

8.1.2014/KJ

1. Esimerkkejä Saaristomeren ja Ahvenanmeren öljyvahinkolaskelmista

1.1. Yleistä

Saaristomerelle ja Ahvenanmerelle on vuosina 2012 ja 2013 tehty Suomen ympäristökeskuksessa SpillMod-laskentaohjelmistolla laskelmia erilaisten kuvitteellisten öljyvahinkojen leviämisestä sekä niiden torjumisesta. Laskelmissa käytetyn ohjelmaversion tiedot ovat seuraavassa kuvassa.



Laskelmat koskevat raakaöljyn ja raskaan polttoöljyn erikokoisia vuotoja. Sadoista laskelmista on poimittu tähän esitykseen esimerkkejä.

1.2. Laskelmat ja laskenta-alueet

1.2.1. Laskelmasäiden valinta

Lähtötietoina ovat olleet käytettävissä kuuden vuoden tuulitiedot vuosilta 1996-2001. Ohjelmalla voi laskea tunnin välein alkavat ajelehtimisreitit eli **trajektorit** mille tahansa halutulle pisteelle Itämerellä mainitulla aikajaksolla. Yhden vuoden sään laskenta tuottaa tunnin välein alkavien 8760 trajektorin tiedot (karkausvuonna 8784 trajektoria). Sellaisia trajektori-laskelmia on tehty SYKEssä muun muassa seuraavassa kuvassa esitetyille pisteille.



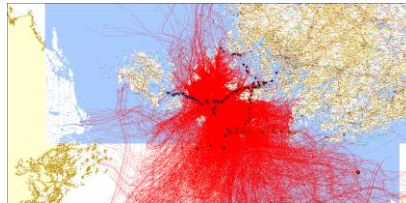
Kuva 1. SYK:ssä suoritettujen trajektorilaskentojen alkupisteitä

Yksi laskentapisteistä sijaitsee Saaristomerellä Kihdin selällä. Mainittujen eri vuosien laskentakuvat sinne on esitetty seuraavissa kuvissa.

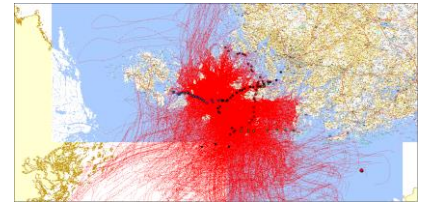
Kuva 2. 1996



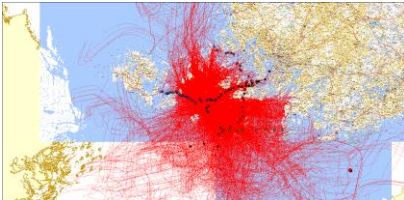
Kuva 3. 1997



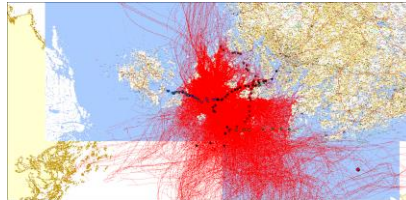
Kuva 4. 1998



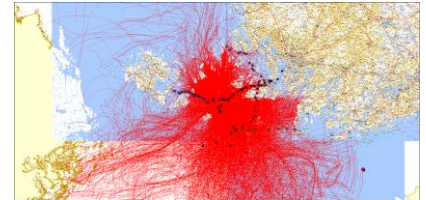
Kuva 5. 1999



Kuva 6. 2000



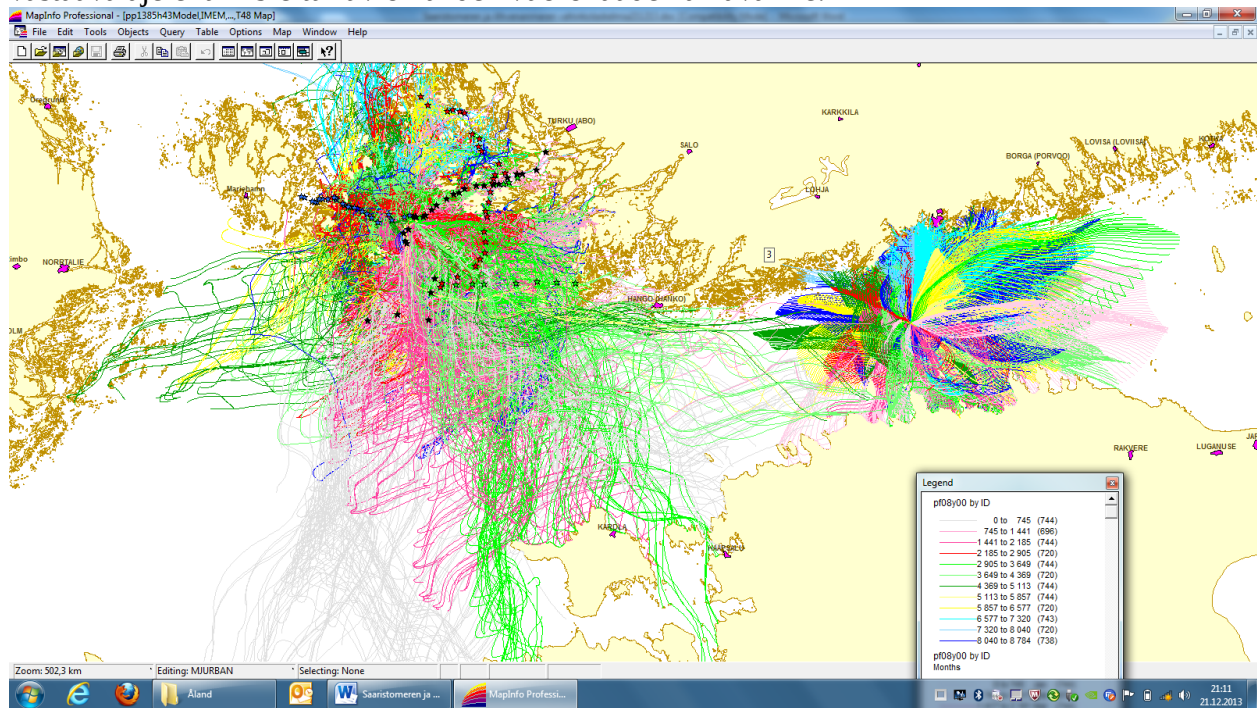
Kuva 7. 2001



Kuvat 2-7. Kuuden vuoden 1996 - 2001 trajektorit alkuen Kihdin selältä

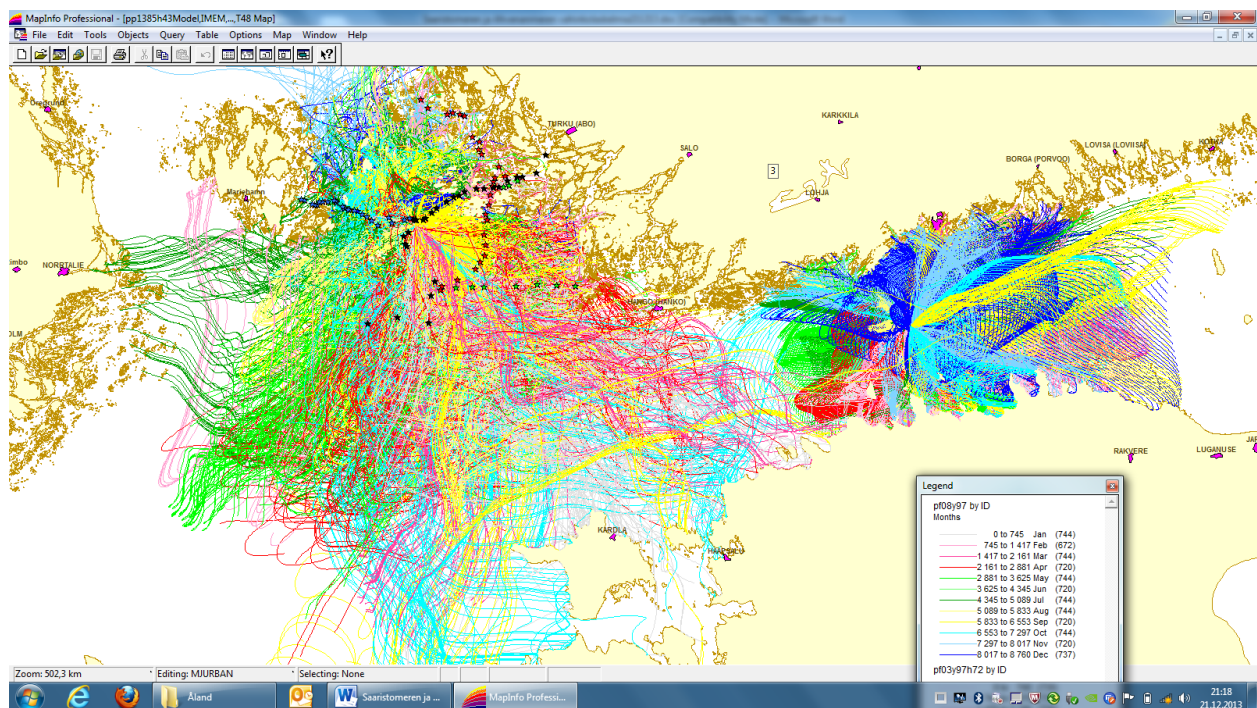
Tässä esityksessä mainituissa leviämislaskelmissa on käytetty vuoden 2000 ja joissain tapauksissa vuoden 1997 tuulitietoja. Seuraavassa kuvassa on Kihdin selän peruspisteestä lähtevien vuoden 2000 ajelehtimisreittien, trajektorien jakautumista eri kuukausille esittävä kuva. Samassa kuvassa

näkyä myös Helsingin ja Tallinnan puolivälissä olevan peruspisteen numero 3 vuoden 1997 vastaava ajelehtimisreititkuvio kahden vuorokauden aikavälille.



Kuva 8. Vuoden 2000 trajektorit pisteissä 8 (Kihdin selkä) ja 3 (Helsinki-Tallinna väli 48 tuntia)

Vertailun vuoksi seuraavassa kuvassa on esitetty vastaava vuoden 1997 kuva.



