



# COSI6 VTT:llä

Kirjoittaja: Silja Häkkinen

Luottamuksellisuus: julkinen

Raportin nimi COSI6 VTT:llä		
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot Jaana Avolahti, Työ- ja elinkeinoministeriö, <a href="mailto:jaana.avolahti@tem.fi">jaana.avolahti@tem.fi</a>	Asiakkaan viite 4/2011KYT	
Projektin nimi Kehittyneet polttoainekierröt – Laskennallinen polttoainekiertoanalyysi	Projektin numero/lyhytnimi 73660 / KEPLA	
Raportin laatija Silja Häkkinen	Sivujen/liitesivujen lukumäärä 6/	
Avainsanat COSI6, polttoainekierto, mallinnus, ydinjäte, proliferaatio	Raportin numero VTT-R-07431-11	
Tiivistelmä  VTT on hankkinut CEA:lta viisivuotisen lisenssin ydinpolttoainekiertoa kokonaisuudessaan mallintavaan COSI6-ohjelmaan. COSI6:lla voidaan mallintaa erilaisia polttoainekierto vaihtoehtoja malmin rikastuksesta aina loppusijoitukseen saakka sekä laskea materiaalivirrat ja nuklidikohtaiset massat kussakin polttoainekierron vaiheessa. VTT:llä ohjelmaa voidaan käyttää muun muassa erilaisten transiitoskenaarioiden laskemiseen, syntyvän ydinjätteen määrän ja muiden ominaisuuksien määrittämiseen ja proliferaatoriskin arvioimiseen.		
Luottamuksellisuus	julkinen	
Espoo 31.10.2011 Laatija	Tarkastaja	Hyväksyjä
Silja Häkkinen, tutkija	Petri Kotiluoto, tiimipäällikkö	Timo vanttola, teknologiapäällikkö
VTT:n yhteystiedot PL 1000, 02044 VTT		
Jakelu (asiakkaat ja VTT) TEM: Jaana Avolahti, VTT: Silja Häkkinen		
<i>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</i>		

## Sisällysluettelo

1	Johdanto.....	4
2	COSI6.....	4
2.1	Lisenssisopimus.....	4
2.2	Ohjelman toiminta .....	4
3	Yhteenveto .....	6
	Lähdeviitteet .....	6

## 1 Johdanto

VTT on ostanut CEA:lta lisenssin COSI6-nimiseen (COSI V6 developed by CEA) polttoainekiertoa mallintavaan ohjelmaan viideksi vuodeksi. Ohjelmalla on mahdollista mallintaa polttoainekiertoa ja materiaalivirtoja malmin rikastuksesta loppusijoitukseen asti. Sillä voidaan laskea erilaisia polttoainekierron vaihtoehtoja ja niiden tarvitsemia ja tuottamia materiaaleja kussakin polttoainekierron vaiheessa. Tässä raportissa kuvataan COSI6-ohjelmiston rakennetta, käyttöä ja ohjelman tarvitsemia syöttötietoja. [1,2,3]

## 2 COSI6

COSI-ohjelmaa on kehitetty CEA:ssa vuodesta 1985 lähtien. Uusin versio ohjelmasta on COSI6 V6.0.2, jonka lisenssin VTT on hankkinut elokuussa 2011.

### 2.1 Lisenssisopimus

COSI6-ohjelman lisenssisopimus on solmittu CEA:n kanssa viideksi vuodeksi ja ohjelmasta peritään 7500 € suuruinen lisenssimaksu vuosittain. Lisenssimaksuun sisältyy CEA:n Cadarachessa järjestämää koulutusta enintään 10 päivää vuodessa ja teknistä apua puhelimitse 40 tuntia vuodessa. Teknistä apua saa arkisin numeroista +33 4 4225 4406 tai +33 4 4225 7770 klo 9-12 ja 13-16. Luultavasti sähköpostitsekin voi kommunikoida. COSI6-kurssin vuonna 2011 piti Maryan Meyer, jonka sähköpostiosoite on [maryan.meyer@cea.fr](mailto:maryan.meyer@cea.fr). Lisenssisopimuksen mukaan kaikista ohjelmalla saaduista tuloksista ja siihen liittyvistä julkaisuista on kerrottava CEA:lle. Lisäksi kaikista ohjelmaan liittyvistä julkaisuista tulee käydä ilmi, että laskut on tehty COSI6-ohjelmalla ja julkaisuun on liitettävä maininta: "COSI V6 developed by CEA". Ohjelmaa ei saa käyttää millään tavalla kaupallisiin tarkoituksiin.

