen aivolisäke säätelee. Esimerkiksi sukupuolihormonit ohjaavat sukupuolista eriytymistämme, kortikotropiini stressinsietokykyä ja insuliini veren sokeritasoa.

Jokaisen ihmisen solussa on noin 3 miljardia emäsparia sisältävän tuman DNA:n lisäksi jopa tuhansia mitokondriota, jotka huolehtivat solun energiantuotannosta. Mitokondriolla on oma DNA:nsa, jossa emäsparia on tosin "ainoastaan" parikymmentätuhatta kappaletta. Lisäksi jokaisessa solussa on myös muita erilaisiin tehtäviin erikoistuneita laitteita, kuten lysosomit, golgin laite, tumajyvänen, keskusjyvänen ja ribosomit. Nämä kaikki ovat elintärkeitä solun toiminnalle.

Oman perimänsä ohjaamien toimintojen ja ulkoisten tunkeutujien lisäksi ihmiskehon sisäisen biologis-kemiallisen toiminnan monimutkaisuutta lisää vielä se, ettei ihmiskeho tarkasti ottaen ole yksilö, vaan pikemminkin yhdyskunta, jossa elävät symbioosissa lukemattomia eri lajien yksilöitä, oman lajimme lisäksi muun muassa valtava määrä bakteereita ja viruksia. Näiden lukumäärä ylittää moninkertaisesti ihmisten omien solujen lukumäärään. Ihmiskehon soluista valtaosa on bakteereita, jotka elävät ihmisen oman solukon ulkopinnalla, pääosin ruoansulatuskanavassa.

2. IHMINEN EI OLE KONE

Ihmisen biologis-kemiallisen toiminnan selvittäminen ja täydellinen hallitseminen on ilmeisesti jo periaatteessakin mahdotonta. Ajatellaan yksistään rakenteen monimutkaisuutta. Jo edellisessä kohdassa ilmeni, että "osien" lukumäärä on tähtitieteellinen. Kun tähän lisätään osien keskinäiset monimutkaiset vuorovaikutukset, jotka perustuvat yleensä kemiallisiin välittäjäaineisiin, sekä reagoitavuus ulkoisiin impulsseihin ja olosuhteissa tapahtuviin muutoksiin, niin on selvää, että kysymys on suunnattoman monimutkaisesta organismista.

Ihmislajia, kuten biologista elämää yleensäkin, ei kukaan ole suunnitellut tai määritellyt, vaan se on spontaanisti syntynyt ja kehittynyt evoluutiossa sokean luonnonvalinnan ohjaamana niissä olosuhteissa mitkä kulloinkin ovat vallinneet. Karsintakriteerit ovat olleet ankarat: elossa on, kaikkine vikoineen ja putteineen, ainoastaan sellaisia yksilöitä, joiden joka ikinen esivanhempi on aikanaan ollut niin terve ja kyvykäs, että on onnistunut lisääntymään. Valintaprosessin seurauksena syntynyt organismi, esimerkiksi ihminen, on erittäin monimutkainen kokonaisuus, jossa vallitsee suunnittelematon eri toimintojen välinen riippuvuus- ja vuorovaikutusverkosto, jonka toimintaa ohjaa osin myös sattuma. Edellisen kohdan perusteella on ilmeistä, että jok'ikinen solu on perustavaa laatua olevalla tavalla monimutkaisempi kuin mikään ihmisen rakentama kone.

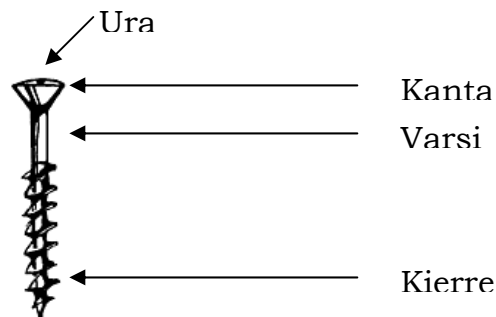
Kone (arkikielen tarkoittamassa merkityksessä) sen sijaan suunnitellaan huolellisesti. Suunnittelussa pyritään systemaattisesti hyödyntämään saatavilla olevaa tietoa ja asiantuntemusta. Koneessa jokaisella osalla on yksi, tai muutama, täysin yksikäsitteisesti määritelty tehtävä koneen toiminnassa. Näiden määrättyjen tehtäviensä lisäksi koneen osalla ei ole (tai ei ainakaan ole tarkoitus olla) mitään muuta vaikutusta koneen toimintaan. Katso kuva 1. Koneen yksittäisen osan rikkoutuminen pysäyttää monesti koko koneen tai ainakin heikentää olennaisesti koneen toimintaa. Koneen elinikä voidaan yleensä helposti pidentää varaosien avulla. Koneiden varsinainen "evoluutio" tapahtuu siten, että koneen jokin osa tai koko kone suunnitellaan ja rakennetaan kokonaan uudestaan aikaisempia käyttökokemuksia ja mahdollisesti uusia teknisiä innovaatioita hyödyntäen. Koneen toimintaa ohjataan viime kädessä ulkopuolelta, ja ohjaustapa on yleensä

mekaaninen tai sähköinen. Koneet eivät itse lisääny omin neuvoin, eivätkä ne yleensä itse korjaa rikkoutunutta osaansa.

KUVA 1:

Esimerkki koneesta: RUUVI

Käyttötarkoitus: kiinnittää kiinteä kappale toiseen.



Osat ja niiden tehtävät:

- | | | |
|------------------|------------------------------|---|
| 1. Ura | Tehtävä: | Vastaanottaa vääntövoiman ulkoisesta voimanlähteestä. |
| 2. Kanta | Teht. (a): Teht. (b): | Toimii vipuvartena (uran alustana). Ankkuroi ruuvin kannan kiinnitettävän kappaleen ulkopintaan. |
| 3: Kierre | Teht. (a): Teht. (b): | Muuntaa kiertoliikkeen porautumiseksi kiinteään väliaineeseen. Ankkuroi ruuvin kierteen ympäröivään kiinteään väliaineeseen. |
| 4. Varsi | Tehtävä: | Toimii jäykkänä runkona (välittää vääntövoiman kannasta kierteseen, säilyttää niiden välisen etäisyyden ja pitää ruuvin suorana). |

3. ELINYMPÄRISTÖ JA SIINÄ TAPAHTUNEET MUUTOKSET

Yksilön elinikään vaikuttavat tekijät voidaan karkeimmillaan jakaa yksilön omaan *biologiseen perimään* ja yksilön *elinympäristöön*. Nämä tekijät eivät ole keskenään riippumattomia, sillä yksilöllä voi olla mahdollisuus esimerkiksi valita asuinpaikkansa.

Elinympäristön voidaan luokitella yksilöön vaikuttavien ympäristötekijöiden luonteen perusteella hierarkkisesti esitettynä seuraavasti:

- *kulttuurillinen ympäristö*
- *biologinen ympäristö*
- *kemiallinen ympäristö*
- *fysikaalinen ympäristö.*

Kolme alinta hierarkiatasoa, biologinen, kemiallinen ja fysikaalinen, ovat luonnontieteissä yleisesti vakiintunut jaottelu: biologian voidaan katsoa perustuvan kemiaan, kemia puolestaan fysiikkaan. Vastaavasti kulttuurin voidaan katsoa perustuvan biologiaan. Lisäksi kaikkien neljän elementin välillä vallitsee keskinäinen vuorovaikutus, ja näiden yhteisvaikutuksena syntyy elinympäristö.

Termillä '*kulttuuri*' tarkoitetaan tässä totuttua käyttöä laajemmin kaikkia sellaisia populaatiolle kehittyneitä tietoja, taitoja, käytäntöjä tai välineitä, jotka yksilö saa tai omaksuu muulla tavoin kuin pelkästään biologisen perimän välityksellä tai sen pakottamana. Kulttuurin välitystapoja, mutta samalla myös kulttuuria, ovat esimerkiksi kielet, jälkeläisten kasvattaminen, tarustot, koulutus, tieteet, taiteet, kaupankäynti, kirjat, televisio ja internet. Kulttuuria ovat lisäksi vaikkapa talot, talikot, tilit, tiilet, torit, tornit, trikoot, traktorit, tulukset ja tuulastaminen. Vaikka kirja on ihmiselle kulttuuria, niin kirjatoukalle se on ainoastaan ravintoa vailla kulttuurillista arvoa. Tarkka rajanveto kulttuurin ja biologian välille on vaikeaa; mutta niin on rajanveto vaikeaa muidenkin edellä mainittujen hierarkiatasojen välillä.

Ajatellaan esimerkkinä äidinkielen oppimista. Ihmisen valmius oppia äidinkieli ensimmäisten ikävuosien kuluessa on ihmisen perimässä, mutta se, että kasvuympäristössä puhutaan jotakin ilmaisuvoimaista kieltä, on kulttuuria. Jos mitään kieltä ei kasvuympäristössä esiinny, niin lapsi ei opi lainkaan puhumaan.

Motivaationa edellä annetulle elinympäristöluokittelulle on se, että tämän jaottelun tarjoaman viitekehysten avulla voitaisiin helpommin jäsentää ja ymmärtää kuolevuudessa tapahtuvien kehitystrendien taustalla olevia syitä ja niiden vaikutustapoja. Yleisesti voisi olettaa, että populaation ollessa tasapainotilassa ja olosuhteiden (ts. elinympäristön) pysyessä muuttumattomina myös yksilöiden keskimääräinen odotettavissa oleva elinikä säilyy muuttumattomana.

Vielä joitakin vuosisatoja sitten ihmiset elivät maailmassa, jossa asuminen, ruokavalio, kulkuvälineet, työvälineet, sekä tiedot ja taidot eivät muuttuneet kovin paljoa sukupolvesta toiseen. Näin ei ole asian laita nykyisin. Suomessa viimeisen 50 vuoden aikana kaupunkilaistuminen on ollut voimakasta maalaisväestön siirtyessä teollisuuden palvelukseen, sittemmin enenevässä määrin

myös palvelualoille. Maa on autoistunut, suihkulentokoneet ovat mullistaneet ulkomaanmatkailun. Jääkaapit, pesukoneet ja muut kodinkoneet ovat mullistaneet kotitaloustyön ja robotti leikkaa pihanurmikon. Televisio on mullistanut tiedonvälityksen ja ihmisten vapaa-ajan vieton, samoin sittemmin internet. Kännykkä on mahdollistanut tavoitettavuuden milloin tahansa, mistä tahansa, satelliittipaikannus kertoo sijaintisi ja opastaa sinut perille. Tietokone on mullistanut monien ihmisten työn, ja vähitellen monen muunkin asian. Ihminen on käynyt kuussa ja lähettänyt luotaimia aurinkokuntamme muille planeetoille. Elämän biologinen koodi on paljastettu. Myös tiede, mukaan lukien lääketiede on edistynyt valtavasti. Nuoret elävät tänään maailmassa, joka poikkeaa monessa suhteessa aivan dramaattisesti siitä maailmasta, missä heidän vanhempansa ja varsinkin isovanhempansa elivät lapsuutensa.

Elinolosuhteissa tapahtunut muutos on ollut tavattoman nopea. Niin Suomessa kuin muissakin kehittyneissä maissa monia vuosikymmeniä jatkunut keskimääräisen eliniän piteneminen johtuu mitä ilmeisimmin elinympäristössä tapahtuneesta suotuisasta kehityksestä. Ihmislajin biologisen perimän muutokset tapahtuvat nimittäin niin hitaasti, ettei niillä voida katsoa olevan vaikutusta elinikien muutoksiin edes muutamassa tuhannessa vuodessa.

Juuri ihmisen kulttuurillisessa ympäristössä on tapahtunut, erityisesti viimeisen sadan vuoden aikana, ennennäkemättömän nopea evoluutio. Muidenkin ympäristötekijöiden muutokset viime vuosisatoina ovat erittäin suuria, mutta ne ovat kuitenkin pääosin kulttuurillisen ympäristön muutosten seurannaisvaikutuksia.

Köyhissä maissa tilanne on kuitenkin toisenlainen. Helsingin Sanomien kolumnistin Päivi Koskinen mukaan Afrikan "köyhien maiden ihmiset ovat usein tyhmempiä kuin rikkaiden". Tämä ilmenee lehden mukaan muun muassa hidasälyisyytenä, keskittymiskyvyttömyytenä, oppimisvaikeutena. Nykytietämyksen mukaan tämä ero ei johdu väestön perimästä. Sen sijaan huonojen elinolosuhteiden, erityisesti aliravitsemuksen, tiedetään olevan merkittävä selittäjä köyhien maiden onnettomalle tilalle. Sadat miljoonat afrikkalaiset saavat liian vähän ravintoa, jotta keho ja samalla aivot voisivat kehittyä ja toimia kunnolla. Aivojen tylsistyminen alkaa ja kohdussa. Sikiölle pysyviä aivovaurioita aiheuttaa eniten jodin puute, jonka seurauksena maailmassa arvioidaan syntyvän vuosittain 20 miljoonaa henkisesti jälkeenyänyttä lasta. Maailman terveystieteiden mukaan älykkyydosamäärä saattaa tipahda 15 pistettä, jos ravinto ei sisällä lainkaan jodipitoista suolaa. Raudan puute nujertaa vielä tehokkaammin. Joka toisen kehitysmaiden lapsen kasvu häiriintyy raudanpuutteen takia. Raudanpuutteesta kärsivien lasten älykkyydosamäärän väitetään jäävän jälkeen 5...10 äö-pistettä*. Myös A-vitamiinin ja sinkin puute heikentävät lapsia lähes yhtä voimakkaasti. Jos puutostautien seurauksena merkittävää osaa väestöstä ei kyetä kouluttamaan kuin kaikkein yksinkertaisimpiin töihin, ja jos niissäkin työteho on alhainen, on selvää, että väestön mahdollisuudet menestyä ja vaurastua omin avuin ovat heikot. Aliravitseminen ei siis ole ainoastaan köyhyiden seuraus vaan myös sen syy. (HS 21.8.2004, s. A16)

Nämä aliravitsemuksen vaikutuksia koskevat tulokset ovat ainoastaan suuntaa antavia, sillä ne perustuvat melko hajanaisiin ja osin puutteellisiin selvityksiin. Lisäksi voidaan tietysti kysyä miten älykkyys määritellään, ja miten älykkyösosamäärätestit onnistuvat sitä mittaamaan. Äö-lukemaa voitaneen pitää tyydyttävänä mittana joillekin henkisen suorituskyvyn osa-alueille, ei kuitenkaan välttämättä sille, mitä monet tarkoittavat älykkyydellä. Käytetyt älykkyösosamäärä-

* Asteikossa äö-pisteluku 100 on lähellä teollisuusmaiden keskiarvoa.

testit ovat lisäksi voimakkaasti kulttuurisidonnaisia. Keskimääräisten älykkyydosamäärien on havaittu kasvaneen kehittyneissä maissa 5 - 25 pistettä puolessa vuosisadassa. Tämä *Flynn'in efekti* (Scientific American, January 13, 1999) johtuu elinympäristön, sillä ihmispopulaation perimäpooli ei ole tuona aikana muuttunut. Ilmiön havainnut James R. Flynn itse on varma siitä, että emme ole tulleet yhtään terävämmiksi ("smarter").

4. KUOLEVUUDEN ALENEMISEEN VAIKUTTANEITA TEKIJÖITÄ

Esihistoriallisina aikoina ihmisen elämää uhkasivat jatkuvasti erilaiset vaarat, kuten ankarat luonnonolot, ravinnon ehtyminen, sairaudet ja vammat, viholliset ja petoeläimet. Vaikka jotkut yksilöt elivät tuolloinkin vanhoiksi, niin keskimääräinen elinikä oli vääjäämättä alhainen. Toisin on tilanne nykyaikana esimerkiksi Suomessa, jossa kuolema korjaa satoaan yleensä vasta vanhemmalla iällä. Väkivaltainen kuolema, samoin kuin sairauksiin kuoleminen keski-iässä tai nuorempina ovat suhteellisen harvinaista. Ankariin luonnonoloihin kuolee nykyoloissa hyvin harva ja ravinnon ehtymiseen ei oikeastaan kukaan.