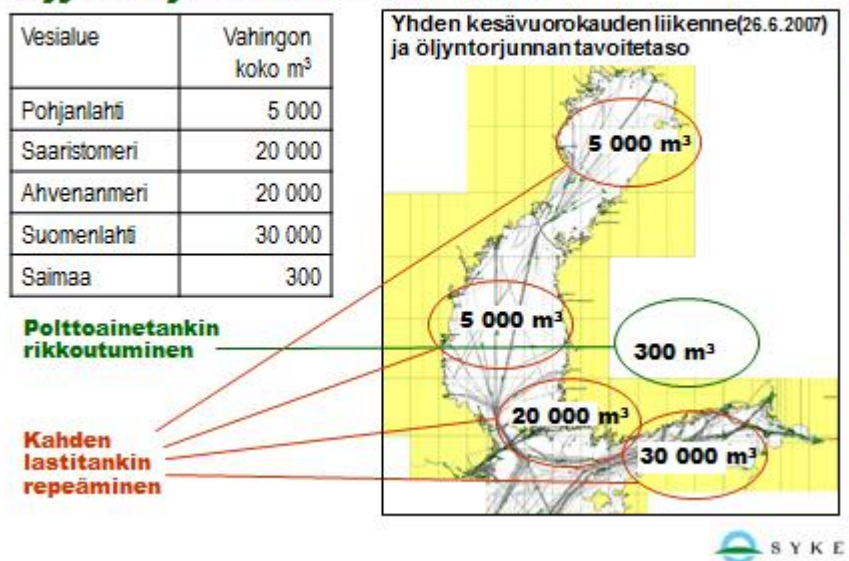
Kuva 9. Vuoden 1997 trajektorit pisteissä 8 (Kihdin selkä) ja 3 (Helsinki-Tallinna väli, 72 tuntia)

Mistä tahansa pisteestä voidaan tehdä millä tahansa tietyn vuoden tuulijaksolla eli ajelehtimisreitillä tai trajektorilla öljyn kulkeutumislaskelma eli **skenaario**.

1.2.2. Laskennoissa käytetyt öljyalaadut ja vuotomäärät

Lähtökohtana laskennoissa käytetyille öljyalaaduille ja öljyvuoatomäärille ovat öljyn kuljetusreitit, niillä kuljetettavat suurimmat öljylastit sekä laivojen polttoainevahinkoja koskien koko meriliikenne alueella. Yhtenä tarkoituksena laskelmille on öljyntorjunnan tavoitetason alueellinen määrittely. Valtakunnallisesti tämä tavoitetaso on esitetty seuraavassa kuvassa.

Öljyntorjunnan tavoitetaso



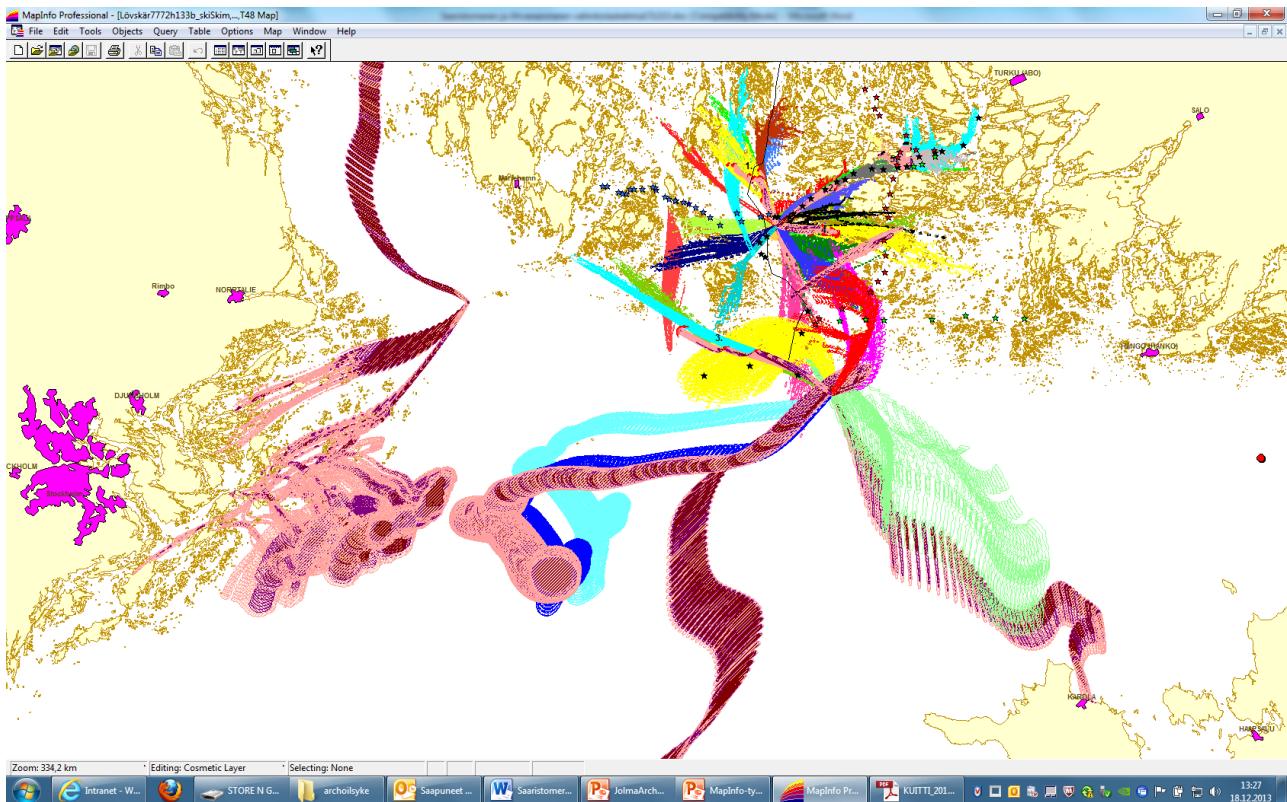
Naantalin öljysatamaan johtavalla Saaristomeren syväväylällä (syväys 15,3 m) vuotomäärä on 20 000 m³, Saaristomeren muilla 10-13 m:n väylillä Naantaliin 10 000 m³ ja 7-9 m:n väylillä 5000 m³. Muilla Saaristomeren laivaväylillä vuotomäärä olisi suurimpien alusten koosta riippuen 500 - 1000 m³ tai pienempi. Avomerellä Pohjois-Itämerellä ja Suomenlahdella vuotomäärä on 30 000 m³, Naantalin öljyliikenteen reitillä 20 000 m³ ja Pohjanlahdelle johtavalla reitillä 5000 m³.

1.2.3. Laskenta-alueet

Laskentoja on suoritettu Varsinais-Suomen puolella ulkomereltä ja Saaristomeren syväväylältä alkaen Utön ympärille, Kihdin selälle, Kihdin selän ja Airiston välille ja Airistolle. Ahvenanmaan itäpuolella laskentoja on tehty Kihdin selän ja Ahvenanmaan väliseltä 8 metrin väylältä alkaen Föglöfjärdenille, Bockholmenille, Enskäriin ja Sottungan eteläpuolelle. Ahvenanmaan länsipuolella lasketut tapaukset ovat alkaneet Märketistä ja Flötjanilta. Lisäksi on vielä laskettu joitain tapauksia alkaen Hiidenmaan luoteispuolelta yhdestä pääliikennereitin varrella olevasta pisteestä.

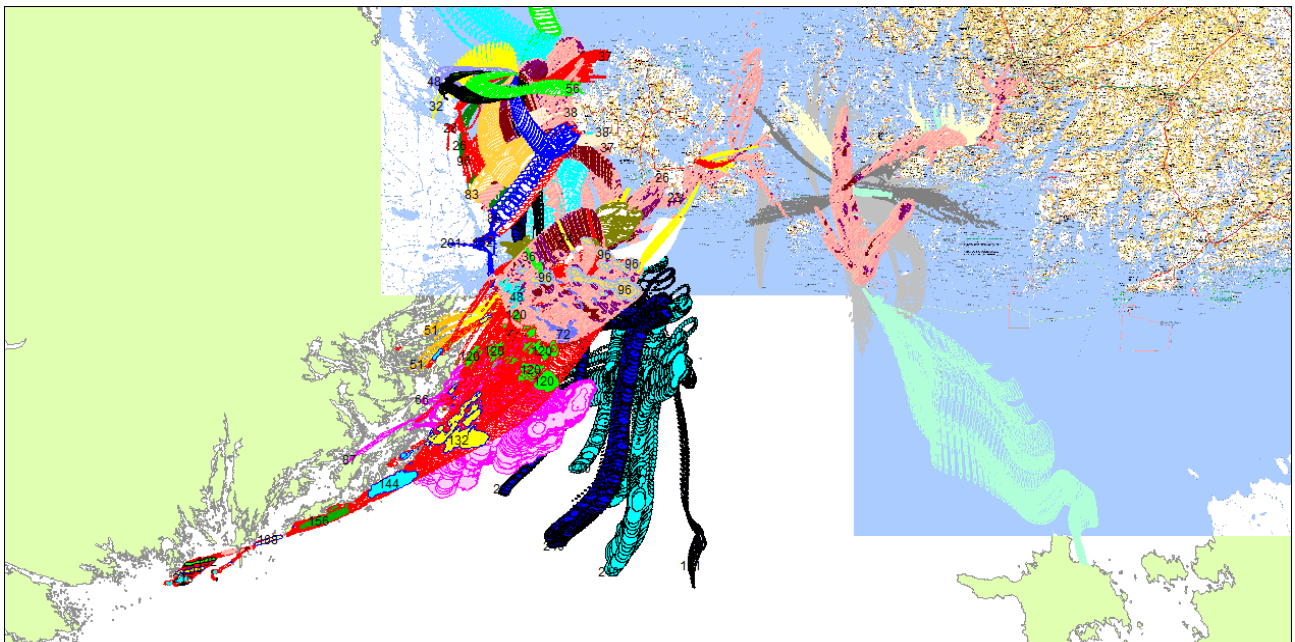
Laskettuja skenaarioita on koottu neljään seuraavaan kuvaan, joista ensimmäisessä on ulkomereltä ja Saaristomeren syväväylältä alkavia 20 000 tonnin öljyvuoatojen laskelmia ja kolme Flötjanilta alkavaa 5000 tonnin tapausta. Toisessa kuvassa on Ahvenanmeren 5000 tonnin öljyvuoatojen laskentoja ja Ahvenanmaan itäpuolelta 1000 - 500 tonnin vuototapauksia sekä myös ensimmäisen kuvan Saaristomeren laskentoja. Kolmannessa kuvassa on Flötjanilta alkavia 5000 tonnin esimerkkitapauksia. Neljännessä kuvassa on lisäksi Hiidenmaan luoteispuolelta alkavia 30 000 tonnin vuotoja.

