



PC COSYMA käyttöönotto ja soveltaminen

Jukka Rossi
JOULUKUU 1995



SÄTEILYTURVAKESKUS

Strålsäkerhetscentralen
Finnish Centre for Radiation and
Nuclear Safety

STUK-YTO-TR 96
JOULUKUU 1995

PC COSYMA_n käyttöönotto ja soveltaminen

Jukka Rossi
VTT Energia
Ydinenergia

Tutkimuksen johto Säteilyturvakeskuksessa
Risto Paltemaa, Arto Isolankila

Tutkimus on tehty Säteilyturvakeskuksen tilauksesta.

SÄTEILYTURVAKESKUS
PL 14, 00881 HELSINKI
(90) 759 881

ISBN 951-712-085-0
ISSN 0785-9325

Painatuskeskus Oy
Helsinki 1995

ROSSI, Jukka (VTT Energia). PC COSYMA:n käyttöönotto ja soveltaminen. STUK-YTO-TR 96. Helsinki 1995. 32 s. + liitteet 11 s.

ISBN 951-712-085-0
ISSN 0785-9325

Avainsanat: PSA3, reaktorionnettomuuksien seurausvaikutusten arviointi, radionuklidien dispersio

TIIVISTELMÄ

COSYMA on EU-maiden tutkimuslaitosten, pääasiassa NRPB:n ja KfK:n, 1980-luvulla kehittämä reaktorionnettomuuksien ympäristövaikutusten laskentamalli. Vuonna 1993 ohjelmasta valmistui mikrotietokoneella toimiva yksinkertaistettu versio, PC COSYMA. Tämä versio on tarkoitettu käytettäväksi tutkimuskäytössä sekä determinististen että todennäköisyypohjaisten ympäristövaikutusten arvioimiseen. Deterministinen laskenta sisältää vain yhden leviämistilanteen ja todennäköisyypohjainen laskenta kaikki mahdolliset leviämistilanteet ja niiden esiintymistodennäköisyydet sääaineistoon perustuen.

Ohjelmassa on merkkipohjainen käyttöliittymä sekä lähtötietojen syöttämistä että tulosten katselua varten, joten tuloksista ei suoraan saada graafista esitystä näytölle. Laitoskohtaisten ympäristö- ja säätietojen valmistaminen tapahtuu kuitenkin tiedostojen välityksellä. Ohjelman laskenta-ajat ovat suhteellisen lyhyitä. Käyttöä tukee selkeä opaskirja. Kaikilla lähtötiedoilla on oletusarvot, joita käyttäjä voi muuttaa sovellustensa ja tarpeidensa mukaan.

Sovelluslaskuina käsiteltiin eräitä pitoisuus-, annos-, terveysvaikutus-, saastuneen alueen pinta-ala- sekä vastatoimenpidelaskuja. Osassa laskuja tuloksia verrattiin ARANO-ohjelmalla saatuihin tuloksiin, jotta voitiin varmistua siitä, että laskettiin todella sitä, mitä oli ajateltu laskettavan. Vertailu osoitti tulosten hyvää yhteensopivuutta näiden kahden mallin välillä pitoisuus- ja annoslaskennassa.

PC COSYMA-ohjelman käyttöönotto ja soveltaminen osoittivat, että ohjelma sopii käytettäväksi laitoskohtaisissa ympäristövaikutusarvioinneissa. Käyttäjän olisi tunnistettava ne ohjelmiston monipuolisista piirteistä johtuvat ominaisuudet, jotka ratkaisevasti vaikuttavat laskentatuloksiin.

ROSSI, Jukka (VTT Energy). Installation and implementation of PC COSYMA. STUK-YTO-TR 96. Helsinki 1995. 32 pp. + Appendices 11 pp.

ISBN 951-712-085-0
ISSN 0785-9325

Keywords: PSA3, reactor accident consequence assessment,
dispersion of radionuclides

ABSTRACT

COSYMA is a probabilistic reactor accident consequence assessment model developed in the 1980's by the research institutes of the EC countries, primarily by NRPB and KfK. In 1993 a simplified version of the program was released to be implemented on a PC. This version is purposed to be used in research usage for deterministic as well as probabilistic offsite consequence assessments. Deterministic approach includes only a single set of atmospheric conditions whereas probabilistic approach takes into account all possible atmospheric conditions and their respective frequency of occurrence on the basis of the weather data.

The program has an alphanumeric menu driven user interface for both input and output, so no graphical results are available on the display. The site specific gridded environmental and weather data has to be prepared through input files. The execution times of the program are relatively short. Operation is supported by a comprehensive user's guide. All the input parameters have default values, which can be modified according to applications and needs of the user.

In this study the PC COSYMA program was applied to calculate as the end points nuclide concentrations, doses received, numbers of health effects, areas affected by countermeasures and other results related to countermeasure strategies. Some results are compared with the results obtained by the ARANO program developed by VTT Energy to guarantee proper interpretation of the application. This comparison indicates rather good accordance of the results in the case of concentrations and doses received as end points.

The installation and implementation of PC COSYMA has proved out that the program is a flexible tool for site specific offsite consequence assessments. The user should be rather careful regarding some properties of the program which are due to the extensive features of the system and which decisively affect the results obtained.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	Sivu
ABSTRACT	
ESIPUHE	6
1 JOHDANTO	7
2 OHJELMISTON MALLINNUKSEN YLEISKUVAUS	8
2.1 Päästön määrittely	8
2.2 Dispersio ilmassa ja depositio	8
2.3 Annoslaskenta	9
2.3.1 Ulkoisen annoksen laskenta	9
2.3.2 Sisäisen annoksen laskenta	10
2.4 Terveysvaikutukset	10
2.5 Vastatoimenpiteet	10
2.5.1 Pelkkä sisällesuojautuminen	14
2.5.2 Sisällesuojautuminen ja sitä seuraava evakuointi	14
2.5.3 Joditabletti	14
2.5.4 Väestön pitempiaikainen poissiirto	16
2.5.5 Elintarvikkeiden käyttökielto	16
3 OHJELMISTON KÄYTTÖKELPOISUUS	17
4 OPERATIIVISET TYÖVAIHEET	20
4.1 Ohjelman käyttöönotto ja lähtötiedot	20
4.2 Sovelluslaskut	21
4.2.1 Yksittäisen leviämistilanteen pitoisuus- ja annoslaskut	21
4.2.2 TVO:n poistokaasujärjestelmän vaurioon liittyvät annoslaskut	22
4.2.3 Vakavaan reaktorionnettomuuteen liittyvän päästön raja-arvo	24
4.2.4 Vakavaan onnettomuuteen liittyvät vastatoimenpidelaskelmat	26
5 YHTEENVETO	31
VIITTEET	32
MUITA COSYMA-RAPORTTEJA	32
LIITE 1 Katsaus ohjelmassa olevaan laitoskohtaiseen ympäristötietoon ja COSYMA-ohjelman vaatimukset	33
LIITE 2 PC COSYMA:n asennus ja käyttöönotto	38
LIITE 3 Experiences with PC COSYMA 1.0 (full version)	40

ESIPUHE

Työ on tehty Säteilyturvakeskuksen tilauksesta Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen (VTT Energia) Ydinenergian tutkimusalueella. Yhteyshenkilöinä ovat toimineet ylitarkastaja Risto Paltemaa ja tarkastaja Arto Isolankila (STUK) sekä tutkija Jukka Rossi VTT:stä.

1 JOHDANTO

Tämän projektin tarkoituksena oli ottaa käyttöön Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen (VTT) Ydinenergian tutkimusalueella EY:n MARIA-tutkimusohjelman lopputuotteena syntyneen COSYMA-ohjelman (**C**ode **S**ystem from **M**ARIA) /1/ mikrotietokoneen DOS-käyttäjärjestelmässä toimiva ohjelmaversio (PC COSYMA /2/) ja avustaa Säteilyturvakeskusta (STUK) tämän ohjelman käyttöönotossa. Lisäksi ohjelmalla tuli suorittaa eräitä sovelluslaskuja, joista vaativimmat koskisivat vastatoimenpiteiden tehokkuutta suomalaisessa ydinlaitosympäristössä. Samalla oli tarkoitus kerätä, päivittää ja saattaa COSYMA:n vaatimaan muotoon tarpeellinen ympäristöä koskeva lähtötieto sekä sääaineisto. Vertailulaskujen tekoon VTT:n ARA-NO-ohjelmalla varauduttiin. Projektin tarkoitus oli arvioida COSYMA:n käyttöä ja soveltuvuutta suomalaisessa ympäristössä sekä parantaa valmiutta osallistua EY:n projekteihin.

COSYMA on tutkimuskäyttöön tarkoitettu ydinvoimalaitosonnettomuuksien ympäristön seurausvaikutusten todennäköisyysperustainen arviointimalli. COSYMA-mallin pääkehittäjä on ollut Kernforschungszentrum Karlsruhe (KfK) ja National Radiological Protection Boardin (NRPB) tutkijaryhmä, jota on avustanut joukko eurooppalaisia yhteistyökumppaneita. COSYMA-ohjelmaa on kehitetty toistaiseksi siten, että sen kahdesta laiteriippuvasta versiosta on keskuskoneympäristössä toimivaa täydellistä ohjelmaversiota kehitetty ensisijaisesti ja vain harkittu osa sen ominaisuuksista on siirretty PC-versioon, joka on pysynyt aina suppeampana laskentamahdollisuuksiltaan. PC-versiosta on saatavilla ns. laajempi ja suppeampi versio, joista viimeksimainitussa on vähäisin parametrien vaihtelumahdollisuus.

2 OHJELMISTON MALLINNUKSEN YLEISKUVAUS

Seuraavassa on esitelty pääpiirteissään ne mallinnuksen ominaisuudet, jotka vaikuttavat oleellisesti ohjelman käyttökelpoisuutta ja sopivuutta arvioitaessa. Mallin kuvaus perustuu vahvasti viitteeseen 2, joka antaa hyvän yleiskuvan PC COSYMA:sta.

2.1 Päästön määrittely

Päästön suuruus voidaan määritellä kahdella vaihtoehtoisella tavalla: käyttämällä lyhyttä nuklidiluetteloa tai lähdetermiohjelmaa, jossa on käytettävissä 145 nuklidia. Päästössä voi olla mukana korkeintaan 50 nuklidia. Päästön suuruus määrätään antamalla inventaari ja päästöosuus. Tässä yhteydessä voi määritellä kaikki olennaiset päästöön liittyvät parametrit: päästön alkuvaihe ja kesto, päästökorkeus, vapautuva lämpöenergia ja reaktorirakennuksen mitat. Päästöjaksoja voi olla enintään kolme, niiden ei tarvitse olla peräkkäisiä ja niissä on radioaktiivinen hajoaminen aina mukana. Kukin jakso on tunnin pituinen. Jodi voidaan jakaa alkuainemuotoiseen, orgaaniseen ja aerosolimuotoon.

Koska lähdetermiohjelmassa on mahdollista antaa yli 50 nuklidia, on käyttäjän joko annettava annosreiteittain katkaisuraja siten, että nuklidien määrä on korkeintaan 50 tai muuten supistettava nuklidien määrää. Tämän rajoituksen tarpeellisuus ilmenee vasta ohjelmaa ajattaessa virheilmoituksena, minkä seurauksena voi joutua työlääseen iterointiin nuklidimäärän rajoittamiseksi. Käyttäjällä saattaa myös olla tarvetta laskea sellaisia päästöjä, joissa tietty aktiivisuusmäärä nuklidia vapautuu, mikä ei suoraan ole mahdollista tällä ohjelmalla, koska radioaktiivinen hajoaminen on aina mukana. Lähdetermin voi tallettaa tiedostoksi, jota voi siten jatkossa käyttää sujuvasti muissa ajoissa.

2.2 Dispersio ilmassa ja depositio

Ilmassa leviämisen laskenta jakaantuu olennaisesti kolmeen osaan: säätilanteen poiminta,

dispersio ja depositio. Parametrien asettelumahdollisuudet riippuvat paljon siitä lasketaanko determinististä vai probabilistista leviämistä. Yksittäistä leviämistilannetta laskettaessa voidaan joko lukea alkamishetken perusteella leviämistilanne käyttäjän antamasta meteorologisesti tiedostosta tai antaa leviämiseen liittyvät parametrit suoraan valikosta. Jälkimmäisessä tapauksessa sama leviämistilanne säilyy koko leviämisen ajan, mutta ensimmäisessä se voi muuttua datatiedostossa olevan mukaisesti. Yksittäistä leviämistilannetta voidaan muokata monipuolisesti sopivilla parametriasetuksilla.

Alkuvaiheen pilvennousema sekä rakennusten vaikutus käsitellään Briggsin ja Hannan periaatteilla /3,4/. Alkuperäisen ohjelman viidestä dispersiomallista on tässä mukana vain yksi. Dispersio ilmassa käsitellään segmentoidulla gaussisella mallilla (MUSEMET), joka perustuu säätiedon käsittelyyn tunnin aika-askelella siten, että tuulensuunta ja -nopeus, stabiilius sekä sateen intensiteetti voivat vaihdella leviämisen aikana tällä taajuudella. Leviämissuunta voidaan asettaa kolmella vaihtoehtoisella tavalla:

- jokainen jakso kulkee päästön alkaessa vallinneeseen suuntaan,
- jokainen jakso kulkee niiden alkuhetkellä vallinneeseen suuntaan,
- jokainen jakso kulkee tunneittain päästölähteessä vallitsevan suunnan mukaisesti.

Meteorologiseen datatiedostoon voi sisältyä yhden tai kahden vuoden sääaineisto. Todennäköisyyspohjaisessa laskennassa voidaan käyttää joko syklistä tai aineiston jaotteluun (stratified sampling) perustuvaa poimintamenettelyä. Edellisessä yhden näytteen todennäköisyys on $1/n$,

kun n on näytteiden kokonaismäärä. Syklisessä poiminnassa eivät välttämättä tule esille harvinaisimmat leviämistilanteet. Siinä myöskin aikavälin valinnalla voi olla merkitystä lopputulokseen (esim. 24 h). Nyt on mahdollista valita 144 näytettä, mikä tarkoittaa 61 tunnin sykliä vuoden aineistosta.

Toinen mahdollisuus on jakaa sääaineisto ryhmiin siten, että kukin ryhmään sisältyvä näyte tuottaa suunnilleen samansuuruisen tuloksen. Mikäli ryhmien määrittely on onnistunut, saadaan aineisto jaoteltua siten, että näytteet edustavat laskentatulosten komplementaarisen kumulatiivisen todennäköisyysjakauman (CCDF = Complementary Cumulative Distribution Function) koko arvoaluetta. Kustakin ryhmästä poimitaan edustaja tai useampi varsinaiseen laskentaan ja todennäköisyys saadaan ryhmässä olevien näytteiden kokonaismäärän ja valitun näytemäärän avulla. Näytteet voidaan poimia satunnaisesti ryhmän sisältä. Tässä versiossa kuitenkin vain yksi näyte kustakin ryhmästä voidaan poimia.

Leviämisen aikana lasketaan radioaktiivinen hajoaminen ja tytärnuklidien muodostuminen. Deposition käsittely tapahtuu neljässä eri ryhmässä: aerosolit, orgaaniset aineet sekä jodin elementaarinen ja orgaaninen (esim. metyylijodi) muoto. Käyttäjä voi antaa depositionopeuden ja pesukertoimeen liittyvät parametrit ryhmittäin. Pesukerroin lasketaan sateen intensiteettiin perustuen.

2.3 Annoslaskenta

Kun mitään vastatoimenpiteitä ei käytetä, ovat COSYMA:n altistus- ja annosreitit:

- ulkoinen gammasäteily pilvestä,
- pilvessä olevien radioaktiivisten aineiden hengittämistä aiheutuva altistus,
- ulkoinen gammasäteily laskeumasta,
- ulkoinen beetasäteily iholle tai vaatteisiin deposoituneista aineista,
- laskeumasta resuspension välityksellä hengityselimistöön tulevat radionuklidit,
- laskeuma-alueella tuotettujen ravintoaineiden nauttimisesta aiheutuva annos.

Annokset lasketaan ulkona olevalle keskimääräiselle aikuiselle 20-vuotiaalle henkilölle eikä mitään esimerkiksi lapsia koskevia tuloksia lasketa. Annokset lasketaan elinkohtaisina ja halutulle ajanjaksolle lyhyen ajan annosten osalta (1–365 vuorokautta), mutta pitkän ajan annoksissa altistusaikaa ei voi antaa vaan se on aina 50 vuotta. Altistuksen alkuhetkeä ei voi antaa. Käyttäjä voi valita valikoissa lyhyen ja pitkän ajan annosreitit. Altistusreitikohtaisesti elimet ja siten myös terveysvaikutukset vaihtelevat. Varsinaisten yksilö- ja väestöannosten ohella näitä arvoja käytetään jatkossa terveysvaikutusten riskin laskennassa. Ravintoaineannoksia ei käytetä arvioitaessa varhaisvaikutuksia eikä niiden aiheuttamaa yksilöannosta lasketa lainkaan tässä versiossa. Annos lasketaan napakoordinaatiston pisteessä ja on siis segmentin keskiakselin arvo. Väestöannos saadaan kertomalla annos napakoordinaatiston segmentin väestömäärällä.

2.3.1 Ulkoisen annoksen laskenta

Pilvestä tulevan ulkoisen gamma-annoksen laskenta perustuu puoliäärettömän avaruuden approksimaatioon ja maanpintapitoisuuden arvoon. Korjauskertoimella otetaan huomioon pilven todellinen geometria ja altistujan etäisyys keskiakselilta.

Laskeumasta aiheutuva ulkoinen annos lasketaan nuklidikohtaisen kirjaston avulla. Se sisältää annoksen elintä ja yksikkölaskeumaa kohden eripituisille ajanjaksoille ottaen huomioon tytärnuklidien aiheuttama vaikutus annokseen laskeuman jälkeen. Ohjelmassa on kaksi eri mallia nuklidien merkittävyyden mukaan jaoteltuna. Tärkeiksi katsotuille nuklideille (Ru-103, Ru-106, I-131, Te-132, Cs-134, Cs-137 ja Ba-140) kehitetty malli kuvaa taajaan asuttua aluetta ja sisältää tarkennetun laskennan mainitulle nuklideille. Se sisältää laskeuman käsittelyn erityyppisille pinnoille (katto, seinä, nurmi, maaperä) sekä siirtymistä ja migraatiota niissä. Mallin kertoimet on laskettu Iso-Britannian kaupunkiympäristöjen väestömäärillä painotetuiksi arvoiksi. Muiden nuklidien osalta käytetään yksinkertaisempaa avoimen alueen olosuhteita kuvaavaa mallia, jossa on mukana vain maaperän migraatio.

Iholle ja vaatteille deposoituneiden nuklidien aiheuttama beeta-annos iholle on verrannollinen maahan kuivadeposoituneeseen määrään samassa paikassa. Käyttäjä voi antaa verrannollisuuskertoimen, altistusajan sekä tehollisen puoliintumisaajan iholla. Vaatteiden pinnalla oleva kontaminaatio aiheuttaa paljon pienemmän annoksen kuin paljaalle iholle deposoitunut materiaali.

2.3.2 Sisäisen annoksen laskenta

Pilvessä olevan pitoisuuden aiheuttama hengitysansannos lasketaan integroidun ilmapitoisuuden, hengitysnopeuden ja annos/yksikköpitoisuus -tekijöiden tulona. Hengitysnopeuden tulisi olla aikuisen arvo, koska annosmuunnoskertoimet ovat aikuiselle. Resuspension aiheuttama annos lasketaan samoista tekijöistä, mutta pitoisuus arvioidaan laskeumasta riippuvalla kaavalla, jonka kertoimet käyttäjä voi antaa. Maaperän pitoisuudessa otetaan huomioon radioaktiivinen hajoaminen sekä migraatio syvemmälle maahan.

Koska ravinnosta ei lasketa yksilöannoksia, perustuu altistusreitin väestöannoksen laskenta laskeuman, ravintoainepitoisuuden yksikkölaskeumaa kohden, tuotetun ravintoainemäärän ja ravintoaineessa olevan yksikköpitoisuuden aiheuttaman annoksen tuloon. Altistus alkaa päästön alkaessa. Eräät ravintoaineet voidaan jakaa tuoreeseen, jonka kulutusviive on lyhyt sekä jalostettuun osaan, jonka kulutusviive on pitempi. Nämä viiveet käyttäjä voi antaa. Ravintoainemallin parametrien arvioidaan olevan sopivia keski- ja pohjoiseurooppalaisessa viljelyssä. Ravintoaineet ovat: lehmän maito, naudan liha, naudan maksa, lampaanliha, lampaan maksa, vihannekset, juurekset ja vilja.

2.4 Terveysvaikutukset

Terveysvaikutusten laskenta jaetaan varhais- ja myöhäisvaikutusten laskentaan. Varhaisvaikutusten (fatal ja non-fatal) laskenta perustuu NRC:n ja NRPB:n suosittelemiin riskimalleihin (hazard function)/2,5,6/. Mallin elimet ja niiden vaikutukset parametreineen (muotokerroin, kynnysarvo ja se annoksen arvo, jolla puolet

altistuvasta väestöstä saa terveysvaikutuksen) käyvät ilmi taulukosta I. Malleihin sisältyy myös annosnopeusriippuvuuksia siten, että pienen annosnopeuden aiheuttama riski on myös alhaisempi kuin suuren annosnopeuden. Tämän laskemiseksi pitää annokset laskea aikaväleittäin. Luuytimelle ja keuhkoille on käytössä hieman tarkempi malli kuin muille elimille (taulukko II). Myöskin usean eri elimen annoksen aiheuttaman riskin yhteisvaikutus otetaan huomioon laskemalla yhdistetty riski.