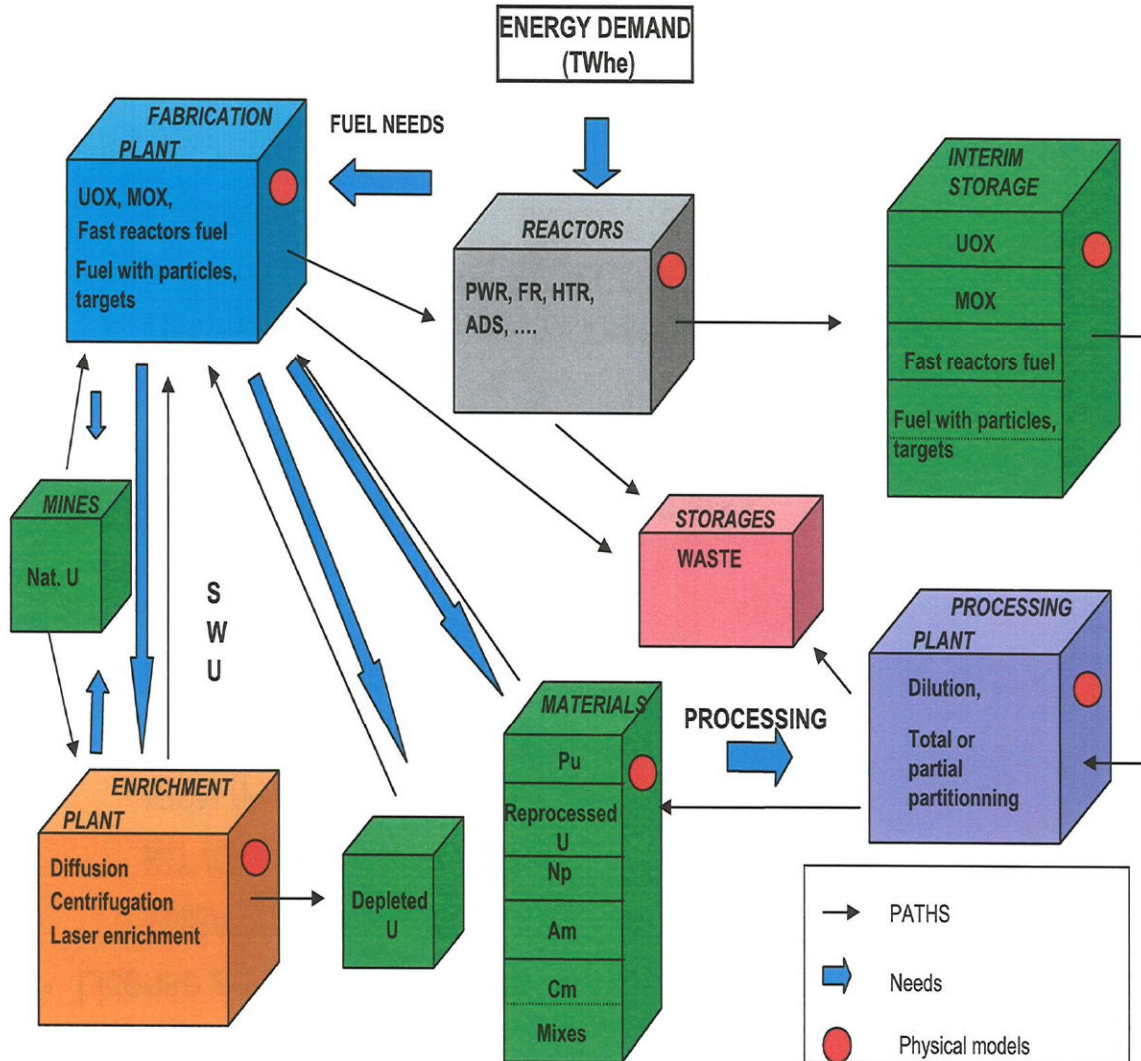
### 2.2 Ohjelman toiminta

COSI6 mallintaa ydinsähkön tuotantoa simuloimalla kaikkia tuotantoon liittyviä laitoksia ja näiden laitosten välisiä sidoksia. Ohjelmalla voi tutkia lyhyen, keskipitkän ja pitkän aikavälin polttoainekiertoa vaihtoehtoja ja tähän liittyviä reaktoreita sekä ydinmateriaaleja. COSI6-ohjelman avulla voidaan mallintaa transitoskenaarioita ja laskea kussakin skenaariossa syntyvien materiaalien isotooppisuuksia polttoainekierron eri vaiheissa. Ohjelma ottaa huomioon kaikki polttoainekierron vaiheet: uraanin rikastus, polttoaineen valmistus, reaktorit, jälleenkäsittely, väliaikaisvarastot, lopulliset varastot ja kustannukset.

COSI6 on ohjelmoitu Java-kielellä ja sitä käytetään graafisessa käyttöliittymässä Linux-käyttöjärjestelmässä. Ohjelmalla voidaan mallintaa mitä tahansa reaktorityyppejä kevytvesireaktoreista nopeisiin reaktoreihin ja myös alikriittisiä systeemejä (ADS). Se pystyy määrittämään muun muassa luonnon uraanin, fissiilin materiaalin ja jälleenkäsittelyn tarpeen ajan funktiona.