Varsinais-Suomi



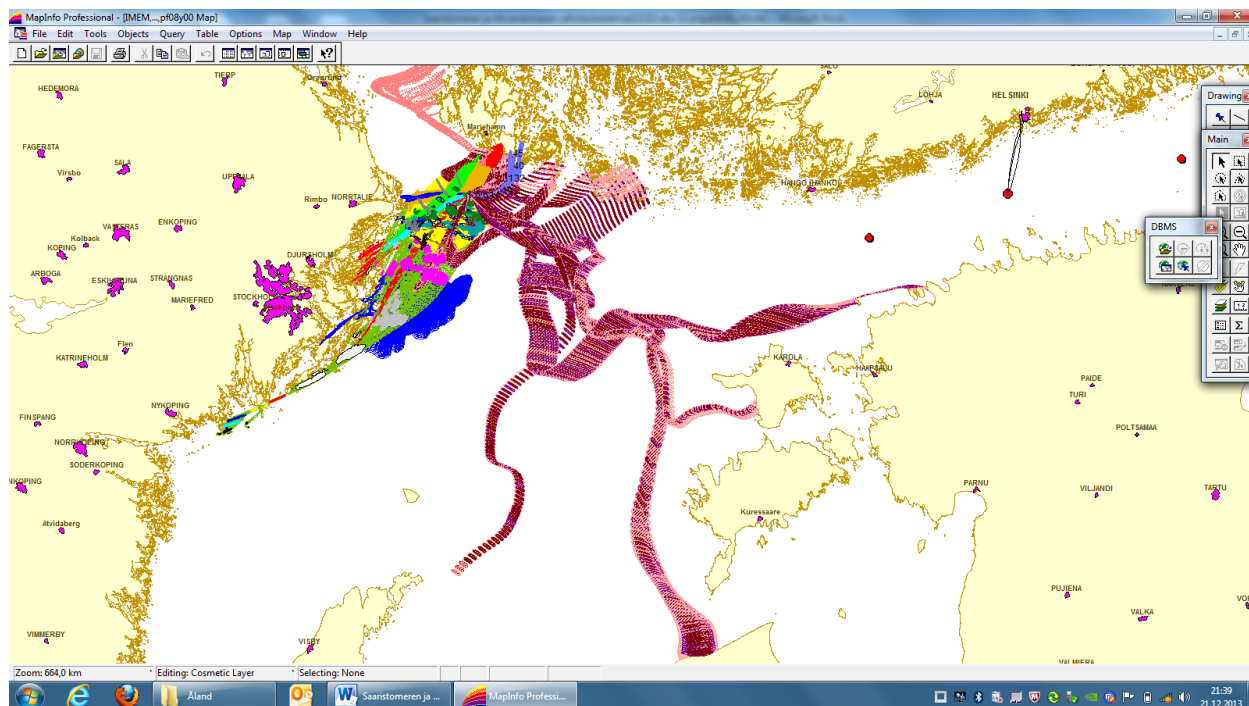
Kuva 10. Ulkomereltä ja Saaristomeren syväväylältä alkavia 20 000 tonnin raakaöljyvuo-
tojen laskelmia ja kolme Flötjanilta alkavaa 5000 tonnin raskaan polttoöljyn vuodon laskelmatapausta

Itä- ja Länsi-Ahvenanmaa sekä Ruotsi



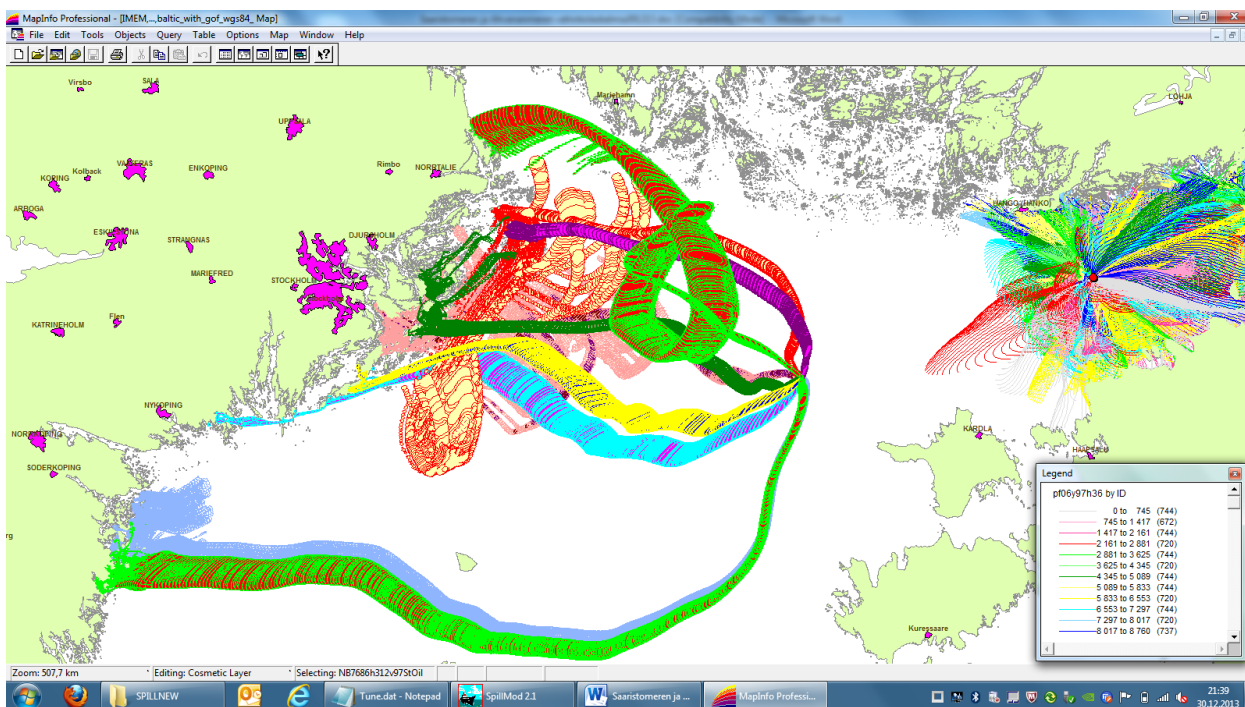
Kuva 11. Öljyvahinkojen laskennallisia leviämiskuvia Ahvenanmerelle ja Saaristomerelle: Ahvenanmerellä 5000 tonnin ja Ahvenanmaan itäpuolella 1000-500 tonnin raskasöljyvuo-
to-esimerkkejä sekä myös edellisen kuvan Saaristomeren laskentoja

Flötjan ja Saaristomeri sekä Pohjoinen Itämeri



Kuva 12. Flötjanilta alkavaksi laskettuja 5000 tonnin raskasöljytapauksia

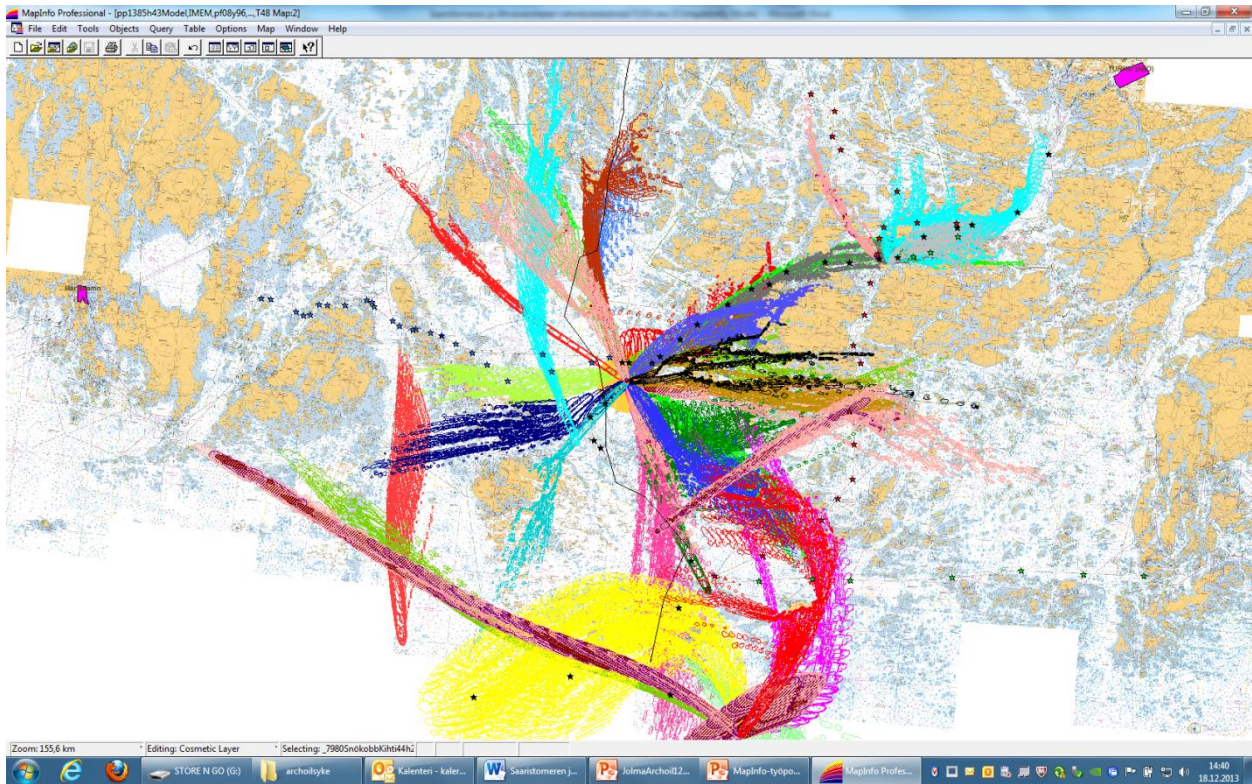
Pohjoinen Itämeri



Kuva 13. Hiidenmaan luoteispuolelta alkavia 30 000 tonnin raakaöljyvuojojen laskentoja