Myöhäisvaikutuksina käsitellään 11 syöpälajia sekä perinnöllisiä seurauksia. Luuytimen altistuksesta aiheutuva leukemia sekä luunpinnan altistuksesta aiheutuva syöpä lasketaan absoluuttisen riskin periaatteella, jolloin ei oleteta riippuvuutta normaalista taustalla vallitsevasta syöpäriskistä. Muiden syöpälajien riskikertoimet perustuvat suhteelliseen malliin, jossa otetaan huomioon väestön taustariski sekä ikä- ja kauma altistuksen aikana. Myöskin tässä lasketaan sekä kuolemaanjohtavat että ei-fataalit tapaukset lineaarisen kertoimen, jolla ei ole kynnysarvoa, avulla. Myöhäisvaikutusten laskenta on kokonaisuudessaan komplisoitu tehtävä, koska väestö koostuu eri ikäisistä yksilöistä ja ilmenevät syövät voivat esiintyä vasta vaihtele- van latenssiajan jälkeen ja lisäksi altistusta voi tapahtua pitkän ajan kuluessa, joka tulisi ottaa huomioon riskiä laskettaessa. Tämän takia tässä ohjelmaversiossa riski lasketaan yksinkertaisemmin annoksen ja riskikertoimen tulona. Käyttäjä voi valita joko GSF:n tai ICRP-60:n riskikertoimet, jotka on annettu taulukossa III. Näin napakoordinaatin pisteessä lasketun yksilöriskin avulla saadaan väestön riski kertomalla se väestömäärällä. Ravintoaineannosten riskiä laskettaessa oletetaan, että tuotanto ja kulutus tapahtuvat samassa paikassa.

2.5 Vastatoimenpiteet

Vastatoimenpiteillä pyritään rajoittamaan joko akuuttia säteilyaltistusta onnettomuuden alkuvaiheessa ja pian sen jälkeen tai myöhempää altistusta laskeuman johdosta. Vastatoimenpiteiden mallinnus on pyritty tekemään mahdollisimman joustavaksi, jotta eri käyttäjät pystyisivät soveltamaan vapaasti haluamiaan toimenpiteitä kriteereitään.

Taulukko I. PC COSYMA:ssa käytetyt oletusarvot terveydellisten varhaisvaikutusten mallinnuksessa /2/.

dose in organ/tissue		effect	slope parameter	median dose D50 (Sv) (1) upper end of exposure interval (days)					threshold (Sv)
external irradiation	internal irradiation			S	1	7	14	30	
		mortality							
lung	lung	pulmonary syndrome	7.0	See table 2b					5.0
red bone marrow	red bone marrow	haematopoietic syndrome	6.0	See table 2b					2.3
remainder (2)	-	gastrointestinal syndrome	10.0	15.0	35.0	-	-	-	10.0
skin	-	skin burns (5%)	4.7	35.0	50.0	-	-	-	23.0
ovaries	uterus	pre- and neonatal death (3)	3.0	1.0	-	-	-	-	0.1
		morbidity							
lung	lung	lung function impairment	7.0	See table 2b					2.3
thyroid	thyroid	hypothyroidism	1.3	60.0	-	-	external exposure		2.0
				-	-	-	300.0 iodine inhalation		10.0
skin	-	skin burns	4.7	35.0	50.0	-	-	-	23.0
skin	-	cataracts	1.5	3.1	-	6.2	-	9.3	1.0
ovaries	uterus	mental retardation (3)	4.1	-	-	-	-	-	0.1

Notes

- (1) In accidents involving releases of α -emitters, the absorbed dose should be multiplied by a factor to account for the relative biological effectiveness of acute α - irradiation.
- (2) Since the dose conversion factors for the GI-tract were not included in the GSF-data, the calculations are based on the dose to the remainder organs.
- (3) Risks predicted using these parameters have to be multiplied by 0.01 to be applicable to the general population, to allow for the fraction of that population who are pregnant at any one time

Mahdolliset vastatoimenpiteet ovat: sisällesuojautuminen, evakuointi (suojaväistö), joditabletit, maaperän ja rakennusten puhdistus, väestön pitempiäaikainen poissiirto (relokaatio) ja elintarvikkeiden käyttökielto. Näiden kumoaminen tapahtuu määritellyn kriteerin pohjalta. Sekä varhais- että myöhäisvaikutuksiin voi vaikuttaa paikallissuojautumisella, evakuoinnilla ja joditableteilla. Maaperän ja rakennusten puhdistus, väestön pitempiäaikainen poissiirto ja elintarvikkeiden käyttökielto vaikuttavat vain myöhäisvaikutusten määrään. Aluksi lasketaan vastatoimenpiteen vaikutus annokseen ja terveysvaikutusten riskiin. Tämän pelkän annostulostuksen lisäksi on vastatoimenpiteiden vaikutusta ympäristössä havainnollistettu siten, että tulostetaan vastatoimenpiteen todennäköisyys etäisyyspisteittäin ja sektoreittain sekä henkilömäärä ja

Taulukko II. PC COSYMA:n oletusarvot terveydellisille varhaisvaikutuksille keuhko- ja luuydinannoksen laskennassa /2/.

Effect	D ₅₀	D ₀ Gy ² /hour
Mortality		
Pulmonary syndrome	10.0	30.0
Haematopoietic syndrome	3.00	0.072
Morbidity		
Lung function impairment	5.00	15.00

Note

- (1) For these effects the D50 in any time period k given by D₅₀ + D0/dose rate.

alueen koko, joita vastatoimenpide koskettaa sekä elintarvikkeiden osalta hylätyn elintarvikkeen määrä.

Taulukko III. PC COSYMA:n oletusarvot myöhäisvaikutusten riskikertoimille /2/.

Organ	Effect	Fraction of cancers which are fatal	Risk per Sv (1)	
			Based on GSF	Based on ICRP-60
Bone marrow	Leukaemia	1.00	5.16E-03	5.00E-04
Bone surface	Cancer	1.00	1.33E-04	5.00E-04
Breast	Cancer	0.40	8.00E-03	2.00E-04
Lung	Cancer	0.75	9.00E-04	8.50E-04
Stomach	Cancer	0.85	9.05E-04	1.10E-02
Colon	Cancer	0.55	3.43E-04	8.50E-04
Liver	Cancer	1.00	4.67E-03	1.50E-03
Pancreas	Cancer	0.90	5.26E-03	2.60E-03 (2)
Thyroid	Cancer	0.10	1,77E-03	8.00E-04
Skin	Cancer	0.01	1.38E-04	2.00E-04
Remainder	Cancer	0.60	3.86E-04	9.30E-04 (3)
Total			5.05E-02	5.00E-02
Gonads	Hereditary		2.00E-02	2.00E-02

Notes

- (1) For leukaemia and cancer, these give the risk of a fatal effect. For hereditary effects, it gives the risk of severe effects in all future generations.
- (2) ICRP does not consider this organ. The value is obtained from the GSF value using a DDREF of 2.0.
- (3) This covers all organs not identified above, and is not the same as the ICRP remainder.

Taulukko IV. PC COSYMA:ssa käytössä olevat vastatoimenpiteet, niihin liittyvät altistusreitit sekä niiden oletusarvoiset integrointiajat /2/.

Action invoked	Dose combination considered	Default integration period
Sheltering only ^(1, 2)	Cloud γ dose	n.a. ⁽³⁾
	Deposited γ dose	7 days
	Inhalation dose	50 years
Sheltering and evacuation ^(1, 2)	Cloud γ dose	n.a. ⁽³⁾
	Deposited γ dose	7 days
	Inhalation dose	50 years
Relocation	Cloud γ dose	n.c. ⁽⁴⁾
	Deposited γ dose	1 year
	Inhalation dose	n.c. ⁽⁴⁾
	Inhalation of resuspended material	n.c. ⁽⁴⁾
Stable iodine tablets	Automatic only	
Return from evacuation or relocation	Cloud γ dose	n.c. ⁽⁴⁾
	Deposited γ dose	1 year
	Inhalation dose	n.c. ⁽⁴⁾
	Inhalation of resuspended material	n.c. ⁽⁴⁾
Food bans	Concentration in food	instantaneous

Notes

- (1) These actions may also be invoked automatically.
- (2) If these actions are both invoked on the basis of dose, then the same set of organs and integration times must be used for both.
- (3) An integration period is not applicable for this route of exposure. The dose from the whole of the plume passage is considered.
- (4) This route of exposure can be considered in the criterion, but is not included by default

Taulukko V. PC COSYMA:ssa käytössä olevat vastatoimenpiteet sekä niiden elinkohtaisiin annoksiin liittyvät oletusarvoiset toimenpiderajat /2/.

Action invoked	Organ considered	Default dose intervention level Sv
Sheltering ⁽¹⁾	Bone marrow	n.c ⁽²⁾
	Lung	0,05
	GI Tract	n.c (2)
	Thyroid	0,05
	Effective dose	0,005
Sheltering and evacuation ⁽¹⁾	Bone marrow	n.c ⁽²⁾
	Lung	0,5
	GI Tract	n.c ⁽²⁾
	Thyroid	0,5
	Effective dose	0,05
Relocation	Effective dose	0,05
Return from relocation or evacuation	Effective dose	0,025

Notes

(1) If both these actions are considered, the same set of organs must be used, but the intervention levels may be different.

(2) This organ can be considered, but it is not included by default.

Taulukko VI. PC COSYMA:ssa käytössä olevat elintarvikkeiden vastatoimenpiteiden nuklidiryhmät ja niiden oletusarvot /2/.

Nuclide groups	Intervention level ⁽¹⁾	
	For milk Bq/l	For other foods Bq/kg
Strontium	125	750
Iodine	500	2000
α-emitters	20	80
Caesium	1000	1250

Notes

(1) Different levels can be used for imposing and withdrawing food bans. The default values are the same for both. The levels are those recommended by CEC (reference 42).

Taulukossa IV on esitetty vastatoimenpiteet, niihin liittyvät annosreitit ja mahdollisten integrointiaikojen oletusajat. Taulukossa V on esitetty elinkohtaisiin annoksiin perustuvat kriteerit ja taulukossa VI elintarvikkeiden käyttökiellon ja poistamisen kriteerit oletusarvoina pitoisuuksille. Joditabletin käyttö suoritetaan aina auto-

maattisesti, sisällesuojautuminen ja evakuointi voidaan suorittaa joko automaattisesti tietyllä alueella tai annoskriteerin perusteella ja muiden toimenpiteiden käyttöönotto perustuu aina annoskriteeriin paitsi elintarvikkeiden osalta kriteeri ilmoitetaan pitoisuutena tuotteessa. Automaattisten toimenpiteiden käsittelyä havainnol-

listaa kuva 1. Sisällesuojautumiseen ja evakuointiin liittyvät aikatekijät on esitetty kuvassa 2, jonka mukaan on mahdollista käsitellä määrätty viive vastatoimenpiteen aloittamiselle, sisällesuojautumisen kesto, ajoaika alueelta pois, viive alueen A evakuoinnin loppumisesta alueen B evakuoinnin alkamiseen sekä aikaviive ihon puhdistamiseen alueilta A ja B evakuoinnin jälkeen.

Vastatoimenpide voi olla joko yksittäinen tai useamman toimenpiteen yhdistelmä. Myös annoskriteeri voi perustua eri annosreittien summaan. Evakuointi tapahtuu vuorokauden kuluessa ja väestön pitempiäaikainen poissiirto muutaman viikon kuluessa päästön alusta lukien. Lyhin toimenpiteiden aikaskaala on yksi tunti, mutta usein myös yksi vuorokausi. Suojauskerroimet voidaan määrittää annosreiteittäin normaaleissa ja sisällesuojautumisen olosuhteissa sekä evakuoinnin aikana. Alueet A, B ja S määritellään siten, että kukin napakoordinaation piste kuuluu vain yhteen näistä alueista tai sitten kokonaan niiden ulkopuolelle.

2.5.1 Pelkkä sisällesuojautuminen

Kuvassa 1 alue S kuvaa sisällesuojautumista, kun mitään muuta vastatoimenpidettä ei suoriteta. Se aloitetaan annoskriteerillä, joka perustuu joko pilvestä tai laskeumasta tulevaan ulkoiseen annokseen tai hengityksen kautta tulevaan sisäiseen annokseen tai näiden yhdistelmiin. Automaattinen sisällesuojautuminen on mahdollista vain pitkän ajan vaikutuksia laskettaessa käyttäjän määrittelemän ympyrän sisällä. Molemmissa tapauksissa on annettava suojautumisen kesto-aika. Annoskriteeriin perustuvassa vaihtoehdossa ohjelma automaattisesti kasvattaa suojautumisaikaa, mikäli pilvi ei ole vielä kulkenut ohi. Tämä voi kasvattaa sisällesuojautumisaikaa olennaisesti alkuperäiseen asetukseen verrattuna.

2.5.2 Sisällesuojautuminen ja sitä seuraava evakuointi

Evakuointi voidaan suorittaa joko automaattisesti kuvan 1 alueella A, jonka määräävät pienempi ympyrän säde r sekä suuremman säteen R ja kulman α rajaama alue tai sitten

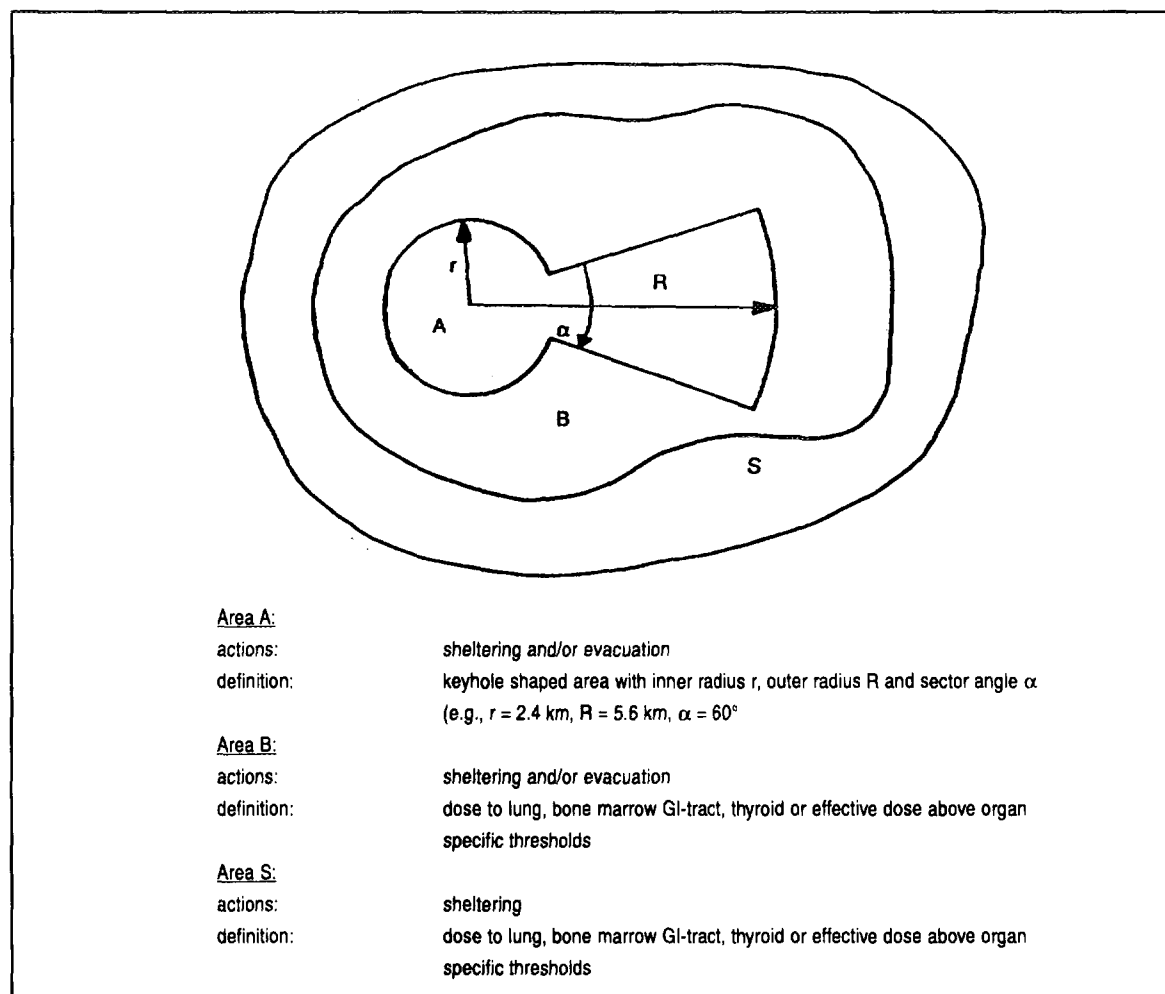
annokseen perustuen alueella B. Toimenpidealueeksi voidaan valita jompikumpi näistä tai molemmat. Alueen B käsittely on verrannollinen edellisen kohdan alueen S käsittelylle. Evakuointia edeltää aina sisällesuojautuminen. Käyttäjä voi antaa säteille r ja R yhtä suuret arvot, jolloin evakuointialueeksi tulee ympyrä tai antaa $r:n$ arvoksi nollan, jolloin evakuointialueeksi saadaan sektori. Ohjelma valitsee sektorin päästön alussa vallitsevan tuulensuunnan perusteella. Annoskriteeri voi perustua vapaasti valittuun annosyhdistelmään halutulta ajanjaksoilta. Jopa eri elimille voidaan asettaa erilaiset annoskriteerit. Kuitenkin samat annosreitit, elimet, integrointiajat ja suojauskertoimet ovat käytössä alueilla B ja S, vaikkakin toimenpide-tasot voivat olla erisuuruiset. Evakuointi tapahtuu, jos minkä tahansa elimen annoskriteeri ylittyy. Ohjelma tarjoaa mahdollisuuden kasvattaa annoskriteeriä suuremmilla etäisyyksillä, jotta laajoilla alueilla ei jouduttaisi suurten väestömäärien evakuointiin.

Koska toimenpiteet voivat tapahtua nopeammin alueella A, voidaan viiveille antaa erisuuret arvot alueella A ja B. Evakuoinnin alkamisen viiveeksi voidaan antaa myös nolla, joka kuvaa spontaania evakuointia. Evakuoinnin aikana kertyvä annos lasketaan lähtöpaikan annosnopeuden ja vaaditun matkustusajan perusteella. Alueen B evakuointi voi aikaisintaan alkaa vasta kun alueen A evakuointi on loppunut. Ajoaika oletetaan samaksi sekä automaattisessa että annoskriteeriin perustuvassa evakuoinnissa.

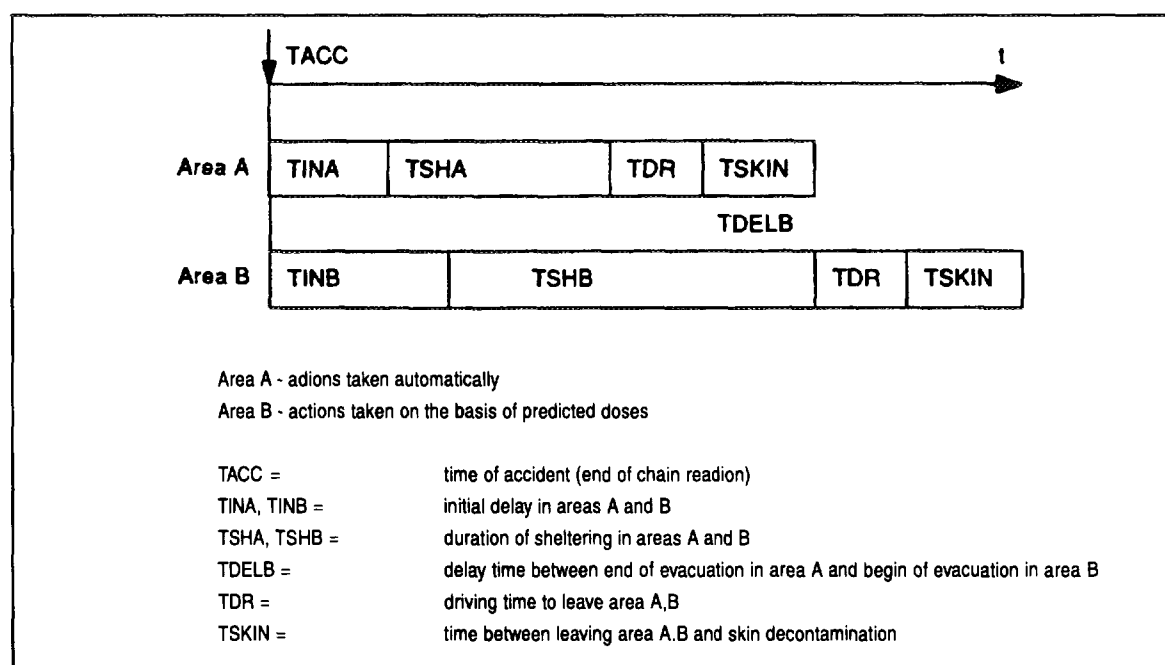
Sisällesuojautuvan väestön suojaustekijät voidaan antaa kolmessa aikajaksossa: ennen suojautumista, sen aikana sekä evakuoinnin aikana, joka tarkoittaa kulkuvälineiden suojauskerrointa.

