

Assessment of Prediction Models For Plasma Conditions In a Magnetic-Confinement Fusion Reactor

Tuomas Mäkelä

11.05.2022

Ohjaaja: *Prof. Mathias Groth*

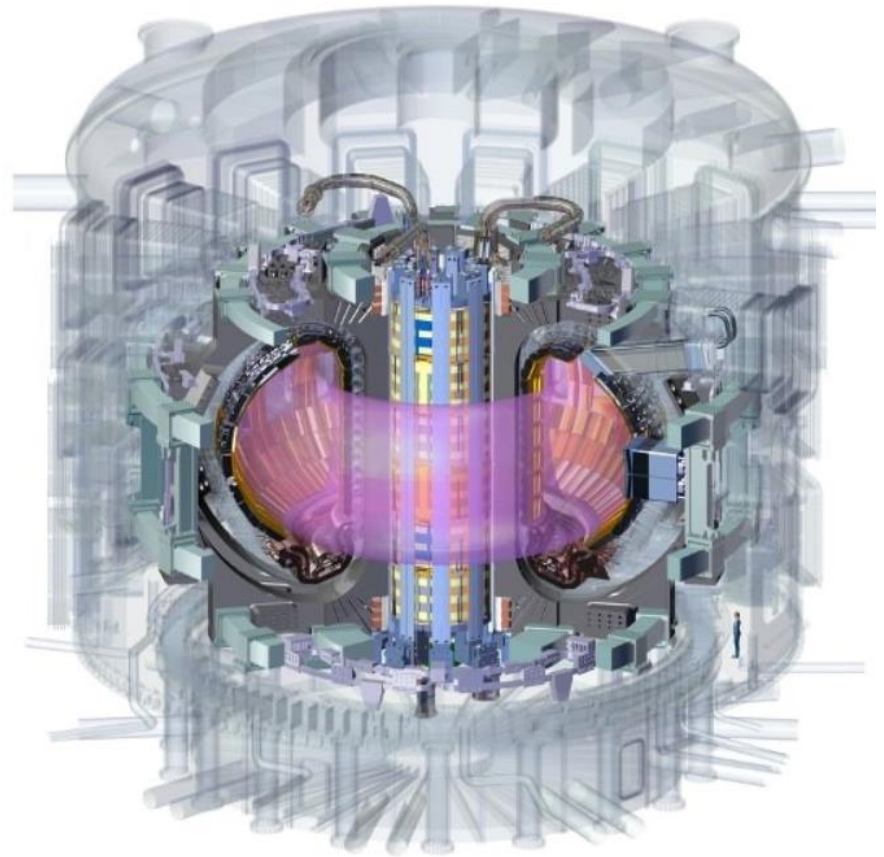
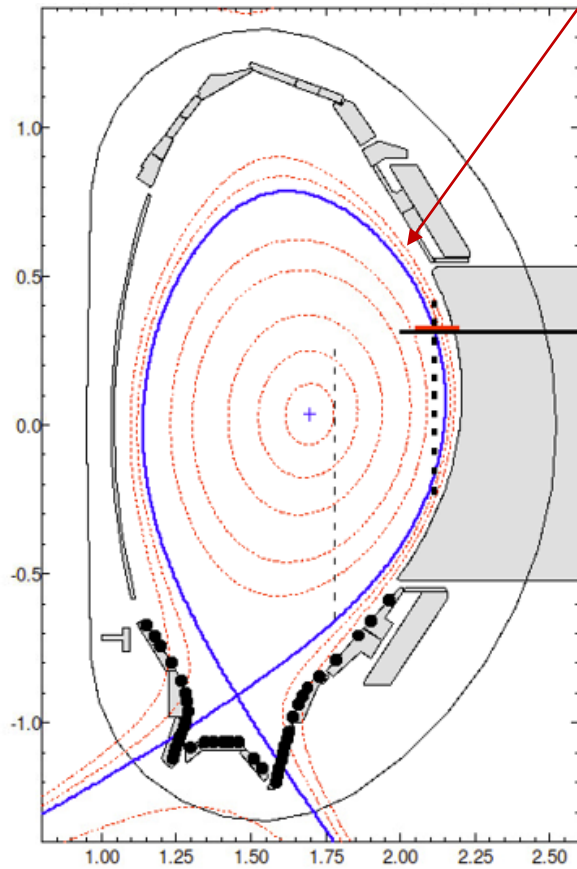
Valvoja: *Prof. Ahti Salo*

Työn saa tallentaa ja julkistaa Aalto-yliopiston avoimilla verkkosivuilla. Muilta osin kaikki oikeudet pidätetään.