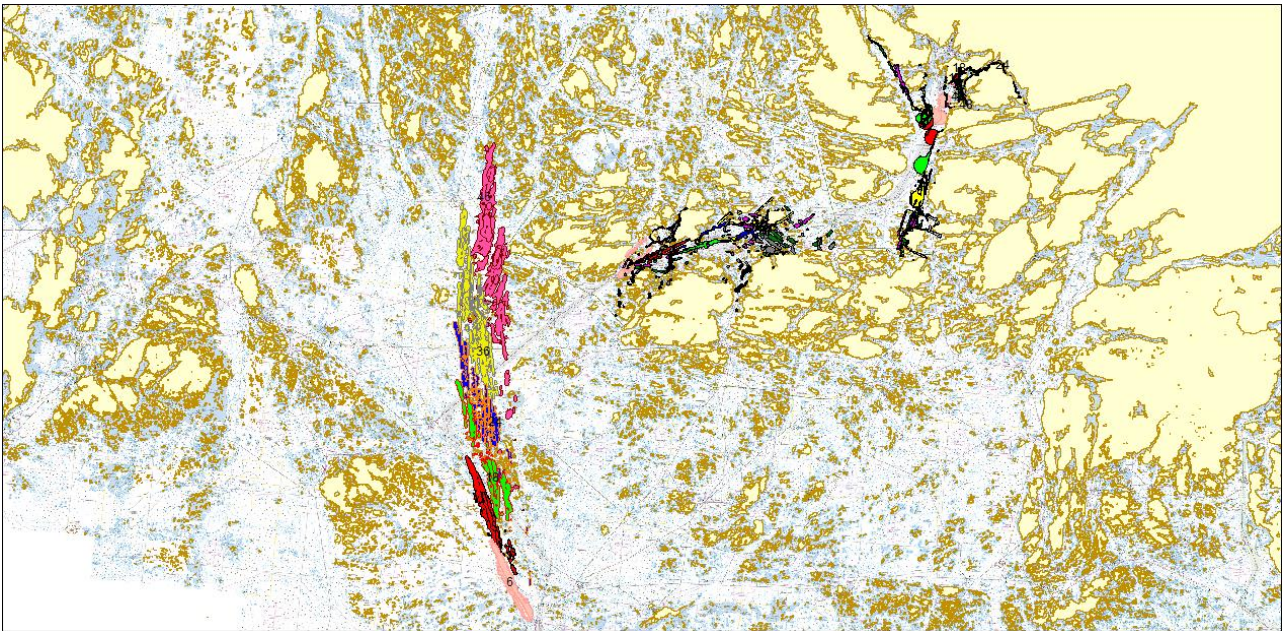
2. Varsinais-Suomi

Varsinais-Suomen puolella ulkomereltä ja Saaristomeren syväväylältä alkaen Utön ympärille, Kihdin selälle, Kihdin selän ja Airiston välille sekä Airistolle on laskettu parikymmentä 20 000 tonnin raakaöljyvudon skenaariota. Toistakymmentä niistä on laskettu alkavaksi Kihdin selältä yhdestä peruspisteestä tai läheisen Snökopin karin kohdalta. Kaikissa niissä vuoto on tapahtunut 5 tunnissa – vuodon määrä on ollut 4000 tonnia tunnissa. Tapauksia on koottu seuraavaan kuvaan.



Kuva 14. 20 000 tonnin raakaöljyvuoja Saaristomerellä ja ulkomerellä

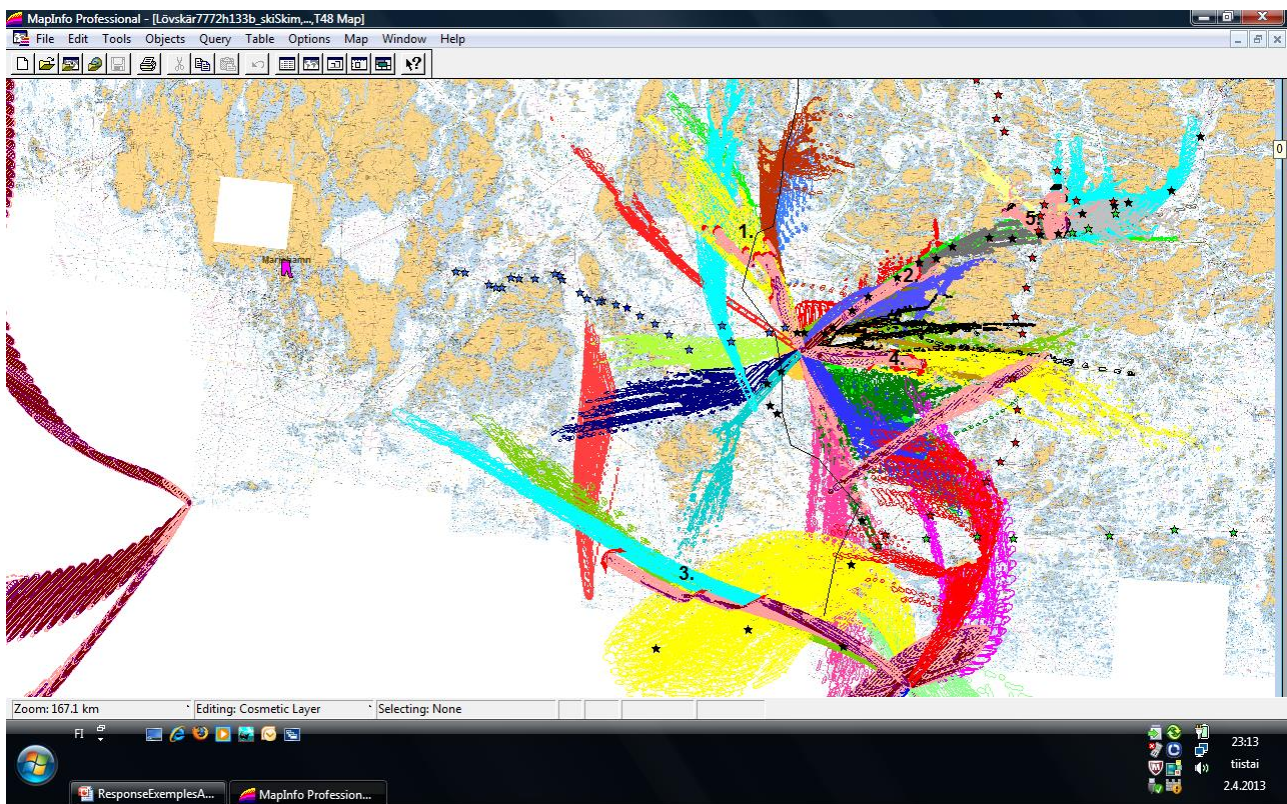
Lisäksi on laskettu erikseen Stenharunista luoteeseen alkavia 20 000 tonnin raakaöljyvuoja, Smörgrundista syväväylää pitkin itään suuntautuva 10 000 tonnin raskasöljyvuo sekä Airistolle Rajakarista alkavia 5000 tonnin raskasöljyvuoja. Niistä kaikista on koottu esimerkkejä seuraavaan kuvaan.



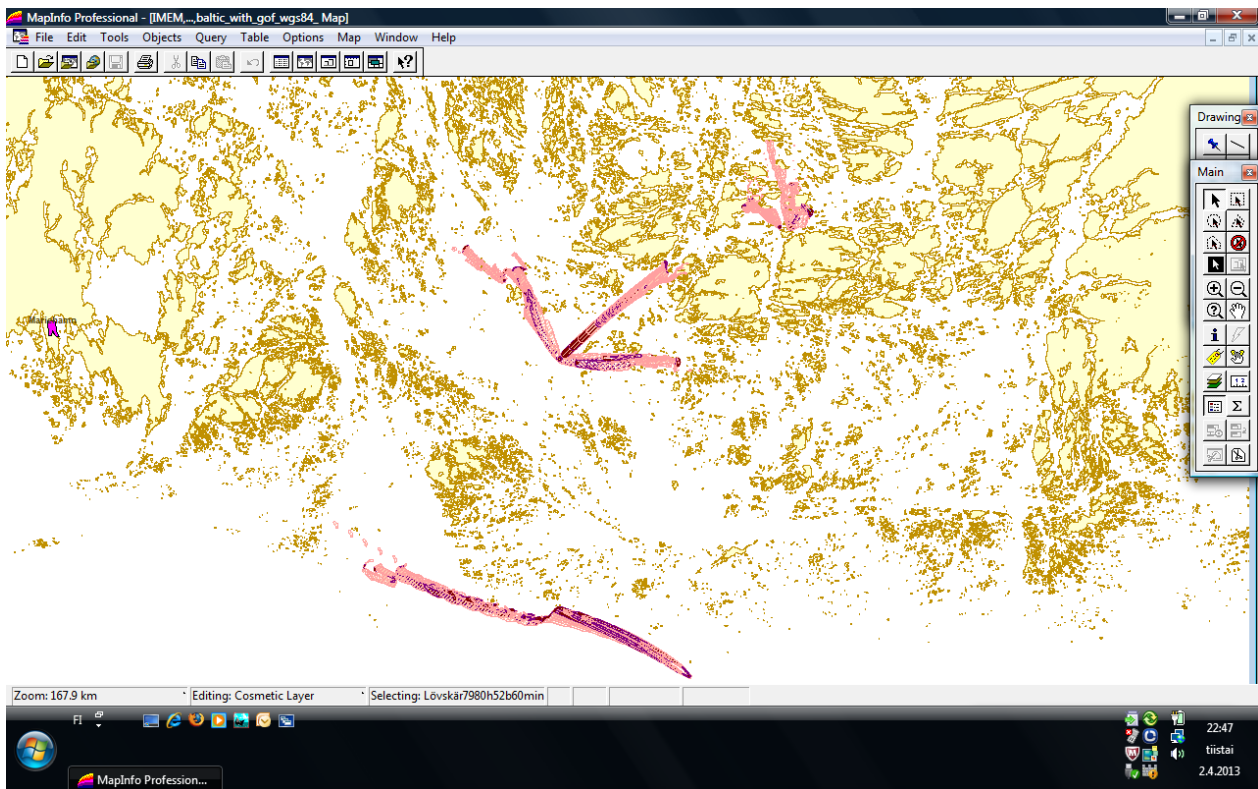
Kuva 15. Stenharunista (20 000 tn), Smörgrundista (10 000 tn) ja Rajakarista (5000 tn) alkavia esimerkiskenaarioita

2.1. 20 000 tonnin raakaöljyvuoja ja 5 torjuntaesimerkkiä

Torjuntaesimerkit on merkitty seuraavaan kahteen kuvaan.