2.5.3 Joditabletti

Joditabletin käyttö määräytyy automaattisesti käyttäjän määrittelemän ympyrän sisällä, jonka alan ei tarvitse riippua muiden toimenpiteiden alueista. Joditabletilla rajoitetaan radioaktiivisen jodin kilpirauhaselle aiheuttamaa annosta, joka riippuu altistuksen alkamisen ja tabletin nautinnan välisestä viiveestä. PC COSYMA:ssa tabletin vaikutuksen käsittely on yksinkertais-



Kuva 1. Välittömien vastatoimenpiteiden mallinnus PC COSYMA:ssa /2/.



Kuva 2. Sisällesuojautumisen ja evakuoinnin aikamääreet PC COSYMA:ssa /2/.

tettu siten, että mallille annetaan haluttu kerroin (1), jolla kilpirauhasen annos kerrotaan määrättyllä alueella paikasta ja altistuksen ajasta riippumatta.

2.5.4 Väestön pitempiaikainen poissiirto

Väestön pitempiaikainen poissiirto tapahtuu muutaman päivän kuluttua onnettomuudesta ja siten se vaikuttaa myöhäisvaikutusten riskiin. Toimenpide perustuu efektiivisen annoksen kriteeriin täysin itsenäisenä vastatoimenpiteenä, eikä sitä voida yhdistää aiempaan sisällesuojautumiseen. Käytössä olevat annosreitit ovat ulkoinen annos pilvestä ja laskeumasta sekä sisäinen annos hengityksen kautta pilven ja resuspension aiheuttamista maanpintapitoisuuksista. Resuspension ja laskeuman osalta voidaan antaa annoksen integrointiajat (< 1 vuosi), joiden tulisi olla riittävän lyhyet, jotta kriteerit vastaisivat hetkellisiä annosnopeuksia. Hengitysansokset integroidaan vain määrättyyn ajanhetkeen saakka eikä annoskertymän tapaan. Sisäänhengitetystä radioaktiivisesta aineesta aiheutuva annos voi kertyä suurimmaksi osaksi jo lyhyen ajan kuluessa reaktorionnettomuuksien tapauksissa, mutta laskeumasta voi annosta kertyä oleellisesti vielä myöhemminkin. Sen väestön osan, jota ei ole evakuoitu ennen väestönsiirtoa, annokset lasketaan suojauksiltaan normaaliolosuhteiden mukaisesti. Poissiirron kuluessa väestö ei saa annosta.

Väestön paluu evakuoinnin tai pitempiaikaisen poissiirron jälkeen vanhalle asuinalueelleen ta-

pahtuu saman annoskriteerin pohjalta. Tällöin tarkastellaan annosta vuoden aika-askelilla ja jos se alittaa kriteerin, väestö palaa alueelle. Efektiivinen annos voi olla laskettuna joko ulkoinen annos laskeumasta tai hengitysannos pilvestä tai resuspensiosta tai molempien summa. Uudelleen asuttaminen ja puhdistus käsitellään yhdessä. Puhdistamisen ansiosta takaisinpaluuta voidaan aikaistaa. Ensin verrataan tilannetta suurimman aika-askelen kohdalla, onko annos pienempi kuin kriteeri. Jos näin on, väestö palaa alueelle eikä puhdistusta tarvita. Jos kriteeri ei täyty sovelletaan puhdistusta ja katsotaan täyttyykö kriteeri sitten. Käyttäjä voi määritellä puhdistuksen aikajaksot ja yhden puhdistuskertoimen. Paluun jälkeen sovelletaan normaaleja suojausolosuhteita ja mikäli maaperän puhdistus on suoritettu niin laskeuman aiheuttama annos jaetaan puhdistuskertoimella (>1).

2.5.5 Elintarvikkeiden käyttökielto

Maataloustuotteiden toimenpidetasot annetaan tuotteen pitoisuusarvona nuklidikohtaisesti kahdelle elintarvikeryhmälle: maidolle ja ei-maitotuotteille. Tämä menettely vastaa EU:n toimenpidetasomenettelyä. Tasot kuvaavat elintarvikkeiden pitoisuusarvoja tuoreessa tuotteessa eli ilman mitään viivettä tuotannon ja kulutuksen välillä. Tuotteelle annetaan sekä toimenpideraja että toimenpiteen poistoraja, joiden ei tarvitse välttämättä olla samoja. Nuklidiryhmät ovat: kesium, strontium, jodi ja α -säteilijät.

3 OHJELMISTON KÄYTTÖKELPOISUUS

Seuraavassa on esitelty käyttäjän kannalta oleellisia havaintoja PC COSYMA:n käytettävyydestä. Ohjelmaversiomme on laajempi 1.0-versio, jonka laskentamahdollisuudet ovat kootuna:

- 1) ilmapitoisuus ja laskeuma napakoordinaatin pisteessä,
- 2) annos määritetyltä ajanjaksolta napakoordinaatin pisteessä tai keskimääräisenä annoksena etäisyyspisteessä,
- 3) väestöannos,
- 4) varhais- ja myöhäisvaikutusten (fatal ja non-fatal) yksilöriski etäisyyden funktiona,
- 5) varhais- ja myöhäisvaikutusten (fatal ja non-fatal) lukumäärä väestöjakauman pohjalta,
- 6) vastatoimenpiteisiin liittyen:
 - vastatoimenpiteen kesto napakoordinaatin pisteessä,
 - henkilöiden ja alueiden määrä ja niiden aikaintegraalit,
 - hylätyn ruoan määrä.

Merkittävimmät rajoitukset verrattuna ohjelman pääversioon ovat:

- 1) leviämismallina on suoraviivainen MUSEMET-malli,
- 2) vastatoimenpiteiden aiheuttamia taloudellisia seurauksia ei sisälly laskentaan,
- 3) ravintoaineista ei saada yksilöannoksia,
- 4) päästöjaksoja on enintään kolme, joiden kesto on kiinteä yksi tunti,
- 5) nuklidien lukumäärä on 50,
- 6) vastatoimenpiteet ovat rajoitetumpia mm. seuraavasti:
 - väestön osien suojaus eri ajanjaksoina on yksinkertaistettu,
 - evakuoinnin ja väestönsiirron yksinkertaistettu matkustusmalli,
 - elintarvikkeiden käyttökieltokriteerit vain pitoisuuteen perustuen.

Ohjelmalla ei voi laskea suoranaisesti vastatoimenpiteellä säästettyä annosta. Annoskriteerit perustuvat vain annokseen eikä esimerkiksi ulkoiseen annosnopeuteen. Lisäksi vasta-toimenpiteistä aiheutuvien taloudellisten vaikutusten laskenta puuttuu kokonaan. Liitteessä 1 on tarkasteltu taloudellisten vaikutusten laskennan periaatteita ja siihen liittyvien parametrien määrittästä COSYMA:ssa.

Sovellusosassa on ARANO-ohjelmalla laskettu eräitä tilanteita vertailtavuuden vuoksi ja siten myös havaittuja eroavuuksia näiden kahden ohjelman välillä on pyritty tuomaan esiin. Dispersion osalta ehkä merkittävin eroavuus on se, että PC COSYMA:n MUSEMET-mallissa käytetään pystysuuntaisen sekoittumisen kuvaamiseen perinteistä Gaussin jakaumaa, mutta ARANO:ssa diffuusioyhtälön ratkaisuun perustuvaa ns. K_z -mallia, jossa kuivadepositio vaikuttaa pystysuuntaisen profiilin muotoon. Taulukoissa VII ja VIII on esitetty kaikki aktiivisessa käytössä olevat kotimaiset ilmaleviämistä ja ympäristön seurausvaikutuksia laskevat tietokoneohjelmat tärkeimpien ominaisuuksiensa mukaan eriteltynä. Kuten taulukosta käy ilmi on ARANO ainoa PC COSYMA:an verrattavissa oleva kotimainen ohjelma. Kansainvälisellä tasolla eri maiden käyttämiä ohjelmia on vertailtu OECD/NEA:n ja CEC:n järjestämässä vertailussa, jossa COSYMA:n pääversio ja ARANO-ohjelma olivat mukana neljän muun ohjelman kanssa /7,8/.

PC COSYMA:n käyttöliittymä perustuu hiirellä ja näppäimistöllä ohjattaviin valikoihin ja siten sen käyttö on visuaalisesti helppoa. Sekä lähtötietojen syöttö että tulosten katselu tapahtuvat valikkonäyttöjen kautta. Valikoiden käytön oppii ehkä parhaiten ”istu ja kokeile” -menetel-

Taulukko VII. Kotimaiset radioaktiivisten päästöjen ilmeviämisen- ja annoslaskentamallit.

Malli	ARANO	OIVA	ROSA	TRADOS	TUULET
Kehittäjä	IL, VTT	STUK, IL	VTT	IL, VTT	IVO
Käyttäjä	VTT	STUK	IVO, TVO, VTT	IL, VTT	IVO, TVO
Leviämismalli, ulottuvuus	suoraviivainen K_2 , lähialue, mesoskaala	trajektori K_2 , lähialue, mesoskaala	suoraviivainen K_2 , lähialue	trajektori K_2 , mesoskaala, kaukokulkeutuminen	suoraviivainen Gauss, lähialue, mesoskaala
Annoslaskenta	pilvi, laskeuma, hengitys, ravintoaineet	pilvi, laskeuma, hengitys	pilvi, laskeuma, hengitys	pilvi, laskeuma, hengitys, ravintoaineet	pilvi, laskeuma, hengitys, ravintoaineet
Vastatoimenpiteet	suojaus, evakuointi, joditabletit, väestönsiirto, maaperän puhdistus	–	–	–	–
Terveysvaikutukset	varh.+myöh.	–	–	–	–
Taloudelliset vaikutukset	vastatoimien kustannukset	–	–	–	–
Deterministiset, todennäk. laskut sääaineistolla	det + tod	det	det	det + tod	det+tod
Käyttötarkoitus	tutkimus	valmiusohjelma, tutkimus	reaaliaikainen valmiusohjelma harjoittelu	tutkimus, valmiusohjelma	tutkimus

Taulukko VIII. Mallien ohjelma- ja laiteominaisuudet.

Malli	ARANO	OIVA	ROSA	TRADOS	TUULET
Ohjelmointikieli	Fortran	Fortran	Fortran, C	Fortran, C	Fortran
Käyttöympäristö	PC/DOS/OS2	VAX/VMS	PC/OS2, VAX/VMS	Työasema/UNIX	VAX/VMS, PC/DOS
Käyttöliittymä	tiedostot	VMS virtual + grafiikka	GKS/CGI	C/Motif	tiedostot

mällä, joka on yleistynyt kaikissa kaupallisissa PC-ohjelmissa. Tämän menetelmän periaate on, että varsinaisten ohjelman käyttöön opastavien manuaalien käyttö ei ole tarpeen vaan käyttöliittymä tarjoaa riittävästi opastusta. Ohjelman käyttäjille on järjestetty myös maksullisia noin viikon kestäviä kursseja.

Kaikilla parametreilla on oletusarvot ja niitä muuttamalla käyttäjä voi suorittaa melko sujuvasti herkkyystarkasteluja. Kuitenkin parametrien sallitut arvot puuttuvat, mikä voi aiheuttaa turhaa epätietoisuutta niiden vaihtelualueen laajuudesta. Annetut lähtötiedot voi tallettaa tiedostoksi (*.SAV), jota voi käyttää jatkossa pohjana uusia syöttötiedostoja muodostettaessa. Sen sijaan laskentatuloksina säilyvät vain vii-

meisimmän ajon tulokset. Ohjelman käyttöön liittyvä manuaali on myös hyvin käyttäjäystävällinen /9/. Kuitenkin ohjelmaa käytettäessä voi törmätä kysymyksiin, joihin vastausta joutuu hakemaan KfK:n tai NRPB:n COSYMA-raporteista. Niiden mallien kuvaukset koskevat kuitenkin ohjelman pääversiota, joten aina ei niistäkään saata löytää vastausta kysymyksiin. COSYMA:n käyttäjille tarkoitettu lehti "COSYMA Newsletter" ilmestyy myös tarpeen mukaan muutaman kerran vuodessa /10/. Lehdessä esitetään ajankohtaisia asioita COSYMA-ohjelmien kehityksestä ja sovelluksista. On myöskin perustettu ohjelman käyttäjien ryhmä "COSYMA Users Group", johon kokoonnutaan noin kerran vuodessa vaihtamaan mielipiteitä mallin kehittäjien ja käyttäjien välillä /11,12/.

4 OPERATIIVISET TYÖVAIHEET

PC COSYMA:n käyttöönotto on kuvattu luvussa 4.1 ja ohjelman käyttösovelluksissa ilmenneitä havaintoja on kuvattu luvussa 4.2. Käytännössä projekti jakaantui kolmeen tehtäväalueeseen siten, että:

- 1) COSYMA saatiin toimimaan PC-ympäristössä riittävällä Olkiluodon ympäristödatalla ja sääaineistolla,
- 2) suorittamalla sovelluslaskelmia ensisijaiseksi valitulle Teollisuuden Voiman (TVO) Olkiluodon laitokselle,
- 3) lopuksi kootaan uudistettu laitoskohtainen ympäristödata Tilastokeskuksen tiedoista.

4.1 Ohjelman käyttöönotto ja lähtötiedot

PC COSYMA:n hankinta tapahtui allekirjoittamalla kahdenkeskinen sopimus EU:n kanssa ja maksamalla lisensiointimaksu, jonka jälkeen NRPB toimitti ohjelman levykkeillä. Tähän prosessiin kului aikaa noin kaksi kuukautta. Versio 2.0 on luvattu ilmaiseksi version 1.0 lunastaneille. Liitteessä 2 on kuvattu kokemukset ohjelman asentamisesta PC:n kovalevylle ja testiajon suoritus.

Ohjelman mukana tulee koko Euroopan väestö- ja maataloustuotantojakauma pituus-leveysastehilaan jaettuna sekä COSYMAGR.EXE-ohjelma, jolla siitä voi muodostaa tiettyyn laitospaikkaan liittyvät napakoordinaattimuotoiset jakaumat. Euroopan alueen hila on harva (keskimäärin 10 km · 10 km), joten suositellaan käytettävän tarkempia laitoskohtaisia ympäristötietoja. Lisäksi data-alue ulottuu esimerkiksi pohjoisessa vain Keski-Suomen korkeudelle. Kätevinä on korvata muodostuneen napakoordinaatiston data omalla datalla editoria käyttäen huolehtien

kuitenkin ehdottomasti formaatin säilymisestä, koska muutoin ohjelma kaatuu ajovaiheessa ilmoittamatta selkeästi virheen syytä. Ainakin MS-DOS:in EDIT -editori tallettaa tiedoston sopivaan muotoon. Sen sijaan MS-FORTRAN:in editoria ei tehnyt sitä, vaikka tiedosto oli visuaalisesti aivan samankaltainen kuin ensin mainitun editorin. Olkiluodon ja Loviisan osalta on käytössä Tilastokeskuksen toimittama vuoden 1989 väestöjakauma 100 km:n etäisyydelle 30 asteen sektorikoolla ja oletettu keskimääräinen väestötiheys 30 asukasta/km² 300 km:n etäisyydelle asti. Varhaisvaikutusten laskennassa tarkkuuden varmistamiseksi olisi lähialueen väestöjakauma sijoitettava riittävän tiheään etäisyyshilaan. Esimerkiksi alle 10 kilometrin säteellä voitaisiin suositella yhden kilometrin askelta. Kauempana askelta voidaan reilusti kasvattaa. Maataloustuotannon osalta on käytössä jo vanhentunut jakauma vuodelta 1982.

Tässä vaiheessa olennainen tekijä napakoordinaatiston valinnassa on sopivan etäisyysvälin ohella sektorikoko, jonka vaikutus tulee ilmi laskennassa vasta myöhemmin. Koska ohjelma käyttää laskennassa sektorin/pilven keskiakselin arvoja, olisi edullisinta käyttää mahdollisimman pientä sektorikokoa. Minimikoko on viisi astetta ja maksimikoko 180 astetta. Tässä työssä tehdyissä laskuissa on käytetty samaa sektorikokoa kuin ARANO:ssa on kiinteänä asetuksena eli 30 astetta. On myös todettava, että sektori numero yksi suuntautuu pohjoiseen eikä pohjoisesta oikealle kuten ARANO:ssa.

Myöskin esimerkinomainen säädata seuraa ohjelmapaketin mukana, jota voi käyttää vain testiajon suorituksessa. TVO:lta on saatu eräs laitoksen säämastolta vuoden aikajaksolta mi-

tattu tunnittainen säädädata, jonka sadetieto on kuitenkin muualta länsirannikolta. Lisäksi aineisto sisältää tyhjiä jaksoja, joille on pitänyt kehittää nollasta poikkeava säätieto. Nyt se on tehty peilausperiaatteella, jossa puuttuva jakso on korvattu sitä edeltäneeltä ajanjaksolta kääntäen järjestyksessä. Myös tuulennopeuden arvo nolla on korvattu arvolla 0,1 m/s. Ohjelmiston mukana tulee MAKE_MET.EXE-ohjelma, jolla säädädata kirjoitetaan oikeaan formaattiin.

Laitoksella uudistetun mittaussysteemin ansiosta täydellisempi säädädata saataneen piakkoin käyttöön. Loviisasta on jo nyt olemassa vuoden aineisto, jossa on mukana myös laitospaikalla mitattu sademäärä.

4.2 Sovelluslaskut

Ohjelmaa voidaan käyttää sekä deterministiseen että todennäköisyyspohjaiseen laskentaan. Deterministinen lasku koskee yksittäistä leviämistilannetta, todennäköisyyslaskussa voidaan käsitellä laitospaikan tunnittaista säätietoa ja sen jakautumista tilastollisesti eri luokkiin. Seuraavassa on käsitelty ne laskentatilanteet, jotka STUK:n kanssa sovittiin sovelluskohteiksi.

4.2.1 Yksittäisen leviämistilanteen pitoisuus- ja annoslaskut

Yleensä ilmaleviämisen ja annoslaskentamalleilla on ollut helpointa laskea yksilöannos pilven/ sektorin keskiakselilla etäisyyden funktiona määrittäessä leviämistilanteessa. Tämä osoittautui PC COSYMA:lla aluksi suhteellisen vaikeaselkoiseksi ja etenkin työlääksi tehtäväksi, koska ohjelma tulostaa haluttuja arvoja vain kahdessa napakoordinaatiston pisteessä yhdessä ajossa. Siten käyttäjä joutuu antamaan syöttötiedoissa viisi kertaa kaksi etäisyyspistettä, jos haluaa laskea arvot kilometrin välein alueella 1-10 km. Esimerkiksi ARANO:ssa vastaava tulos saadaan yhdellä ajokerralla. Alkuvaiheessa käyttäjä kummastutti tulosten riippuvuus käyttäjän antamasta sektorikoosta, koska mitä suurempi sektori sitä suurempi tulos.

Ensimmäisessä Users Groupin kokouksessa huhtikuussa 1994 palautettiin mieliin ohjelman alkuperäinen tarkoitus, joka ei suinkaan ole tällaisten yksittäisten leviämistilanteiden laskenta. COSYMA on tarkoitettu ensisijaisesti todennäköisyyspohjaiseen seurausvaikutusten arviointiin.

PC COSYMA laskee ensin pilven keskiakselin arvot "value at grid point" -pisteissä, jotka saadaan tuloksissa kohdasta "value at grid point". Tämän ohella lasketaan "mean value", joka on edellä mainittujen arvojen summa jaettuna sektorien lukumäärällä. Nyt sektorin leveys voi olla korkeintaan 180 astetta, jolloin nollasta poikkeavia arvoja esiintyy vain toisessa sektorissa, mikäli oletetaan suoraviivainen leviäminen. Tämä voidaan todeta siten, että kerrotaan "mean value"-arvo sektorien lukumäärällä ja verrataan tulosta "value at grid point"-arvoon. Tässä jää vielä auki sivusuuntaisen dispersion määrittäminen sektorin sisällä. Mikäli pilvivana on tarpeeksi leveä, tulostuu myös viereisiin sektoreihin nollasta poikkeavia lukuarvoja.