Palamalaskuja varten COSI6-ohjelma on kytketty CEA:n ja COGEMA:n yhdessä kehittämään CESAR-ohjelmaan (Simplified Evolution Code Applied to Reprocessing). COSI6:ssa voidaan käyttää joko versiota CESAR4 tai CESAR5. Näistä CESAR4 suoriutuu laskuista

huomattavasti nopeammin, mutta se osaa laskea vain 21 raskasta nuklidia eikä ollenkaan fissiotuotteita. CESAR5 on huomattavasti hitaampi, mutta sen avulla saadaan tuloksia 109 raskaasta nuklidista (Tl → Cf), 209 fissiotuotteesta ja 80 aktivaatiotuotteesta. COSI6 voidaan kytkeä myös ERANOS-ohjelmaan laskettaessa nopeita reaktoreita.



**Kuva 1.** COSI6 kaaviokuva.

Kuvassa 1 on esitetty kaavio COSI6:n toiminnasta. Ohuet mustat nuolet kuvaavat ohjelman syöttötietojen rakennetta. Esimerkiksi musta nuoli ”fabrication plant”-laatikosta ”reactors”-laatikkoon tarkoittaa, että reaktori tarvitsee syöttötiedokseen polttoaineen tuotantolaitoksen. Paksut siniset nuolet puolestaan kertovat tarvittavien materiaalien tai muiden parametrien järjestyksen. Esimerkiksi sininen nuoli reaktoreista tuotantolaitokseen tarkoittaa, että reaktori määrittää tuotantolaitokselta vaadittavan kapasiteetin.

Käytännössä esimerkiksi mallinnettaessa siirtymistä termisistä reaktoreista nopeisiin reaktoreihin ohjelmalle on annettava vähintään seuraavanlaiset syöttötiedot.

- **Polttoaine:** materiaalit, rikastusmenetelmä, polttoainetyyppi (esim. UOX / MOX), loppupalama, polttoainenipun koostumus (polttoainetyypit oikeissa suhteissa), nipun massa.

- **Reaktorit:** käyttöönotto- ja käytöstäpoistovuosi, polttoainenipun käyttöaika (jaksot) reaktorissa, jakson pituus päivissä, sähköteho, käyttökerroin, nettotuotto.
- **Muut laitokset:** käyttöönotto- ja käytöstäpoistovuosi, polttoainenipun / erän käsittelyaika.

VTT:llä COSI6-ohjelmaa voidaan käyttää esimerkiksi skenaariotarkasteluihin, kuten mallintamaan Suomen siirtymistä termisistä nopeisiin reaktoreihin. Mallissa voidaan laskea myös materiaalivirrat, kuten kussakin polttoainekierron vaiheessa syntyvien aktinidi-isotooppien massat ja verrata niitä nykyisessä avoimessa kierrossa vastaavasti syntyviin materiaalmääriin. COSI6 osaa arvioida myös syntyvää ydinjätettä laskemalla käyttäjän määrittelemien jätepakkausten lukumäärän, tarvittavan varastotilan, jälkilämmön tuoton ja jätteen radiotoksisuuden. Lisäksi ohjelmassa on kohta ”proliferation resistance” proliferaation arvioimiseen. Käytännössä tämä kohta antaa tietoa erilaisista fissiileihin ja radioaktiivisiin materiaaleihin liittyvistä tekijöistä, kuten plutoniumin jälkilämpö, säteilyannos, konsentraatio ja fissiilin materiaalin inventaari.

### 3 Yhteenveto

VTT on hankkinut CEA:lta viisivuotisen lisenssin ydinpolttoainekiertoa kokonaisuudessaan mallintavaan COSI6-ohjelmaan. COSI6:lla voidaan mallintaa erilaisia polttoainekiertoavaihtoehtoja malmin rikastuksesta aina loppusijoitukseen saakka sekä laskea nuklidikohtaiset massat kussakin polttoainekierron vaiheessa. VTT:llä ohjelmaa voidaan käyttää muun muassa erilaisten transitioskenaarioiden laskemiseen, syntyvän ydinjätteen määrän ja muiden ominaisuuksien määrittämiseen ja proliferaatoriskin arvioimiseen.

### Lähdeviitteet

1. L. Boucher, Jean-Paul Grouiller, “COSI”: The Complete Renewal of Simulation Software for the Fuel Cycle Analysis”, ICONE14-89314, 14<sup>th</sup> International Conference on Nuclear Engineering, Miami, Florida, USA, July 17-20, 2006.
2. M. Meyer, L. Boucher, “New developments on COSI 6, the Simulation Software for Fuel Cycle”, Proceedings of Global 2009, Paris, France, September 6-11, 2009.
3. L. Boucher, M. Meyer, ”Manuel utilisateur de COSI6 v6.0.0 en anglais”, CEA, 2009.