Seuraavassa käydään esimerkinomaisesti läpi sellaisia asioita tai ilmiöitä, joilla on ollut merkittävä vaikutus kuolevuuden kehittymiseen maassamme.

4.1. Hyvinvointiyhteiskunta

Nykyaikaisen pohjoismaisen hyvinvointiyhteiskunnan tavoitteena on tarjota väestölle olosuhteet, jossa kaikille yksilöille taataan tulontasausjärjestelmän rahoittamana tietty vähimmäiselintaso. Sosiaaliturvajärjestelmä takaa ravinnon saannin, asunnon ja vähimmäistoimeentulon. Julkinen terveydenhuoltojärjestelmä tarjoaa terveydenhoidon maksukyvyystä riippumatta kaikille. Hyvinvointiyhteiskuntamme tarjoaa lisäksi esimerkiksi julkinen koulutusjärjestelmän, johon kuuluu kattavan peruskoulutuksen lisäksi myös ammatti- ja korkeakoulut, jotka mahdollistavat korkeatasoisen koulutuksen myös vähävaraisimmille. Riittävä koulutustaso antaa ihmisille paremmat valmiudet hallita elämänsä nykyaikaisessa yhteiskunnassa.

Näillä suojaverkoilla ja perusvalmiuksilla on merkittävä vaikutus myös väestön kuolevuuteen. Ilman niitä osa väestöstämme eläisi nälässä ja kurjuudessa, jolloin erityisesti kuolevuus lisääntyisi merkittävästi. Länsi-Euroopassakin Englannissa, joka pohjoismaisesta näkökulmasta on edelleen jonkinasteinen luokkayhteiskunta, ero viisiluokkaisen sosio-ekonomisen asteikon ylimmän (Class I: *professionals*) ja alimman luokan (Class V: *unskilled workers*) välillä on suuri: ikäalueella 20-64 vuotta alimman luokan, V, kuolevuus on lähes kolminkertainen ylimpään sosio-ekonomiseen luokkaan I verrattuna. Näin siitä huolimatta, että Britanniassakin on sosiaaliturvajärjestelmä. Katso Taulukko 1.

Hyvinvointivaltion muodostuminen on tapahtunut käsi kädessä lukemattomien pienempien edistysaskelten ja poliittisten valintojen tuloksena. Pelkkä vauraus ei luonnollisestikaan synnytä hyvinvointiyhteiskuntaa.

Taulukko 1. Englannin ja Walesin normitettu suhteellinen kuolevuus (SMR) ikäalueella 20-64 vuotta ylimmässä (Class I) ja alimmassa (Class V) sosio-ekonomisessa luokassa. SMR on esitetty sekä erikseen kuolinsyittäin että yhteensä. Aineisto vv. 1992-93. (SMR = Standardised Mortality Ratio for ages 20 - 64.)

| Kuolinsyy | SMR / Class I | SMR / Class V |
|---------------|---------------|---------------|
| Kaikki syyt | 66 % | 189 % |
| Sydäntauti | 63 % | 182 % |
| Aivohalvaus | 70 % | 219 % |
| Keuhkosityöpä | 45 % | 206 % |
| Ihosyöpä | 136 % | 100 % |
| Tapaturma | 54 % | 226 % |
| Itsemurha | 55 % | 215 % |

Lähteet: Willets et al. (2004), Office of National Statistics (1997).

4.2. Tapaturmatorjunta

Tapaturmat liittyvät yleensä fysikaaliseen ympäristöömme, niiden torjunta myös kulttuurilliseen.

Suomessa, kuten muissakin kehittyneissä teollisuusmaissa, nyky-yhteiskunta on luonut systemaattiset seurantajärjestelmät, joiden avulla seurataan eri kuolinsyiden aiheuttamien kuolemantapauksia ja yleisemmin tapaturmien ja sairaustapauksien esiintymistä. Kun jonkin ilmiön, esimerkiksi ajoneuvoliikenteen, havaitaan aiheuttavan merkittävästi tapaturmia tai kuolemantapauksia, niin yhteiskunta pyrkii valistuksella ja lainsäädännön avulla eliminoimaan ne riskit, jotka kyseisiä vahinkoja aiheuttavat. Esimerkiksi liikennekuolemia oli Suomessa vuonna 1960 765 kappaletta, autojen määrän ollessa neljännesmiljoona. Vuonna 2002 liikennekuolemien määrä oli alentunut 415 kappaleeseen, vaikka autokanta oli samalla kymmenkertaistunut 2,5 miljoonaan. Ajoneuvomäärään suhteutettuna kuolemantapaukset vähenivät runsaassa 40 vuodessa lähes 95 %. Tähän muutokseen ovat vaikuttaneet lukuisat eri tekijät, joista esimerkkeinä ovat turvavyöt, yleinen kattonopeus sekä tiestön ja autojen kolariturvallisuuden paraneminen sekä liikenneturvallisuusvalistus. Vastaavasti työturvallisuus on kehitetty niin pitkälle, että työpaikkatapaturmiin kuolee Suomessa nykyisin ainoastaan noin 40 henkeä vuodessa. Ammattitaitteihin kuolee vuosittain satakunta henkeä, joista valtaosa on aikanaan työssään asbestipölylle altistuneita. Asbestin käyttö raaka-aineena kiellettiin Suomessa vuonna 1994.

Nykyisin tapaturmakuolevuus on suhteellisen alhainen. Nuoruusiässä tapaturmainen kuolema on kuitenkin ylivoimaisesti yleisin kuolinsyy maassamme.

Kuolinriskinä tapaturma poikkeaa muista kuolinsyistä siinä, että tapaturmariski säilyy lähes muuttumattomana vanhuuteen asti. Miehillä tapaturmakuolevuus alkaa kohota merkittävästi vasta lähes 80 vuoden iässä, naisilla noin 70 vuoden iässä. Ennen 70 vuoden ikää naisten tapaturmakuolleisuus on selvästi alemmalla tasolla kuin miehillä. Kaikki ikäluokat huomioon ottaen

nykyisin vain 5 % kuolematapauksista on tapaturman aiheuttamia. Näin ollen tapaturmatorjunnalla ei keskimääräistä elinikää pystytä enää tulevaisuudessa kasvattamaan kovin paljoa.

4.3. Lääketiede

Vaikutuksiltaan tapaturmien torjuntaa paljon merkittävämpi kuolevuutta alentava tekijä on ollut lääketieteen kehittyminen. Kuten Taulukosta 2 ilmenee, niin esimerkiksi Englannissa kuolevuus on alentunut nuorilla lapsilla viime vuosisadan alun tasosta jopa 98 %. Suomessa kehitys on ollut samantapainen. Imeväisiässä kuoli Suomessa vielä vuonna 1920 noin 10 % kaikista syntyneistä, nykyisin vastaava luku noin 0,4 %. Imeväiskuolleisuuden aleneminen yksinään on lisännyt vastasyntyneen odotettavissa olevaa elinikää kaavamaisesti laskennallisesti arvioituna vajaat 10 %.

Taulukko 2. Englannin ja Walesin väestön kuolevuuden aleneminen sadassa vuodessa aikavälillä 1901 - 2001.

| Ikä | Miehet | Naiset |
|-----|--------|--------|
| 5 | 98 % | 98 % |
| 25 | 82 % | 92 % |
| 45 | 80 % | 83 % |
| 65 | 63 % | 71 % |
| 85 | 37 % | 49 % |

Lähde: Willets et al. (2004).

Suurin yksittäinen tekijä tässä kehityksessä on ollut lääketieteen edistymisen ansiosta tapahtunut tartuntatautiin kukistaminen. Viime vuosisadan alussa esimerkiksi sellaiset tartuntataudit kuin tuberkuloosi, lavantauti, tuhkarokko, tulirokko ja kurkkumätä verottivat väestöä etenkin nuoremmassa ikäluokissa ankarasti (Taulukko 3).

Taulukko 3. Tartuntatautikuolemien osuus kaikista kuolemista jaksolla 1901-1910 sekä vuonna 2001. Englannin ja Walesin väestö.

| Ikäryhmä | 1901-1910 | | 2001 | |
|----------|-----------|--------|--------|--------|
| | Miehet | Naiset | Miehet | Naiset |
| 1-14 | 43 % | 47 % | 6 % | 6 % |
| 14-44 | 46 % | 49 % | 2 % | 3 % |
| 44-64 | 16 % | 11 % | < 1 % | < 1 % |
| yli 64 | 4 % | 5 % | < 1 % | < 1 % |

Lähde: Willets et al. (2004).

Ehkä tärkein yksittäinen lääkeainekeksintö on penisilliinin keksiminen vuonna 1928. Tulevaisuudessa suurimmaksi yksittäiseksi keksinnöksi lääketieteen kannalta osoittautunee kuitenkin DNA:n keksiminen vuonna 1953, ja sitä seurannut ihmisen perimän kartoitus noin 50 vuotta myöhemmin. Käytännössä lääketieteen ja lääkkeiden kehitys rakentuu kuitenkin lukemattomista

pienemmistä edistysaskeleista, joiden yhteisvaikutuksesta lääketiede pystyy yhä useammin pelastamaan ja myös parantamaan potilaan. Esimerkiksi useimmat syöpätapaukset pystytään nykyisin parantamaan. Ainoastaan muutama vuosikymmen sitten syöpä yleensä tappoi uhrinsa.

Lääketieteen diagnostiikkaa on kehittynyt voimakkaasti myös modernin fysiikan ja teknologian kehittymisen myötä. Ihmisen sisäosia voidaan tutkia vahinkoa aiheuttamatta erilaisilla tietokoneavusteisilla kuvauslaitteilla, esimerkiksi ydinmagneettiseen resonanssiin perustuvalla magneettikuvauksella (MRI). Toisaalta moderni teknologia mahdollistaa esimerkiksi mikrokirurgian, jonka avulla voidaan helposti suorittaa leikkauksia, jotka eivät ennen olleet lainkaan mahdollisia.

Lääketieteen ohella sairauksia torjutaan myös terveystietoisuudella. Esimerkiksi Suomessa kansantautina pidetyt sydän- ja verisuonisairaudet on saatu menestyksellisesti kuriin ravintoa ja terveitä elintapoja sekä väestömme sepelvaltimotaudille altistavaa perimää koskevalla kansanterveystyöllä. Muutenkin saamme lukea lehdistä lähes päivittäin ruokavalion terveellisyyteen liittyvää valitusta. Valistuksen lisäksi annetaan myös terveydelle vaarallisten aineiden käyttöä ja tarjontaa koskevia rajoituksia ja kieltoja. Ajankohtainen esimerkki on tupakoinnin rajoittaminen työpaikoilla, julkisissa tiloissa ja kulkuvälineissä.

4.4. Ravinto

Ruokakaupassa on tarjolla perinteisten viljan, maitotaloustuotteiden, perunan, juuresten, kalan ja lihan lisäksi monipuolinen valikoima esimerkiksi tuoreita vihanneksia ja hedelmiä kohtuuhintaan ympäri vuoden. Lihakarja ja maitotaloustuotteet ovat aikaisempaa vähärasvaisempia ja viime vuosina markkinoille on tullut yhä enemmän ns. terveystuotteita elintarvikkeita.

Kuten edellä jo todettiin, ravintoa koskevaa terveystietoisuutta annetaan nykyisin jatkuvasti. Sitä mukaan, kun tietämys ravinnon vaikutuksesta elimistömme toimintaan ja rappeutumiseen lisääntyy, myös tarjolla olevan ravinnon laadun ja ruokailutottumustemme voidaan olettaa kehittyvän edelleen terveellisempään suuntaan.

Ehkäpä joskus tulevaisuudessa terveystarkastuksessa otetaan verinäyte, luetaan DNA, ja analyysin tuloksena annetaan sitten suosituksia mitä ravintoaineita tulisi välttää ja mitä lisätä.

Ravinto, ja siihen kuuluvat hivenaineet, ovat biologiseen ympäristöömme kuuluva elementti, jolla todennäköisesti on oma tärkeä osansa kuolevuuden kehittämisessä tulevaisuudessakin.

4.5. Asuminen

Asumisolosuhteet ovat kehittyneet viimeisen 50-100 vuoden kuluessa olennaisesti. Asunnoissa on sähkövalaistus, modernit lämmitysjärjestelmät, vesijohdot, lämminvesi ja asianmukaiset sanitteetti- ja peseytymistilat sekä, kuten jo aikaisemmin todettiin, kodinkoneet, jotka ovat automatisoineet suuren osan aikaisemmin ihmisvoimin tehdystä raskaasta kotitaloustyöstä.

Esimerkiksi asunnon lämmöstä huolehdittaessa on vähäisempi työ säätää pari kertaa vuodessa lämpöpatterin termostaattia, kuin ottaa pokasaha ja kirves ja lähteä tekemään polttopuita sekä pitää puulämmitystä yllä, jotta asunnon lämpötila pysyisi sopivana.

Fysikaaliseen ympäristöömme kuuluva asuminen on osaltaan parantanut elinolosuhteita Suomessa merkittävästi. Tällä on luonnollisesti ollut suotuisa vaikutus kansanterveydelle.

Nykyisin asumisolosuhteet ovat kuitenkin jo niin hyvät, että niiden edelleen parantamisella tuskin enää on kovin suurta vaikutusta kuolevuuden kehittymiseen.

4.6. Muut kuolevuuteen vaikuttavat tekijät

Luettelo potentiaalisista kuolevuuden alenemiseen vaikuttaneista tekijöistä on loputon. Monien tekijöiden vaikutus on lisäksi monimutkainen ja vaikeasti todennettavissa.

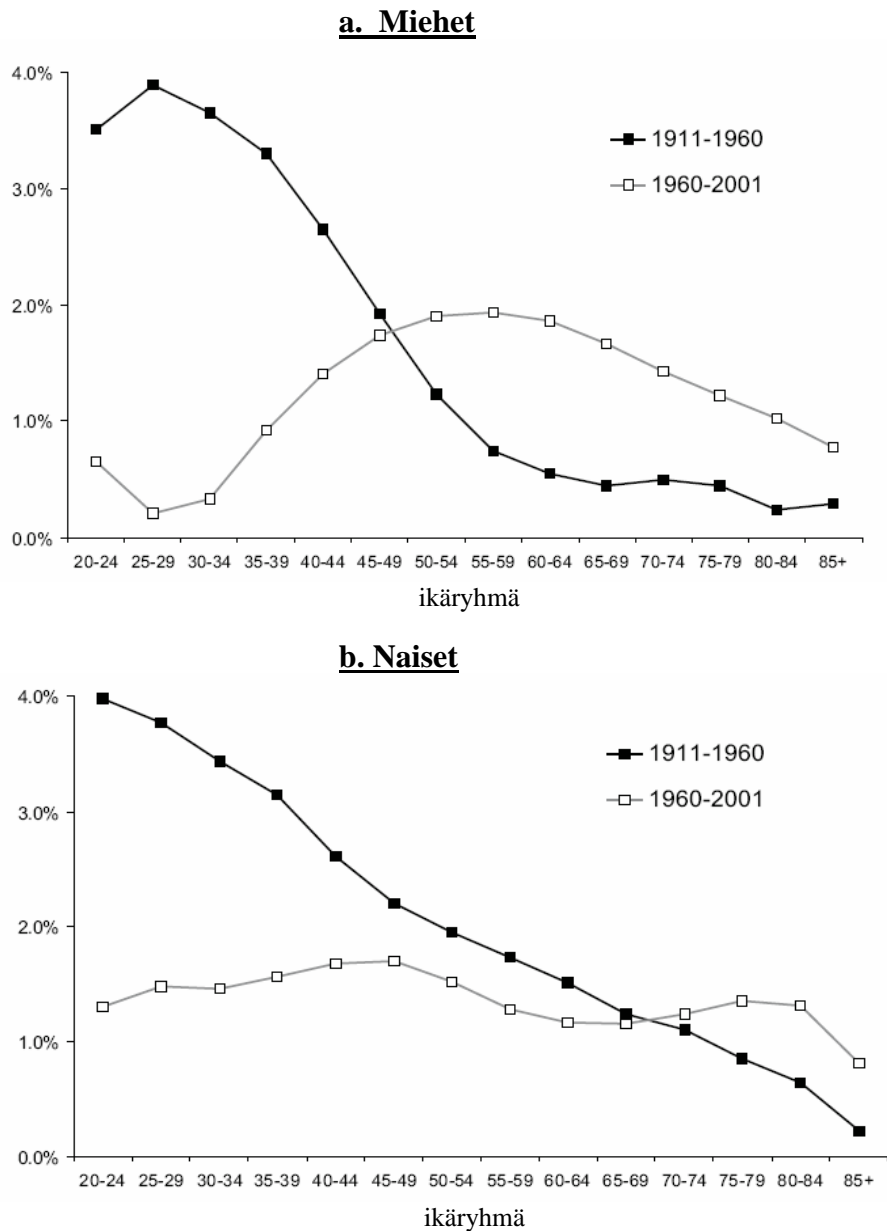
Esimerkiksi ns. Marmot'in teorian (Marmot *et al.* 1997) mukaan kouluttamattoman työvoiman korkeampi kuolevuus johtuu osittain työstressistä, joka aiheutuu siitä, ettei työntekijä voi itse vaikuttaa työhönsä. Ihminen on joka tapauksessa psykosomaattinen kokonaisuus, joten myös henkinen hyvinvointi vaikuttaa kuolevuuteen.