Tausta

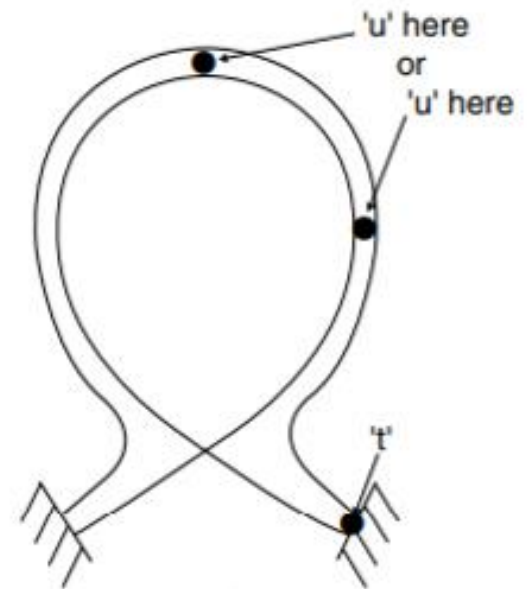
- Fuusiolaitteet ovat tyypillisesti magneettisen koossapidon laitteita
 - Viimeisen suljetun magneettisen kenttäviivan separatrixin ulkopuolella olevaa aluetta kutsutaan plasman reuna-alueeksi
- Reunaplasmat ovat tärkeitä fuusiolaitteiden plasma-seinäjä vuorovaikutuksissa
 - Tästä syystä reuna-alueiden mallintaminen ja käyttäytymisen ennustaminen keskeisen tärkeää ydinfuusiotutkimuksessa
- Toimivat fysikaaliset mallit mahdollistavat tulevaisuuden suuremmat fuusiolaitteet

Separatrix



Tavoitteet

- Mallinnetaan reuna-alueen (kuorintakerroksen) olosuhteita lähellä fuusiolaitteen seinämä-aluetta
 - Kaksi mallia: Yksinkertainen kaksipistemalli (2PM) sekä monimutkaisempi sipulinkuorimalli (OSM)
- Mallien parametreina käytetään fuusiolaitteen targetin ('t') elektronitiheyttä ja -lämpötilaa
 - Vertaillaan malleista saatuja tuloksia poikkileikkauksen yläjuoksun ('u') mittausdataan ja tarkastellaan niiden pätevyyttä



Menetelmät ja rajaukset

- 2PM muodostaa kahden pisteen välille riippuvuuden kolmen perusyhtälön avulla:

- Paineen säilyminen: $p_{\text{static}} + p_{\text{dynamic}} = \text{Vakio} \rightarrow 2n_t T_t = n_u T_u$

- Tehon säilyminen: $q_{||} = -k_0 T^{\frac{5}{2}} \frac{dT}{ds_{||}} \rightarrow T_u^{\frac{7}{2}} = T_t^{\frac{7}{2}} + \frac{7}{2} q_{||} \frac{L}{k_{0e}}$

- Lämpövuotiheys: $q_t = \gamma n_t k T_t c_{st}$

- OSM on kaksipistemallin looginen jatke:

- Muodostaa kaksiulotteisen kartan
kuorinta-alueella vallitsevista olosuhteista

- Toteutetaan ASDEX-Upgrade
32130-kokeesta saadun datan
perusteella

$$\frac{d}{ds_{||}} \left(\frac{5}{2} T_e n v - k_{0e} T_e^{5/2} \frac{dT_e}{ds_{||}} \right) = -Q_{eq} + Q_{Ee},$$

$$\frac{d}{ds_{||}} \left[\left(\frac{5}{2} T_i n + \frac{1}{2} m_i n v^2 \right) v - k_{0i} T_i^{5/2} \frac{dT_i}{ds_{||}} \right] = Q_{eq} + Q_{Ei},$$