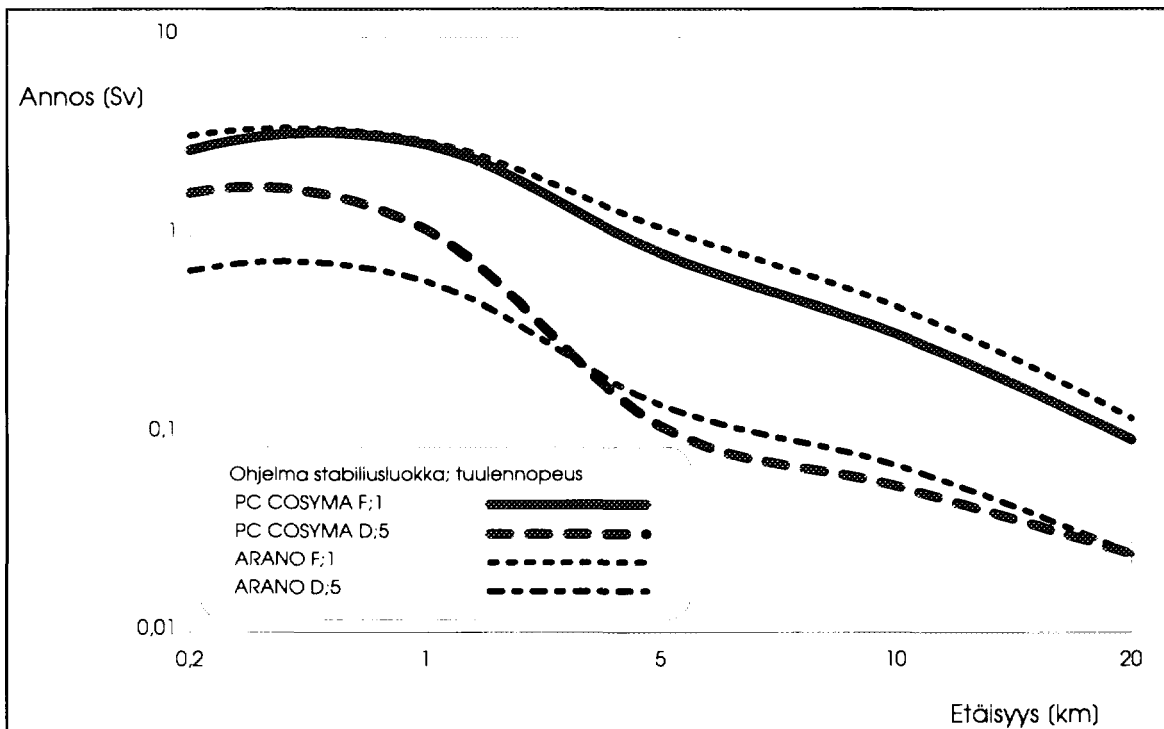
Käyttäjien kokouksessa korostettiin sektorikoon valitsemista hyvin pieneksi, koska ohjelma käyttää laskennassa keskiakselin arvoja. Siten esimerkiksi laskettaessa välittömiä terveysvaikutuksia sektorikoko voi olennaisesti vaikuttaa tulokseen. Esimerkiksi ARANO:ssa määritetään annos poistuttaessa keskiakselilta pois päin yhdessätoista kulmasta riippuvassa etäisyyspisteessä ja verrataan niissä annosta terveysvaikutuskriteeriin. Näin saadaan koko 30 asteen sektorissa keskimääräinen kriteerin ylittymisosuus. Sama menettely tehdään vierussektorille. COSYMA:ssa sen sijaan käytetään vain keskiakselin annosta ja mikäli sektorikoko on hyvin pieni, ei epätarkkuus tule kovin suureksi. Mutta jos käytetään 30 asteen sektorikokoa, ei keskiakselin arvo kuvaa koko sektorin alueella vallitsevaa keskimääräistä tilannetta kovin hyvin. Tämän takia COSYMA:ssa tulisi käyttää mahdollisimman pientä sektorikokoa. Tämä tietysti edellyttää ympäristön jakaumien laskemista vastaavaan kokoon eli on ajettava uudelleen COSYMAGR.EXE-ohjelma.

Kokemukset näistä alkuvaiheen sovelluslaskuista on esitetty myös liitteessä 3. Vertailulaskut on tehty ARANO:lla ja mukana on myös IVO:n TUULET-ohjelmalla laskettuja arvoja /13/. Vertailun mukaan eri ohjelmien pitoisuuksia koskevat tulokset ovat melko samansuuntaiset. Pitoisuuslaskennan tulosten rinnastaminen annoksiin on suoraviivaista hengitysannoksen osalta, mutta ulkoisen annoksen laskenta pilvestä ja laskeumasta tulevasta säteilystä riippuu käytetystä menetelmästä. Kuitenkin yleisperiaate on sama eli annos on jollain tavalla verrannollinen pitoisuuteen. Kuvassa 3 on esitetty 100 prosenttisen piipusta tapahtuvan jalokaasupäästön aiheuttama pilvigamma-annos etäisyyden funktiona kahdessa yksittäisessä leviämistilanteessa. Kuvaajien vertailu osoittaa, että lähialueella ARANO antaa neutraalissa tilanteessa pienemmän annoksen kuin PC COSYMA, mutta kauempänä tilanne kääntyy toisinpäin, joskin eroavuus pienenee. Stabiilissa tilanteessa ARANO antaa aivan lähialueella suuremman annoksen kuin PC COSYMA, mutta yli yhden kilometrin etäisyyksillä eroavuus kääntyy toisinpäin. Eroavuudet eivät ole kovin suuria ja tulokset sopivat molemmissa tapauksissa melko hyvin yhteen.

4.2.2 TVO:n poistokaasujärjestelmän vaurioon liittyvät annoslaskut

STUK:n esittämänä käsiteltiin TVO:n poistokaasujärjestelmän 341 vaurion annoslaskentaa, josta oli vertailukohtana olemassa TUULET-ohjelmalla TVO:ssa lasketut tulokset. Päästö koostuu jalokaasuista ja halogeeneista taulukon IX mukaisesti. Päästökorkeutena on 20 m ja päästön kestoksi asetetaan 3 tuntia. Jodin oletetaan olevan alkuainemuodossa. Ulkoinen annos on TUULET-ohjelmassa laskettu yhden vuoden ajalta ja hengitysannos 50 vuoden annoskertymänä. Väestöannos on laskettu 100 km:n etäisyydelle. Suojaustekijöinä käytetään ulkona olevan henkilön kertoimia eli pilvelle ja hengitykselle arvoa 1 ja laskeumalle arvoa 0,7.

PC COSYMA:ssa ei radioaktiivista hajoamista päästön kuluessa voi estää ja siksi on päästön kestoksi valittu aluksi yksi tunti. Tämä yleensä vaikuttaa pilven leveyteen kaventavasti, joten keskiakselin annokset kasvavat. ARANO:ssa voidaan päästää annettu becquerel-määrä sitä hajoittamatta ennen dispersiota, jonka aikana radioaktiivinen hajoaminen ja tytärnuklidien muodostuminen käsitellään automaattisesti. Kos-



Kuva 3. Ulkoinen pilvigamma-annos leviämisakselilla kahdessa eri leviämistilanteessa, kun päästö on 100 % jalokaasuja. Päästökorkeus on 100 metriä ja päästön kesto yksi tunti.

Taulukko IX. TVO:n poistokaasujärjestelmän 341 päästö onnettomuustilanteessa.

Nuklidi	Päästö ympäristöön
Jalokaasut:	[TBq]
Kr-83m	3,1
Kr-85m	12
Kr-85	0,13
Kr-87	11
Kr-88	24
Xe-131m	1,2
Xe-133m	20
Xe-133	440
Xe-135m	5,2
Xe-135	44
Xe-138	16
Halogeenit:	[GBq]
I-131	1,66
I-133	0,92
I-134	0,12
I-135	0,48

ka laskennassa käytetään vuoden säätä, saadaan etäisyyspisteen keskimääräinen annos sijoittamalla yksi henkilö kuhunkin sektoriin tällä etäisyydellä ja nollaamalla muiden pisteiden asukasmäärät. Tällöin lasketaan itse asiassa myös väestöannos 12 ihmisen populaatiolle, joten yksilöannos saadaan lopulta jakamalla tulos luvulla 12.

Kaikki sovelluslaskuissa käytetyt "stratified sampling"-poiminnat perustuvat viitteen /9/ kohdassa 4.11.1 esitettyyn leviämistilanteiden luokittelu- ja poimintaperiaatteeseen. Taulukkoon X on koottu laskennan tuloksia. TUULET-ohjelman yksilöannokset ovat niitä arvoja, jotka ylittyvät vain 0,5 prosentin todennäköisyydellä (väestöannoksessa on kuitenkin käytetty 5 % ylitystodennäköisyyttä) eli lähes maksimi-arvoja. PC COSYMA:n ja ARANO:n tulosten maksimi-arvot ovat selvästi pienempiä (suurimmillaan kertaluokkaa) kuin TUULET-ohjelman arvot. ARANO:ssa on ulkoista laskeuma-annosta integroitu yksi vuosi. PC COSYMA:n laskeumasta tuleva annos 50 vuoden kuluessa kertyvä, koska sen laskenta-aikaa ei voi määrittellä pitkän ajan annoksia laskettaessa. Sen sijaan aikavälillä 1—365 vuorokautta voi antaa annoksen integrointiajan elinoloille annok-

Taulukko X. TVO:n poistokaasujärjestelmän 341 vaurion annosarviot (o=odotusarvo, m=maksimi-arvo). PC COSYMA:ssa oletuksena on "stratified sampling"-poiminta leviämistilanteiden luokittelussa ja 1 tunnin päästö, lisäksi on kaksi tulosta syklistä poiminnasta. TUULET- ja ARANO-ohjelmissa on käytetty päästön kestona 3 tuntia.

OHJELMA	TUULET	PC COSYMA	ARANO
Etäisyys 1 km, [Sv]	$6,9 \cdot 10^{-5}$ (99,5 %) ¹⁾	$2,6 \cdot 10^{-6}$ (o) $7,2 \cdot 10^{-6}$ (m)	$4,7 \cdot 10^{-6}$ (o) $1,5 \cdot 10^{-5}$ (m)
Etäisyys 3 km, [Sv]	$3,4 \cdot 10^{-5}$ (99,5 %) ¹⁾	$6,4 \cdot 10^{-7}$ (o) $1,4 \cdot 10^{-6}$ (m)	$1,1 \cdot 10^{-6}$ (o) $3,3 \cdot 10^{-6}$ (m)
Väestöannos [manSv]	0,75 (95 %) ²⁾	$1,2 \cdot 10^{-2}$ (o) $1,2 \cdot 10^{-1}$ (m) ravinnosta 1,3 % syklinen poiminta: $1,1 \cdot 10^{-2}$ (o) $1,1 \cdot 10^{-1}$ (m) syklinen poiminta ja 3 h päästö: $1,1 \cdot 10^{-2}$ (o) $8,6 \cdot 10^{-2}$ (m)	$1,1 \cdot 10^{-2}$ (o) $1,3 \cdot 10^{-1}$ (m) ravinnosta ³⁾

¹⁾ annos ylittyy 0,05 %:n todennäköisyydellä

²⁾ annos ylittyy 0,5 %:n todennäköisyydellä

³⁾ elintarvikkeista odotusarvona $2 \cdot 10^{-3}$, mutta maksimiannos kesällä $2 \cdot 10^{-1}$

sille. Esimerkiksi nyt saadaan vuoden pituiselta ajalta vain noin 10 prosenttia pienempi luuydinannos kuin pitkän ajan efektiivinen annos on. Tähän vaikuttaa se, että suoraan pilvestä tulee 98 % kokonaisannoksesta, joten laskeuman integrointiajan merkitys on vähäinen. Kr-88 aiheuttaa 50 % pilviannoksesta.

PC COSYMA:n väestöannos on laskettu 300 kilometrin etäisyydelle, mutta ARANO:n ja TUULET:n 100 kilometrin säteellä. PC COSYMA:lla on laskettu vertailun vuoksi myös kaksi ajoa käyttäen syklistä säänäytteen poimintaa. Vertailu osoittaa, että tässä laskussa syklisen poiminnan ja "stratified sampling"-poiminnan vaikutuksesta ei aiheudu paljon eroavuutta tuloksiin. Jaettaessa myös PC COSYMA:n päästö kolmeen peräkkäiseen jaksoon, jotka leviävät kukin omaan suuntaansa, tulee maksimiannos hieman pienemmäksi kuin jos päästö on tunnin mittainen. Odotusarvoihin ei päästön jakamisella ole vaikutusta, mikä kuvanee sitä, että väestöannosta kertyy aina melko tasaisesti meene pä pilvi mihin tahansa suuntaan.

ARANO:n maksimiannos elintarvikkeista on kesäolosuhteissa kaksinkertainen ei-ravintoainereiteistä tulevaan maksimiannokseen verrattuna. PC COSYMA:n tulokset osoittavat, että yhtään välitöntä terveysvaikutusta ei päästöstä ilmene ja myöhäisvaikutusten yksilöriski jää alle arvon $1 \cdot 10^{-7}$ ja myöhäisvaikutusten odotusarvoksi tulee $6 \cdot 10^{-4}$ tapausta. Tapausten määrä on kaikissa leviämistilanteissa alle yhden, joten CCDF-käyristä ei tulostu numerotietoja, koska PC COSYMA:ssa on kiinteän tarkastelualueen alarajan absoluuttisena arvona 1. Ohjelma ilmoittaa todennäköisyyden, jolla tulos jää alle ykkösen. Jotta CCDF-käyriä voitaisiin muodostaa myös silloin, kun absoluuttiset arvot jäävät alle yhden, pitäisi esimerkiksi päästö kertoa jollain suurella luvulla ja sitten lopuksi jakaa CCDF:n arvot tällä luvulla. Tämä on mahdollista vain sellaisten tulosten osalta, joilla ei ole kynnysarvoa, kuten esimerkiksi väestöannos, mutta ei taas terveysvaikutusten kohdalla.

4.2.3 Vakavaan reaktorionnettomuuteen liittyvän päästön raja-arvo

YVL-ohje 7.1 (perustuu valtioneuvoston päätökseen 395/91) määrittelee vakavan reaktori-

onnettomuuden päästön raja-arvon siten, että siitä ei saa aiheutua ympäristön väestölle välitöntä terveyshaittoja eikä pitkäaikaisia rajoituksia laajojen maa-alueiden käytölle. Tämän viimeksimainitun vaatimuksen täyttämiseksi on vapautuvan kesiumin isotoopin 137 päästökseen määriteltävä enintään 100 TBq. Muiden (kuin kesiumisotopien) radioaktiivisten aineiden päästö ei saa aiheuttaa pitkällä aikavälillä, alkaen kolmen kuukauden kuluttua onnettomuuden jälkeen, suurempaa vaaraa kuin edellä mainittu kesiumpäästö aiheuttaisi /14/.

Tämän määritelmän seurauksena voidaan ensin arvioida, mitkä ovat mainitun kesiumpäästön seuraukset, jonka jälkeen voidaan yrittää hakea vastaaviin seurauksiin johtavaa muiden aineiden päästön suuruutta. Vastaava muiden aineiden päästö voi koostua teoriassa joukosta hyvin erilaisia päästöjä (nuklidikohtainen päästö, päästön korkeus ja kesto).

Lasketaan ensin kesiumpäästön aiheuttamia säteilyannoksia. 100 TBq Cs-137 isotooppia vastaa noin 0,05 prosenttia TVO:n inventaarista. Otetaan mukaan myös Cs-134 isotooppi, jonka päästömääräksi tällä prosenttiosuudella saataisiin myös 100 TBq. Koska kuitenkin on tiedossa Loviisan osalta vastaavia laskuja (suoritettu vuonna 1988 /15/), joissa on Cs-134 isotoopin päästönä käytetty arvoa 125 TBq, valitaan sama määrä näihin laskuihin.

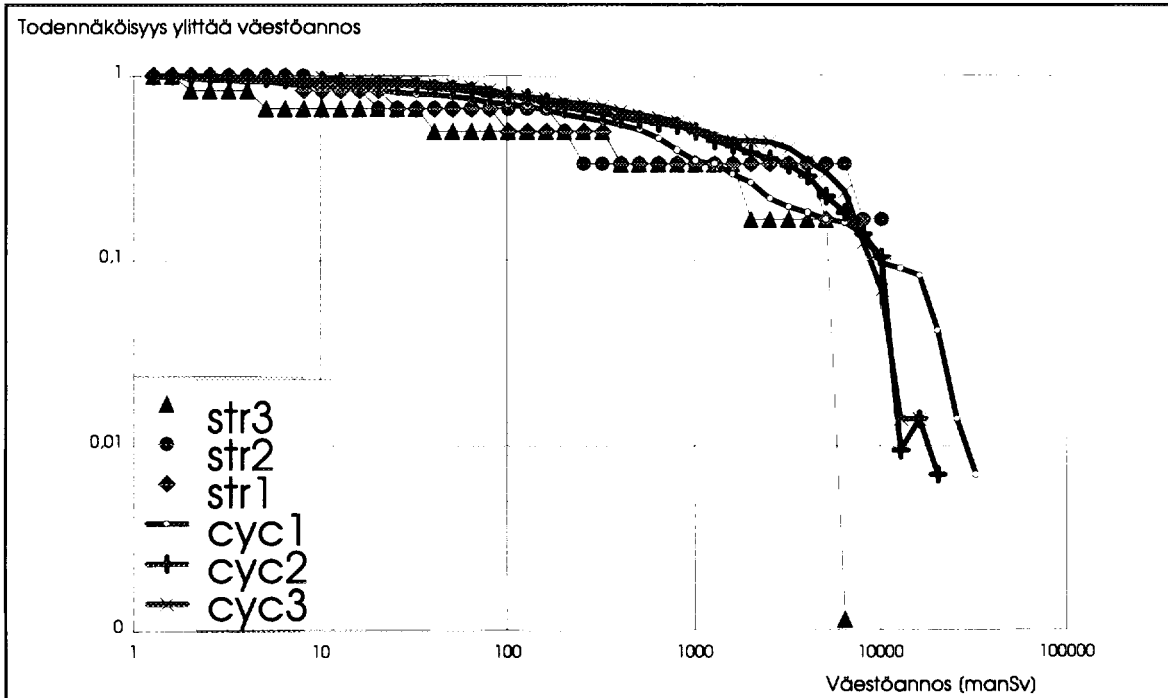
Tässä on helpointa laskea annoksia, mutta myös johonkin raja-arvoon perustuvan saastuneen alueen koko kiinnostaa. PC COSYMA:ssa laskettava saastuneen alueen pinta-ala perustuu jonkin vastatoimenpiteen suorittamiseen, eikä sitä voi laskea kuten ARANO:ssa, jossa voi laskea sen alueen pinta-alan, jolla annos ylittää määrätyn raja-arvon.

Käytetään päästökorkeutena 20 metriä ja päästön kestonä kolmea tuntia. Suojauskertoimena käytetään arvoja 0,5 (pilvi) ja 0,3 (laskeuma). Annosreiteinä on nyt käsitelty: pilvigamma, hengitys, laskeumagamma, maito, naudanliha, vihannekset, vilja ja juurekset.

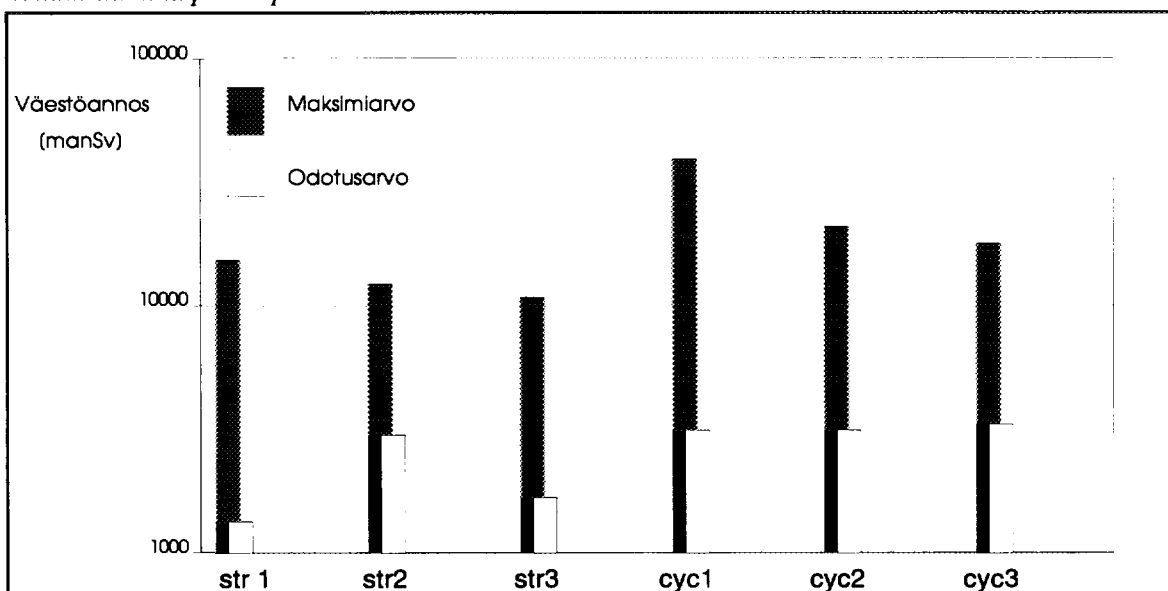
Kuvassa 4 on esitetty eri näytteenottomenetelyiden vaikutusta väestöannoksen CCDF-käyriin. Leviämissuunnan kolme vaihtoehtoista kä-

sittelymahdollisuutta on sisällytetty parametri-
na kuvaan. Koska "stratified sampling"-menet-
telystä on vain 20 poimintaryhmää kuudessa
suunnassa (eikä kaikissa suunnissa löydy näyt-
teitä), näkyy niitä vastaavissa käyrissä askel-
maista muotoa. Sen sijaan syklisen poiminnan

käyrät ovat tasaisemmin laskevia, koska näyttei-
tä on 144 johtaen erisuuriin arvoihin. Lisäksi
viimemainitun maksimiarvoalue sisältää huo-
mattavasti suurempia lukuja kuin "stratified
sampling"-menettelyllä on saatu. Kuvassa 5 on
esitetty vastaavien käyrien odotus- ja maksimi-



Kuva 4. Kesiumpäästöstä seuraavan (100 TBq Cs137, 125 TBq Cs134) väestöannoksen (pilvigamma+hengitys+laskeumagamma+maito+naudanliha+vihannekset+vilja+juurekset) kumulatiivinen komplementaarinen todennäköisyysjakauma vaihtoehtoisilla säänäytteiden poiminnoilla. Päästön kesto on 3 tuntia. Parametrina on PC COSYMA:n stratified sampling (str) ja cyclic sampling (cyc) -menetelmät, joissa on 3 eri leviämissuunnan käsittelyä: 1= kaikki jaksot ensimmäisen päästöjakson suuntaan, 2= kukin päästöjakso omaan suuntaansa ja 3= kukin jakso noudattaa aina päästöpaikan tunnitista leviämissuuntaa.