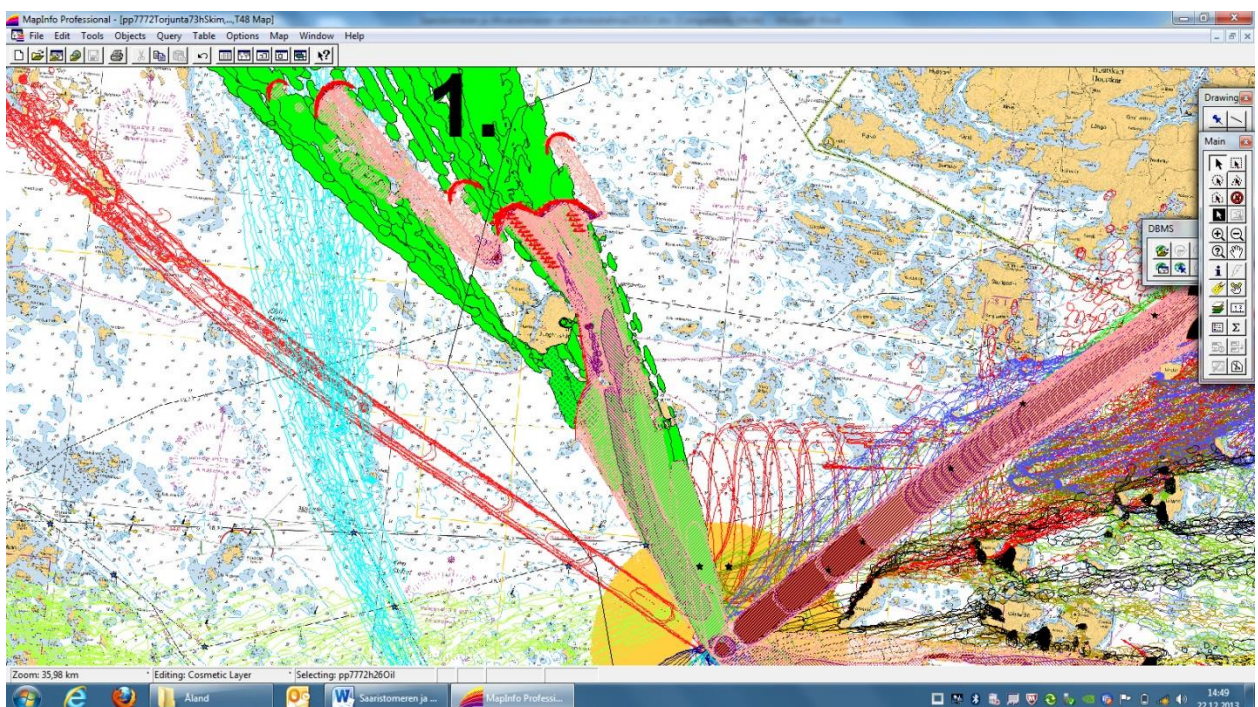


Kuva 16. 20 000 tonnin raakaöljyvuoja Saaristomerellä ja ulkomerellä ja 5 torjuntaesimerkkiä

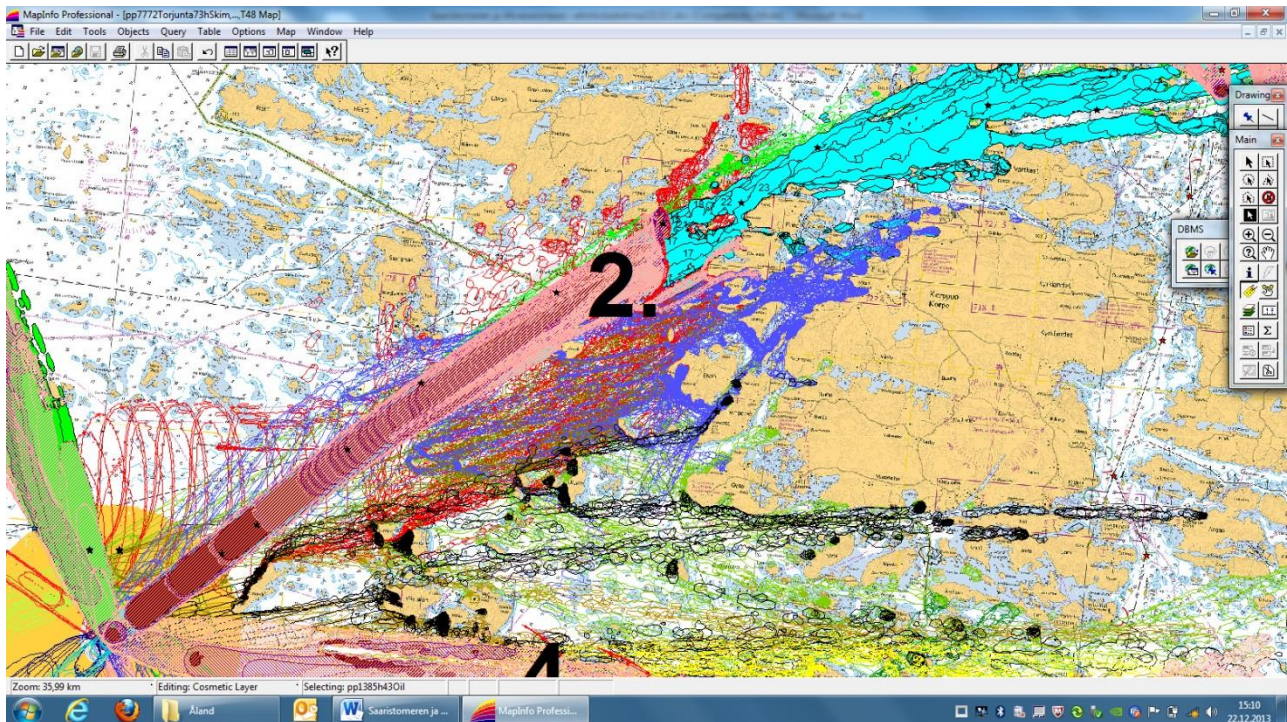


Kuva 17. Viisi laskennallista esimerkkiä torjunnasta

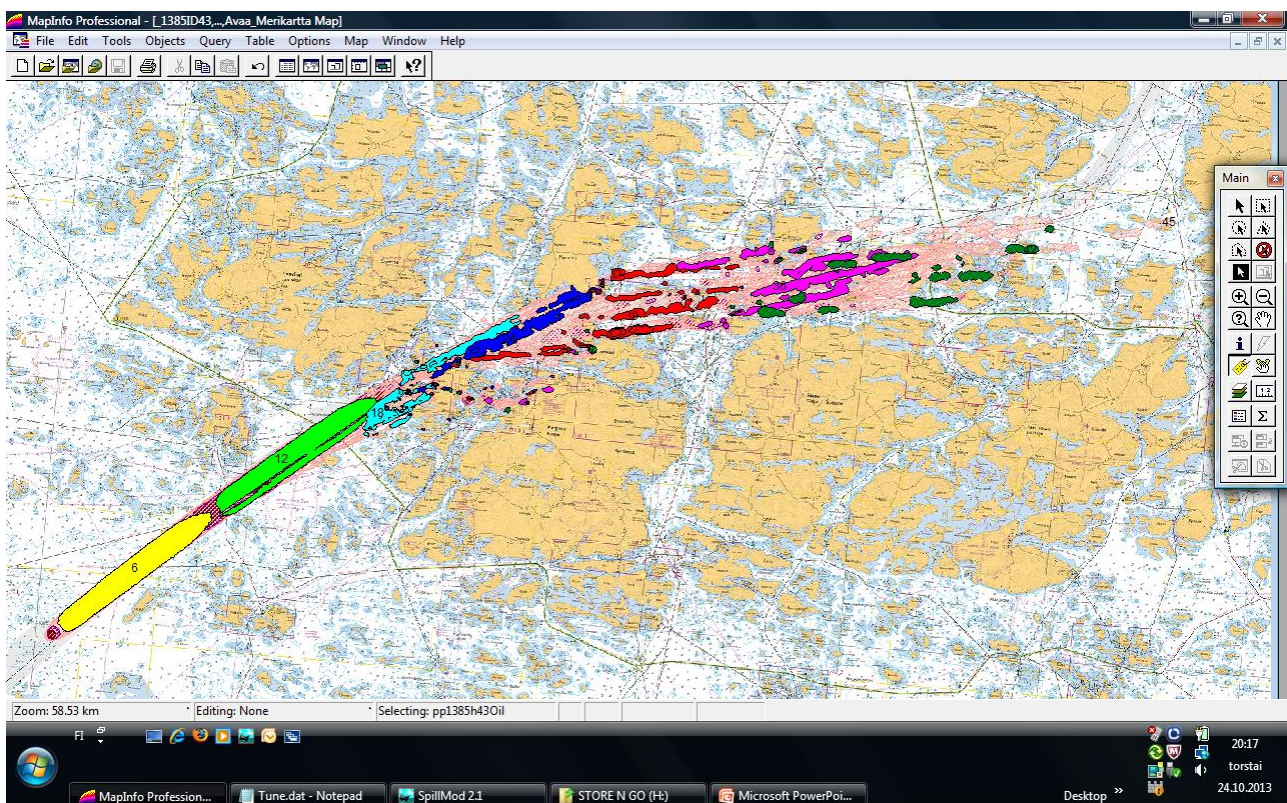
Ensimmäinen tapaus on Kihdin selän peruspisteestä pohjoisluoteeseen alkava skenaario, joka on seuraavassa kuvassa.