$$\frac{d}{ds_{||}} (m_i n v^2 + n k T_e + n T_i) = S_{\text{momentum}},$$

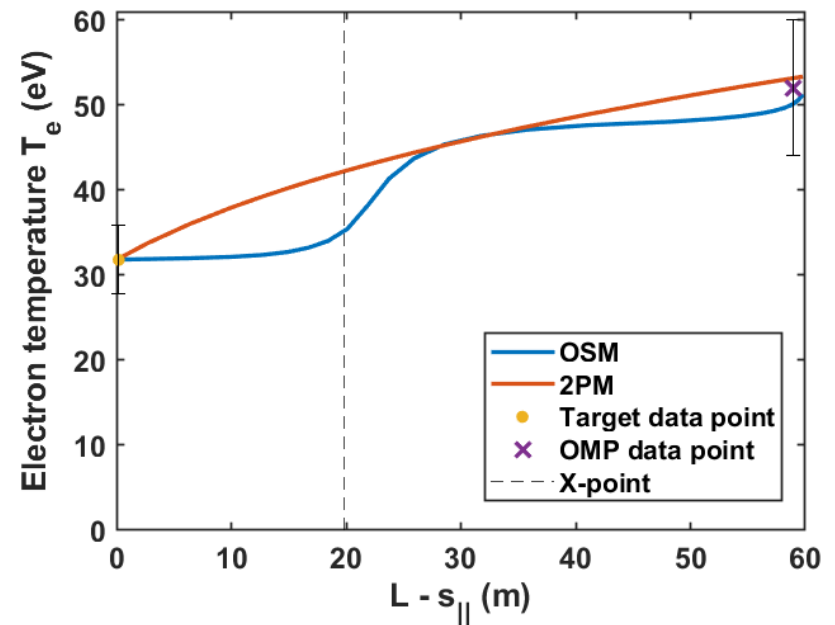
$$\frac{d}{ds_{||}} (n v) = S_{\text{particle}},$$

Menetelmät ja rajoukset

- 32130-kokeen plasmaa voidaan pitää matalan tiheyden plasmana:
 - Lähes isoterminen kuorintakerros: elektronilämpötilan muutos separatrixilla targetilta yläjuoksulle vain n. 20 eV
 - Staattisen elektronipaineen oletetaan säilyvän koko kuorintakerroksessa
 - Lämpö- ja tehohäviöt ovat suhteellisen pieniä
- Matalan tiheyksien plasmoja suhteellisen yksinkertaista mallintaa: käytettävien mallien pitäisi suoriutua hyvin

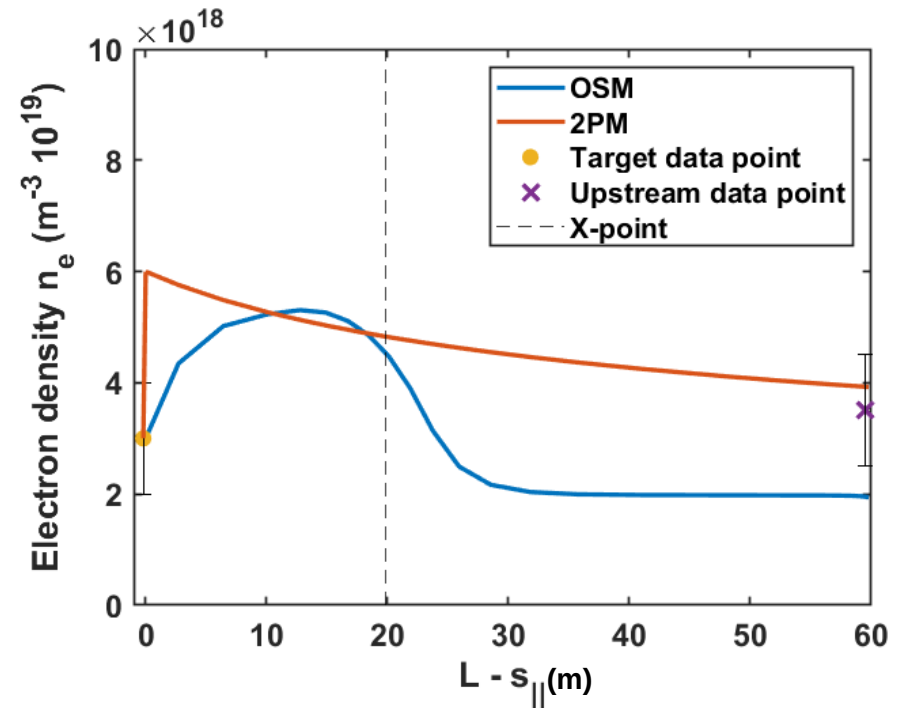
Odotetusti molemmat mallit ennustavat mittausdatan mukaiset elektronilämpötilat separatrixilla