Teollisuuden ja liikenteen synnyttämiin saasteiden rajoittamiseen on puututtu viime vuosikymmeninä yhä voimakkaammin. Tämä on parantanut elinolojamme lyhyellä aikavälillä tarkasteltuna, mutta maapallon väestömäärän yhä kasvaessa saasteet ovat kuitenkin pitemmällä aikavälillä erittäin vakava uhka koko planeettamme elinkelpoisuudella. Väestöä uhkaavista katastrofeista lisää kohdassa 9.

5. HAVAITTU KUOLEVUUSKEHITYS

Viime vuosisadan alkupuolella kuolevuuden alentuminen painottui voimakkaasti lapsiin ja aikuisiin nuoremmassa ikäluokissa. Kuten kohdassa 4.3 jo todettiin, tämä johtui erityisesti tartuntatautien kukistamisesta. Vuosisadan jälkipuoliskolla kuolevuuden aleneminen on siirtynyt jatkuvasti korkeampiin ikäluokkiin. Tämä muutos on selvästi nähtävissä Kuvassa 2, jossa on esitetty ikäluokittain kuolevuuden vuotuinen aleneminen ikäryhmittäin eri ajanjaksoilla. Kuolevuus on kuitenkin alentunut molempina ajanjaksoina kaikissa ikäryhmissä. Huomaa eroavuudet kehityksessä naisten ja miesten välillä.

KUVA 2. Vuotuinen kuolevuuden aleneminen ikäryhmittäin Englannissa ja Walesissa ajanjaksoilla 1911- 1960 ja 1960-2001.

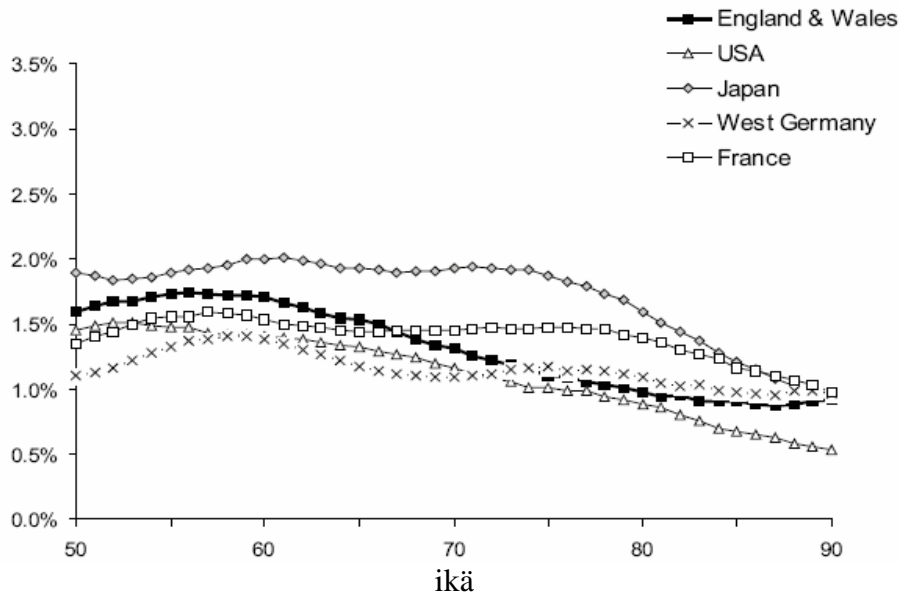


Nykyisin lasten ja nuorten aikuisten kuolevuus on jo niin alhainen, että sen edelleen alentamisella ei ole enää kovin suurta vaikutusta väestömme keskimääräiseen elinikään. Lisäksi kuolevuus on näissä ikäryhmissä jo niin alhainen, että sen voimakas edelleen alentaminen on vaikeaa.

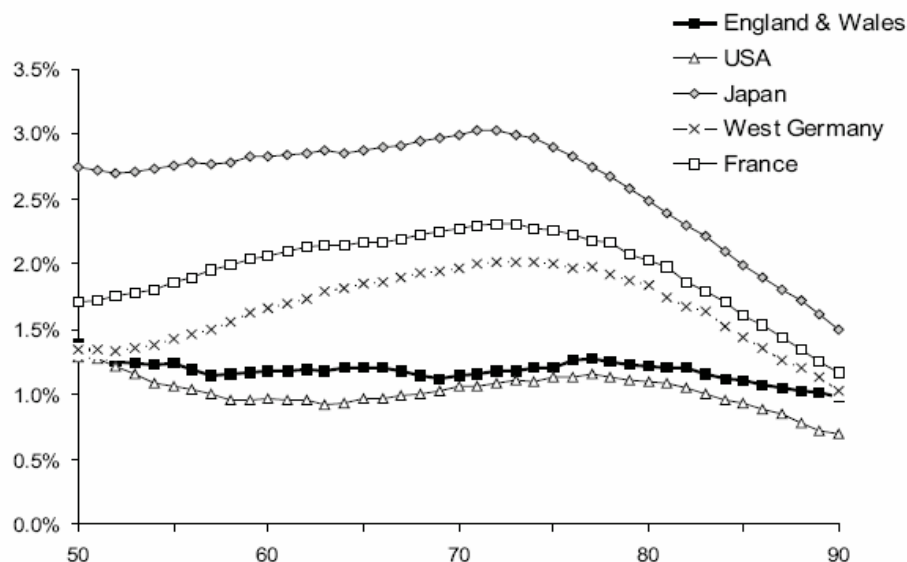
Suotuisa kuolevuuskehitys on ollut samansuuntainen teollistuneissa maissa yleensä, vaikkakin eräissä maissa, erityisesti Japanissa, kehitys on ollut selvästi keskimääräistä voimakkaampaa. Katso Kuva 3.

KUVA 3. Keskimääräinen vuotuinen kuolevuuden aleneminen ikäryhmittäin ja maittain 1990-luvun loppupuolella päättyvällä 40-vuotisajanjaksolla.

a. Miehet



b. Naiset



Lähde: Willets et al. (2004).

Kuolevuuden kehitys Suomessa on ollut myös samantapainen. Kuolevuuden alenemisen seurauksena vastasyntyneen arvioitu odotettavissa oleva keskimääräinen elinikä on Suomessa kasvanut viimeisen 50 vuoden kuluessa keskimäärin noin 1,5 vuotta kymmenessä vuodessa. Toisin sanottuna kymmenen vuotta myöhemmin syntyneellä odotettavissa oleva elinikä syntyi-

mähetkellä on keskimäärin 1,5 vuotta suurempi. Toisin skaalattuna: viikkoa myöhemmin syntynyt elää keskimäärin vuorokauden pitempään. Naisilla muutos on ollut hieman pienempi kuin miehillä.

Siitä huolimatta, että japanilaiset ovat jo muutenkin keskimäärin pitkäikäisempiä (vrt. Taulukko 4), kuolevuuden aleneminen on edelleen Japanissa jonkin verran nopeampaa kuin useimmissa muissa kehittyneissä maissa, esimerkiksi Suomessa. Nykykäsityksen mukaan maiden väliset kuolevuuserot eivät johdu väestön perimästä, vaan elinympäristöstä. Japanin kuolevuuskehityksestä voidaan vetää se johtopäätös, että ainakaan suomalaiset eivät ole vielä kovin lähellä opti- miolosuhteissa saavutettavaa populaation keskimääräisen eliniän "teoreettista maksimia."

Taulukko 4.

Expectation of life (years) at age 65 for selected countries in 2000

| Country | Males | Females |
|--------------------------|--------------|--------------|
| Japan | 17.50 | 22.40 |
| France | 17.19 | 21.63 |
| Switzerland | 16.77 | 20.93 |
| Australia | 16.73 | 20.23 |
| Sweden | 16.65 | 20.01 |
| Israel | 16.64 | 18.87 |
| New Zealand | 16.56 | 19.93 |
| Italy | 16.46 | 20.57 |
| Spain | 16.22 | 20.23 |
| United States of America | 16.02 | 19.15 |
| Canada | 15.95 | 19.75 |
| Singapore | 15.92 | 18.65 |
| Greece | 15.91 | 18.56 |
| Norway | 15.79 | 19.68 |
| Belgium | 15.70 | 19.65 |
| Austria | 15.66 | 19.61 |
| Denmark | 15.27 | 17.77 |
| Netherlands | 15.13 | 19.54 |
| Finland | 15.07 | 19.18 |
| <i>United Kingdom</i> | <i>15.06</i> | <i>18.54</i> |
| Germany | 15.06 | 18.91 |
| Portugal | 14.31 | 18.01 |
| Ireland | 14.25 | 18.05 |

Lähde: Willets et al. (2004)/ WHO.

6. KEKSINTÖJEN JA INNOVAATIOIDEN VAIKUTUSTEN PYSYVÄ LUONNE

Yhteinen piirre monille kulttuurievoluution synnyttämille keksinnöille on niiden vaikutuksen pysyvä luonne. Kotieläimet, viljelykasvit, erilaiset tekniset apuvälineet säilyvät yleensä käytössä kunnes kehitetään tai keksitään vielä parempi korvaava rotu, lajike tai laite. Vastaavasti, kun jokin sairaus on kerran opittu parantamaan, niin se osataan parantaa tulevaisuudessakin. Näin ainakin niin pitkään kun ympäristön kehittyminen ei taannu. Tosin esimerkiksi lääkeaineen tapauksessa ihmisen biologinen ympäristö voi adaptoitua siten, että kehittyy uusia bakteerikantoja jotka on edeltäjistään poiketen vastustuskykyisiä esimerkiksi penisilliinille, jolloin joudutaan kehittämään uusi korvaava lääke.

Keksintöjen pitkävaikutteisuus ja uusien innovaatioiden virta selittää viimeisen sadan vuoden aikana toteutuneen nopean ja vieläpä kiihtyvän kehityksen. Viimeisen sadan vuoden kuluessa tehtyjen tieteellisten läpimurtojen, kuten kvanttimekaniikan, suhteellisuusteorian, tietokoneen sekä biologisen perimän koodin selvittämisen yhteisvaikutuksesta biologia ja lääketiede ovat kehittymässä eksakteiksi tieteiksi, niin lähitulevaisuudessa kehitysvauhti ei ainakaan hidastu, jos kehitys saa jatkoa häiriöttömästi.

Ennen kirjoitustaidon kehittymistä ja yleistymistä tieto uusista keksinnöistä levisi suhteellisen hitaasti tai rajoittui suppealle alueelle. Moni hyvä innovaatio saattoi näin jäädä unholaan. Tässäkin asiassa maailma on lyhyessä ajassa globalisoitunut ja viestintäteknologia kehittynyt siten, että merkittävimmät keksinnöt voivat saavuttaa pääosan ihmiskunnasta hyvin nopeasti. Lisäksi uusi tieto- ja viestintäteknologia mahdollistaa haluttaessa kaiken julkistetun tiedon varastoinnin ja saatavuuden internetin avulla maailmanlaajuisesti. Tämän seurauksena myös tieteellinen tutkimus on tehostunut: uuden tieteelliset keksinnöt ja tulokset voidaan jakaa välittömästi alan tutkijoille, jotka puolestaan voivat heti soveltaa uutta tietoa tai esittää kritiikkinsä tiedeyhteisölle.

7. YMPÄRISTÖTEKIJÖIDEN PITKÄVAIKUTTEISUUS

Useiden ympäristötekijöiden vaikutus yksilöön on pitkävaikutteinen. Jos tupakointi voitaisiin lopettaa yhteiskunnassa välittömästi kokonaan, niin muutoksen terveysvaikutukset alkaisivat todennäköisesti ilmetä laajassa mitassa vasta vuoden tai parin kuluttua. Tutkimusten perusteella on arvioitu, että tupakoinnin lakattua kestää noin 15 ennen kuin kuolevuus alenee sille tasolle, jolla henkilö olisi, jos ei olisi koskaan tupakoinut (Willets *et al.*, 2004). Elimistö pystyy siis ajan kuluessa kohtuullisen hyvin toipumaan tupakan aiheuttamasta rasituksesta, jos selviää hengissä siihen asti. Periaatteessa vaikutus voi kuitenkin jatkua jopa seuraavaan sukupolveen, jos esimerkiksi raskaana oleva äiti tupakoi niin paljon, että siitä aiheutuu haittaa sikiön kehitykselle. Ankarat elinolot taikka heikkolaatuinen ravinto lapsuudessa saattavat heikentää yksilön yleiskuntoa ja terveyttä pysyvästi. Myös koulutustasolla on todettu tilastollisesti olevan vaikutusta yksilön valintoihin ja menestymiseen yhteiskunnassa ja sitä kautta odotettavissa olevaan elinikään. Tämäkin vaikutus on luonteeltaan hidas, ja seurannaisvaikutukset (kulttuuriympäristö) voivat ulottua seuraavaan sukupolveen.

On tietysti myös monia ympäristötekijöitä, joiden vaikutus on välitön: esimerkiksi laskuvarjon käyttö, jos hyppää lentokoneesta lennossa.

Jos ympäristötekijät ovat tähän asti kehittyneet suotuisasti, niin elinikien piteneminen jatkuisi todennäköisesti vähitellen hidastuen vielä vuosikymmenien ajan, vaikka ympäristötekijöiden kehitys pysähtyisi nykyiselle tasolle. Tämä johtuu siitä, että vanhemmat ikäpolvet ovat eläneet nuoruusvuotensa huonommissa olosuhteissa kuin nuoremmat, joten nuoremmilla ikäpolvilla on tästä syystä oletettavasti paremmat edellytykset pitkään ikään.

8. MISSÄ ON IHMISEN ELINIÄN YLÄRAJA?

Kuten jo kohdassa 1 todettiin, niin ihmisen solunjakautumismekanismen ohjaava biologinen järjestelmä asettanee nykyihmisen eliniälle asymptoottisen ylärajan, joka luonnollisesti vaihtelee yksilöittäin. Yksilö voisi hyvällä onnella päästä lähelle omaa teoreettista ylärajaikänsä ainoastaan (täysin teoreettisissa) juuri hänelle optimaalisissa ympäristöolosuhteissa.

Teoreettisesti voidaan vastaavasti määrittellä yläraja esimerkiksi nykyisen ihmispopulaation keskimääräiselle eliniälle. Nykytiedolla kysymys on kuitenkin puhtaasti akateeminen. Ylärajaikää ei tunneta, mutta on ilmeistä, että sitä ei ole vielä saavutettu, sillä odotettavissa olevan eliniät kasvutrendi on edelleen voimakas niissäkin maissa, joissa ihmiset nykyisin elävät pisimpään.

Korkein luotettavasti varmistettu havaittu elinikä on 122 vuotta, jonka saavutti vuonna 1997 kuollut ranskatar Jeanne Calment.

Lajimme keskimääräisen eliniän realistisesti tavoitettavissa olevaa maksimia ei tiedetä, mutta monet arviot liikkuvat sadassa vuoden paikkeilla tai sen yläpuolella. Esimerkiksi Yhdistyneiden kansakuntien väestöennusteessa vuodelle 2300, miesten odotetaan elävän kehittyneillä alueille keskimäärin 100-vuotiaiksi, naisten 103-vuotiaiksi (UN 2003).