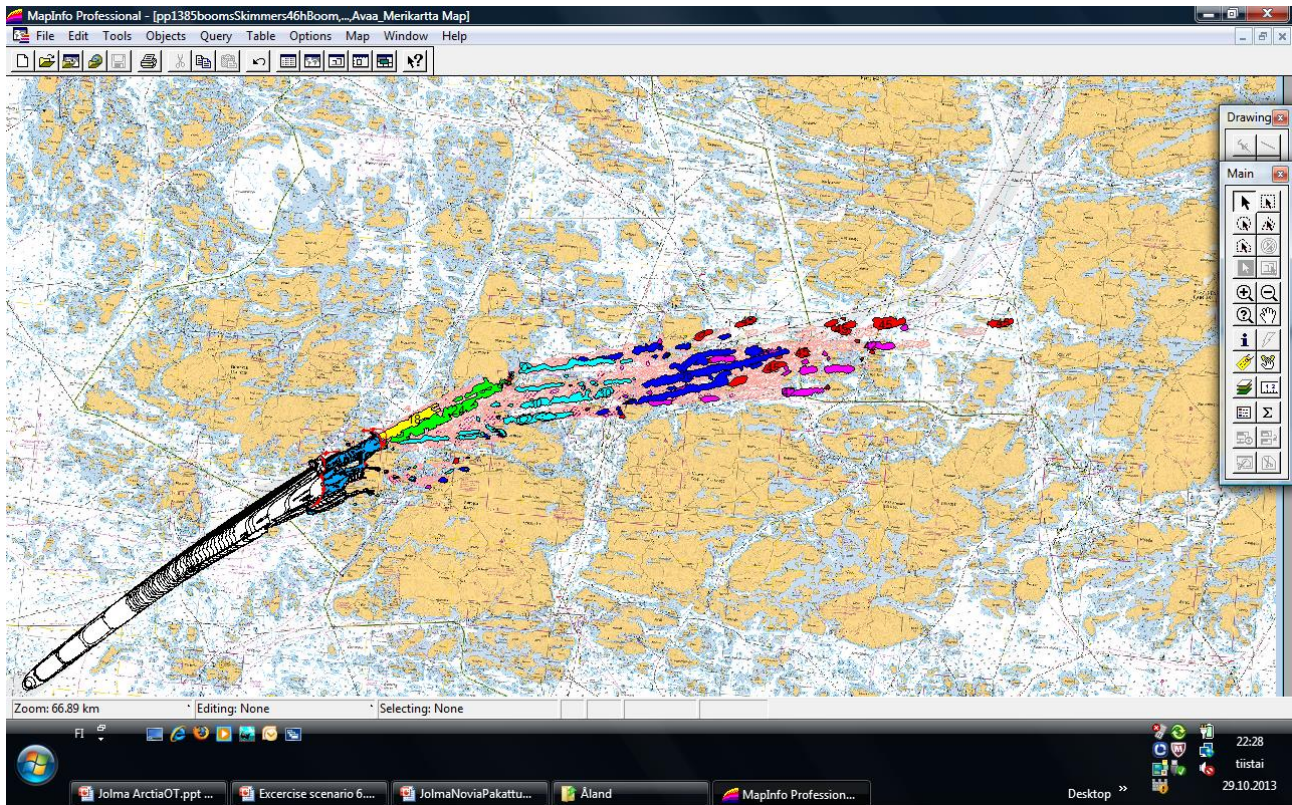
Kuva 18. Esimerkki 1. Trajektori7772 vuodelta 2000. Skenaariona on vuoto 4000 tonnia raakaöljyä tunnissa 5 tunnin ajan Kihdin peruspisteestä. Jungfruskärin lähistölle on laskettu puomitusten ja keräystoimien vaikutuksia. Sinne on laskettu 4 kahden kilometrin avomeripuomitusta 8 tuntia vahingosta ja myöhemmin 4 vastaavaa puomitusta ja keräystä isoilla aluksilla puomituksista. Puomitusten pituudet ja ajoitus ovat epärealistisia. Vaaleanvihreällä värillä sama tapaus ilman torjuntaa.



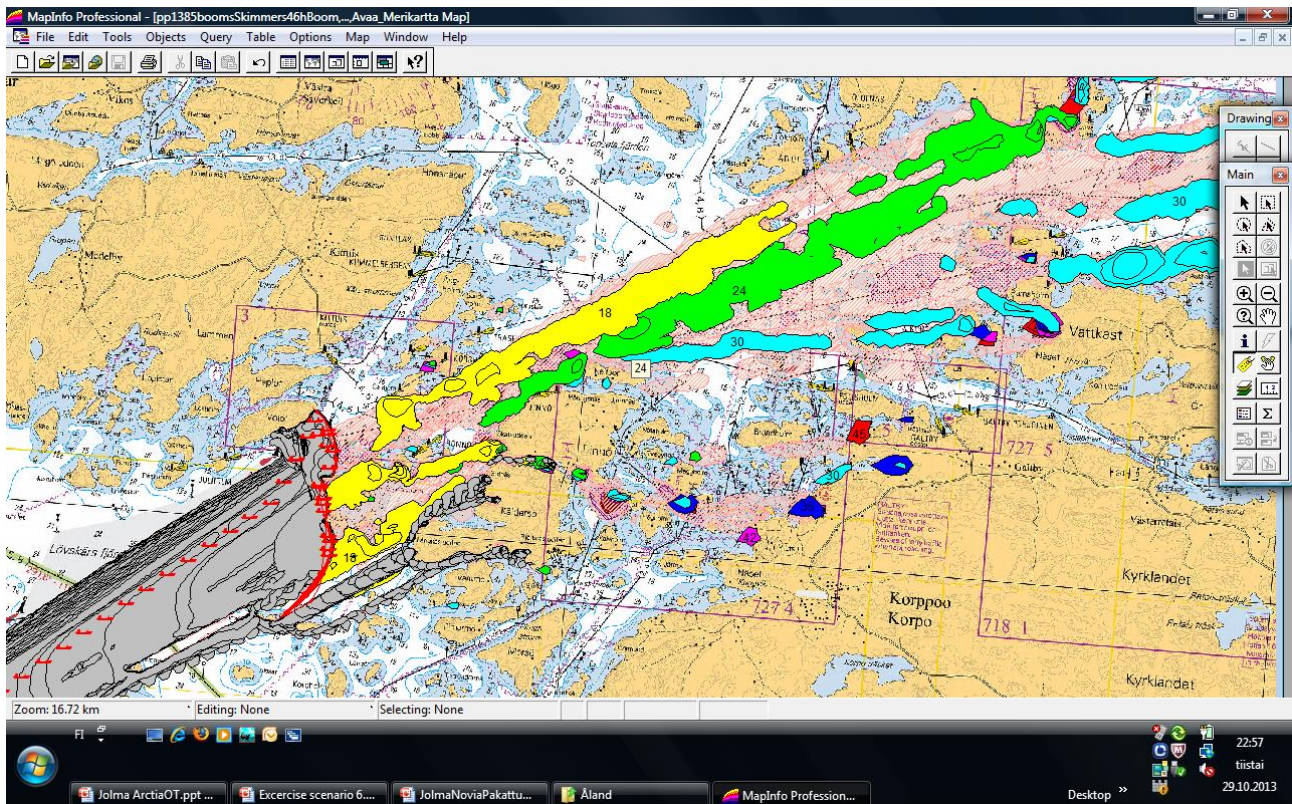
Kuva 19. Esimerkki 2. Trajektori1385 vuodelta 2000. Skenaariona on vuoto 4000 tonnia raakaöljyä tunnissa 5 tunnin ajan Kihdin peruspisteestä. Volotin saaren kohdalle on laskettu pysäytys- ja keräystapaus. Turkoosilla värillä sama tapaus ilman torjuntaa.



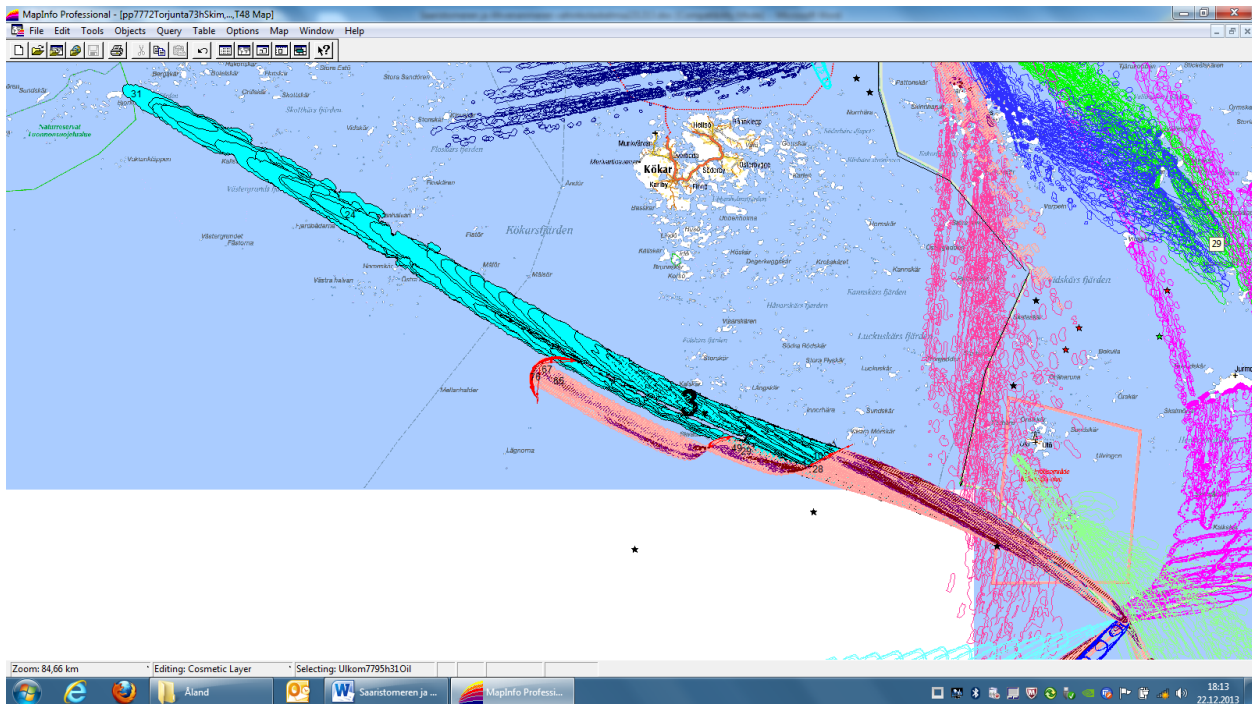
Kuva 20. Esimerkki 2 ilman torjuntaa. Trajektori 1385 vuosi 2000, vuoto 4000 tonnia raakaöljyä tunnissa 5 tunnin ajan. Lautat eri väreillä 6 tunnin välein.