Data/Malli	$T_{e,sep}$ (eV)	Suht. ero
ETS 32130	≈ 53	-
2PM	≈ 51	0,96
OSM-EIRENE	≈ 55	1,04

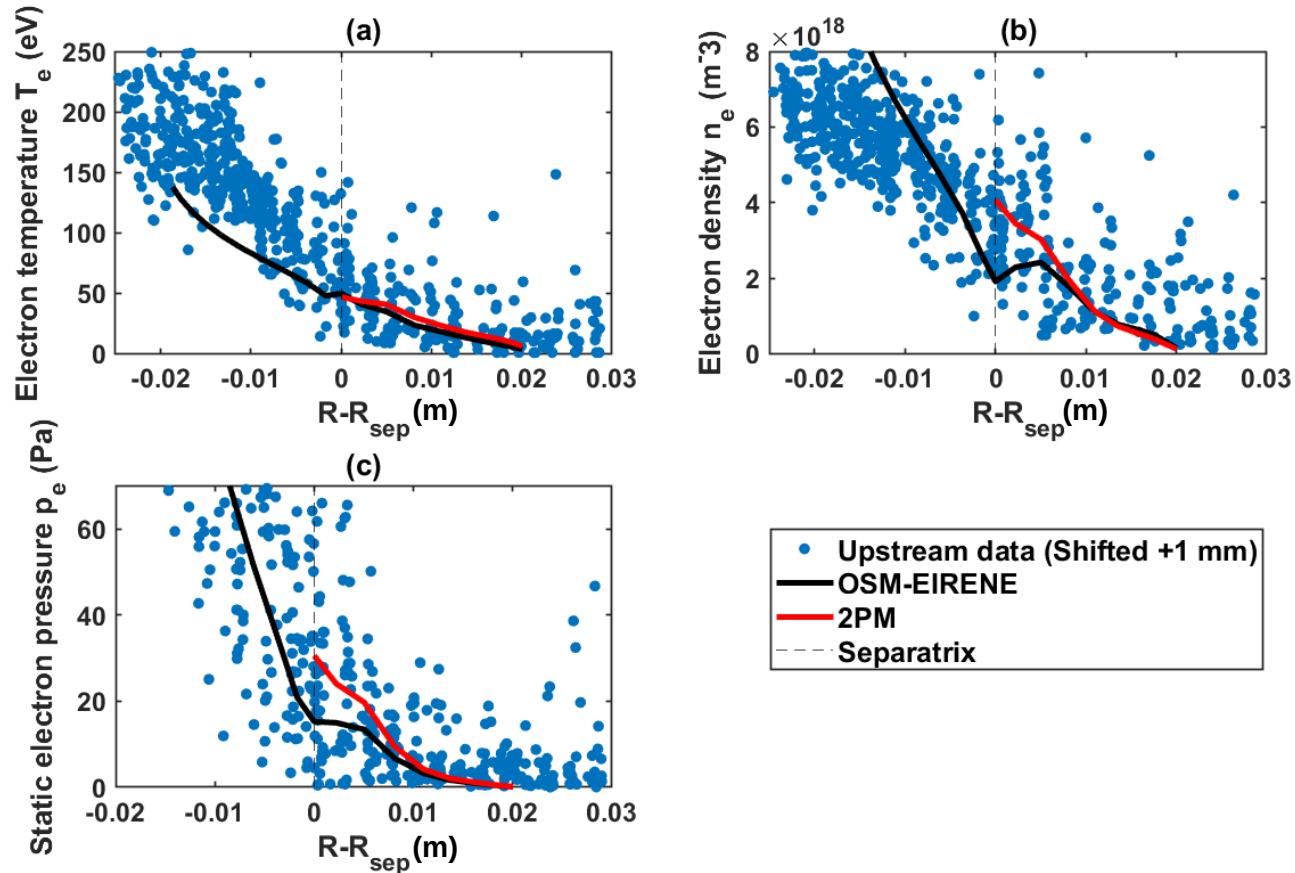


Mallien ennustamat elektronitiheydet vaihtelevat merkittävästi pitkin separatrixia