Kuva 5. Yllä olevan kuvan CCDF-käyrien maksimi- ja odotusarvot. Pylväät kuvaavat eri näytteenottomenetelmiä.

arvot. Tässä tapauksessa ”stratified sampling”-menettely tuottaa pienempiä odotus- ja maksimiarvoja kuin syklinen poimintamenettely. Erot jäävät alle tekijän neljä.

Tämän päästön merkittävyyttä kuvaa yksilöännoksen suuruus esimerkiksi siten, että 50 vuoden efektiivinen annos 10 kilometrin etäisyydellä on keskimäärin luokkaa yksi mSv. PC COSYMA:n laskemat varhaisvaikutukset ovat aina nolla ja myöhäisvaikutusten kokonaismäärät jäävät odotusarvoina arvoalueille 85-168 ja maksimiarvoina 542—1957.

Kuvassa 6 on havainnollistettu eri annoskomponenttien osuutta kokonaisannoksessa. Absoluuttisena väestöannoksena ARANO antaa noin puolet siitä mitä PC COSYMA. ARANO:ssa annosten integrointiaika on 30 vuotta, kun PC COSYMA:ssa se on 50 vuotta. ARANO:n ulkoinen annos on karkeasti ottaen samaa luokkaa kuin PC COSYMA:n, mutta sen elintarvikkeiden aiheuttama annos jää huomattavasti pienemmäksi.

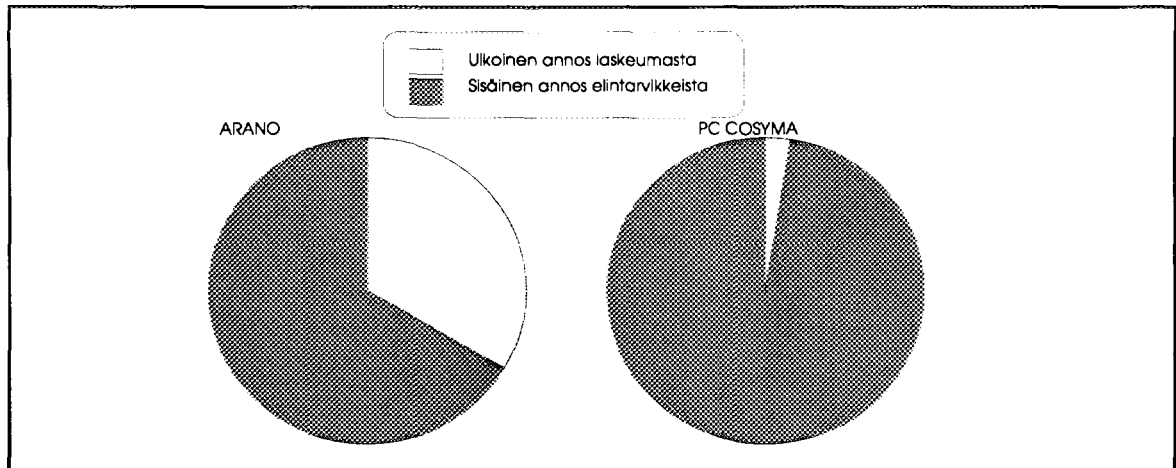
Kesiumpäästön aiheuttamaa saastuneen alueen pinta-alaa esittää kuva 7. Kuvaan on koottu nyt laskettujen tulosten lisäksi aiemman Hästholmenin ympäristölle ARANO:lla aiemmin lasketut tulokset /15/. Pinta-alan määrittäminen perustuu ulkoiseen annokseen 30 vuoden kuluessa kahdella eri kriteerillä 0,1 Sv ja 0,3 Sv. PC COSYMA:lla laskenta voidaan toteuttaa siten, että annetaan tämä arvo väestönsiirtokriteeriksi 30 vuoden ulkoisena annoksena laskeumasta. Nyt väestönsiirron ajankohdalla ei ole merkitystä. Näin laskettuna PC COSYMA antaa hieman pienempiä pinta-aloja kuin ARANO. Absoluuttisella tasolla maksimiarvoja kuvaavat alueet voisivat ulottua noin kahdeksan kilometrin päähän Olkiluodon ympäristössä kriteerillä 0,1 Sv ja olettamalla, että pinta-ala koostuu yhden sektorin peittämästä alueesta. Käyttämällä kriteeriä 0,3 Sv supistuisi maksimietäisyys vajaan viiteen kilometriin.

Kun haetaan YVL-ohjeessa mainittujen muiden aineiden päästöä, joka kolmen kuukauden jälkeen enintään aiheuttaisi vastaavan annoksen kuin alkuperäinen kesiumpäästö, joudutaan ite-

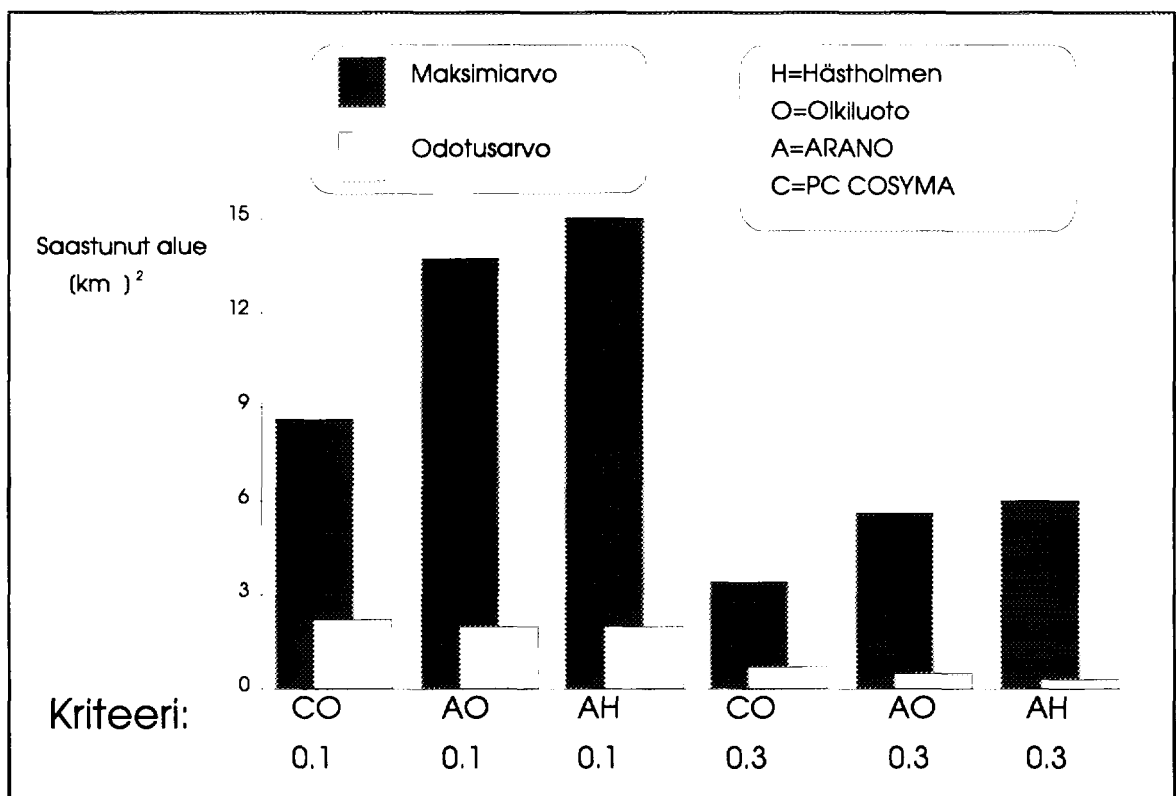
raatiomenettelyyn. Koska PC COSYMA:ssa ei voi suoraan antaa annosten integroinnin alkuaikaa, voidaan yrittää laskea annos hetkestä nolla eri pituisille ajoille ja ottaa tarvittavat erotukset odotusarvoista. Tässä on helpointa tarkastella ulkoista annosta laskeumasta. Ravintoaineannokset saattaisivat vaikuttaa päästön suuruuteen hieman toisella tavalla, mutta niitä ei tässä yhteydessä käsitellä. Lyhyen ajan annoksia voi integroida aina yhteen vuoteen saakka, mutta niistä ei saada väestöannosta. Siten voidaan yrittää laskea kolmen kuukauden efektiivinen väestöannos siten, että annetaan väestön siirtokriteeriksi hyvin pieni luku, jolloin koko väestö siirrettäisiin pois. Toisaalta on tiedossa 50 vuoden annos ilman mitään vastatoimenpiteitä. Näiden erotusta optimoidaan siten, että annos asettuisi kesiumpäästöstä saadulle tasolle. Tämä johtaa iteratiiviseen menettelyyn. Tätä laskentamenettelyä suoritettaessa havaittiin, että mikäli väestönsiirron ajanhetki menee muutama viikon päähän, sillä ei ole enää vaikutusta väestöannokseen. Ohjeissa mainitaan vain, että väestönsiirron ajanhetken tulisi olla riittävän lyhyt. Kuva 8 esittää väestöannoksen odotusarvon riippuvuutta väestönsiirron ajankohdasta. Kuvasta näkyy väestöannoksen tasoittuminen mikäli käyttäjä antaa väestönsiirron ajankohdaksi 90 vuorokautta. Siten ohjelma käyttää sisäisesti pienempää ajanhetkeä väestönsiirrolle kuin mitä käyttäjä yrittää tarjota. Tästä syystä alkuperäiseen kysymykseen muun päästön koosta ei PC COSYMA:lla saada tällä laskentatavalla vastausta.

4.2.4 Vakavaan onnettomuuteen liittyvät vastatoimenpidelaskelmat

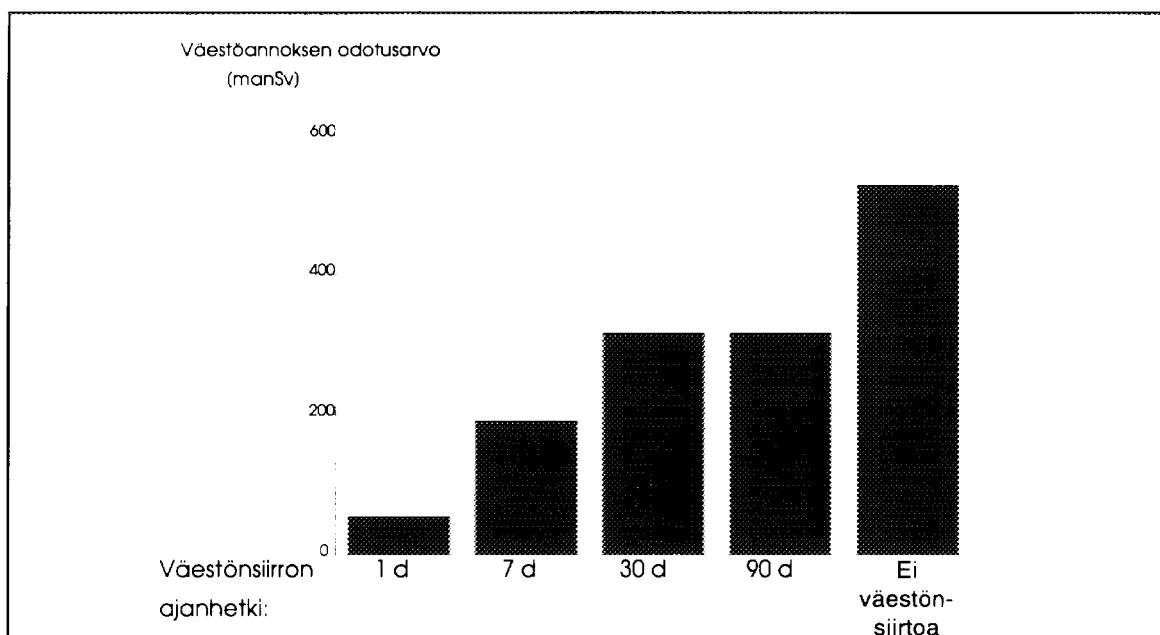
Vastatoimenpiteiden laskentamahdollisuuksiin perehdyttiin tarkastelemalla nopeita toimenpiteitä: sisällesuojautumista ja evakointia vakavan onnettomuuden yhteydessä Olkiluodon ympäristössä. Käyttäjälähtymällä voi muodostaa tätä tilannetta varten monenlaisia vastatoimenpide-kombinaatioita. Näiden toimivuus voi kuitenkin vasta paljastua ohjelman ajonaikaisena ilmoituksena, että jokin toimenpide ei ole järkevä. Esimerkkinä yllättävistä vaikeuksista voitaneen mainita tilanne, jossa haluttiin laskea pelkän sisällesuojautumisen vaikutusta varhais-



Kuva 6. Kesiumpäästön (100 TBq Cs137 ja 125 TBq Cs134) annoskomponenttien osuudet pitkän ajan väestöannoksessa ARANO:lla ja PC COSYMA:lla laskettuna odotusarvosta. Muiden kuin kuvassa mainittujen annoskomponenttien merkitys on häviävän pieni.



Kuva 7. Saastuneen alueen pinta-ala Olkiluodon ympäristössä, laskettuna PC COSYMA:lla ja ARANO:lla sekä Hästholmenin ympäristössä ARANO:lla. Saastumiskriteeri perustuu ulkoiseen säteilyannokseen laskeumasta 30 vuoden kuluessa kahdella eri kriteerillä. Päästö on kesiumpäästö (100 TBq Cs137 ja 125 TBq Cs134).



Kuva 8. Väestönsiirron ajanhetken vaikutus laskeumasta tulevaan ulkoiseen väestöannokseen 50 vuoden kuluessa PC COSYMA:ssa.

ja myöhäisvaikutuksiin. Tällaisen yksinkertaiselta vaikuttavan laskun suorittaminen osoittautui käytännössä suorastaan mahdottomaksi.

Sisällesuojautuminen voidaan käsitellä evakuoinnin yhteydessä varhaisvaikutusosassa tai itsenäisenä toimenpiteenä myöhäisvaikutusosassa. Edellisessä tapauksessa kuitenkin tuli ajon aikainen ilmoitus, että sisällesuojautuminen ei lopu 24 tunnin kuluessa, mikä taas johtuu leviämistilanteista, joissa tuulennopeus on erittäin pieni. Ohjelma siirtää automaattisesti sisällesuojautumisajan loppumista siten, että väestö ei lopeta toimenpidettä ennen kuin pilvi on ohittanut alueen. Myöhäisvaikutusosassa sisällesuojautumisella on vaikutusta vain myöhäisvaikutuksiin.

Jos valitaan sisällesuojautuminen ja evakuointi, ei takaisinpaluun käsittelyä ole kovin selkeästi esitetty. Ilmeistä on, että tällä valinnalla ei evakuoitu väestö koskaan palaa lähtöpaikalleen.

Takaisinpaluulla ei tietenkään ole vaikutusta varhaisvaikutuksiin, mutta pitkän ajan väestöannoksen ja myöhäisvaikutusten arviointiin kyläkin. Takaisinpaluu voitaisiin yhdistää ilmeisesti vain käsittelemällä samassa ajossa lisäksi kohta ”väestön pitempiaikainen poissiirto ja puhdistus”, jossa on mahdollista antaa takaisinpaluukriteeri.

Aluksi piti määritellä päästön suuruus, jolla myös varhaisvaikutuksia ilmenisi. Ensin kiinnitettiin päästöjaksojen lukumäärä kolmeen siten, että ne tapahtuvat aikavälillä 1—2, 2—3 ja 3—4 tuntia pikasulusta ja 20 metrin korkeudelta. Käyttämällä syklistä poimintaa 61 tunnin askelella osoittautui, että taulukon XI mukainen päästö aiheuttaisi maksimissaan muutaman akuutin kuoleman luuydinvauriona ja ruoansulatuskanavan vauriona normaaleissa elinolosuhteissa. Tässä on jokainen päästöjakso levinnyt omaan suuntaansa ja siten sen vaikutus voi olla akuuteihin tapauksiin pienentävä verrattuna tilanteeseen, jossa päästö leviää kokonaan samaan suuntaan. Koska TVO:n inventaarissa on yli 50 nuklidia, saatiin ohjelma toimimaan konvertoimalla ensin Pu-, Am- ja Cm-isotooppien inventaarit ekvivalentiksi Pu-240 -isotoopiksi painottamalla niitä hengitysannostekijöiden avulla.

Taulukkoon XII on koottu laskentaan ja vastatoimenpiteisiin liittyviä parametreja. Nopeasti toteutettavina vastatoimenpiteinä käsiteltiin kaksi tilannetta. Ensimmäisessä suoritettiin väestön sisällesuojaus ja sitä seuraava evakuointi 7,5 kilometrin säteellä kuuden tunnin kuluttua onnettomuuden alusta. Toisessa vaihtoehdossa suoritettiin samat toimenpiteet niiden yksilöiden osalta, joiden ulkoinen efektiivinen annos vuorokauden kuluessa ylittäisi 50 mSv. Näiden henkilöiden evakuointi olisi suoritettu loppuu

Taulukko XI. Vakavan päästön parametrisointi PC COSYMA:a varten päästöjaksottain. Efektiivinen päästökorkeus on kullakin jaksolla 20 metriä.

Päästön aika pikasulusta [h]	1—2	2—3	3—4
Päästöosuus jaksottain	Jakso 1	Jakso 2	Jakso 3
Jalokaasut (Ar,Kr,Xe)	0,5	0,25	0,25
Jodit	0,2	0,1	0,1
Alkalimetallit (Na,Rb,Cs)	0,1	0,05	0,05
Telluurit (Sb,Te)	0,1	0,05	0,05
Alk. maametallit (Sr,Ag,Ba)	0,0015	0,00075	0,00075
Jalometallit (Mo,Tc,Co,Zn,Ru,Rh,...)	0,0005	0,00025	0,00025
Metallioksidit (Y,Zr,La,Nb,Cr,...)	0,0005	0,00025	0,00025

Taulukko XII. Vakavan päästön seurauksia laskettaessa käytetyt väestön suojausta koskevat parametrit. Muiden kuin taulukossa mainittujen altistusreittien merkitys on rajattu pois asettamalla niiden suojauskertoimeksi hyvin pienet luvut.

Suojauskerroin	Pilvi	Laskeuma	Hengitys
Normaaliolosuhteet	0,6	0,3	0,3
Sisällesuojaututtaessa *)	0,3	0,15	0,15
Evakuoinnin aikana ajoneuvoissa	1	0,7	1

*) Myös alkuviiheen aikana käytetään näitä suojauskertoimia.