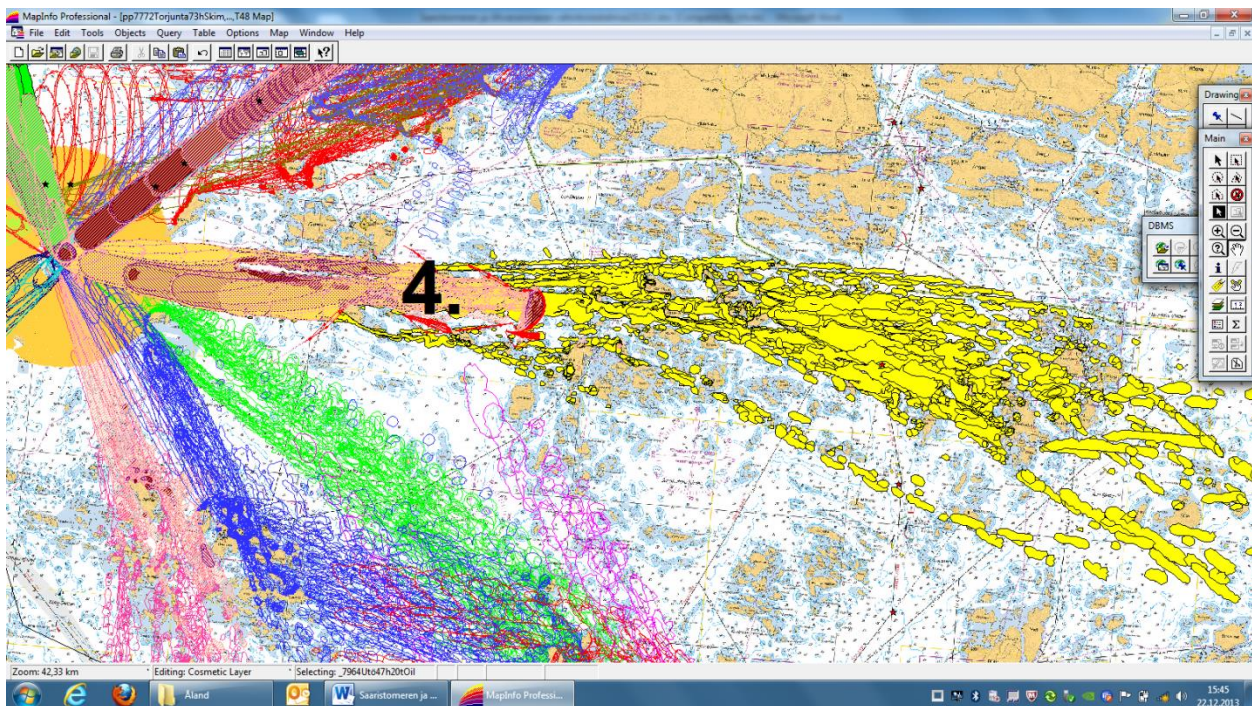
Kuva 21. Esimerkki 2. Kaksi laskennallista pysäytyskohtaa, ensimmäinen noin 12 tunnin ja toinen 15 tunnin kuluttua vahingosta.



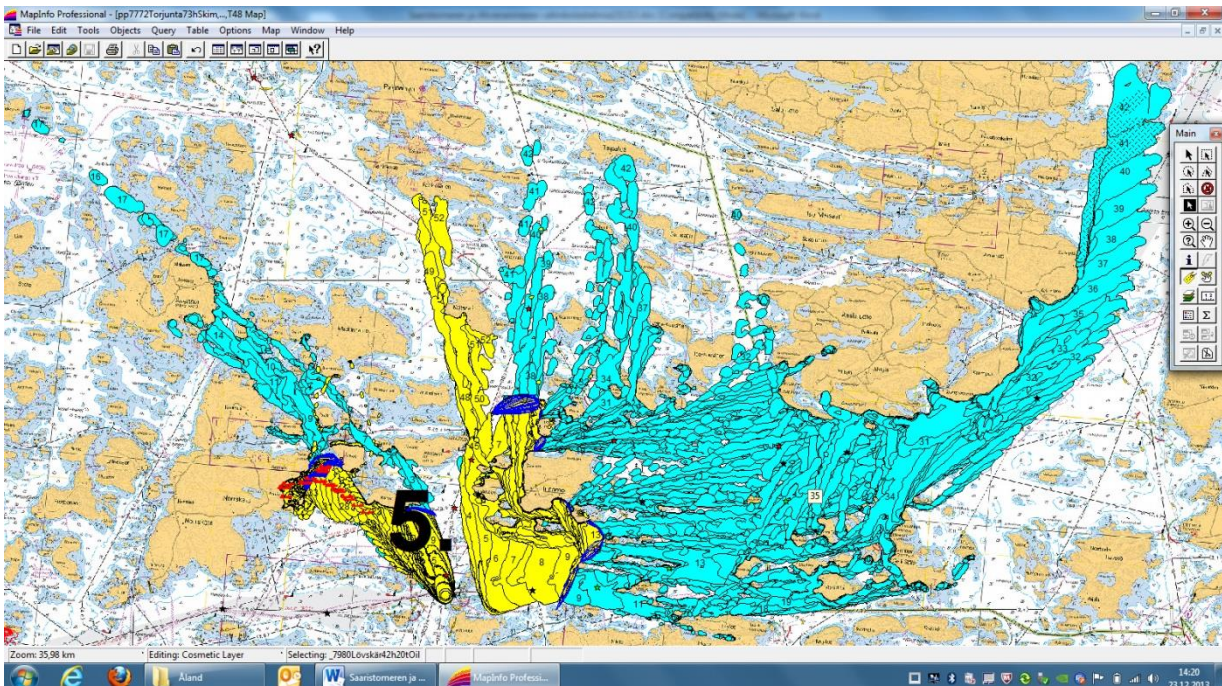
Kuva 22. Esimerkki 2. Ensimmäinen laskettu pysäytys- ja keräystapaus.



Kuva 25. Esimerkki 3. Trajektori 7795 vuodelta 2000. Skenaariona vuoto 4000 tonnia raakaöljyä tunnissa 5 tunnin ajan Ulkomatalasta. Kaksi laskettua 2 kilometrin ohjauspuomitusta ja yksi 5 kilometrin pysäytyspuomitusta. Puomitusten ajoitus ja pituudet epärealistisia. Turkoosi väri ilman torjuntaa.



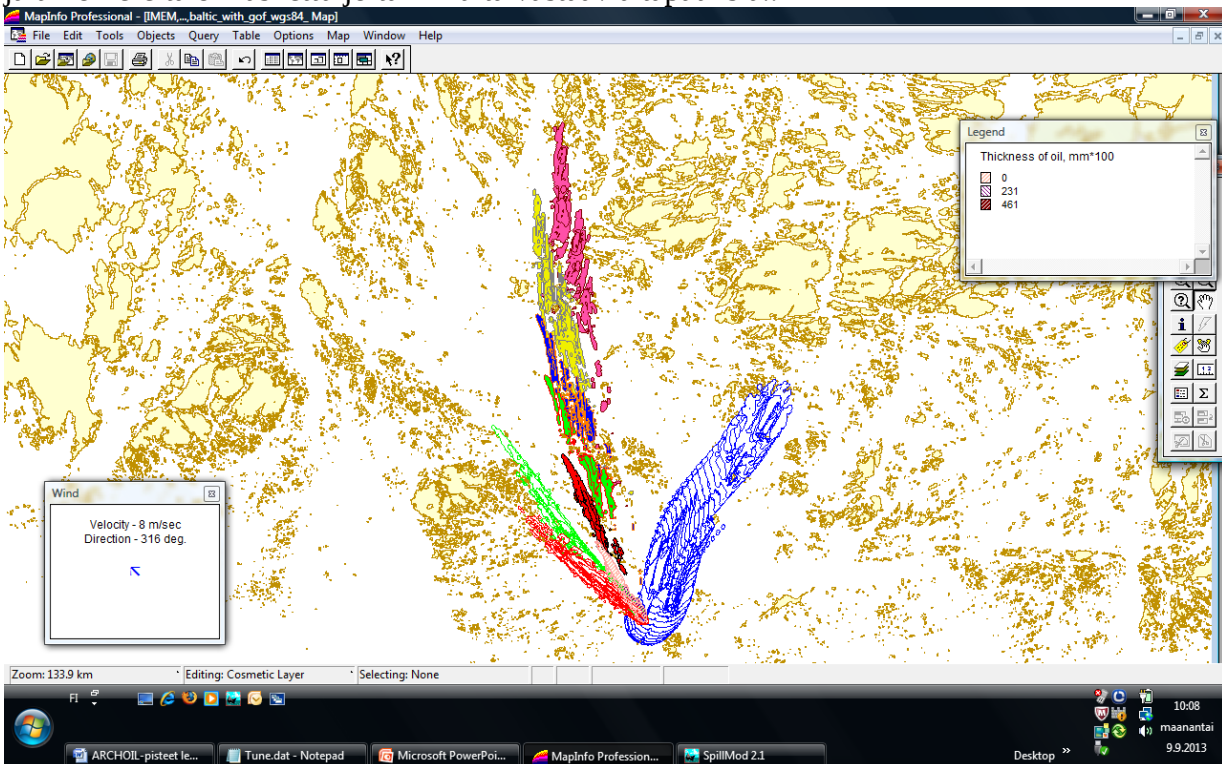
Kuva 26. Esimerkki 4. Trajektori 3908 vuodelta 2000. Skenaariona vuoto 4000 tonnia raakaöljyä tunnissa 5 tunnin ajan Kihdin peruspisteestä itään. Ohjauspuomituksia ja pysäytyspuomitusta. Puomitusten ajoitus ja määrät epärealistisia. Keltainen väri ilman torjuntaa.



Kuva 27. Esimerkki 5. Trajektorit 7772 (vasemmalla) ja 7980 (oikealla) Lövskärin lähistöltä vuodelta 2000. Skenaariona molemmissa vuoto 4000 tonnia raakaöljyä tunnissa 5 tunnin ajan aluksi pohjoiseen. Ohjaus- ja pysäytyspuomitukset sinisellä värillä. Keltainen väri torjuntatoimin ja turkoosi väri ilman torjuntaa. Puomitusten paikat sinisellä värillä, keräysalukset punaisella (vain 7772).