Esimerkiksi *The Human Genome Project*'in johtaja Francis Collins arvoi vuonna 2001, että vuoteen 2030 ihmisten elinikä kehittyneissä maissa tulee olemaan 90 vuotta (*Genetics in Society 2001*, sivu 5, 2001).

Toisaalta ei ole lainkaan varmaa, ettei tiede pystyisi tätä ylärajaa kasvattamaan joskus tulevaisuudessa esimerkiksi manipuloimalla solujen geenejä. Myös hyvin pitkäkestoisella rodunjalostuksella ihmislaji voitaisiin luonnollisesti jalostaa perimältään pitkäikäisemmäksi, mutta tällaiseen hankkeeseen ryhtymiselle on vaikea keksiä mitään järjellistä motivaatiota.

9. VÄESTÖÄ UHKAAVAT SUURKATASTROFIT

Edellä on tarkasteltu kulttuurievoluution seurausten vaikutusta lähinnä siitä näkökulmasta kuinka ne kasvattavat elinikää. Tieteen ja teknologian nopean kehityksen monet sivuvaikutukset synnyttävät kuitenkin myös vakavia uhkia kuolevuuden suotuisalle kehitykselle – pahimmillaan koko planeetan elinkelpoisuudelle. Väestönkasvu, saasteet, ihmisen aiheuttama eroosio ja sademetsien tuhoaminen vaikuttavat ihmisen fyysikaaliseen, kemialliseen ja biologiseen ympäristöön tavoilla, jotka ovat osaltaan heikentämään ihmisen elinympäristöä ja siten lisäämässä kuolevuut-

ta. Haitallisten kemiallisten yhdisteiden aiheuttama ympäristön kemikalisoituminen voi vaikuttaa joko suoraan elinikää alentavasti tai sillä voi olla välillisiä vaikutuksia populaatioon esimerkiksi alentuneen hedelmällisyyden tai ravinnon saannin vaikeutumisen kautta.

Tähän asti, ainakin kehittyneissä teollisuusmaissa, eliniän pitenemisen kannalta suotuisten vaikutusten voima on ollut selkeästi suurempi. Toisaalta sotateollisuus on kehittänyt aseita, joiden avulla ihmiskunta voitaisiin periaatteessa tuhota kokonaan joko suoran fyysisen, kemiallisen tai biologisen ympäristövaikutuksen avulla.

Väestönkasvu itsessään on ehkä kaikkein vakavin ympäristöongelma. On laskettu, että maapallopelle osuva auringon energia riittää kokonaan ravinnon tuottamiseen käytettynä tuottamaan ravinnon 17 miljardille ihmiselle (Wilson, 2002). Ruokaa ei tällöin riittäisi enää muille eläimille, joten ravintomme ei sisältäisi lihaa. Tilanne tuskin voisi edetä näinkään pitkälle, sillä maapallon elämän monimuotoisuuden tuhoutuminen jo ennen tämän väkimäärän saavuttamista tekisi planeettamme ihmiselle elinkelvottomaksi. Onneksi on merkkejä siitä, että valtava väestönkasvu oltaisiin saamassa hallintaan.

Nykyisen kulttuurillisen kehityksen aiheuttamien uudentyyppisten uhkien lisäksi ihmisen elinympäristössä on aina esiintynyt erilaisia ihmispopulaatioita uhkaavia katastrofeja, toiset maantieteelliseltä vaikutusalueeltaan hyvin laajoja toiset rajoitetumpia. Näistä iänikuisista uhkista voidaan mainita seuraavat:

Fysikaalinen ympäristö:

- meteoriitin törmäys (tappoi 65 miljoonaa vuotta sitten mm. hirmuliskot sukupuuttoon)
- esimerkiksi tulivuorenpurkauksen aiheuttama ilmakehän likaantuminen (seurausena paleltuminen auringonpaisteen heikentyessä)
- maanjäristys tai sen aiheuttama tulva-aalto (tsunami)
- ilmastomuutokset (esim. ilmakehän lämpenemisestä johtuvat voimistuvat tuulet taikka napojen sulaminen)

Kemiallinen ympäristö:

- ilmakehän kemiallisen koostumuksen muutos (esim. metaanikaasupurkaus)

Biologinen ympäristö:

- taudinaiheuttajat (virukset, bakteerit, prionit, ...)
- tuholaiset

Kulttuurillinen ympäristö:

- sota
- tyrannia
- fundamentalistiset aatteelliset liikkeet (myös uskonnolliset).

10. MERKITTÄVIMMÄT KUOLINSYYT

Ennen kuin arvioidaan kuolevuuden kehittymistä tulevaisuudessa, on syytä katsoa, mitkä ovat merkittävimmät kuolinsyyt. Kuten edellä kohdissa 4.3 ja 5 todettiin, niin tartuntatautikuolleisuus, joka kohdistui erityisesti nuorempiin ikäryhmiin, on romahtanut murto-osaan 1900-luvun alun tasosta, ja sen seurauksena kuolevuuskehityksen painopiste on siirtynyt vanhempiin ikäluokkiin. Taulukosta 4 ilmenee tartuntatautiin, tapaturmien ja väkivaltaisten kuolemien (mukaan lukien itsemurhat) vähäinen osuus. Nykyaikana ylivoimaisesti yleisimpiä kuolinsyitä ovat verenkiertoelinsairaudet, syövät ja hengitystie-elinsairaudet.

Taulukko 4. Kuolleiden määrä 100 000 henkeä kohden kuolinsyittäin ja ikäryhmittäin, Englanti ja Wales, vuosi 2001.

a. Miehet

| Cause of death | ikäryhmä | | | | | | |
|------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | 20-29 | 30-39 | 40-49 | 50-59 | 60-69 | 70-79 | 80+ |
| Infectious diseases | 2 | 3 | 5 | 5 | 10 | 30 | 91 |
| Cancers | 7 | 17 | 59 | 227 | 655 | 1,531 | 2,817 |
| Circulatory | 5 | 17 | 71 | 215 | 668 | 2,028 | 5,685 |
| Respiratory | 2 | 5 | 10 | 35 | 138 | 574 | 2,256 |
| Other health related | 19 | 29 | 55 | 88 | 167 | 492 | 2,047 |
| Violence and accidents | 48 | 48 | 42 | 37 | 34 | 63 | 207 |
| All causes | 83 | 119 | 241 | 606 | 1,671 | 4,719 | 13,104 |

b. Naiset

| Cause of death | ikäryhmä | | | | | | |
|------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | 20-29 | 30-39 | 40-49 | 50-59 | 60-69 | 70-79 | 80+ |
| Infectious diseases | 1 | 2 | 2 | 4 | 8 | 25 | 75 |
| Cancers | 7 | 23 | 74 | 214 | 473 | 965 | 1,587 |
| Circulatory | 3 | 8 | 26 | 75 | 299 | 1,210 | 4,936 |
| Respiratory | 1 | 2 | 7 | 24 | 97 | 370 | 1,664 |
| Other health related | 10 | 15 | 33 | 60 | 128 | 412 | 2,535 |
| Violence and accidents | 10 | 11 | 14 | 15 | 16 | 41 | 197 |
| All causes | 32 | 62 | 156 | 392 | 1,021 | 3,023 | 10,993 |

Lähde: Willets et al. (2004)

Nykyisin merkittävimmille kuolinsyille on yhteistä se, että niihin liittyvä kuolleisuus kasvaa sitä voimakkaammin mitä korkeampiin ikäluokkiin siirrytään. Nämä kuolinsyyt liittyvät elimistön rapautumiseen, eli elimistön *vanhenemiseen*. Tähän liittyviä biokemiallisia mekanismeja käsiteltiin lyhyesti kohdassa 1.

Tällaisten kuolinsyiden poistaminen pelkästään korjaamalla ja leikkaamalla ei yksinään auta kovin pitkälle, ellei samalla lisäksi puututa rapautumisen syihin. Jos elimistö on pahasti rappeutunut, ja esimerkiksi yksi syöpäsairaus saadaan hoidetuksi, niin kohta samalle henkilölle ilmenee seuraava sairaus, ja niin edelleen. Kestävämpi kehitys edellyttää puuttumista lisäksi elimistön rapautumista kiihdyttäviin ympäristöolosuhteisiin.

11. NAISTEN JA MIESTEN VÄLINEN KUOLEVUUSERO

Kaikista edellä olevista taulukoista ja kuvista, kahta ensimmäistä lukuun ottamatta, nähdään, että kuolevuustasossa, samoin kuin sen kehittämisessä viime vuosisadalla, ilmenee selviä ja systemaattisia eroja sukupuolten välillä.

Erot ovat perimästä johtuva. Kuten tunnettua, ihmissolun tuman DNA:ssa on 23 kromosomiparia, joista kunkin kromosomiparin toinen puoli on peräisin äidiltä ja toinen isältä. Näistä 22 paria, eli kromosomiparit 1 - 22, muodostuvat kukin kahdesta rakenteeltaan samantyyppisestä kromosomista. Sen sijaan 23. kromosomipari muodostuu naisella kahdesta samantyyppisestä X-sukupuolikromosomista, kun taas miehillä toinen sukupuolikromosomi on äidiltä periytynyt X-kromosomi, mutta toinen on isältä peritty, huomattavasti pienempi, Y-sukupuolikromosomi. Tämä sukupuolikromosomiston eroavuus määrää ihmisen sukupuolen. Suvullinen lisääntyminen lisää yksilöiden välistä muuntelua ja tehostaa siten lajin sopeutumista evoluutiossa.

Useimmissa suvullisesti lisääntyvissä yksineuvoisissa lajeissa eri sukupuolten välille on evoluutiossa kehittynyt eroja niin ilmiasun kuin käyttäytymisenkin osalta. Näin on asian laita myös ihmisen tapauksessa. Sukupuolten väliset erot kuolevuudessa ovat yksi osoitus tästä sopeutumasta. Ihmisellä ero ei kuitenkaan ole niin dramaattinen ja esimerkiksi rukoilijasirkoilla, joilla naaras syö koiraan parittelun jälkeen.

Taulukko 5. Naisten kuolevuus suhteessa miesten kuolevuuteen, ikäryhmittäin, ja kuolinsyittäin Englannissa ja Walesissa vuonna 2001.

| Cause of death | Age group | | | | | | |
|------------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| | 20-29 | 30-39 | 40-49 | 50-59 | 60-69 | 70-79 | 80+ |
| Infectious diseases | 87% | 57% | 42% | 79% | 87% | 82% | 82% |
| Cancers | 94% | 137% | 126% | 94% | 72% | 63% | 56% |
| Circulatory | 52% | 48% | 37% | 35% | 45% | 60% | 87% |
| Respiratory | 79% | 44% | 70% | 69% | 70% | 64% | 74% |
| Other health related | 50% | 53% | 61% | 69% | 77% | 84% | 124% |
| Violence and accidents | 22% | 24% | 33% | 41% | 48% | 64% | 95% |
| All causes | 39% | 52% | 65% | 65% | 61% | 64% | 84% |

Lähde: Willets et al. (2004)

Naisten ja miesten välinen kuolevuusero ilmenee erisuuruisena riippuen vallitsevista ympäristöolosuhteista. Mutta jos erityisesti naisia koskevat kuolinsyyt, kuten synnytyskuolleisuus, pysyvät alhaisina, ja naisten elinolosuhteet eivät ole olennaisesti heikommät kuin miehillä, niin naiset ovat havaintojen mukaan kiistattomasti keskimäärin miehiä pitkäikäisempiä.

12. OLETETTU TULEVA KUOLEVUUSKEHITYS

Koska tuleva kuolevuuskehitys on ennuste ilmiöstä, jossa mitä ilmeisimmin on olemassa hyvin erilaisia mahdollisia realisaatioita, niin kuolevuusmalliin liittyy olennaisena tietona se, mitkä ovat ne oletukset, joihin malli perustuu.

Esimerkiksi Tapaturmavakuutuslaitosten liiton (TVL) ja Liikennevakuutuskeskuksen (LVK) tänä vuonna valmistunut, Suomen väestökuolevuuteen pohjautuva uusi kuolevuusmalli on johdettu olettamalla, että kuolevuuden aleneva kehitys jatkuu myös tulevaisuudessa yhtä voimakkaana kuin se on ollut tähänkin saakka viimeisen 50 vuoden aikana. Kyseinen kuolevuusmalli ei ota huomioon yksilön perimästä muuta informaatiota kuin sukupuolen. Sen lisäksi uudessa mallissa kuolevuus riippuu henkilön iän lisäksi myös henkilön syntymävuodesta (kysymyksessä on siis syntymävuosikohorttimalli). Uusi kuolevuusmalli pitää siis itse itsensä ajan tasalla niin kauan kun kuolevuuden aleneva trendi säilyy muuttumattomana.

Miksi sitten on katsottu perustelluksi olettaa, että kuolevuuskehitys jatkuu suotuisana, ja yhtä voimakkaan kuin viime vuosikymmeninä havaittu kehitys? Seuraavassa käydään läpi tehdyt uuden kuolevuusmallin taustalla olevia oletuksia ja niiden perusteluita:

Oletus 1: *Ei suurkatastrofeja.*

Tämän oletuksen yleisperustelu on se, että väestö uhkaavien suurkatastrofien sattuminen on lyhyellä, esimerkiksi muutamien vuosikymmenien, aikaperspektiivillä kuitenkin suhteellinen epätodennäköistä tai vähintäänkin erittäin vaikeasti ennustettavissa. Lisäksi vahinkovakuutusyhtiöiden käyttöön tarkoitetun uuden kuolevuusmallin käyttö rajoittuu eläkemutoisten korvausten korvausvastuun laskemiseen, ja katastrofien poissulkeminen johtaa tässä tapauksessa turvavampaan perusteeseen.

Oletus 2: *Hyvinvointiyhteiskunta ei taannu.*

Hyvinvointiyhteiskunnan säilyminen, tai ainakin se, ettei hyvinvointiyhteiskunta merkittävästi taannu nykytasostaan, on edellytys maamme väestön kuolevuuskehityksen säilymiselle suotuisana. Tämäkin oletus on turvaavaan suuntaan eläkevarasten riittävyyden kannalta katsottuna. Jos hyvinvointiyhteiskunta rapautuisi merkittävästi, niin ainakin heikoimmin toimeentulevan väestön osalta kuolevuus todennäköisesti kääntyisi kasvuun. Jos syrjäytyminen ei koskisi työssä olevia, niin vaikutus ei kohdistuisi juurikaan työtapaturmaeläkkeisiin, mutta liikennevakuutuksen eläkkeisiin se vaikuttaisi, sillä liikennevahingon potentiaalisia uhreja on käytännössä koko väestö.

Oletus 3: *Lääketieteen ja terveydenhoidon kehitys jatkuu jopa voimistuen.*

Tämä oletus tarkoittaa niin ikään suotuisan yleisen kehityksen jatkumista myös tulevaisuudessa. Lääketieteen osalta kehityksen voi olettaa olevan voimakasta tulevin vuosikymmeninä (vrt. kohta 4.3). Kuten kohdassa 10 todettiin, niin kuolevuuden alentamisessa painopiste on siirtynyt vanhempiin ikäluokkiin siitä yksinkertaisesta syystä, että nuorissa ikäluokissa kuolevuus on jo hyvin alhainen. Vanhoissa ikäluokissa väestöä rasittaa yleinen elimistön rappeutuneisuus, joten kuolevuuden alentaminen on lääketieteen edistymisestä huolimatta aikaisempaa haastavampaa. Kuten kohdassa 2 todettiin, ihminen on monimutkainen kokonaisuus, eikä näin ollen ole kovin

todennäköistä, että jokin yksittäinen lääketieteellinen läpimurto yksinään ja nopeasti alentaisi väestömme kuolevuutta kovin paljon. Näin ollen suotuisankin lääketieteen ja terveydenhoidon kehityksen voidaan olettaa riittävän ainoastaan nykyisen, pitkään jatkuneen suotuisan alenevan kuolevuustrendin jatkumiseen, mutta ei kuitenkaan sen olennaiseen voimistumiseen. Jos lääketieteen tai terveydenhuollon kehitys taantuu olennaisesti, niin oletus 3 on turvaava.