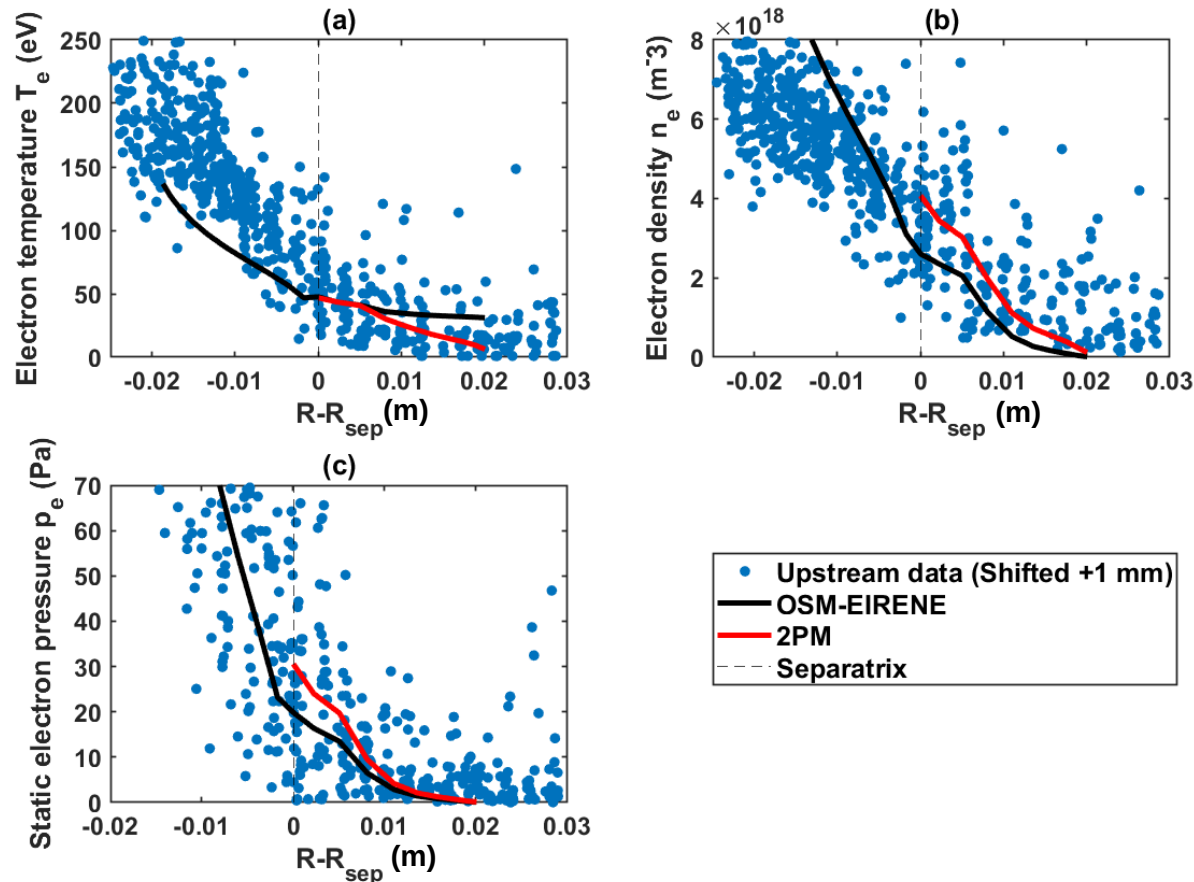
Data/Malli	$n_{e,sep} \text{ (m}^{-3}\text{)}$	Suht. ero
ETS 32130	$\approx 3,5 \cdot 10^{18}$	-
2PM	$\approx 4,0 \cdot 10^{18}$	1,125
OSM-EIRENE	$\approx 2,1 \cdot 10^{18}$	0,4



OSM ennustaa lähikuorintakerroksessa merkittävästi korkeamman elektronitiheyden sekä paineen



Muuttamalla OSM:n alkuarvoja mallien eroavaisuudet lähikuorintakerroksessa ovat merkittävästi pienempiä