Lisäksi asetettiin kuvaan 2 liittyvät parametrit seuraavasti (TACC=0):

1) Automaattinen sisällesuojautuminen ja evakuointi 7,5 km:n säteeltä
TINA 1 h, TSHA 5 h, TDR 1 h, TSKIN 1 h

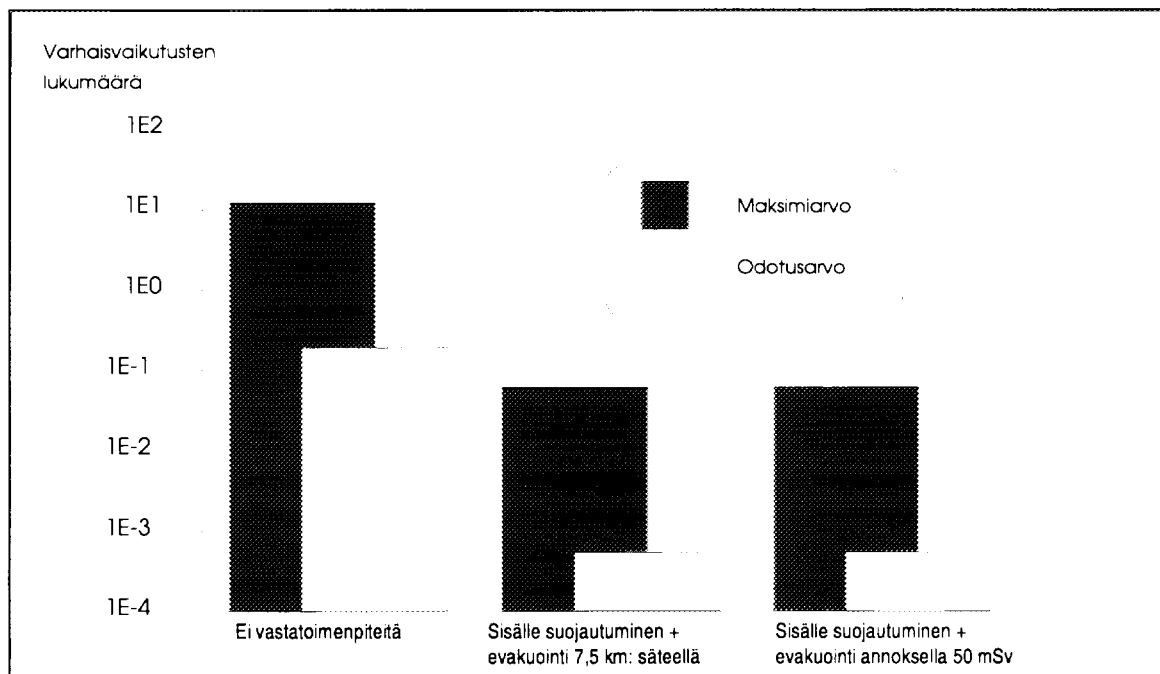
2) Sisällesuojautuminen ja evakuointi efektiivisellä annoksella 50 mSv
TINB 2 h, TDELB 1 h, TDR 1 h, TSKIN 1 h.

neljän tunnin kuluttua onnettomuuden alusta eli päästön juuri loputtua. Ohjelmassa kuvatun alkuviiheen (TINA ja TINB) aikana väestön oletetaan jo olevan sisällesuojautuneena, koska päästön alulla oletetaan olevan yhden tunnin aikaviive. Laskennassa käytettiin terveysvaikutusmallien parametreina ohjelman tarjoamia oletusarvoja. Tulokseen vaikuttaa lähialueen harva väestöjakauma (esimerkiksi 4 km:n säteellä 12 asukasta) ja se, että normaaliolosuhteissakin fataalien vaikutusten riski menee nol- laan hyvin nopeasti: keuhkovaurio 2,5 km, luuydinvaurio 8,5 km ja ruoansulatuskanava- vaurio 3,5 km. Altistusreittinä käsitellään ul- koinen annos pilvestä ja laskeumasta sekä sisäinen annos hengityksestä pilven ohikulun aikana.

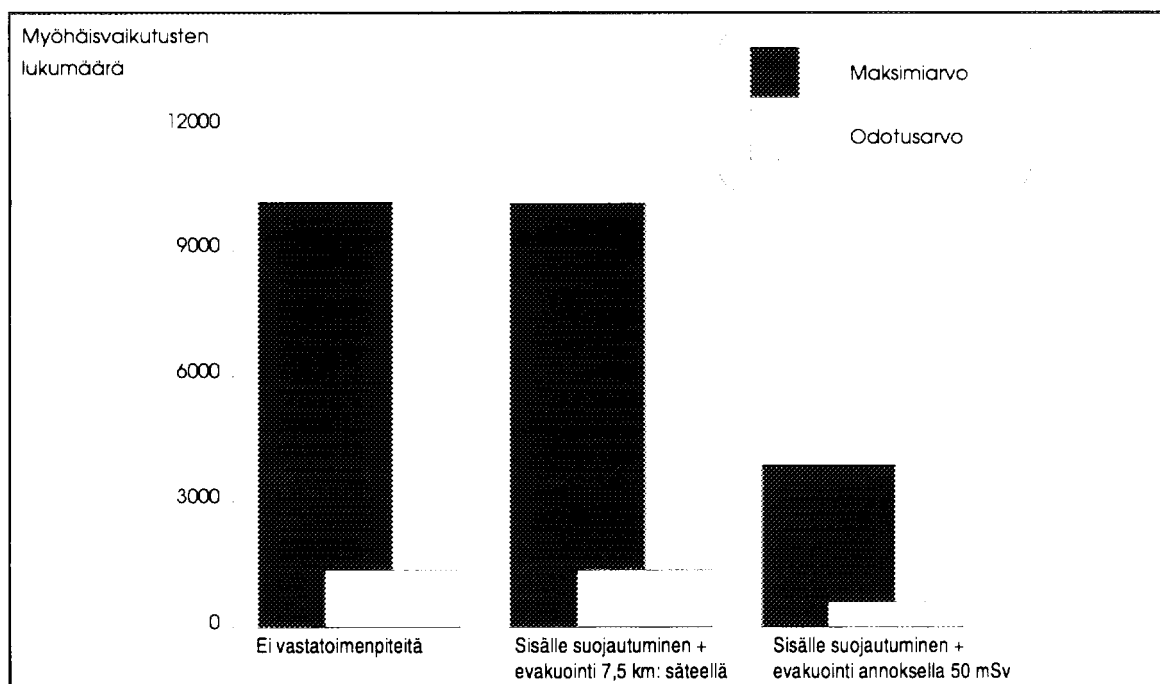
Kuvassa 9 on esitetty akuuttien luuydinvaurion aiheuttamien kuolemantapausten määrä normaaliolosuhteissa ja kahdessa eri vastatoimen- pidetilanteessa. Muita vakavia seurauksia ilme- ni myös ruoansulatuskanavan vaurioina (vä- hemmän) sekä sikiön kuolemina (enemmän, kertoimella kaksi). Sisällesuojautuminen yhdis- tettynä evakuointiin 7,5 kilometrin säteellä tai evakuointiin efektiivisellä annosrajalla 50 mSv johtavat samaan varhaisvaikutusten määrään, mutta edellinen koskettaa vain 400 asukasta ja jälkimmäinen noin 10 000 asukasta odotusar- voina. Käytännössä ensimmäisessä suojaustapa- uksessa riittävän toimenpide-ettäisyyden voisi hakea tulostäytöstä, jossa esitetään akuutti kuolemanriski etäisyyden funktiona.

Kuvassa 10 on esitetty vastaavien toimenpiteiden vaikutus myöhäisvaikutusten kokonaismäärään. Myöhäisvaikutukset ovat leukemia- tai syöpätapauksia laskettuna taulukon III riskiker- toimilla. Kuvasta nähdään, että 7,5 kilometrin säteellä tehty sisällesuojaus ja evakuointi eivät

vaikuta mitenkään myöhäisvaikutusten mää- rään. Sensijaan toisena vaihtoehtona käsitelty evakuointi annoskriteeriin 50 mSv perustuen vähentäisi myöhäisvaikutusten määrää merkit- tävästi. Tässä on muistettava, että poissiirretty- jen asukkaiden annos on siirron jälkeen nolla.



Kuva 9. Varhaisvaikutuksena ilmenevien fataalien luuydinvaurioiden määrä vakavassa päästössä. Maksimi- ja odotusarvot kolmessa eri vastatoimenpideluokassa.



Kuva 10. Myöhäisvaikutusten kokonaismäärä vakavassa päästössä. Maksimi- ja odotusarvot kolmessa eri vastatoimenpideluokassa.

5 YHTEENVETO

Tämän työn kuluessa on otettu käyttöön EU-maiden tutkimuslaitosten kehittämä PC COSYMA -ohjelman versio 1.0, joka on tarkoitettu reaktorionnettomuuksien ympäristövaikutusten todennäköisyyspohjaiseen tarkasteluun. Nyt käytössä oleva mikrotietokoneversio on riisuttu alkuperäisestä suurempaan laitteistoympäristöön tarkoitettu ohjelmasta. Ohjelman sovelluksia varten muodostettiin olemassa olevista ympäristötiedoista sekä laitospaikalla mitatusta tunnittaisesta säätiedosta lähtötiedostot. Vuonna 1995 mikroversiosta valmistuu täydennetty ja paranneltu versio 2.0.

Itse ohjelman käyttö tapahtuu lähtötiedostojen luomisen jälkeen valikkonäyttöjen välityksellä, joka on pienen harjoittelun jälkeen helppoa. Ohjelman käytön tukena on selkeästi jaoteltu manuaali, mutta jos käyttäjä joutuu hakemaan lisätietoa muista COSYMA:n raporteista, saat- taan olla vaikeaa selvittää mikä kuvauksesta koskee myös PC COSYMA:a. Tulosten käsitte- lyyn ei ole sisällytetty mitään graafista tulostus- mahdollisuutta vaan käyttäjän on ensin tulostet- tava numerosarjat tiedostoon ja sitten käytettävä muita ohjelmia kuvien tuottamiseen. Myös eräs kiusallinen piirre tulee tällöin esille pienten päästöjen yhteydessä. Väestöannosten komple- mentaarisen kumulatiivisen todennäköisyysja- kauman (CCDF) muodostetaan vain yli yhden manSv:n annoksista, joten aina CCDF-käyrää ei voida muodostaa. Muuten tuloksia muodostuu laajalti kuten esimerkiksi elinkohtaisista annok- sista, erilaisista terveysvaikutuksista ja niiden riskeistä, vastatoimenpiteitä kokevien alueiden

ja henkilöiden määrät. Ohjelman ajoajat 486- koneella olivat nyt käsitellyissä tilanteissa eni- millään noin 15 minuuttia, mutta on ilmeistä, että mutkikkaampien vastatoimenpidekombi- naatioiden tapauksessa ajon kestot pitenevät.

Ohjelman ominaisuuksia on katsastettu perehty- mällä mallinnusta kuvaaviin raportteihin sekä suorittamalla erillisiä sovelluslaskuja. Vertailu- aineistoa on luotu laskemalla vastaavia tuloksia ARANO-ohjelmalla. PC COSYMA on osoittau- tunut käyttökelpoiseksi ympäristövaikutusten arvioinnissa. Sovelluksia tehtäessä havaittiin kuitenkin joitakin yksittäisiä laskentatilanteita, joissa ohjelma käyttäytyi omituisesti. Niitä ei kuitenkaan voi pitää kokonaisuuden kannalta ohjelman käyttökelpoisuutta oleellisesti hu- onontavina piirteinä. Joissakin laskentatilanteissa ohjelman käyttö voi myös olla epätarkoituksen- mukaista, mutta yleisesti ottaen sen tulokset osoittavat melko hyvää yhteensopivuutta ARANO:n kanssa. Esimerkiksi annosten vertai- lu yksittäisissä leviämistilanteissa osoitti yllät- tävän hyvää yhteensopivuutta. Eräistä yksin- kertaisista laskentatilanteista, jotka PC COSY- MA:lla osoittautuivat vaikeiksi, voidaan maini- ta laskeumasta tulevan ulkoisen annoksen integ- roinnin alkuhetken asettamismahdollisuuden puuttuminen ja vastatoimenpideosassa pelkän sisällesuojautumisen kohtuuttoman vaikea kä- sittely. Välittömien vastatoimenpiteiden kä- sittelyssä on sisällesuojautuminen ja evakuointi kytketty kiinteästi yhteen, mikä tietyissä sovel- luksissa vaikeuttaa laskentaa.

VIITTEET

- 1 Kelly GN, Luykx F, Sinnaeve J. The CEC Research Programme and the COSYMA Code. Proceedings of the Seminar on methods and codes for assessing the off-site consequences of nuclear accidents, Athens 7 to 11 May 1990, CEC EUR 13013/2 EN.
- 2 Jones JA et al. PC COSYMA: An Accident Consequence Assessment Package For Use on a PC, EUR 14916, 1993.
- 3 Briggs GA. Plume rise predictions, In: Haugen DA. Lectures on air pollution and Environmental Impact Analyses. American Meteorological Society, Boston, Mass, USA (1976).
- 4 Hanna SR, Briggs GA, Hosker RP. Handbook on Atmospheric Diffusion. Technical Information Center, US Department of Energy (1982).
- 5 Evans JS. Health effects models for nuclear power plant accident consequence analysis, Part I: Introduction, integration and summary, NUREG/CR-4214, SAND85-7185, Rev. 1, Part I, 1990.
- 6 Evans JS et al. Health effects models for nuclear power plant accident consequence analysis, Part I: Introduction, integration and summary, NUREG/CR-4214, Rev. 2, Part I, ITRI-141, 1993.
- 7 Probabilistic Accident Consequence Assessment Codes, Second International Comparison, Overview Report. OECD/NEA 1994.
- 8 Probabilistic Accident Consequence Assessment Codes, Second International Comparison, Technical Report. EUR 15109 EN, CEC 1994.
- 9 PC COSYMA Version 1.0, User Guide, EUR 14917 EN, NRPB & KfK May 1993.
- 10 NEWS LETTER COSYMA, Issue 94/3; September 1994, editor Jan van der Steen, KEMA, The Netherlands.
- 11 Proceedings of the first COSYMA Users Group Meeting, 25-26 April 1994, Arnhem, The Netherlands. KEMA Nuclear 1994.
- 12 Isolankila A, Rossi J. Matkakertomus osallistumisesta COSYMA Users Groupin kokoukseen, 25-26.4.1994, Arnhem, Alankomaat. VTT Työraportti, PC COSYMA 1/94, 18.5.1994.
- 13 Rossi J. IVO:n TUULET-ohjelman arviointi. STUK:n tilaustutkimus 1992.
- 14 YVL-ohje 7.1. Säteilyturvakeskus 14.12.1992.
- 15 Rossi J. Selvitys 100 TBq Cs-137 -päästön ympäristövaikutuksista ydinvoimalaitoksen ympäristössä. STUK:n tilaustutkimus 1988.

MUITA COSYMA-RAPORTTEJA

- i Hasemann I, Ehrhardt J. COSYMA: Dose Models and Countermeasures for External Exposure and Inhalation. KfK 4333, January 1994.
- ii Ehrhardt J. et al. COSYMA: Health Effects Model. KfK 4335, April 1994, Draft.
- iii Steinhauer C. COSYMA: Ingestion Pathways and Foodbans. KfK 4334, August 1992.
- iv Faude D. COSYMA: Modelling of Economic Consequences. KfK 4336, May 1992.
- v Panitz H-J et al. UFOMOD, Atmospheric Dispersion and Deposition. KfK 4332, October 1989.

KATSAUS OHJELMASSA OLEVAAN LAITOSKOHTAISEEN YMPÄRISTÖTIETOO
JA COSYMA-OHJELMAN VAATIMUKSET

LIITE 1

1 ARANO:SSA KÄYTETYT YMPÄRISTÖN LÄHTÖTIEDOT

ARANO:ssa ympäristödata käsitellään napa-koordinaatistossa, joka koostuu valinnaisesta etäisyysvälijaotuksesta (yleensä tiheämpi lähellä), mutta kiinteästä 30 asteen sektorikoosta. Loviisan laitokselle on enemmän dataa kuin Olkiluodon laitokselle.

Väestöjakaumat ovat vuodelta 1989 100 km:n etäisyydelle. Kauempana käytetään keskimääräistä väestötiheyttä 33 as/km². Maataloustuo-

tantojakaumat (tuotettu lehmän maito, naudan liha, vihannekset, vilja ja juurekset) ovat vuodelta 1982. Maataloustuotantojakaumat ovat koko Suomen tuotannon perusteella diskretoituja eivätkä siten perustu esim. kunnittaiseen tietoon. Näiden lisäksi on Loviisalle ollut käytettävissä raportissa IVO-YMP-82-14 kuvatulla tavalla saadut investointi- ja eri elinkeinojakaumat (1982). Investoinnit on määritelty seuraavasti:

Investointilaji	Yksikkökustannukset [mk/as]
Asuntoinvestoinnit	91 000
Alkutuotantoinvestoinnit	182 000
Jalostuksen investoinnit	213 000
Palvelun investoinnit	216 000

Investointien menetysten kustannukset saadaan kertomalla elinkeinotoiminnan työpaikka- ja kaumilla ja asuntoinvestointien osalta väestöjakaumalla. Lisäksi on laskettu maan ja maatalo-

usmaan puhdistuksesta sekä väestön siirrosta seuraavat kustannukset kertomalla asukasjakau-

2 COSYMA:N YMPÄRISTÖN LÄHTÖTIEDOT

COSYMA:n versiossa 1.0 käytettävä ympäristödata on alunperin hilassa, jonka sanotaan kattavan koko Euroopan (pituusasteet: 10.65 W—49.50 E ja leveysasteet 36.00 N—62.00 N). Hila on määritelty leveys- ja pituusastein siten, että kukin hilaruutu on pinta-alaltaan samankokoinen. Hilan pituusmitta on vakio, mutta leveysmitta muuttuu hilan sijaintipaikan mukaan (kasvaa siirryttäessä päiväntasaajalta pois päin). Keskimääräiseksi hilakooksi mainitaan 10 km kertaa 10 km. Seuraavat jakaumat (10 kpl) tulevat ohjelman mukana:

- väestö,
- maito (tuore),
- maito (maitotuotteet),
- naudanliha,
- naudan maksa,
- lampaanliha,
- lampaan maksa,
- vihannekset,
- juurekset,
- vilja.

Mukana tulevan muunnosohjelman avulla voidaan suorakaidehilasta muodostaa napa-koordinaatistomuotoinen hila, jota COSYMA varsinaisesti käyttää laskuissa. Syöttötiedoissa kysytään laitospaikan koordinaatit ja etäisyysvälijaotus sekä sektorin koko. Sijaintikoordinaatit ovat Olkiluodolle: pit. 21.43, lev. 61.23 ja Loviisan laitoksille 26.36, 60.35 otettuna karttapohjalta. Kymmenen kilometrin säteellä laitokselta suositellaan käytettäväksi käyttäjän antamaa tarkempaa ympäristödataa, joka voidaan sijoittaa editorilla jakaumatiedostoon.

**LIITE 1 KATSAUS OHJELMASSA OLEVAAN LAITOSKOHTAISEEN YMPÄRISTÖTIETOOON
JA COSYMA-OHJELMAN VAATIMUKSET****3 TALOUDELLISTEN VAIKUTUSTEN LASKENTA COSYMA:SSA****3.1 Yleistä laskentaperiaatteista**

PC COSYMA:n versio 1.0 ei vielä käsittele terveysvaikutusten tai vastatoimenpiteiden aiheuttamia taloudellisia vaikutuksia. Siksi tässä käytetään lähtökohtana raportissa KfK 4336 (Modelling of Economic Consequences) esitettyä COSYMA:n yleiskuvauksen lähestymistapaa perustaksi sille, mitä todennäköisesti tarvitaan vuoden 1995 versiossa 2.0. Taloudelliset vaikutukset on sisällytetty ECONOMICS -moduliin, joka perustuu NRPB:n ja KfK:n kehittämään COCO-1 -malliin. Päästön aiheuttamat kustannukset lasketaan kaavasta:

$$\text{COST} = \text{QUANT} * \text{UCOST} * \text{FACTOR}, \quad (1)$$

missä COST viittaa kustannusluokkaan,
QUANT viittaa määrään (esim. evakuoitujen henkilöiden määrä),
UCOST kuvaa yksikkökustannuksia (esim. Smk/henkilö),
FACTOR kuvaa esimerkiksi ajan vaikutusta kustannukseen (diskonttaus).

Nämä datat syötetään lähtötietovalikoissa. Tämän lisäksi tarvitaan hilaruudukossa olevia kustannustietoja. Rahayksikköä ei ole ennakolta kiinnitetty, vaan käyttäjä voi valita esimerkiksi käytettäväksi Smk:n kunhan sitä käytetään kaikkialla. Mallissa rahan arvo pysyy vuodesta toiseen samana, joten kaavan 1 tekijä FACTOR on ilmeisesti lisätty tämän takia.

3.1.1 Sisällesuojautuminen

Kustannukset lasketaan menetetyn bruttokansantuotteen (bkt) avulla suojautumisen ajalta. Alue määräytyy annettavan ympyrän säteen ja kesto annettavan ajan (muutama päivä) perusteella.

3.1.2 Evakuointi

Toimeenpanokriteeri on joko ennalta määrätty evakuointialue tai annosraja. Evakuointiaika on käyttäjän määrättävissä. Tässä kohdassa ei vielä välitetä siitä, jatkuuko evakuointi väestönsiirto-

na vai palaavatko evakuoidut takaisin koteihinsa. Kustannusluokat ovat:

- A) kuljetuskustannukset
- B) asumiskustannukset
- C) kansantuotteen menetys
- D) investointien menetys.

Nämä kustannukset ovat yhtäläiset myös väestönsiirron osalta, joskin silloin käsitellään pitempiä aikajaksoja, mikä osittain lisää laskenta-kaavojen määrää. Kustannusten määrittely on esitetty kappaleessa 3.1.3

3.1.3 Väestön pitempiaikainen poissiirto

Käyttäjän on annettava annosrajat tämän toimenpiteen aloittamiselle sekä lopettamiselle. Myös 15 aikahetkeä lopetusajalle vaaditaan, jolloin ohjelma tutkii aika-askelittain napakoordinaatiston hilat mahdollisen paluukriteerin täyttymiselle. Väestösiirto voi koskea myös jo evakuoituja henkilöitä. Kustannusluokat ovat samat kuin evakuoinnissa. Kuljetuskustannukset sisältävät edestakaisen väestön kuljetuksen kustannuksen kielletyiltä alueelta joko yksityisissä tai julkisissa ajoneuvoissa.