Oletus 4: *Keskimääräisen eliniän teoreettinen yläraja ei ole vielä lähellä.*

Katso kohta 8. Tämäkin oletus on turvaavaan suuntaan eläkevarasten riittävyys kannalta katsottuna.

Oletus 5: *Naisten ja miesten kuolevuudet poikkeavat toisistaan.*

Tämä havaintojen perusteella ilmeinen genetinen eroavuus tulee ottaa huomioon siten, että naisille ja miehille johdetaan molemmille kuolevuusmalli erikseen. Tällä varmistetaan korvausvastuun eläkevastuiden turvaavuus sellaisissa tapauksissa, että eri sukupuolten osuus eläkekannassa on eri kuin koko väestössä.

Näiden oletusten vallitessa, ja ottamalla huomioon taustalla edellä käsitellyt kuolevuuteen vaikuttavat mekanismit ja tekijät, muun muassa

- keksintöjen ja innovaatioiden vaikutuksen pysyvä luonne
- ympäristötekijöiden pitkävaikutteisuus ("jatkuvuuden laki")
- vaikka kuolevuuden aleneminen muttuu haasteellisemmaksi, kun "helpommat temput" on jo tehty, niin jatkuvuuden lain ja lääketieteen voimakas kehitys onnistuu säilyttämään suotuisan trendin heikentymättömänä,

niin luonteva, ja eläkevastuiden riittävyttä ajatellen turvaavana pidettävä johtopäätös on, että kuolevuuden aleneminen jatkuu tulevaisuudessa yhtä voimakkaana kuin viimeisen noin 50 vuoden aikana havaittu aleneva kuolevuustrendi.

13. ELINAJANODOTE VS. ODOTETTAVISSA OLEVA ELINAIKA

Elinikää koskevissa yhteyksissä esiintyvä käsite *vastasyntyneen elinajanodote* tai yleisemmin *x-ikäisen elinajanodote*, ei yleensä tarkoita sitä mitä sen kuvittelisi tarkoittavan. Usein vastasyntyneen elinajanodotteella (tietyissä populaatioissa, kuten esimerkiksi suomalaiset miehet) tarkoitetaan nimittäin sellaista laskennallista elinikää, joka vastaa sellaista kuolevuusoletusta, jonka mukaan

nyt syntyvän henkilön kuolevuuden oletetaan olevan tulevaisuudessa iässä x samansuuruisen kuin nyt havaittu x-ikäisten kuolevuus.

Toisin sanoen nyt syntyvän henkilön kuolevuuden oletetaan olevan esimerkiksi 90 vuoden kulluttua, eli vuonna 2094, sama kuin vuonna 2004 havaittu 90-vuotiaiden kuolevuus. Implisiittisesti siis oletetaan, että kuolevuus 90-vuoden iässä on aivan sama siitä riippumatta siitä syntyikö henkilö Suomen suurruhtinaskunnassa vuonna 1914 vai Suomessa vuonna 2004. Teoriassa on tietysti mahdollista, että kuolevuus kivettyy sadaksi vuodeksi kaikissa i'issä vuonna 2004 havaitun kuolevuuden tasolle, mutta oletuksena se on kovin epäuskottava. Taustalla on kuitenkin ainakin sadan vuoden yhtäjaksoinen voimakkaasti alenevan kuolevuuskehityksen kausi, ei siinä ole tähän mennessä havaittavissa muutosta. On toki täysin mahdollista, että jokin suurikatastrofi tai muu seikka katkaisee pitkään jatkuneen suotuisan kuolevuuskehityksen, mutta ei ole mitään perusteltua syytä olettaa, että kuolevuus jäisi pysyvästi kaikissa ikäluokissa juuri nyt havaitulle tasolle.

Esimerkiksi TVL:n ja LVK:n tänä vuonna valmistuneen uuden kuolevuusmallin mukainen vastasyntyneen odotettavissa oleva elinikä on työillä 92 vuotta ja pojilla 86 vuotta. Nämä elinajanodotteet ovat jopa yli 10 vuotta korkeampia kuin julkisuudessa tavallisimmin esitetyt vastasyntyneen elinajanodotteet. Katso Taulukko 6.

Taulukko 6. *Suomalaisten jäljellä oleva elinaika TVL:n ja LVK:n vuonna 2004 julkaiseman uuden kuolevuusmallin mukaan, sekä havaittu elinajanodote vuonna 2004 (arvio).*

| ikä | MIEHET | MIEHET | erotus | NAISET | NAISET | erotus |
|-----|---------------|--------------------------------------|--------|---------------|--------------------------------------|--------|
| | uusi malli | v. 2004 havaittu elinajanodote | | uusi malli | v. 2004 havaittu elinajanodote | |
| 0 | 86 | - | - | 92 | - | - |
| 5 | 79 | - | - | 86 | - | - |
| 10 | 74 | - | - | 81 | - | - |
| 15 | 68 | - | - | 75 | - | - |
| 20 | 63 | 55 | 7,8 | 70 | 61 | 8,2 |
| 25 | 57 | 50 | 6,1 | 63 | 56 | 6,9 |
| 30 | 52 | 46 | 6,1 | 58 | 52 | 6,9 |
| 35 | 45 | 41 | 4,4 | 52 | 47 | 5,5 |
| 40 | 41 | 36 | 4,4 | 47 | 42 | 5,5 |
| 45 | 35 | 32 | 2,8 | 41 | 37 | 4,1 |
| 50 | 30 | 28 | 2,9 | 36 | 32 | 4,1 |
| 55 | 25 | 23 | 1,3 | 31 | 28 | 2,8 |
| 60 | 21 | 19 | 1,5 | 26 | 23 | 2,8 |
| 65 | 16 | 16 | 0,3 | 21 | 19 | 1,6 |
| 70 | 13 | 12 | 0,5 | 17 | 15 | 1,6 |
| 75 | 10 | 9 | 0,6 | 13 | 11 | 1,6 |
| 80 | 8 | 7 | 0,7 | 10 | 8 | 1,5 |
| 85 | 6 | 5 | 0,6 | 7 | 6 | 1,3 |
| 90 | 4 | 4 | 0,5 | 5 | 4 | 0,9 |
| 95 | 3 | 3 | 0,4 | 3 | 3 | 0,5 |
| 100 | 2 | 2 | 0,1 | 2 | 2 | 0,1 |

Lähde: TVL

Lähdeviittauksia:

- Dobe, A., *et al.* (2002), "*Genetics in Society 2001*", Institute of Actuaries of Australia, Second Edition, 2002. www.actuaries.asn.au
- Manton K.G., Stallard E. and Corder L. (1999), "*The limits of longevity and their implications for health and mortality in developed countries*", UN-CBGS Symposium on Health and Mortality. (Presented at the Symposium on Health and Mortality, Brussels, Belgium, November 19-22, 1998.) [Center for Demographic Studies, Duke University] www.cds.duke.edu/publications/search/search_results_KGM.htm (ja listasta poiminta; teksti, taulut ja kuviot erikseen).
- Marmot, M., Bosma, H., Hemingway, H., Brunner, E. and Stansfield, S. (1997), "*Contribution of job control and other risk factors to social variations in coronary heart disease incidence*", *The Lancet*, 350, 235-239.
- Office of National Statistics (1997), "*Health equalities*", H.M.S.O., London.
- Scientific American (2004), "*The Science of Staying Young*", Special Edition, Volume 14, Nr 3.
- United Nations (2003), "*World Population in 2300*", United Nations expert meeting on world population in 2003, New York, 9 December 2003
www.un.org/esa/population/publications/longrange2/longrange2.htm (viittaukset raporttiin ja tauluihin)
www.un.org/esa/population/publications/longrange2/2004worldpop2300reportfinalc.pdf (pelkkä raportti). Käytetty kuolevuusmalli ei ole järin vakuuttava.
- Willets R. C., Gallop A. P., Leandro P. A., Lu J. L. C., Macdonald A. S., Miller K. A., Richards S. J., Robjohns N., Ryan J. P. and Waters H. R., "*Longevity in the 21st century*" (2004), To appear in *British Actuarial Journal*. [Faculty and Institute of Actuaries] www.actuaries.org.uk/files/pdf/sessional/sm20040426_longevity.pdf
- Wilson, Edward O. (2002), "*Elämän tulevaisuus*", Terra Cognita.

Lakisääteisen tapaturmavakuutuksen referenssiarvo

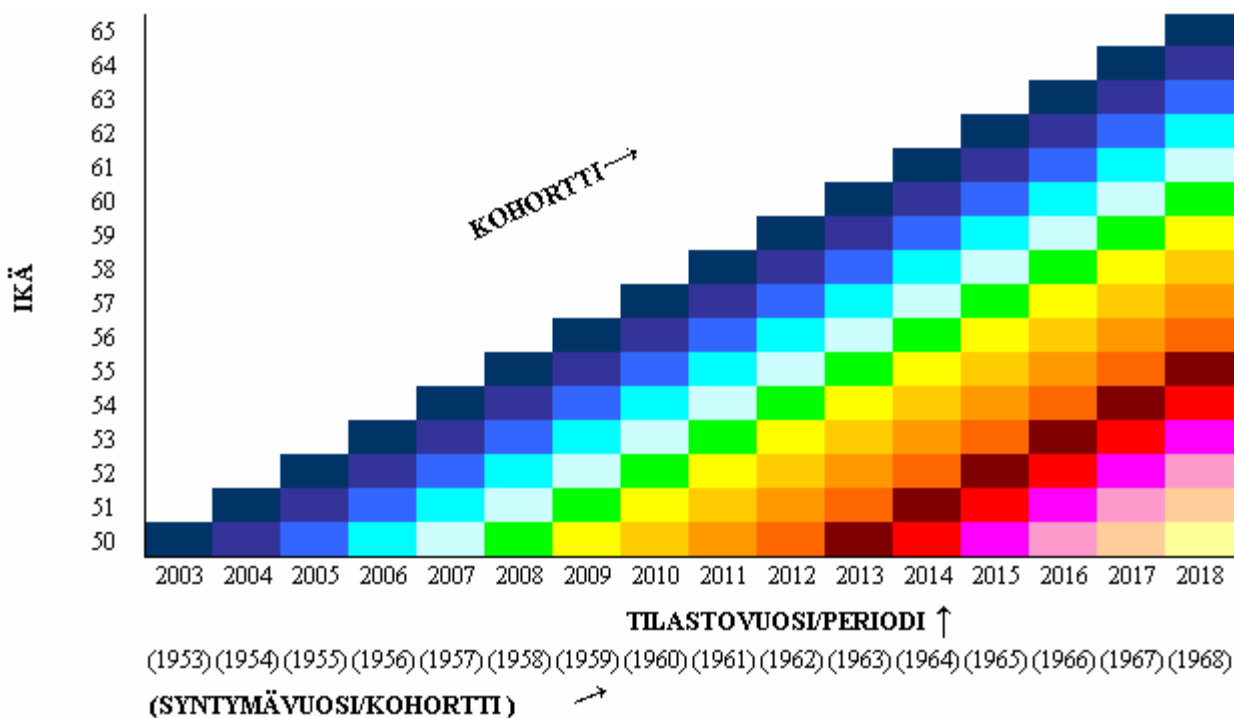
Mira Kauppi

1. Johdanto

Kuolevuudella tarkoitetaan elossa olevan henkilön iästä riippuvaa kuolintodennäköisyyttä ns. kuolevuusintensiteettiä. Kuolevuus on – varhaislapsuuden jälkeen - iän suhteen kasvava. Tietoa kuolevuudesta tarvitaan esimerkiksi tulevaisuudessa maksettavan eläkkeen todennäköisen keston määrittämiseen.

Ikätekijän lisäksi kuolevuudessa voi olla eroja väestön eri osajoukkojen eli populaatioiden välillä. Tunnettu esimerkki on ero miesten ja naisten kuolevuuden välillä. Myös eri kehitystasolla olevien maiden populaatioiden välillä kuolevuudessa on tunnetusti huomattavia eroja. Teollisuusmaissa ihmisten eliniät ovat jatkuvasti pidentyneet. Kuolevuuskehitys on siis ollut alenevaa. Kehitys on ollut samansuuntaista maailmanlaajuisesti. Seuraavassa esityksessä käsiteltävä lakisääteisen tapaturmavakuutuksen kuolevuusmalli on johdettu Suomen väestöä koskevien tilastojen avulla.

Kuolevuustrendin huomioon ottamiseksi väestö on tarkoituksenmukaista jakaa (sukupuolijaon lisäksi) osapopulaatioiksi syntymävuoden perusteella: Syntymävuosikohortti tai tässä lyhyesti *kohortti* on populaatio, jonka jäseniä yhdistää sama syntymävuosi. Kohortin vanhenemisen seuraamiseen tarvitaan aikaa niin kauan, että viimein kohortin jäsen on kuollut. Näin ollen edes vuoden 1899 kohortinkaan osalta kuolevuus ei ole vielä täydellisesti selvinnyt. Eli mitä tuoreempi kohortti on kyseessä, sitä enemmän johdettava kuolevuusmalli joudutaan perustamaan aikaisempien kohorttien kehittymisen perusteella tehtäviin ennusteisiin.



Kuva 1. Kuvassa kohortit 2003–50, 2004–50,..., 2018–50 ja periodit 2003–2018. Kohortit on erotettu eri väreillä.

Periodin eli tietyn kalenterivuoden populaatio on poikkileikkaus eri kohorteista ja se kuvaa väestöä yhden kalenterivuoden aikana syntymävuodesta riippumatta.

Lakisääteistä vahinkovakuutusta harjoittavat vakuutusyhtiöt tarvitsevat kuolevuusmallia osana korvausvastuuta olevien, tulevaisuudessa maksettavien eläkkeiden ja muiden jatkuvien suoritus- pääoma-arvon määrittämisessä. Kuolevuuden pienentyessä vakuutusyhtiön korvausvastuu kasvaa. Nykyisin käytössä oleva kuolevuusmalli on iästä riippuva periodimalli, jota käytetään tilinpäätöshetkellä kaikenikäisille riippumatta henkilön syntymävuodesta. Periodikuolevuus määrittellään periodin populaatiolle eli se ei sisällä tietyn henkilön tulevaa kuolevuuden kehitystä. Kuolevuuden mahdollinen aleneminen tulevaisuudessa on arvioitu käyttämällä tämän kuolevuuden ennustetta 10-20 kalenterivuotta eteenpäin. Nykyinen malli on miesten osalta päivitetty viimeksi vuonna 1998 vastaamaan tilastokeskuksen vuoden 2010 väestökuolevuusennustetta. Naisten nykyinen malli on 1980-luvun alusta, jolloin se oli asetettu vastaamaan KELAn vuoden 2000 väestökuolevuuden ennustetta

Koska vakuutusyhtiöiden vastuut koskevat yksittäisiä henkilöitä, joiden kuolevuus liittyy ko. henkilön tulevaan elinaikaan, eikä tilastovuosiin, ei nykyinen kuolevuusmalli anna oikeata kuvaa henkilön kuolevuuden oletetusta kehityksestä jäljellä olevan eläkkeen maksuaikana. Tästä johtuen uudessa kuolevuusmallissa otetaan huomioon myös kuolevuuden tuleva kehitys, jonka oletetaan riippuvan henkilön syntymävuodesta. Vastaavanlainen kuolevuusmalli on käytössä myös TEL:n laskuperusteissa.

Kuolevuustutkimuksessa on ennustettu havaittua väestökuolevuutta stokastisella menetelmällä sekä tehty deterministisiä oletuksia väestökuolevuuden tulevasta kehityksestä. Käytetyn ennustusmenetelmän taustalla on kalenterivuositaisen väestökuolevuuden ennustaminen ja menetelmä on luonteeltaan puhtaasti tilastollinen eikä siinä ole pyritty arvioimaan esim. eri kuolinsyiden vaikutusta. Ennustamismenetelmän valintaan on vaikuttanut ennen kaikkea sen yksinkertaisuus, mutta myös se varsin yleinen näkemys, että väestökuolevuuden alenemista on voitu ennustaa varsin hyvin suoraan tilastoaineistoa käyttäen.