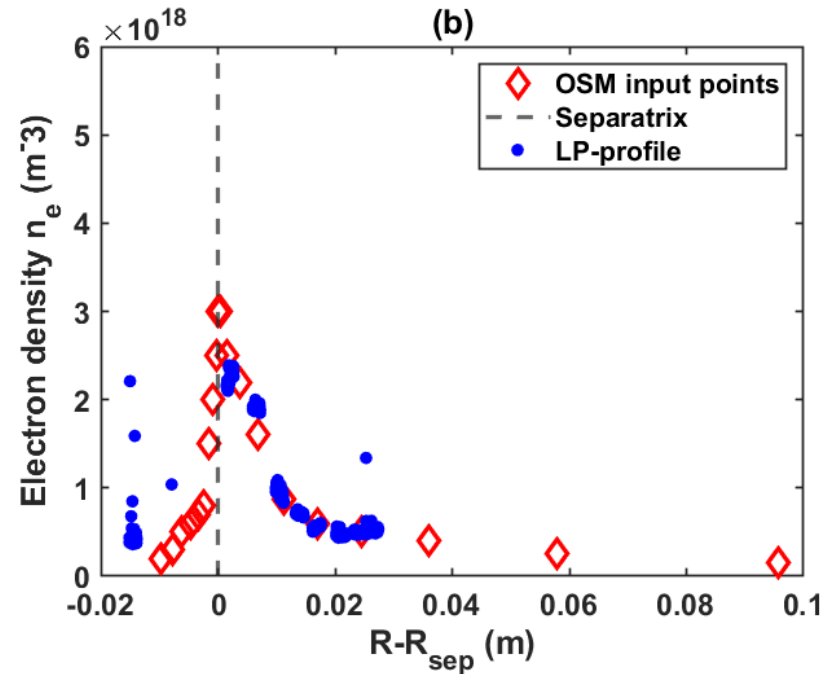
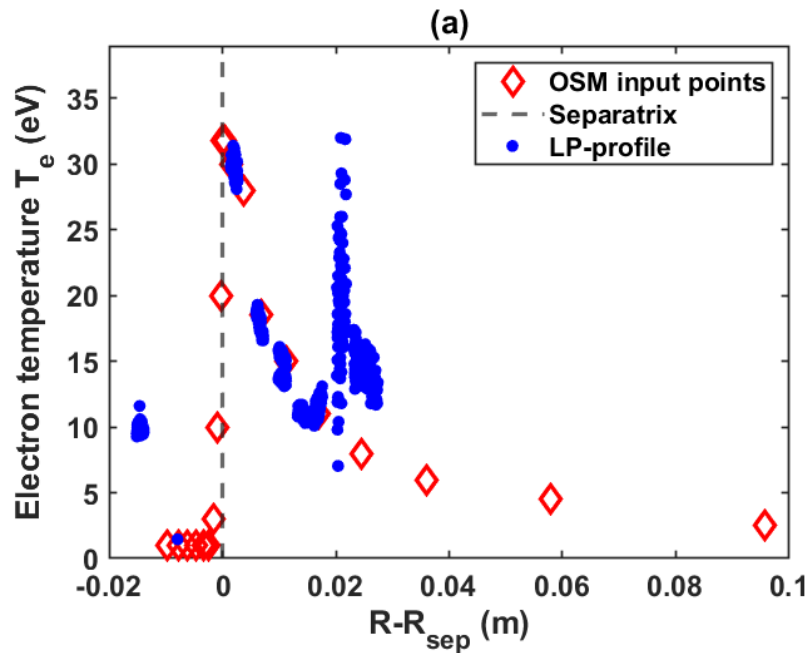
Yhteenveto

- Sekä OSM että 2PM ennustavat tarkasti kuorintakerroksen elektronilämpötilan matalan tiheyden plasmassa
- Mallit ennustavat kuitenkin hyvin erilaisia elektronitiheyden arvoja: elektronitiheyden käyttäytyminen hyvin monimutkaista kuorintakerroksessa
- OSM:n suorituskyky voisi parantua tutustumalla plasman ionisaatioprofiiliin ja muuttamalla sen perusteella mallin oletuksia

Tietolähteet ja aineisto

- Karhunen, J., Spectroscopic measurements of impurity migration, deposition and fuel retention in fusion devices, Doctoral thesis, Aalto University (2018).
- Stangeby, P.C., The plasma boundary of magnetic fusion devices, (2000), Philadelphia, Pennsylvania: Institute of Physics Pub.
- Reiter, D. Progress in two-dimensional plasma edge modelling. Journal of Nuclear Materials **196** (1992) 80.
- Stangeby, P.C., Elder, J.D., Fundamenski, W., Loarte, A., Horton, L.D., Simonini, R., Taroni, A., Matthews, O.F. and Monk, R.D., Code-code comparisons of DIVIMP's 'onion-skin model' and the EDGE2D fluid code. Journal of Nuclear Materials **241** (1997) 358.

Lisäkalvo 1: OSM alkuperäiset alkuarvot



Lisäkalvo 2: OSM vaihtoehtoiset alkuarvot