Asumiskustannukset sisältävät ne kulut, jotka aiheutuvat, kun ihmiset eivät voi käyttää omia asuntojaan poissiirron aikana vaan heille täytyy järjestää asuntoja saastumattomalla alueella.

Kansantulo pienenee, koska tuotantovälineitä ei voida hyödyntää kielletyllä alueella kieltoajan kuluessa. Tämä käsitellään tuottamatta jääneiden tavaroiden ja palveluiden hintana. Tällöin oletetaan, että tuotantomenetys voidaan kompensoida puhtaalla alueella tuotetuilla tavaroilla ja palveluilla.

Investointien menetys aiheutuu siitä, että kielletyllä alueella sijaitsevaa infrastruktuuria ei voida käyttää hyödyksi ja samalla niiden arvo lisäksi laskee. Investoinnit jaetaan neljään osaan:

- 1) ei-asuinrakennukset,
- 2) asuinrakennukset,
- 3) kulutustavarat,
- 4) maaperä.

KATSAUS OHJELMASSA OLEVAAN LAITOSKOHTAISEEN YMPÄRISTÖTIETOOON **LIITE 1** JA COSYMA-OHJELMAN VAATIMUKSET

Väestön pitempiaikaisessa poissiirrosta oletetaan, että poissiirretty väestö palaa normaaliin tilaan eli ns. taloudelliseen tuotantoon tietyn palautumisajan t_r jälkeen, jonka käyttäjä voi antaa. Asumiskustannukset ja kansantuotteen menetys lasketaan vain tältä ajalta. Lisäksi, koska asuinrakennusten ja ei-asuinrakennusten pääomatulo lasketaan bkt:een, aloitetaan niiden laskenta vasta ajan t_r jälkeen.

Kustannuksia A laskettaessa voidaan käyttää paluukuljetuksen osalta diskonttausmenettelyä. Kohdissa B, C ja D voidaan joko käyttää keskimääräisiä kustannusarvoja koko alueelle tai antaa paikkariippuvat yksikkökustannukset käyttämällä hilan jaottelua talousalueisiin. Lisävaihtoehtona D-kohdassa voidaan antaa hilassa bkt-arvot ja laskea menetetyt työn arvo.

3.1.3.1 Tarvittavat lähtötiedot

Seuraavassa on esitetty yksikkökustannusten määrittämisen periaatteet. Kuljetusten yksikkökustannus annetaan muodossa mk/henkilö. Tähän vaikuttaa kuljetusmatka, kulkuvälineen koko (ha/bussi). Kansantuotteen vähennys lasketaan yksikkökustannuksesta (mk/henkilövuosi) bruttokansantuotteen avulla. Asuinkustannukset lasketaan joko bkt:n asuinkomponentin (mk/henkilövuosi) tai keskimääräisen asunnon markkina-arvon (mk/henkilö, jatkossa hlö) avulla, jolloin erikseen on otettava huomioon arvonalennus. Investointien menetyksen laskenta perustuu yksikkökustannukseen (mk/hlö tai mk/pinta-ala), jotka saadaan kansallisista tilastoista.

Bkt:n käytön yhteydessä on muistettava, että asuinkustannusten ja maataloustuotteiden kustannuksia ei lasketa kahteen kertaan, koska ne sisältyvät jo bkt:een.

Tarvitaan siis seuraavat tiedot:

- kuljetuskustannus [mk/hlö],
- bkt:n asumiskomponentti [mk/hlö] tai (optio 2) asuinrakennuksen arvo [mk/hlö] tarkasteluvuonna, johon liittyvä inflaatio- ja korkoprosentti [%/a],
- työtulon menetyksessä bkt [mk/hlö] (myös optiolla 2) tai (optio 3) bkt [mk/hlö],

- investointien menetys (myös optio 2) investointien (4 kpl) arvot [mk/hlö, mk/m²] sekä inflaatio- ja korkokanta [%/a].

Jos kustannukset ulottuvat tarkasteluvuoden yli olisi diskonttausmenettelyä käytettävä. Data-vaatimusten perusteella voidaan todeta, että keskimääräiset tiedot riittävät kaikissa kustannuslajeissa, mutta hilakohtaista dataakin voidaan sen ohella käyttää.

Evakuoinnin yhteydessä asuinkustannukset lasketaan kohdealueen asumiskustannusten perusteella tai edellä mainitussa option 2 periaatteella. Työtulon vähennyksessä ei poisteta maataloustuotannon osuutta, koska ravintoaineiden käyttökieltoa ei lasketa evakuoinnin yhteydessä. Investointien menetyksiä ei lasketa erikseen, koska asunto- ja ei-asuntoinvestointien menetys lasketaan jo työtulon vähennyksessä, eivätkä kaksi muuta investointikomponenttia olennaisesti kärsi lyhytaikaisessa evakuoinnissa.

3.1.3.2 Kustannusten laskenta

Väestönsiirron yhteydessä kustannukset lasketaan aikajaksoissa, kuten kohdassa 3.1.3 mainittiin. Alunperin COSYMA:ssa käytetty aikajaksotus käsittää jaksot hetkestä $t(t_0)$ hetkiin $t(t_1)$, $t(t_2)$ jne. ECONOMICS mallia kehitettäessä aikajaksotus muutettiin siten, että aina uusi jakso seuraa edellistä, joten jaksot eivät peitä toisiaan. Aikariippuvat kustannukset voidaan jakaa seuraavasti:

- A) uudelleen määritellyillä aikajaksoilla aiheutuvat kustannukset,
- B) uudelleen määriteltujen aikajaksojen kustannusten summa,
- C) alkuperäisen ohjelman aikajaksotuksen mukaiset kustannukset.

3.1.4 Puhdistus

Puhdistus liittyy väestön pitempiaikaiseen poissiirtoon, jotta väestön takaisinpaluuta voitaisiin nopeuttaa. Aikajaksotus on sama kuin väestönsiirron yhteydessä. Käyttäjä voi määritellä mihin aikajaksoihin puhdistus liittyy ja käyttää erisuuruisia puhdistustekijöitä aikajaksoilla.

LIITE 1 KATSAUS OHJELMASSA OLEVAAN LAITOSKOHTAISEEN YMPÄRISTÖTIETOOON JA COSYMA-OHJELMAN VAATIMUKSET

Puhdistukseen liittyvät puhdistuskustannukset lasketaan kahdella vaihtoehtoisella tavalla. Vaihtoehdon 1 mukaan samaa pinta-alaan perustuvaa kustannustekijää käytetään sekä kaupunki- että maaseutu ympäristössä. Vaihtoehdossa 2 voidaan erotella kaupunki- ja maaseutu ympäristöt siten, että annetaan keskimääräinen osuus kaupunkipinta-alasta verrattuna kokonaispinta-alaan, mikä kuvaa kaupunkiin liittyviä puhdistuskustannuksia. Toisaalta maaseudun puhdistuskustannukset perustuvat väestömäärään.

Puhdistuksen yksikkökustannukset perustuvat teoreettisiin arvioihin. Tarvittavat tiedot ovat:

- vaihtoehdossa 1 puhdistuskustannus pinta-alaa kohti [mk/m^2],
- vaihtoehdossa 2 kaupunkiympäristön osuus [-], yksikkökustannus [mk/m^2] sekä puhdistuskustannus [$\text{mk}/\text{hlö}$]

Jos kustannukset ulottuvat tarkasteluvuoden yli olisi diskonttausmenettelyä käytettävä. Puhdistuksen oletetaan tapahtuvan kunkin aikajakson lopussa, joten kohdan 3.1.3.2 kustannustyyppit A ja C ovat yhtä suuret.

3.1.5 Ravintoaineiden käyttökielto

Ravinnon käyttökielto perustuu joko ravinnon pitoisuusrajaan tai yksilöannokseen.

Kustannuslajit ovat:

- menetety ruoan kustannus,
- menetety maatalousinvestoinnin kustannus,
- jätteiden käsittelyn kustannus.

Menetetty ruoka sisältää sen tuotannon, jota ei voida lopettaa tietyn ajan kuluessa onnettomuudesta ja jota ei voida käyttää ravinnoksi korkean pitoisuuden takia (A) tai tuotannon, jota ei voida tuottaa tietyn ajan kuluessa onnettomuudesta (B). Tietyn aikajakson kuluttua vain jälkimmäinen kustannus (B) on todennäköinen. Ohjelmassa oletetaan, että ensimmäisenä onnettomuutta seuraavana vuonna menetellään A:n mukaisesti

eli tuotetaan normaalilla tavalla tuotteet ja sen jälkeen B:n mukaisesti.

Maatalousinvestoinnit on jaoteltu kolmeen ryhmään: ei-asuinrakennukset, muut rakennukset ja maatalousmaa. Hylätyn tuotannon käsittelystä seuraa kustannuksia ensimmäisenä vuonna.

Tässä yhteydessä sovelletaan myös ns. palautumisaikaa, jonka kuluessa maanviljelijä hakeutuu uudelle alueelle ja alkaa siellä uuden tuotannon. Sen takia menetety ruoan kustannuslaskenta katkaistaan palautumisajan kohdalla. Vastaavasti maatalousinvestointien kaksi ensimmäistä komponenttia alkavat vasta palautumisajan kohdalla, koska menetety ruoan tuotanto sisältää investointien arvon alennuksen palautumisajan kuluessa. Maatalousmaan investoinnin menetyksen kustannus lasketaan hetkestä $t=0$ lähtien.

Maataloustuotannon kustannukset voidaan laskea kolmen lajin perusteella: maito, nautakarja ja viljelyala. Siten maataloustuotanto on yhdistettävä sopivasti kattamaan tämän jaotuksen. Menetety ruoan yksikkökustannus perustuu ensimmäisenä vuonna kunkin tuotteen brutto-tuotantoon ja seuraavina vuosina kunkin tuotteen bkt -osuuteen. Investointeja ei voida käyttää ruoan käyttökiellon aikana. Jätteiden käsittelykustannukset perustuvat arvioihin.

Tarvitaan seuraavat kustannustekijät:

- menetety ruoan kustannusyksikkö on [mk/kg],
- maatalousinvestoinnin kustannus; ei-asuntojen ja muiden rakennusten kustannusarvo lajiketta kohden [$\text{mk}/(\text{kg}/\text{a})$], sekä inflaatio ja korkoprosentti [%/a] sekä maan arvo [mk/m^2],
- jätteiden käsittelykustannus [mk/kg].

Jos kustannukset ulottuvat tarkasteluvuoden yli olisi diskonttausmenettelyä käytettävä.

KATSAUS OHJELMASSA OLEVAAN LAITOSKOHTAISEEN YMPÄRISTÖTIETOOON LIITE 1
JA COSYMA-OHJELMAN VAATIMUKSET**3.1.6 Terveysvaikutukset**

Varsinaisten vastatoimenpiteiden kustannusten lisäksi COSYMA:ssa lasketaan myös terveysvaikutusten aiheuttamia kustannuksia. Ne jaotellaan seuraavasti:

- välittömät deterministiset säteilysairaudet ja kuolemaan johtavat tapaukset,
- tilastolliset somaattiset säteilysairaudet ja kuolemaan johtavat tapaukset,
- tilastolliset perinnölliset vaikutukset.

Käsiteltäviä terveysvaikutuksia on toistakymmentä. Terveysvaikutusten laskennassa on kaksi erityyppistä tapaa. Toisessa (human capital) tavassa kustannukset määräytyvät lääketieteellisen hoidon kustannuksista ja toisaalta henkilön työstä poissaolon aiheuttamasta menetyksestä

kansantuotteeseen. Toinen tapa (subjective valuation) perustuu henkilön arvostukseen eli kustannus saadaan sen perusteella, kuinka paljon henkilö on valmis maksamaan välttääkseen tietyn terveysvaikutuksen riskin lisääntymisen. Nämä molemmat vaihtoehdot ovat käytettävissä varhais- ja myöhäisvaikutusten laskennassa.

Seuraavat kustannustiedot tarvitaan:

- terveyshaitan yksikkökustannus [mk/haitta],
- sairauden hoidon yksikkökustannus [mk/haitta],
- kansantuotteen menetyksen yksikkökustannus [mk/haittavuosi].

Jos kustannukset ulottuvat tarkasteluvuoden yli olisi diskonttausmenettelyä käytettävä.

LIITE 2

PC COSYMAN ASENNUS JA KÄYTTÖÖNOTTO

1. Tietokonevaatimukset

PC-COSYMA:a (versio 1.0) voidaan käyttää IBM yhteensopivalla PC:llä, jossa on 386-prosessori ja matematiikkaprosessori tai 486 DX-prosessori. Siten esimerkiksi 486SX ei kelpaa tähän tarkoitukseen. Ohjelmistoa käytetään MS-DOS-käyttöjärjestelmässä, jonka version tulee olla 4.0 tai korkeampi. Ohjelmisto tulee ilman lähdekoodia ns. exe-versiona siihen liittyvine data-tiedostoineen. Ohjelman tuottama tulostus on tekstimuotoista, jota voidaan mahdollisuuksien mukaan esittää graafisesti muiden käyttäjän omien apuohjelmien avulla.

Ohjelmiston asennus vaatii kovalevytilaa 12,6 megatavua (Mb), josta hilamuodossa oleva data vie noin 5 Mb. Ohjelmistoa käytettäessä todennäköisyyspohjaisten laskujen suorittamiseen on kovalevytilaa oltava käytettävissä 40—50 Mb välitulosten talletusta varten. Yksittäisten leviämistilanteiden ajaminen vaatii noin 1 Mb kovalevytilaa väliaikaistallennukseen.

Keskusmuistivaatimuksesta (RAM) esitetään, että se riippuu siitä, miten paljon jatkomuistia koneessa on käytettävissä. Minimijatkomuistimäärä on 2,5 Mb, jos perusmuistia on 571 kilotavua (kb). Sen sijaan, jos jatkomuistia on vähintään 3 Mb, riittää 300 kb perusmuistia. Ohjelmat hoitavat itse muistin käsittelyn, joten kaikki muut koneessa mahdollisesti aktivoituneet muistinhallintaohjelmat on deaktivoitava (esim. HIMEM, QEMM, EMM386, jne.) muuttamalla sopivasti CONFIG.SYS- ja AUTOEXEC.BAT-tiedostoja. Jo tässä yhteydessä mainittakoon, että vuoden 1993 lopussa NRPB:stä tiedusteltiin käytettävissä olevan PC:n keskusmuistin kokoa, joten on odotettavissa, että tarvittavan RAM-muistin määrää ollaan kasvattamassa uudessa ohjelmaversiossa, jossa myös graafista tulostusta pitäisi olla saatavilla.

Todennäköisyyspohjaisten ajojen suorituksen mainitaan kestävän 1,5—2 tuntia 33 MHz 386-koneella. Deterministinen ajo kestää vain muutaman minuutin.

Ohjelman inputin tekeminen voi kestää muutamman tunnin interaktiivisessa käytössä. Tämän helpottamiseksi input-tiedosto voidaan tallettaa halutulla nimellä kovalevylle, jolloin sitä voidaan jatkossa käyttää oletustietona uusien inputteja muodostettaessa, jolloin käsittelyajat nopeutuvat huomattavasti.

2. Asennus- ja käyttöönottokokemukset

Ohjelmistopakettina mukana tulee 10 HD-levykettä ja manuaali, jossa on selvitetty ohjelmiston asentaminen ja käyttö. Käyttöohje sisältää inputnäyttöjen syöttöohjeet hyvin perusteellisesti. Myös ohjelmiston käytön tavat ovat melko selkeästi esitetyt. Levykkeiden asennus tapahtuu yksinkertaisesti komennolla:

```
INSTALL X Y,
```

missä X on levykeasema, josta asennetaan ja

Y kovalevyn partitio, jonne asennetaan.

Ensin muodostuu hakemistorakenne, jota esittää kuva 1. Hakemistoihin kopioidaan yhteensä 388 tiedostoa. Varsinaisia ajettavia exe-tiedostoja syntyy 23 kappaletta. Lisäksi kopioituu yksi F77L3.EER-niminen 'errorlogi'-tiedosto, joka viittaa LAHEY-Fortranin käyttöön laskentaohjelmien osalta. Tällä kääntäjällä tehty ohjelma pystyy käyttämään suoraan extended muistia. Input-ohjelmien ohjelmointikielenä on C.

Ohjelmiston käyttöä mikroverkossa ei manuaaleissa mainita. Asennettaessa ohjelmisto mikroverkkoon ja kokeiltaessa sen toimintaa kuitenkin todettiin, että ohjelmiston mukana tulevalla inputilla exe-versio toimi hyvin ja tuotti saman outputin kuin ohjelmiston mukana tullut referenssioutput. Kuitenkin ajoaika oli 50 % pidempi 486-koneella kuin manuaalissa mainitulla 386-koneella. NRPB on viitannut tähän siten, että manuaalin aika ei ehkä ole täsmällisesti mitattu ja matematiikkaprosessorin tyyppi voi vaikuttaa olennaisesti tulokseen. Lisäksi ongel-

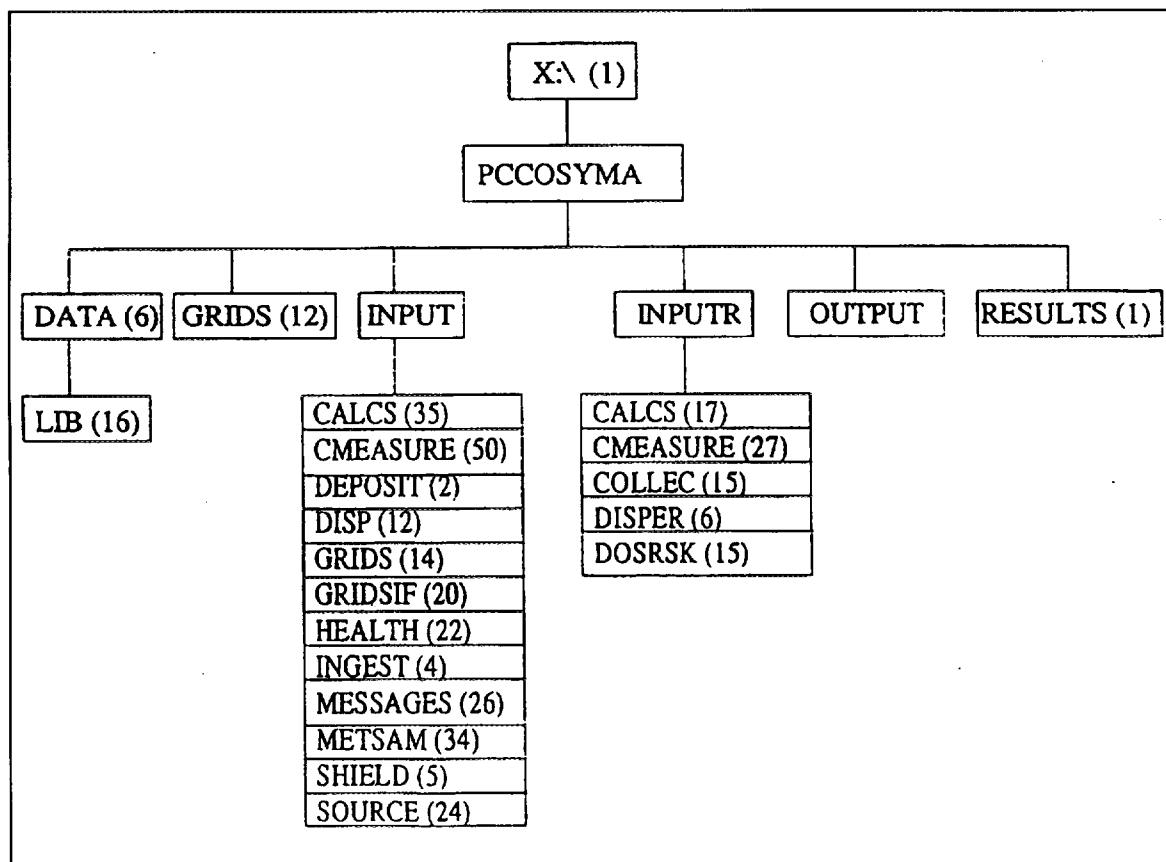
PC COSYMAN ASENNUS JA KÄYTTÖÖNOTTO

LIITE 2

mana ilmeni input-ohjelmien osalta, että vain pitoisuuksien laskentaan liittyvä näyttöosuus toimi. Muita näyttöjä käytettäessä ohjelma kaa-tui virheilmoitukseen:

- 1) Fatal error: 'Insufficient memory for dialog' tai
- 2) Error during pre-calculations, Program terminated.

Näistä ensimmäinen näytti verrattain vakavalta, koska perusmuistia oli vapaana 400 kb ja extended muistia oli 16 Mb. Ohjelmisto asen-nettiinkin uudelleen suoraan PC:n lisätylle omalle kovalevylle, jonka jälkeen mikroverkossa il-menneitä ongelmia ei enää esiintynyt. NRPB:n mukaan ohjelmistoa ei ole kokeiltu mikrover-kossa. Suorassa mikrokäytössä ohjelman toi-minnan pysähtyminen on ollut vain satunnaista.



Liite 2, kuva 1. PC-COSYMAN hakemisto- ja nimirakenne sekä ohjelmiston asennuksessa alihakemistoihin muodostuvien tiedostojen lukumäärät (sulkeissa).