Uusi kuolevuusmalli muodostuu useista osamalleista, jotka erottaa toisistaan kalenterivuoden tilinpäätöksessä korvauksensaajan ikä, siis syntymävuosi. Näin uusi malli periaatteessa mahdollistaa oikealla tavalla yksittäiseen henkilöön kohdistuvan vastuun laskemisen. Koska naisten ja miesten kuolevuuden ero on selkeä, arvioidaan sukupuolten kuolevuudet erikseen. Kuolevuusmalli sisältää ainoastaan väestökuolevuuden ennustamista koskevan tilastollisen epävarmuuden (riskilisä), joten mallissa ei ole otettu huomioon jatkuvan korvauksen vakuutusyhtiökohtaisen korvausvastuun satunnaisvaihtelusta johtuvaa erityistä turvaavusmarginaalia. Menettelyn voi katsoa vastaavan nykyisin voimassa olevan kuolevuusmallin mukaista käytäntöä. Kuolevuusmalli vastaa väestökuolevuutta, joka on miesten osalta lopuksi korjattu suhteellista riskieroa käyttäen tapaturmaisten kuolevuutta vastaavalle tasolle. Suhteellisen riskieron arvio perustuu tapaturmavakuutusyhtiöiden tilastoaineistoon, josta on poistettu ammattitaudit. Eri vakuutusyhtiöiden korvausvastuun kuolevuus saattaa kuitenkin poiketa tästä tasosta kunkin vakuutusyhtiön kantarakenteesta riippuen. Koska kyse on lopulta vakuutusyhtiön korvausvastuuperusteesta, kuolevuusmallin tulee olla myös pelkistetty ja riittävän yksinkertainen.

Lähteenä on käytetty artikkelia A. E. Renshaw ja S. Haberman (*On the forecasting of mortality reduction factors*, Insurance: Mathematics and Economics 32 (2003) 379-401)

2. Kuolevuusennuste

Kuolevuuden ennustamisen ongelmakohtia ovat mm. ennustamiseen käytettävän tilaston laajuus ja ennustamismenetelmän valinta. Olennaista on myös ennustetaanko kuolevuutta kalenteriajassa vai kohorteittain.

Jos ainoastaan periodin tunnuslukuja on saatavilla esimerkiksi ikävuosittain, voidaan tiettyyn kohorttiin liittyviä tunnuslukuja approksimoida poimimalla tarpeeksi suuresta tilastoaineistosta kohorttia vastaavat luvut tilastovuosien ja iän muodostamien suorakaiteiden (lexis-diagrammi) diagonaalista, joka alkaa kohortin syntymävuodesta ja loppuu kohortin vanhimpaan havaintoon. Em. menettely ei ole aito kohorttiseuranta, sillä tarkastelussa on mukana aina kahden eri kohortin jäseniä. Koska periodikohtaista aineistoa ja referenssiennusteita (mm. Tilastokeskus) on saatavilla huomattavasti enemmän kuin kohorttikohtaista, valitaan ennustamisessa periodikohtainen lähestymistapa. Ennusteharha kohorttiennusteeseen nähden johtuu lähinnä diagonaalialkioiden poiminnan aiheuttamasta harhasta.

Koska heti sotavuosien jälkeen 1946–1954 on kuolevuuden lasku ollut hyvin jyrkkää, jätetään tämä periodi pois tarkasteluista olettaen, että samasta syystä johtuvaa vastaavaa kuolevuuden kehitystä pidetään epätodennäköisenä. Ennusteen lähtövuosiksi valitaan tilastovuodet 1955–2000 kattava aineisto HMD:n tilastosta. Ennustamisessa käytetään valmiiksi tasoitettuja kuolintodennäköisyyksiä $q_x(t)$, missä $t = 1955, \dots, 2000$ ja $x = 20, \dots, 109$, jotka muunnetaan kuolevuuksiksi $\mu_{x,t}$, kappaleessa 2 esitetyllä approksimaatiolla. Tasointus on tehty vanhemmille i'ille, joissa havaittujen kuolemien pieni määrä aiheuttaisi muuten turhaa satunnaisuutta. Koska ikävälillä 0-19 kuolevuudella ei ole oleellista merkitystä vahinkovakuutusyhtiöille ja se saattaisi lisätä ennusteen satunnaisuutta, jätetään kyseinen ikävälialue ennusteen ulkopuolelle. Ikäalueen katkaisu ikään 109 johtuu HMD:n tilastoaineiston rajoittamisesta ikään 110+, jossa kuolintodennäköisyys on 1 jokaisena tilastovuotena.

Ennustamisessa käytetään tunnettua Lee-Carter menetelmää, jossa kuolevuuden malli on muotoa

$$\text{Log}(\mu_{x,t}) = \alpha_x + \beta_x \delta_t.$$

Mallissa on kolme parametria, joista parametri α_x kuvaa keskimääräistä kuolevuuden tasoa i'ittäin, parametri β_x on kuolevuuden ikäkohtainen kehitys ja δ_t määrittää kuolevuuden suhteellisen tason keskimääräiseen verrattuna vuonna t . Parametreille β_x ja δ_t tulee määrittää lisäehdot, jotta ne olisivat estimoituksessa identifioituja. Ehdoksi valitaan

$$\sum_x \beta_x^2 = 1 \quad \text{ja} \quad \sum_t \delta_t = 0,$$

sekä lisäksi ensimmäisen eli parametrin δ_{1955} arvon on oltava positiivinen. Parametrin α_x estimaatti $\bar{\alpha}_x$ lasketaan tilastoaineistosta kuolevuuden logaritmien keskiarvona. Parametrien β_x ja δ_t , kun $x = 20, \dots, 109$ ja $t = 1955, \dots, 2000$, pienimmän neliösumman estimaatit saadaan soveltamalla singulaariarvohajotelmaa matriisiin $[\mu_{x,t} - \bar{\alpha}_x]_{x,t}$. Parametrien β_x estimaatit saadaan em. hajotelman ensimmäisestä vasemmanpuoleisesta singulaarivektorista ja parametrien δ_t vastaavat estimaatit saadaan ensimmäisestä oikeanpuoleisesta singulaarivektorista. Lopuksi estimoidut arvot β_x ja δ_t sovitetaan täyttämään vaaditut identifioituvuusehdot. Kuten J. Alho (2003), oletetaan aikasarjan δ_t , kun $t = 1955, \dots, 2000$, noudattavan satunnaiskulkua vakio-termillä. Aikasarja on muotoa

$$\delta_t = \delta_{t-1} + \theta + \varepsilon_t,$$

kun $t = 1956, \dots, 2000$. Jäännökset ε_t noudattavat normaalijakaumaa odotusarvolla 0 ja varianssilla γ^2 .

Vakiotermin θ SU-estimaattorin $\hat{\theta}$ arvoksi saadaan

$$\hat{\theta} = \frac{(\delta_{2000} - \delta_{1955})}{45}.$$

Varianssi σ^2 on

$$\sigma^2 = \frac{\gamma^2}{45}.$$

Kuolevuuden piste-estimaatti on

$$\bar{\mu}_{x,t+k} = \exp(\bar{\alpha}_x + \beta_x \delta_{t+k}),$$

missä t on ennusteen lähtötaso, k on positiivinen kokonaisluku ja $x = 20, \dots, 109$. Kun $k = 0$ saadaan

$$\bar{\mu}_{x,t} = \exp(\bar{\alpha}_x + \beta_x \delta_t).$$

Kuolevuuden piste-estimaatiksi saadaan edellisten nojalla

$$\bar{\mu}_{x,t+k} = \bar{\mu}_{x,t} \exp(\beta_x (\delta_{t+k} - \delta_t)).$$

Koska erotukselle $\delta_{t+k} - \delta_t$ on voimassa

$$\delta_{t+k} - \delta_t = k\theta + \sum_{j=t}^{t+k} \varepsilon_j,$$

saadaan sen odotusarvoksi

$$E(\delta_{t+k} - \delta_t) = kE\theta = k\hat{\theta}$$

ja varianssiksi

$$\text{Var}(\delta_{t+k} - \delta_t) = k^2\sigma^2 + k\gamma^2.$$

Sijoittamalla varianssien σ^2 ja γ^2 paikalle niiden empiiriset vastineet c^2 ja s^2 saadaan empiirinen varianssi

$$(1) \quad \text{Var}_{emp}(\delta_{t+k} - \delta_t) = k^2c^2 + ks^2,$$

jonka avulla määritellään ennusteen luottamusvälit. Empiirisiksi hajonnoiksi saadaan miehille $s = 0.24733$, $c = 0.03687$ ja naisille $s = 0.32490$, $c = 0.048433$.

Näin ollen kuolevuuden piste-estimaatin approksimaatioksi, kun $t = 2000$, saadaan

$$(2) \quad \bar{\mu}_{x,2000+k} = \bar{\mu}_{x,2000} \exp(\beta_x k \hat{\theta}).$$

Ennusteen (3.1.4) satunnaisuutta kuvaa varianssi (3.1.3). Parametrit α_x ja β_x sisältävät kuolleiden lukumäärän Poisson-hajonnan. Koska väestön kuolevuus perustuu suureen populaation, voidaan em. hajonta eli parametrien α_x ja β_x satunnaisuus käytännössä olettaa nolllaksi.

Em. menetelmällä tuotetut ennusteet antavat hyvin positiivisen kuvan naisten elinajan pitenemisestä. Kuitenkin vertailemalla periodikohtaisten vastasyntyneen elinaikojen erotuksia 10 vuoden aikavälillä, voidaan havaita naisten elinajan muutoksessa huomattavaa taittumista 1970-luvun lopulta lähtien. Sama ilmiö on havaittavissa myös muissa teollistuneissa maissa Japania lukuun ottamatta. Satunnaisuuden lisääntymisen vuoksi ei tilastoaineistoa haluta rajoittaa, vaan naisten kuolevuuden kehityksen hidastus tehdään tilastoaineiston 1955–2000 määrittämään kuolevuuden suhteelliseen muutokseen δ_t rajoittamalla SU-estimaattorin $\hat{\theta}$ laskennassa käytettävä tilasto vuosiin 1977–2000, joka on noin puolet alkuperäisestä.

3. Luottamusvälit

Piste-estimaatin (2) ennustevaliksi luottamustasolla α % saadaan normaaliaprosimaation ja kohdan (1) nojalla

$$\left[\bar{\mu}_{x,2000+k} \exp\left\{-\alpha\%_N \beta_x (k^2 c^2 + ks^2)^{\frac{1}{2}}\right\}, \bar{\mu}_{x,2000+k} \exp\left\{\alpha\%_N \beta_x (k^2 c^2 + ks^2)^{\frac{1}{2}}\right\} \right]$$

missä $\alpha\%_N$ on normaalijakauman luottamustasoa α % vastaava prosenttipiste. Em. ennustevalit ovat sitä suuremmat, mitä suurempi kuolevuuden kehitys eli parametri β_x on tarkasteluvälillä ollut. Koska kuolevuus ei oletusarvoisesti pysy muuttumattomana, ei ole olemassa selkeää syytä miksi pienen muutoksen ennustevali jäisi hyvin pieneksi. Siksi luottamusvälien määritelmässä on parametrit β_x vakioitu, kun $x = 20, \dots, 109$, aritmeettiseksi keskiarvoksi $\bar{\beta}$. Naisille ja miehille keskiarvot ovat lähellä toisiaan ja molemmille käytetään arvoa 0,099.

Kohortin kuolevuuteen saattaa sisältyä sekä havaittua, että ennustettua kuolevuutta. Ennustetun osan pituus riippuu kohortin iästä ennusteen alkamishetkellä. Luottamusvälit kohorteille luottamustasolla $\alpha\%$ ovat

$$\bar{\mu}_{x,koh} \exp\left\{\pm\alpha\%_N \bar{\beta} (c^2 m^2(x, koh) + s^2 m(x, koh))^{\frac{1}{2}}\right\},$$

missä muuttuja koh on ko. kohortin syntymävuosi ja

$$m(x, koh) = \max\{0, x - (2000 - koh)\},$$

kun $x = 20, \dots, 109$.

4. Tapaturmaisten suhteellinen riski

Koska kuolevuusmallia sovelletaan tapaturmavakuutusta harjoittavien yhtiöiden vakuutuskantaan, tulisi kuolevuuden kuvata ko. populaatiota. Populaatioiden kuolevuuden eroja voidaan kuvata suhteellisella riskillä, joka on verrattavan populaation kuolevuuden suhde referenssipopulaation kuolevuuteen. Referenssipopulaation eli tässä väestön kuolevuus tulee olettaa niin stabiiliksi ja luotettavaksi verrokkipopulaation nähden, että se ei sisällä satunnaisvaihtelua.

Tapaturmaisten suhteellisen riskin mittana käytetään *ikävakioitua kuolevuussuhdetta*. Keski-kuolevuus lasketaan seuranta-ajaväliltä 1998–2002, 2000–2002, 2001–2002 tai 2002. Lähtötilasto eli sattumisvuosien lukumäärä riippuu tarkasteltavista yhtiöistä. Keski-kuolevuus saadaan jakamalla em. ajavälillä havaittujen kuolemien lukumäärä vastaavalla altistusajalla. Altistusaika alkaa eläkkeen vahvistushetkestä tai, jos eläke on vahvistettu seuranta-ajaväliä ennen, seuranta-ajaväliltä. Altistusaika päättyy henkilön kuolemaan tai seuranta-ajaväliltä loppuun. Tapaturmaisten periodi-

kuolevuuden vertailuna käytetään väestökuolevuutta periodilta 2000 HMD:n tilastosta laskettuna.

Ikävakioitu kuolevuussuhde (standardized mortality ratio) SMR on havaittujen kuolintapausten lukumäärän suhde odotettuihin kuolintapauksiin

$$SMR = \frac{\sum_a E(a)m(a)}{\sum_a E(a)m(a, väestö)},$$

jossa merkinnät ikäryhmä a , altistus aika $E(a)$, verrokkiryhmän keski-kuolevuus ikäryhmässä a , $m(a)$ ja väestön keski-kuolevuus ikäryhmässä a , $m(a, väestö)$. Ikäryhmät ovat [15, 19], [20, 24], [25, 29], [30, 34], ..., [100, 104].

Kuolintapausten lukumäärän Poisson-oletuksen (kpl.2.3) nojalla kuolevuussuhteen SMR hajonnaksi saadaan

$$Haj(SMR) = \frac{\sqrt{\sum_a E(a)m(a)}}{\sum_a E(a)m(a, väestö)},$$

jolloin 95% luottamusvälin normaaliaprosimaatio on

$$[SMR - 1.96Haj(SMR), SMR + 1.96Haj(SMR)].$$

5. Uusi kuolevuusmalli

Koska kyse on korvausvastuuperusteesta eikä demografisesta ennusteesta, mallin tulee olla pelkistetty ja riittävän yksinkertainen. Kuolevuusmallin on myös oltava integroitava ja parametrien määrä ei saisi kasvaa liian suureksi. Kohorttimallissa kuolevuuden tulisi vähentyä syntymävuoden kasvaessa sekä kohorttimallista johdetun periodikuolevuuden tulisi olla kohtuullisella tasolla konsistentti vastaavan havaitun ja ennustetun periodikuolevuuden kanssa. Mallissa tulee ottaa myös huomioon ennuste-epävarmuudesta johtuva riskilisä. Nykyisin käytössä oleva kuolevuusmalli on ns. Gompertz-kuolevuus, joka on muotoa

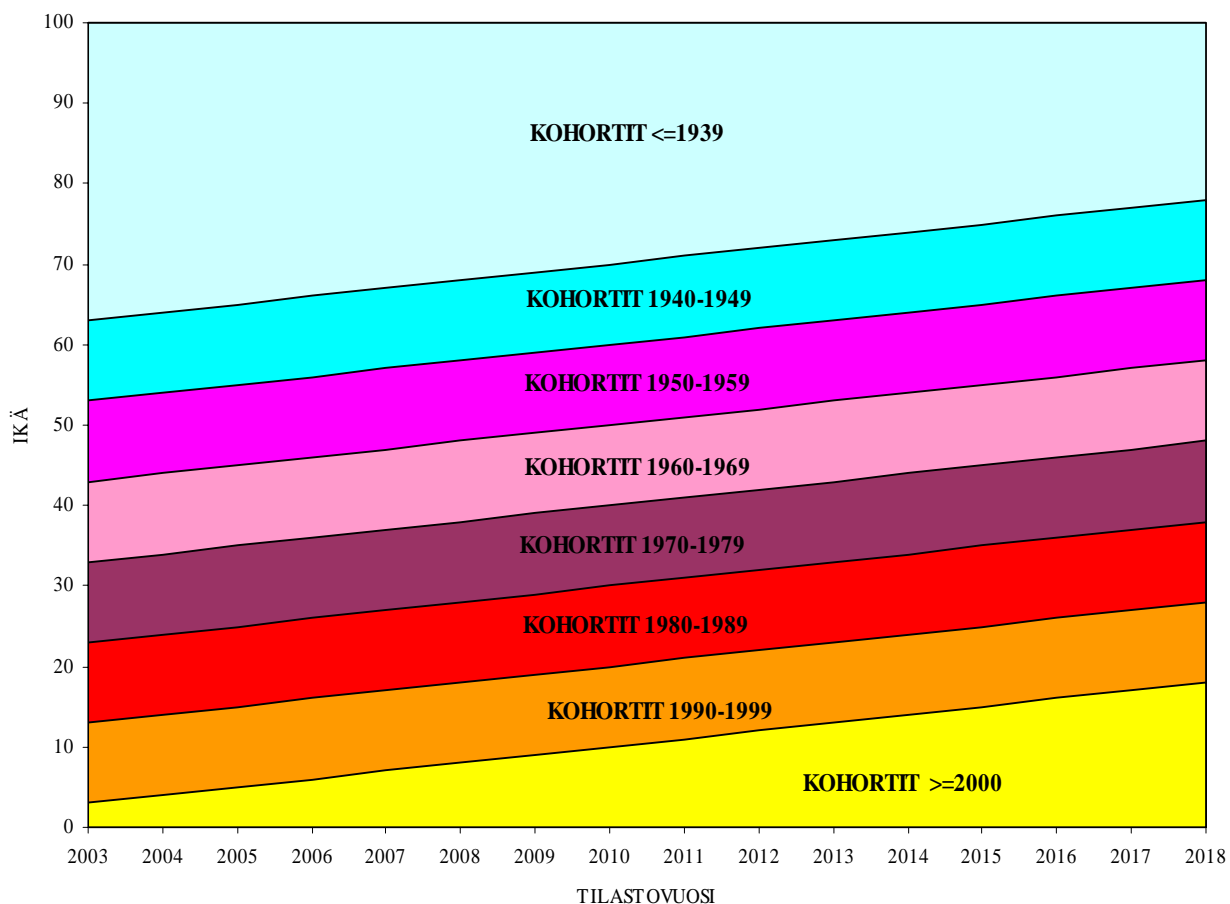
$$\mu_x = a \exp\{bx\}.$$

Kuolevuuden logaritmeissa voidaan havaita paloittain lineaarisia osia, joten paloittain määritelty Gompertz- malli voi sopia aineistoon. Gompertz-mallin käyttö on suotavaa, sillä sen laajentaminen ei olisi yhtä helppoa kuin kokonaan uudenmuotoisen mallin soveltaminen. Eksponentiaalinen kuolevuusmalli on myös in-

tutiivisesti järkevä. Tällä hetkellä yhtiöiden käytössä oleva kuolevuusmalli on periodikohtainen, jota sovelletaan syntymävuodesta riippumatta kaikenikäisiin korvauksensaajiin. Kohorttikohtainen malli kuvaa tarkemmin tietyn henkilön kuolevuutta. Ko. mallin ongelmana on kuitenkin runsas parametrien määrä, kun kuolevuusmalli sovitetaan erikseen jokaiselle kohortille. Sovellettaessa yksinkertaista Gompertz-kuolevuutta kohorteille 1930–2009 parametreja tulisi jo $2 \times 80 = 160$ kappaletta. Parametrien ja satunnaisuuden vähentämiseksi voidaan kohortit ryhmitellä esim. 10-vuotiskohorteihin, joihin sovitusta tehdään. Luonteva valinta 10-vuotiskohorteiksi ovat täydet vuosikymmenet 1930–1939, 1940–1949, ..., 2000–2009. Sovitus on myös luontevaa tehdä vain ikäalueelle, joka on olennaisin yhtiöiden eläkekannassa. Ikävälillä 20–100 lienee olennaisin.

Kuolevuusmalli muodostuu kahdeksasta eri vuosikymmenkohorttien määrittelemästä mallista. Kohorttimallit ovat

syntymävuosi < 1940,
 1940 = < syntymävuosi < 1950,
 1950 = < syntymävuosi < 1960,
 1960 = < syntymävuosi < 1970,
 1970 = < syntymävuosi < 1980,
 1980 = < syntymävuosi < 1990,
 1990 = < syntymävuosi < 2000 ja
 2000 = < syntymävuosi.

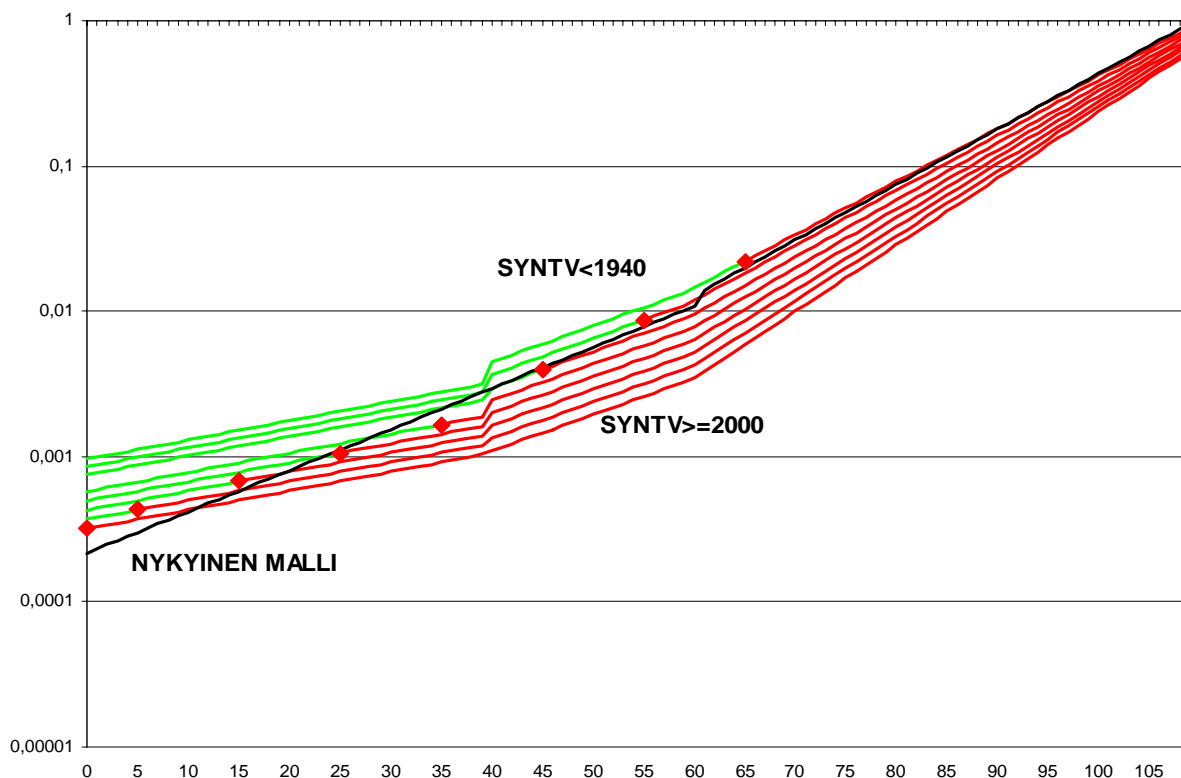


Kuva 2. Vuosikymmenkohorttien ikäalueet tilinpäätöksissä 2003–2018.

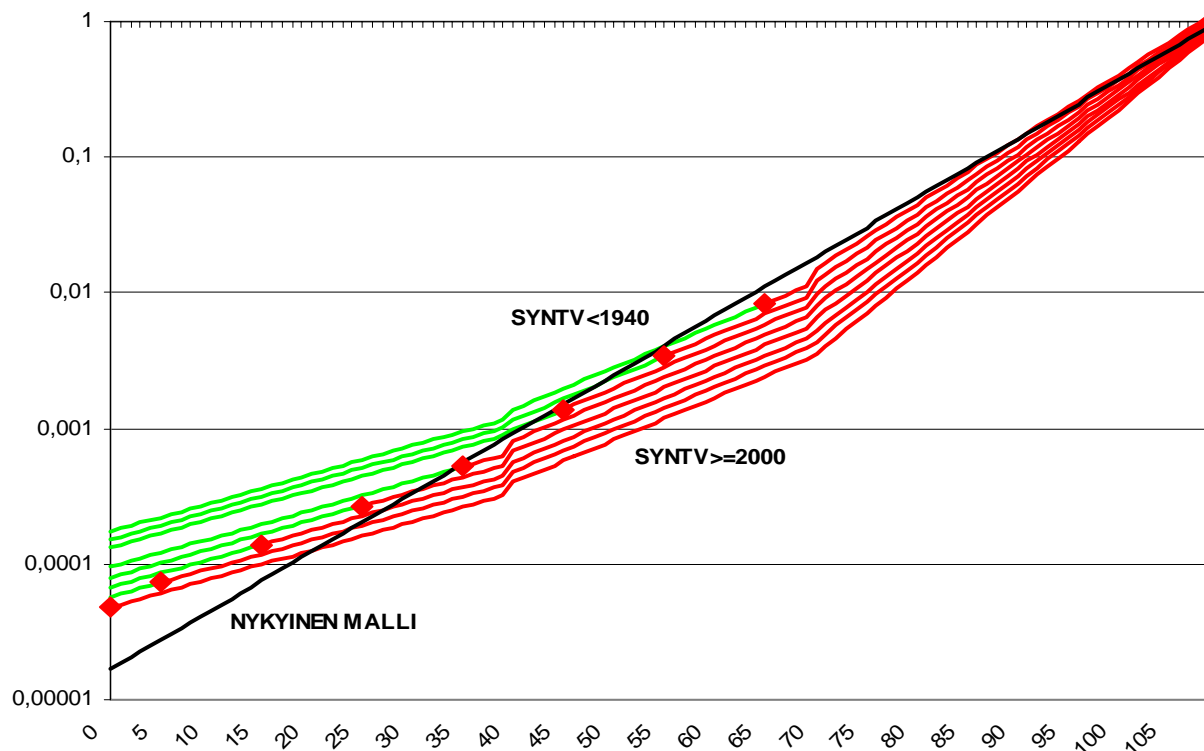
Eri kohorttimallit määritellään ikäsiirtojen avulla tietystä perustasosta. Kohorttikuolevuusmallit on muodostettu väestön kuolevuustilastosta ja sen pohjalta tehdystä kuolevuusennusteesta. Lopullisessa kuolevuusmallissa on lisäksi huomioitu väestö

kuolevuuden tilastollista ennustusepävarmuutta kuvaava riskilisa sekä toisaalta tapaturmaisten kuolevuuden ja väestökuolevuuden arvioitu riskiero. Riskilisa pienentää kuolevuutta kohortista ja sukupuolesta riippuen 6 % -29 % ja tapaturmaisten riskiero taas kasvattaa kuolevuutta miehillä 10 % naisten kuolevuuden jäädessä väestökuolevuuden tasolle. Kuvassa 2 on esitetty vuosikymmenkohorttien ikäalueet eri tilinpäätöksissä. Esim. tilinpäätöksessä 2004 0-4 -vuotiaat ovat syntyneet vuosina 2000–2004, 5-14-vuotiaat vuosina 1990–1999, 15–24-vuotiaat vuosina 1980–1989,..., ja 65–100-vuotiaat vuosina 1904–1939.

Kohorttikuolevuusmallit on esitetty kuvissa 3 ja 4. Iältään tällä hetkellä vanhin kohortti (syntymävuosi < 1940), jonka kuolevuus on suurin, on kuvissa ylimpänä. Vastaavasti nuorin kohortti (syntymävuosi \geq 2000) on alimpana. Kuvissa on kohorteittain erotettu ikäalue, joka ei ole käytössä tilinpäätöksessä 2004 (pisteen vasen puoli, värikuvissa vihreä alue) ja tilinpäätöksessä 2004 sovellettava ikäalue (pisteen oikealle puolelle jäävä alue, värikuvissa punainen alue). Pisteet ovat i'issä, joissa kohorttimallien nuorimmat eli vuosikymmenien lopulla syntyneet ovat vuoden 2004 lopussa. Esimerkiksi kohorttimallissa, jossa syntymävuodet ovat välillä 1940–1949 (toinen käyrä ylhäältä), nuorin henkilö vuonna 2004 on syntynyt vuonna 1949 ja on tällöin 2004-1949=55-vuotias. Teknisistä syistä kuolevuusmallit muodostuvat kohorteittain kolmesta eri osasta, joiden liitoskohdat näkyvät kuvissa hyppäyksinä miehillä i'issä 40 ja 60 ja naisilla i'issä 40 ja 70.



Kuva 3. Miesten kohorttikuolevuusmallit, nykyinen periodikohtainen kuolevuusmalli (musta yhtenäinen viiva). Erotettu pisteillä alueet ennen ja jälkeen tilinpäätöksen 2004, suhdeasteikko.



Kuva 4. Naisten kohorttikuolevuusmallit, nykyinen kuolevuusmalli (musta yhtenäinen viiva). Erotettu pisteillä alueet ennen ja jälkeen tilinpäätöksen 2004, suhdeasteikko.

Kohorttikuolevuuden avulla voidaan määritellä tietyssä tilastovuotena tietyn ikäisen henkilön elinajanodote eli todennäköinen jäljellä oleva elinaika. Elinajanodotteen laskemiseen tarvitaan henkilön kuolevuuden koko tuleva kehitys. Periodimallin avulla määritelty elinajanodote on teoreettinen suure, joka ei kuvaa henkilön jäljellä olevaa elinaikaa. Periodikohtaisia elinaikoja kuitenkin käytetään yleisesti kuvaamaan tilastovuosien kuolevuuden tasoa koska ne ovat helposti laskettavissa havaitusta tilastoaineistosta. Koska periodikuolevuus on alentunut jatkuvasti viime vuosikymmenellä, oletetaan sen jatkavan samaa kehitystä myös tulevaisuudessa. Periodikuolevuuden aleneminen näkyy kohorttikuolevuudessa siten, että kohorttikuolevuuden mukaiset elinajat taulukossa 1 ovat etenkin nuorille huomattavasti nykyisen periodikuolevuuden mukaisia elinaikoja pidemmät. Taulukon 1 nykyisen ja uuden mallin elinajat vastaavat kuvien 3 ja 4 kuolevuuksia. Esimerkiksi vuonna 2004 20-vuotiaas mies eläisi uuden mallin perusteella vielä 63 vuotta, kun nykyisen mallin mukaan elinaikaa olisi jäljellä vain 55 vuotta.