LIITE 3**EXPERIENCES WITH PC COSYMA 1.0 (FULL VERSION)**

VTT started as PC COSYMA user late in 1993. Our purpose is to utilize PC COSYMA as a reference code, because the ARANO code is maintained as operative tool for offsite consequence assessments. We also assist Finnish nuclear and radiation safety authorities just now when they are starting as PC COSYMA user.

In December the program was installed on the PC and after our test usage the initial conclusion was that the program package was successfully installed and system worked according to the reference test calculations. Besides the manual included in the code package turned out to be very useful; it is extensive but however easy to use.

After short training period we made some code comparison calculations in single dispersion conditions with the ARANO code. Then we have prepared the site specific data files for a Finnish nuclear power plant and now probabilistic calculations employing annual weather and population data have been started. This report depicts observations made during installation as well as from user interface program and calculations with PC COSYMA.

1 INSTALLING AND RUNNING THE SYSTEM

1.1 At first due to inadequate hard disk space we tried to install PC COSYMA on the local area network. The test calculation was run normally taking 15 minutes of computer time. When the input interface was run so after a few menus the program stopped with the error message "Fatal error; Insufficient memory for dialog". The PC has 16 MB of RAM of which 400 kb of conventional memory for executable program size. This problem was avoided by installing PC COSYMA on the own hard disk of the PC.

1.2 When the test input "EXAMPLE.SAV" was executed, the RESULTS were found to be the same as in the section 4 of the User Guide. The calculation required 15 minutes of computer

time on the 33 MHz **486** with a co-processor. However, in Section 9.2 of the manual it is mentioned that the calculation time on a 33 MHz **386** with a co-processor is only 10 minutes.

1.3 When the site specific weather data is provided, it would be useful to emphasize that wind direction to be supplied is contrary to the dispersion direction. In chapter 8 of the manual it is described how the site specific atmospheric data file can be created. The method could be clarified if the format of the Fortran read statement would be presented in this context.

1.4 Some minor misprints or possibly inaccurate expressions were found in the USER GUIDE and during calculations:

- Page 3.11; it is said that west latitudes are entered as negative numbers,
- Page 3.23; *.GR2, referring to this file it is said that it is written in binary, but the file is in ASCII,
- Page 4.29; Menu C12, when the subsidiary menu showing all the distances of which two distances should be chosen for more extensive calculations, there are sometimes faulty numbers - the digit 1 is replaced by the digit 5 so that for instance the distance 12.5 km is printed as 52.5 km - however the results screens indicate that the distance of 12.5 km is utilized in calculations,
- Page 4.70; Screen MS14, but MS13 in the box,
- Page 9.2; The files TESTGRID.GR2 and TESTGRID.IG2 were not found after the example run.

2 COMPARISONS WITH ARANO AND TUULET

At first some single dispersion calculations were made with COSYMA and ARANO to get preliminary insight of the code behaviour. Besides we had possibility to employ the previous results obtained with the other Gaussian model TUULET, which is the dispersion and dose model developed by a Finnish power

EXPERIENCES WITH PC COSYMA 1.0 (FULL VERSION)

LIITE 2

utility. ARANO is so called surface depletion model in which the vertical mixing is considered with the K_z theory. In general the results obtained with the K_z model differ from the Gaussian model especially at longer distances and stable conditions. Deposition affects on the lower part of the plume unlike in the gaussian model the whole plume is affected by dry deposition. In these calculations the dry deposition velocity of 0.01 m/s was utilized.

In Figure 1 the centerline values of ground contamination are presented as a function of distance in stability F for two release altitudes. At lower release altitude the curves are uniform to 20 km, at larger distances ARANO predicts higher deposition than the other codes. At the release altitude of 100 m ARANO predicts two orders of magnitude lower deposition near the source. This could reflect large differences on acute health effects. For both release heights ARANO gives higher values at larger distances.

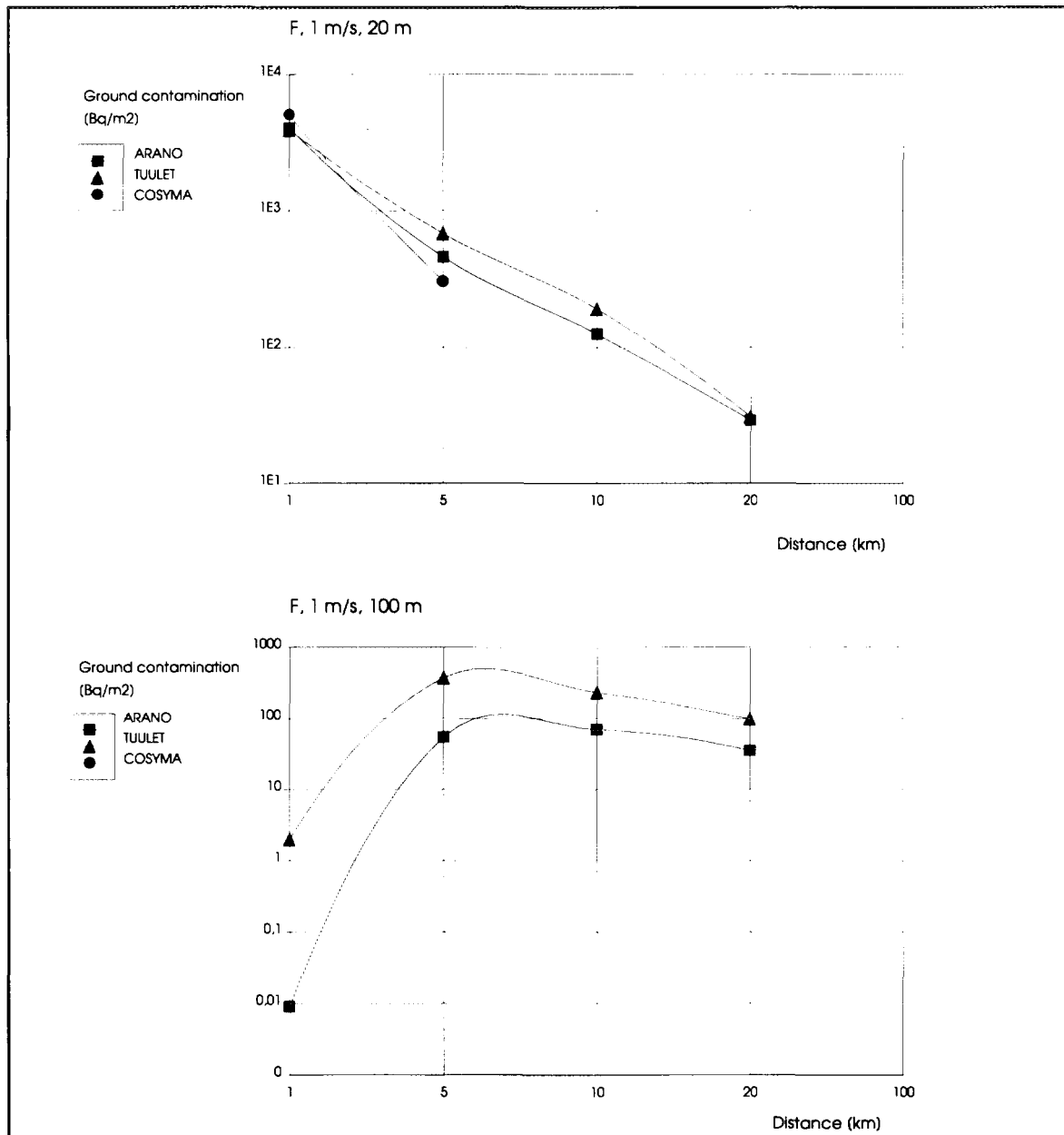


Figure 1. Centerline groundcontamination of Cs-137, two release altitudes. Release (1E10 Bq) duration 1 hour.

LIITE 3

EXPERIENCES WITH PC COSYMA 1.0 (FULL VERSION)

In figure 2 stability D is considered. Now the curves are well consistent with each other but again at high release altitude ARANO results in much lower deposition at short distances.

In figure 3 the ground contamination due to a rain condition is illustrated. The three curves are almost identical.

When the mean values are considered, ARANO is constructed in a way which is based on the

fixed sector size of 30 degrees. At first we utilized the same sector size in COSYMA (number of sectors = 12) but we found that the results differed more from each other than in the case of centerline values. Then we found that in COSYMA the sector size affects the mean value so that the larger the sector the larger the value. Figure 4 illustrates this feature in COSYMA. Now the question arises, what is the appropriate way to calculate mean doses by PC COSYMA.

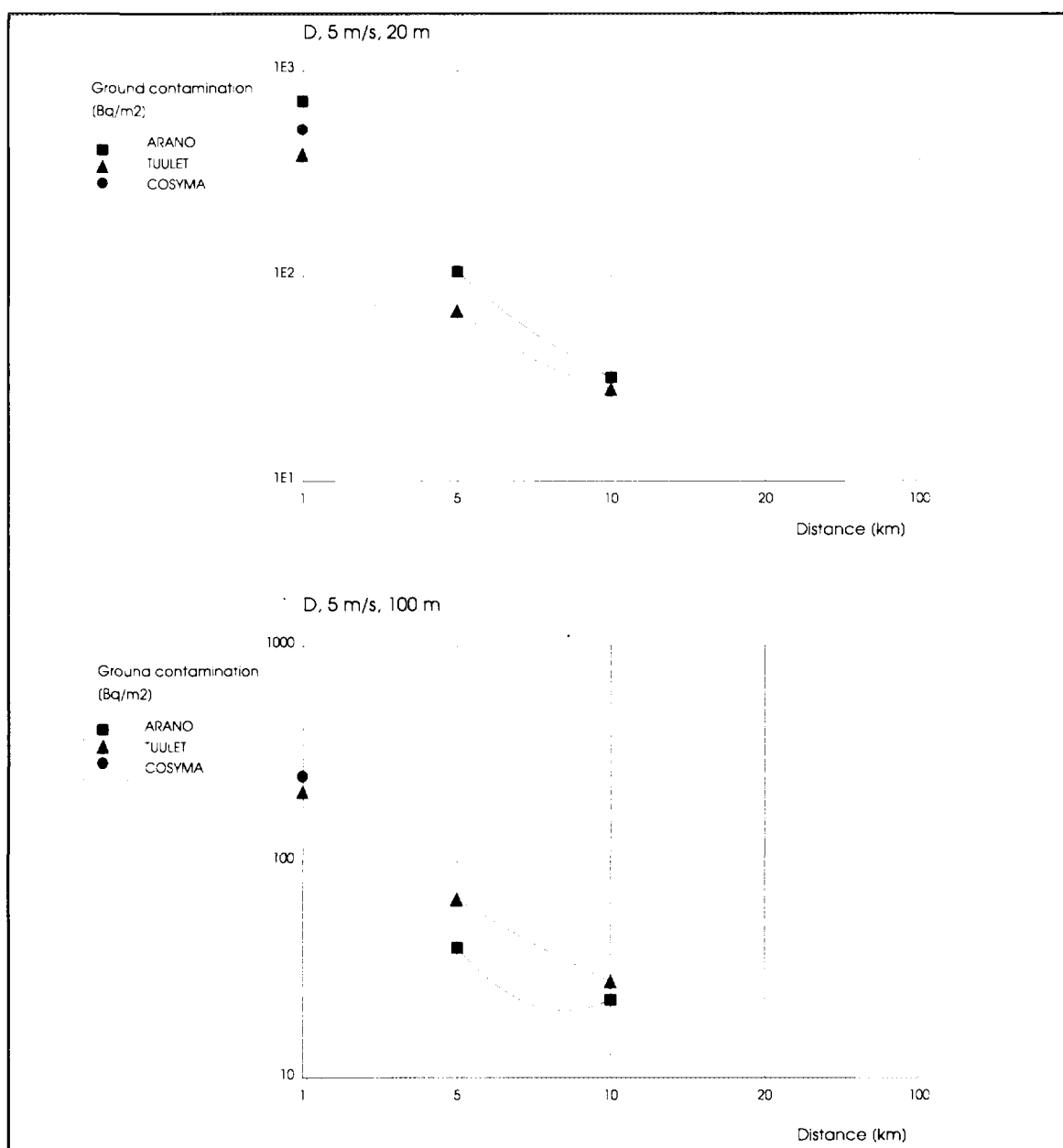


Figure 2. Centerline groundcontamination of Cs-137, two release altitudes. Release (1E10 Bq) duration 1 hour.

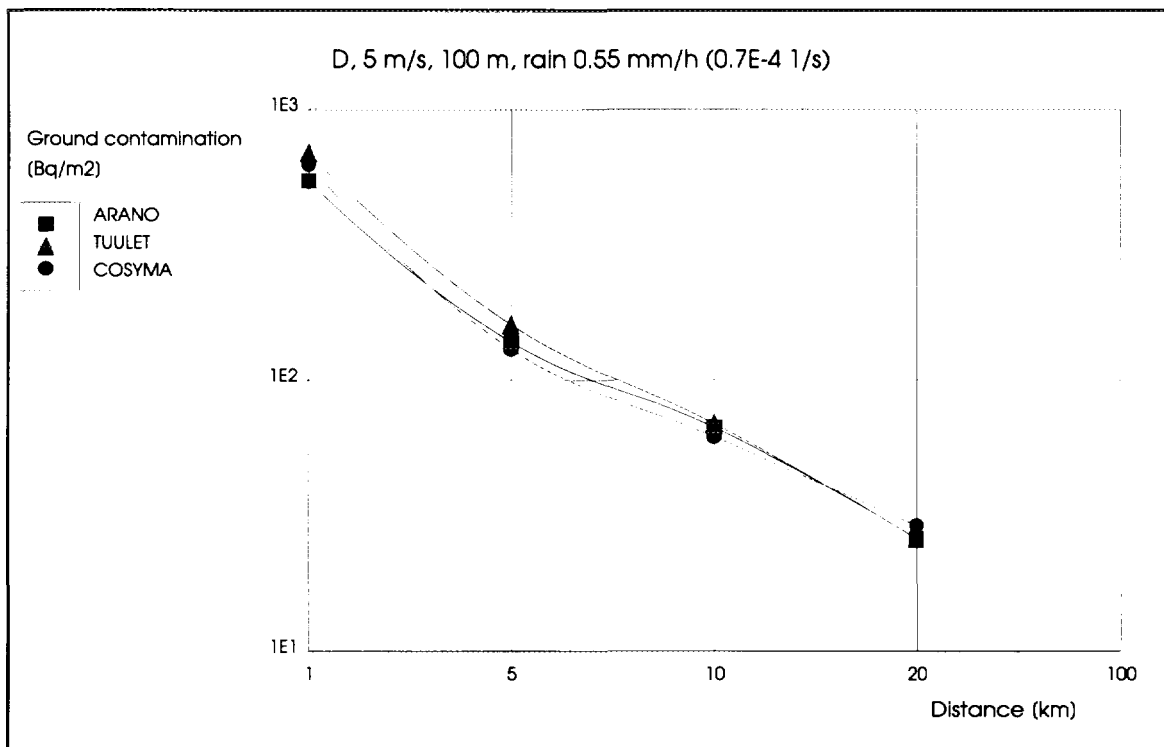


Figure 3. Centerline groundcontamination of Cs-137. Release (1E10 Bq) duration 1 hour.

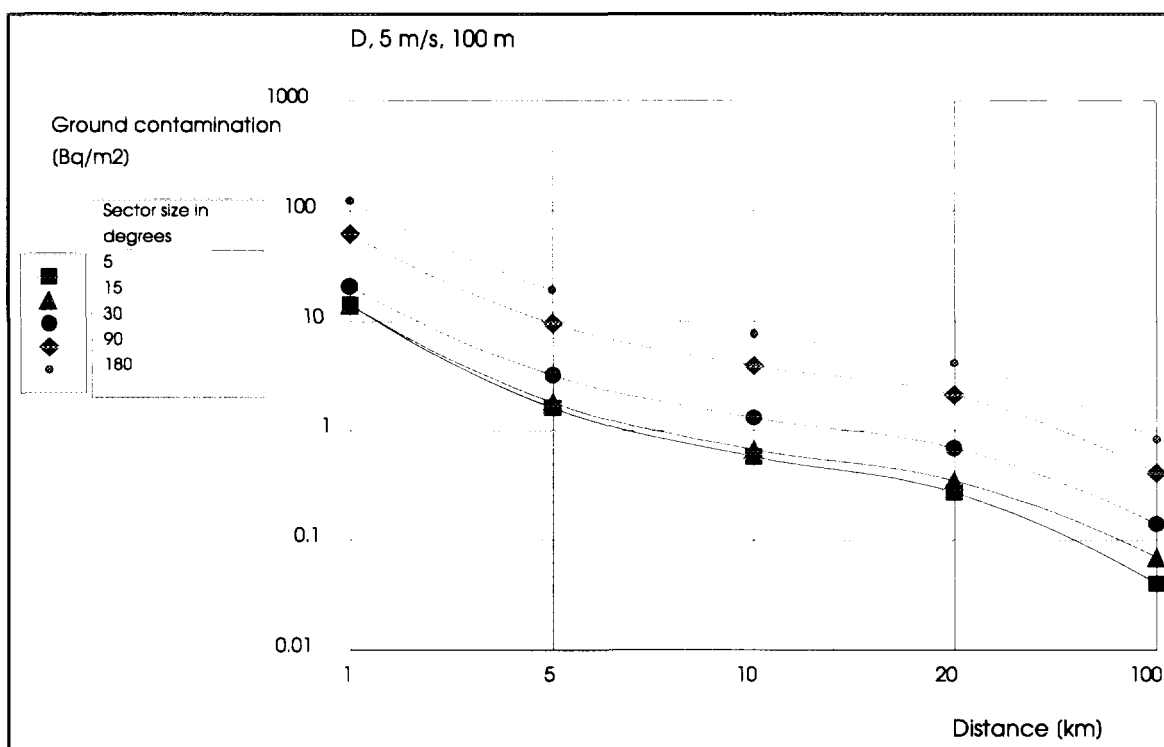


Figure 4. Mean groundcontamination of Cs-137 for different sector sizes with PC COSYMA. Release (1E10 Bq) duration 1 hour.

STUK-YTO-TR-sarjan julkaisuja

STUK-YTO-TR 95 Pulkkinen U, Huovinen T (VTT). Model uncertainty in safety assessment. (tulossa)

STUK-YTO-TR 94 Julin A. Todennäköisyyshäviö turvallisuuksianalyysin käyttö viranomaisjärjestelmän tukena.

STUK-YTO-TR 93 Haapanen P, Heikkinen J, Korhonen J, Maskuniitty M, Pulkkinen U, Tuulari E (VTT). Feasibility studies of safety assessment methods for programmable automation systems. Final Report of the AVV project.

STUK-YTO-TR 92 Haapanen P, Korhonen J, Maskuniitty M, Tuulari E (VTT). Experimental testing of an ABB Master application.

STUK-YTO-TR 91 Haapanen P, Maskuniitty M, Heikkinen J, Korhonen J (VTT). Experimental testing of a SAG digital SILT application.

STUK-YTO-TR 90 Talja H, Koski K, Rintamaa (VTT), R Keskinen R (STUK). HDR-tutkimusohjelman tulosten arviointi.

STUK-YTO-TR 89 Haapalehto T (LTKK). Analysis of natural circulation in VVER-440 geometry with CATHARE2 V1.3U.

STUK-YTO-TR 88 Kansanaho A, Ilander T, Toivonen H. GPS positioning and desktop mapping. Applications to environmental monitoring.

STUK-YTO-TR 87 Ikäheimonen TK, Ranta-vaara A et al. Radionuclide analysis of environmental field trial samples at STUK. Second report on Task FIN A 847 of the Finnish Support Programme to IAEA Safeguards.

STUK-YTO-TR 86 Simola K, Maskuniitty M (VTT). Loviisan ydinvoimalaitoksen laitos-suojautusautomaation vanhenemistutkimus.

STUK-YTO-TR 85 Kaartinen J, Tarvainen M. Feasibility of VVER-440 type SFAT.

STUK-YTO-TR 84 Blomqvist R, Suksi J, Ruskeeniemi T, Ahonen L, Niini H, Vuorinen U, Jakobsson K. The Palmottu natural analogue project. The behaviour of natural radionuclides in and around uranium deposits. Summary report 1992—1994.

STUK-YTO-TR 83 Ikonen K, Raiko H (VTT). Leak-before-break evaluation procedures for piping components. (tulossa)

STUK-YTO-TR 82 Tuomisaari M (VTT). Uudet sammutusmenetelmät.

STUK-YTO-TR 81 Okkonen T (OTO-Consulting). Development of a parametric containment event tree for a severe BWR accident.

STUK-YTO-TR 80 Tanner V, Rosenberg R (VTT). PWR-ydinvoimalaitoksen primääripinnan aktiivisuuskulkeutumismallit.

STUK-YTO-TR 79 Rosenberg R (VTT). Ydinvoimalaitosveden korroosiotuotteiden alkuai-
neanalytiikka.

STUK-YTO-TR 78 Lahdenperä K (VTT). Kaksimetalliliitosten ja austeniittisten valujen testaustekniikoiden vertailu.

Täydellisen listan STUK-YTO-TR-sarjan julkaisuista saa Säteilyturvakeskuksen ydinturvallisuusosastolta.