Taulukko 1. Jäljellä oleva elinaika vuonna 2004 vanhan ja uuden mallin mukaan sekä periodin 2004 väestökuolevuuden perusteella. Luvut ovat vuosia.

| ikä | MIEHET | MIEHET | MIEHET | | NAISET | NAISET | NAISET | | NAISET | |
|-----|-------------------|---------------|--------|---------------------------|-------------------|-------------------|---------------|--------|---------------------------|-------------------|
| | nykyinen malli | uusi malli | erotus | VÄESTÖ PERIODI 2004 | erotus uudesta | nykyinen malli | uusi malli | erotus | VÄESTÖ PERIODI 2004 | erotus uudesta |
| 0 | 75 | 86 | 10,7 | | | 82 | 92 | 10,2 | | |
| 5 | 70 | 79 | 9,1 | | | 77 | 86 | 8,9 | | |
| 10 | 65 | 74 | 9,2 | | | 72 | 81 | 9,0 | | |
| 15 | 60 | 68 | 7,5 | | | 67 | 75 | 7,8 | | |
| 20 | 55 | 63 | 7,6 | 55 | 7,8 | 62 | 70 | 7,8 | 61 | 8,2 |
| 25 | 51 | 57 | 5,8 | 50 | 6,1 | 57 | 63 | 6,5 | 56 | 6,9 |
| 30 | 46 | 52 | 5,8 | 46 | 6,1 | 52 | 58 | 6,6 | 52 | 6,9 |
| 35 | 41 | 45 | 4,0 | 41 | 4,4 | 47 | 52 | 5,2 | 47 | 5,5 |
| 40 | 37 | 41 | 3,9 | 36 | 4,4 | 42 | 47 | 5,2 | 42 | 5,5 |
| 45 | 32 | 35 | 2,2 | 32 | 2,8 | 37 | 41 | 3,8 | 37 | 4,1 |
| 50 | 28 | 30 | 2,2 | 28 | 2,9 | 33 | 36 | 3,8 | 32 | 4,1 |
| 55 | 24 | 25 | 0,6 | 23 | 1,3 | 28 | 31 | 2,5 | 28 | 2,8 |
| 60 | 20 | 21 | 0,8 | 19 | 1,5 | 24 | 26 | 2,4 | 23 | 2,8 |
| 65 | 16 | 16 | -0,4 | 16 | 0,3 | 20 | 21 | 1,0 | 19 | 1,6 |
| 70 | 13 | 13 | -0,3 | 12 | 0,5 | 16 | 17 | 0,6 | 15 | 1,6 |
| 75 | 10 | 10 | -0,2 | 9 | 0,6 | 12 | 13 | 0,4 | 11 | 1,6 |
| 80 | 8 | 8 | -0,1 | 7 | 0,7 | 9 | 10 | 0,2 | 8 | 1,5 |
| 85 | 6 | 6 | 0,0 | 5 | 0,6 | 7 | 7 | 0,0 | 6 | 1,3 |
| 90 | 4 | 4 | 0,0 | 4 | 0,5 | 5 | 5 | -0,1 | 4 | 0,9 |
| 95 | 3 | 3 | 0,0 | 3 | 0,4 | 3 | 3 | -0,2 | 3 | 0,5 |
| 100 | 2 | 2 | 0,1 | 2 | 0,1 | 2 | 2 | -0,2 | 2 | 0,1 |

Kuolevuusmalli vastaa väestökuolevuutta, joka on miesten osalta lopuksi korjattu suhteellista riskieroa käyttäen tapaturmaisten kuolevuutta vastaavalle tasolle. Suhteellisen riskieron arvio perustuu tapaturmavakuutusyhtiöiden tilastoaineistoon, josta on poistettu ammattitaudit. Eri vakuutusyhtiöiden korvausvastuun kuolevuus saattaa kuitenkin poiketa tästä tasosta kunkin vakuutusyhtiön kantarakenteesta riippuen.

Kuolevuusmalli sisältää ainoastaan väestökuolevuuden ennustamista koskevan tilastollisen epävarmuuden (riskilisä), joten mallissa ei ole otettu huomioon jatkuvan korvauksen vakuutusyhtiökohtaisen korvausvastuun satunnaisvaihtelusta johtuvaa erityistä turvaavusmarginaalia. Menettely vastaa nykyisin voimassa olevan kuolevuusmallin mukaista käytäntöä.

Myös liikennevakuutuskeskus ja potilasvakuutuskeskus ovat ottaneet tässä esityksessä kuvattua kuolevuusmallin referenssikuolevuudeksi.

Liite / Kuolevuuden referenssimalli

Tässä esitetty valtakunnallisesta väestö- ja tapaturmavakuutuslastoaineistosta johdettu kuolevuusmalli on tarkoitettu **referenssimalliksi tapaturmavakuutuslaitoksille eläkemuoitoisten korvausten korvausvastuuperusteiden laatimista varten**. Muilta osin jatkuvien korvausten pääoma-arvojen referenssiperusteisiin ei ole tehty muutoksia.

TVL tulee esittämään tämän kuolevuusmallin soveltamista riskimaksututkimukseen, lakisääteisen tapaturmavakuutuksen suurvahinkopoolissa sekä vakuutusvelvollisuutensa laiminlyöneiden maksun määräämisessä.

Kuolevuusmalli muodostuu kahdeksan eri vuosikymmenkohortin määrittämästä kuolevuudesta. Kohorttikuolevuuksilla on samat perustasoa kuvaavat parametrit, josta eri kohortit saadaan ikäsiirtojen avulla. Kuolevuusmalli on paloittain määritelty Gompertz-funktio.

Kuolevuusmalli miehille (m) on

$$\mu_x(v, m) = 1,1 * k(v) \tilde{\mu}_x(v, m),$$

ja naisille (n)

$$\mu_x(v, n) = k(v) \tilde{\mu}_x(v, n),$$

missä x on henkilön ikä, v on henkilön syntymävuosikymmenkohortti. Kullekin syntymävuosikymmenille 30-luku, 40-luku, ..., 90-luku tai 00-luku [= 2000...2009] on kuolevuusmallissa eri parametriarvot. Henkilöön, joka on syntynyt ennen vuotta 1930, sovelletaan syntymävuosikymmenkohortin "30-luku" parametreja.

Kuolevuuden perustason parametrit ovat miehille

| $A_1(m)$ | $B_1(m)$ | $A_2(m)$ | $B_2(m)$ | $A_3(m)$ | $B_3(m)$ |
|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|
| -7,39234 | 0,030239 | -8,31314 | 0,057658 | -10,39972 | 0,093298 |

ja naisille

| $A_1(n)$ | $B_1(n)$ | $A_2(n)$ | $B_2(n)$ | $A_3(n)$ | $B_3(n)$ |
|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|
| -9,05492 | 0,04863 | -9,79071 | 0,071872 | -13,17313 | 0,122169 |

Ikäsiirrot ovat miehille

| ikäalue | 20v-40v | 40v-60v | 60v |
|----------|---------|---------|-------|
| KOHORTTI | S1(m) | S2(m) | S3(m) |
| 30-luku | 11,60 | 9,74 | 5,74 |
| 40-luku | 7,48 | 6,68 | 3,81 |
| 50-luku | 3,36 | 3,62 | 1,88 |
| 60-luku | -0,76 | 0,56 | -0,05 |
| 70-luku | -4,88 | -2,50 | -1,98 |
| 80-luku | -9,00 | -5,56 | -3,91 |
| 90-luku | -13,12 | -8,62 | -5,84 |
| 00-luku | -17,24 | -11,68 | -7,77 |

ja naisille

| ikäalue | 20v-40v | 40v-70v | 70v |
|----------|---------|---------|-------|
| KOHORTTI | S1(n) | S2(n) | S3(n) |
| 30-luku | 8,186 | 5,884 | 4,21 |
| 40-luku | 5,408 | 3,932 | 2,81 |
| 50-luku | 2,63 | 1,98 | 1,41 |
| 60-luku | -0,148 | 0,028 | 0,01 |
| 70-luku | -2,926 | -1,924 | -1,39 |
| 80-luku | -5,704 | -3,876 | -2,79 |
| 90-luku | -8,482 | -5,828 | -4,19 |
| 00-luku | -11,26 | -7,78 | -5,59 |

Naisilla ikäsiirto S3 on ilmoitettu iässä 70 ja miehillä vastaavasti iässä 60. Em. ikäsiirtojen vakioerot (vakioikäsiirrot VE) ovat vastaavissa i'issä

| <i>sp</i> | VE1 | VE2 | VE3 |
|-----------|-------|-------|------|
| miehet | 4,12 | 3,06 | 1,93 |
| naiset | 2,778 | 1,952 | 1,4 |

Suppenemisparametriksi on määritelty

$$p(v, sp) = \frac{S3(v, sp)}{IKÄ(p(sp)) - 60(70)},$$

kun $sp = n$ tai m ja $IKÄ(p(sp))$ on miehillä 119 ja naisilla 112 eli nimittäjäksi saadaan miehillä 59 ja naisilla 42.

Kuolevuudet ovat miehille

$$\text{Log}(\tilde{\mu}_x(v, m)) = A_1(m) + (x + S1(v, m))B_1(m), \text{ kun } x < 40,$$

$$A_2(m) + (x + S2(v, m))B_2(m), \text{ kun } 40 \leq x < 60$$

$$A_3(m) + [x + S3(v, m) + p(v, m)(60 - x)]B_3(m), \text{ kun } x \geq 60$$

ja naisille

$$\text{Log}(\tilde{\mu}_x(v, n)) = A_1(n) + (x + S1(v, n))B_1(n), \text{ kun } x < 40,$$

$$A_2(n) + (x + S2(v, n))B_2(n), \text{ kun } 40 \leq x < 70$$

$$A_3(n) + [x + S3(v, n) + p(v, n)(70 - x)]B_3(n), \text{ kun } x \geq 70.$$

Väestökuolevuuden tilastollisen ennustevirheen yksisuuntainen 75 % luottamustaso (riskilisä) saadaan kertomalla jokainen kohortti vakioilla $k(v)$. Tapaturmaisten väestöstä poikkeava kuolevuus otetaan huomioon korottamalla em. kuolevuutta 10 %:lla miehille. Naisilla tapaturmaisten kuolevuus ei tilastollisesti poikennut väestöstä.

| v=kohortti | MIEHET $k(v)$ | TAPATURMAISTEN RISKIERO | NAISET $k(v)$ | TAPATURMAISTEN RISKIERO |
|-------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| 30-luku | 0,94 | 1,10 | 0,91 | 1 |
| 40-luku | 0,92 | 1,10 | 0,88 | 1 |
| 50-luku | 0,89 | 1,10 | 0,85 | 1 |
| 60-luku | 0,87 | 1,10 | 0,82 | 1 |
| 70-luku | 0,85 | 1,10 | 0,79 | 1 |
| 80-luku | 0,83 | 1,10 | 0,76 | 1 |
| 90-luku | 0,81 | 1,10 | 0,74 | 1 |
| 00-luku | 0,79 | 1,10 | 0,71 | 1 |

HENKIVAKUUTUKSEN REFERENSSIKUOLEVUUS K2004

Mika Mäkinen

Suomen Aktuaariyhdistys hyväksyi 14.2.2005 henkivakuutuksen referenssikuolevuuden K2004, joka esitellään lyhyesti tässä monisteessa. Tekniikka on käyty tarkemmin läpi Mika Mäkisen SHV – lopputyöhössä (2004):”*Referenssikuolevuus henkivakuutusyhtiöille*”.

Populaatioaineisto

Suomen populaatioaineisto löytyy internetistä HMD:stä (Human Mortality Databasesta) (www.mortality.org). HMD:n aineisto on Tilastokeskuksen julkaisemaa ja se sisältää kuolevuusluvut aikaväliltä 1878 - 2002. Aineistoa on muokattu siten, että vanhimpien ikäluokkien kuolevuuksia on tasoitettu, koska niissä vuosittainen heilahtelu on suurta populaation pienuuden takia.

Riskiperusteaineisto

Henkiyhtiöiltä on koostettu riskiperusteanalyysi vuosilta 1985 - 2001, josta on laskettu henkivakuutusaineistossa havaittu kuolevuus. Henkivakuutuskuolevuusaineistoa on laajennettu henkivakuutettujen kuolevuuksilla aikaväliltä 1972 -1984, joka on ollut edellisten kuolevuustutkimusten aineistona vuosina 1986 ja 1987. Näin on saatu henkivakuutusaineiston havaittu kuolevuus aikaväliltä 1972 - 2001.

Referenssiaineisto

Referenssikuolevuudessa K2004 on päädytty ratkaisuun, jossa tutkitaan ensin kuolevuuden muutosta populaatioaineistossa ja tehdään ennusteet populaation kuolevuuden kehityksestä. Tämän jälkeen päätellään käytössä olevista aineistoista populaatio- ja henkivakuutuskuolevuuden suhteellinen ero ja sen muutos.

Populaatioaineiston muuntaminen henkiaineistoa vastaavaksi

Tutkittaessa henkivakuutuskuolevuuksien ja populaatiokuolevuuksien suhdetta, vaikuttaa siltä, että alle kaksikymmentävuotiaiden keskuudessa populaatiokuolevuus ja henkivakuutuskuolevuus ovat varsin lähellä toisiaan. Myös yli 70-vuotiaiden keskuudessa on havaittavissa sama ilmiö.

Molemmissa tapauksissa vuosittainen vaihtelu on tosin varsin suurta johtuen henkiaineiston pienuudesta näissä ikäluokissa. Koska saatavilla olevien aineistojen avulla ei näille ikäluokille saada parempia estimaatteja, ajatellaan näissä ikäluokissa henkivakuutuskuolevuuden olevan samanlaista kuin populaatiokuolevuuden.

Henkivakuutusaineistona käytettiin riskiperusteanalyysien lisäksi miesten ja naisten kuolevuudet henkivakuutusyhtiöillä vuosina 1972 -1984. Tämän lisäaineiston perusteella on tehty vuosina 1986 ja 1987 kuolevuusfunktiot. Aineistot on yhdistetty ja vuosien 1972 - 2000 henkivakuutuskuolevuuksia on vuositasolla verrattu saman ajankohdan populaatiokuolevuuksiin. Tutkimuksissa on havaittu, että henkivakuutuskuolevuuden ja populaatiokuolevuuden suhteessa ei ole selkeästi havaittavaa trendiä aikavälillä 1972 – 2000. Eri vuosien välillä on tosin eroja johtuen henkivakuutusaineiston suppeudesta.

Mallissa oletamme, että henkikuolevuuden ja populaatiokuolevuuden suhdeluku on jatkossa suunnilleen vakiona. Jos populaatiokuolevuus alenee vuosittain ja suhde henkivakuutuskuolevuuteen pysyy samana, niin myös henkivakuutuskuolevuuden tason tulee alentua. Tämä vastaa käsitystä, että kuolevuuden alentuessa terveys paranee ja yhä useampi saa terveydentilansa puolesta henkivakuutuksen eli terveydentilaan viittaava valinta vähenee.

Muunnoskerroin p voidaan näin laskea kaavalla

$$p = \frac{\mu_x^{\text{'henkiaineisto' }}}{\mu_x^{\text{'populaatio' }}} \cdot$$

Referenssi-kuolevuus

Suomen Aktuaariyhdistys on 14.2.2005 hyväksynyt alla kuvatun

HENKIVAKUUTUKSEN REFERENSSIKUOLEVUUDEN K2004

Referenssi-kuolevuus edustaa suomalaisten henkivakuutusyhtiöiden vakuuttamien suomalaisten toteutunutta ja toteutuvaksi ennustettua kuolevuutta. K2004 on johdettu kotimaisten yhtiöiden aineistosta vuosilta 1991 - 2001. Yhtiöt ovat soveltaneet vastuunvalinnassa Henkivakuutus-osakeyhtiö Retron käsikirjaa "Henki- ja sairausvakuutusten ratkaisuohteet".

K2004 mukainen kuolevuus kun vakuutettu on syntynyt vuonna sv ja on nyt x vuoden -ikäinen, on

$$\mu_{sp}(x, sv) = \max\{0,0001, a_{sp}(sv)\} + e^{c_{sp}(x, sv)},$$

missä sukupuolesta riippuvat (mies $sp=0$, nainen $sp=1$) funktiot a ja c ovat

$$a_0(sv) = 10^{-5} \cdot 0,744 \cdot (2070 - sv)$$

$$a_1(sv) = 10^{-5} \cdot 0,206 \cdot (2019 - sv)$$

$$c_0(x, sv) = 0,05438 \cdot (1716 - sv) + 0,000533 \cdot (sv - 1719) \cdot x - 0,000217 \cdot (sv - 1843) \cdot \max\{0; x - 81\}$$

$$c_1(x, sv) = -11,51 + 0,000316 \cdot (2253 - sv) \cdot x + 0,000783 \cdot (sv - 1916) \cdot \max\{0; x - 71\}$$

Kuolevuuteen ei sisälly varmuuslisää kumpaankaan suuntaan.

K2004 on johdettu ennuste- ja laskutekniikalla, joka perustuu Mika Mäkisen SHV-työhön (2004).

Työ kokonaisuudessaan on saatavissa vakuutus kirjastosta. Standardin taustalla oleva Suomen väestöaineisto on vuosilta 1960 - 2001 ja on saatavilla Human Mortality Databasesissa (www.mortality.org).

Henkivakuutusyhtiöiden vuosien 1991- 2001 toteuma-aineisto on nähtävänä Suomen Aktuaariyhdistyksen kotisivuilla www.actuary.fi