2.2. Stenharun

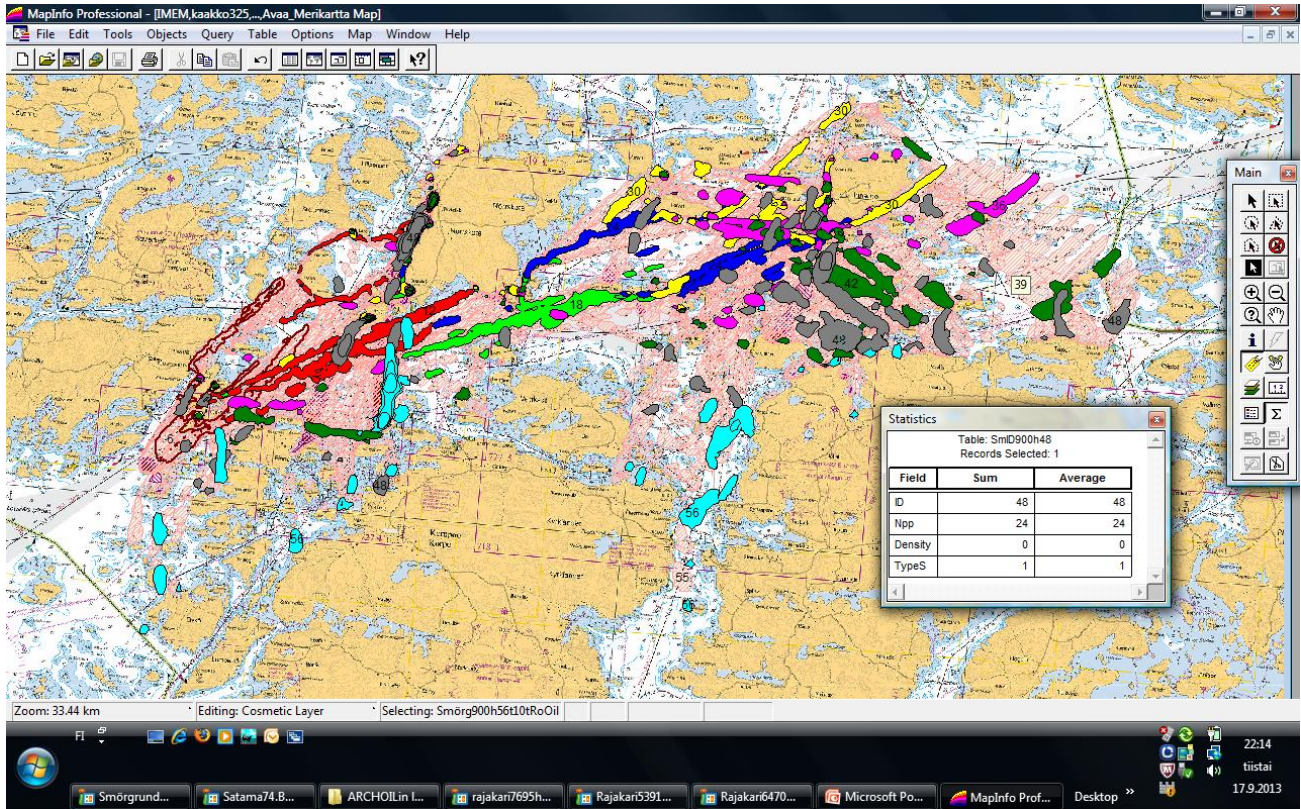
Stenharunista on laskettu 20 000 tonnin raakaöljyvuoja, joiden kesto on 5 tuntia. Laskentaan on valittu kaakkoistuulia, joiden alkuvuimakkuus on ollut 10 m/s tai enemmän. Lisäksi Stenharunista ja ulkomereltä on laskettu joitain muita vastaavia tapauksia..



Kuva 28. Stenharunista laskettuja 20 000 tonnin 5 tuntia kestäneen raakaöljyvudon leviämistapauksia

2.3. Smörgrund

Smörgrundista on laskettu itään 15,3 metrin väylän suuntaan 10 000 tonnin raskasöljyvuo, jonka kesto on 5 tuntia.

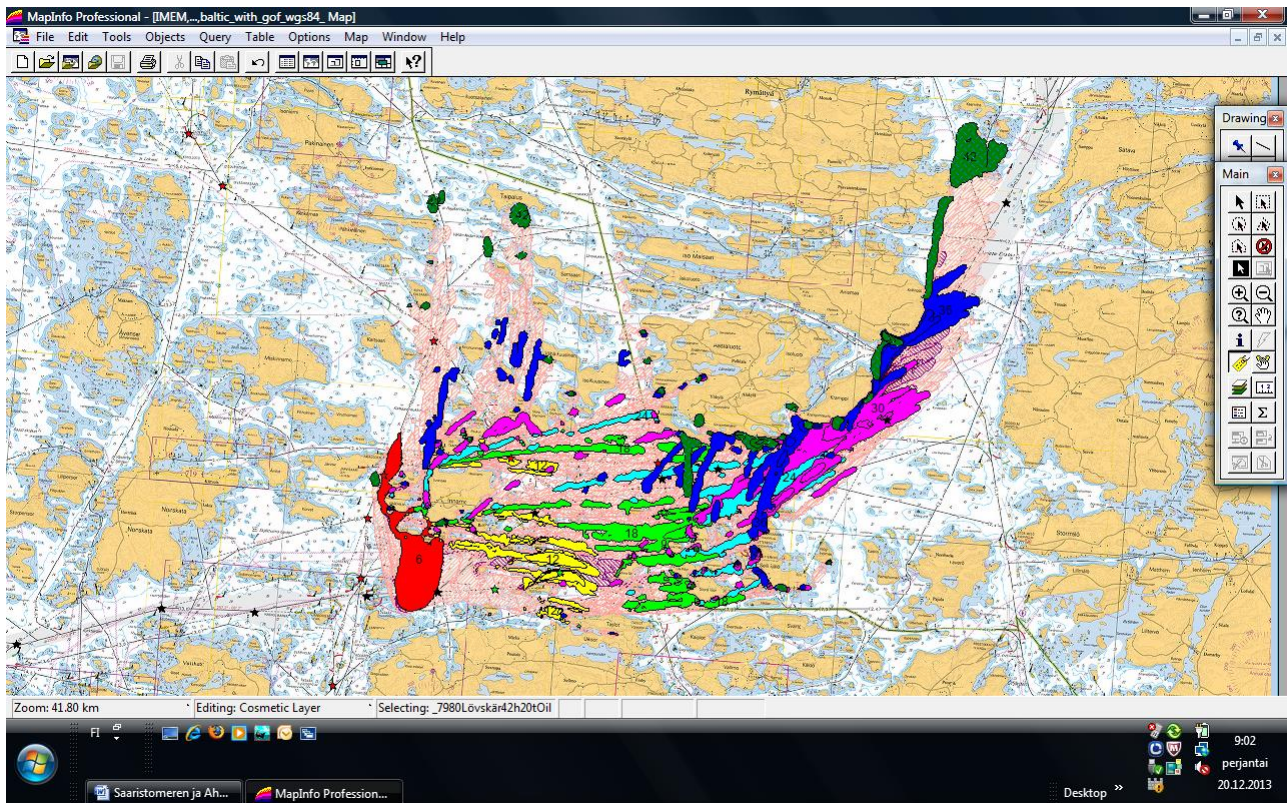


Kuva 29. Esimerkki Smörgrundista alkavasta skenaariosta, jossa vuoto on 10 000 tonnia raskaöljyä. Trajektori on 900 vuodelta 2000. Lautat eri väreillä kuuden tunnin välein. Taustalla skenaario vaalealla violetilla värillä tunnin välein.

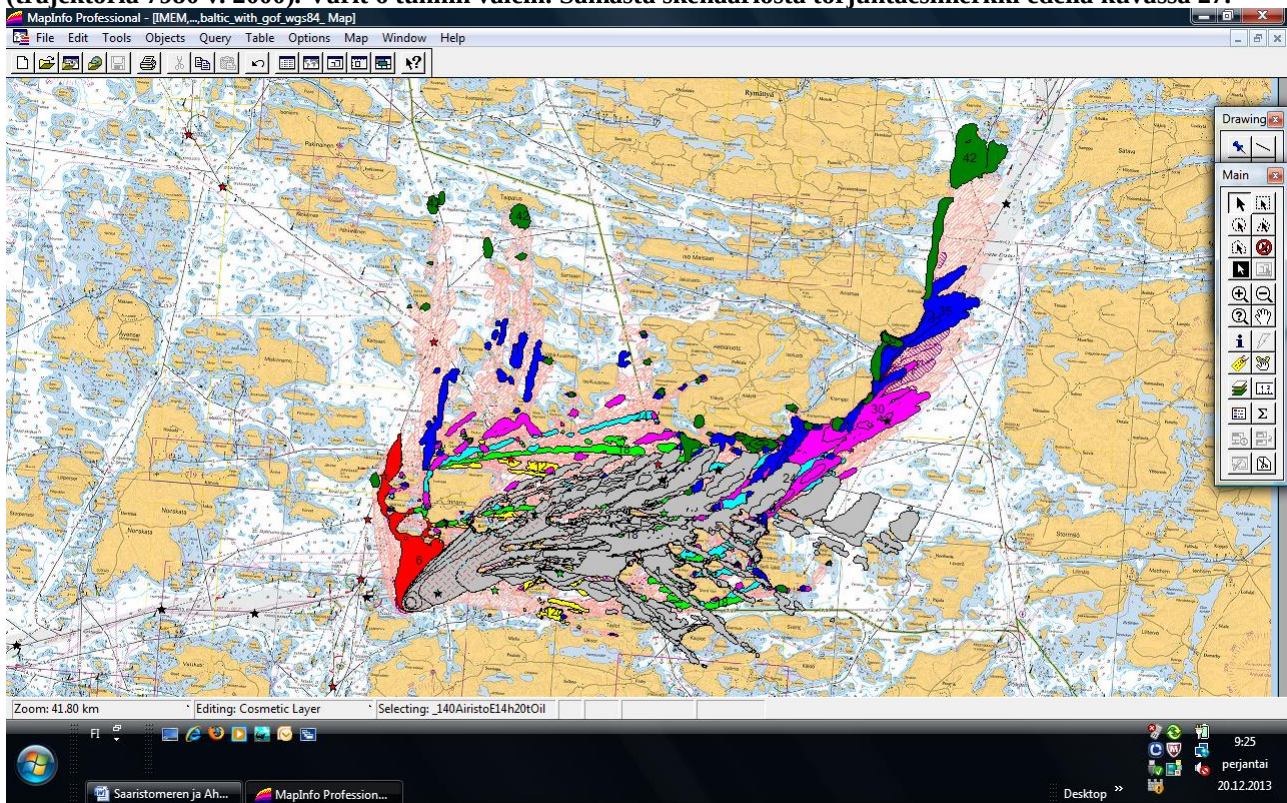
2.4. Saariston syväväylä Airiston länsipuolella

Saaristomeren syväväylältä Airistolta länteen on laskettu 20 000 tonnin raakaöljyvuo-otapauksia. (4000 tonnia tunnissa 5 tunnin ajan). Niistä on seuraavassa kuvat Lövskäristä lasketusta kahdesta tapauksesta.

Löviskär



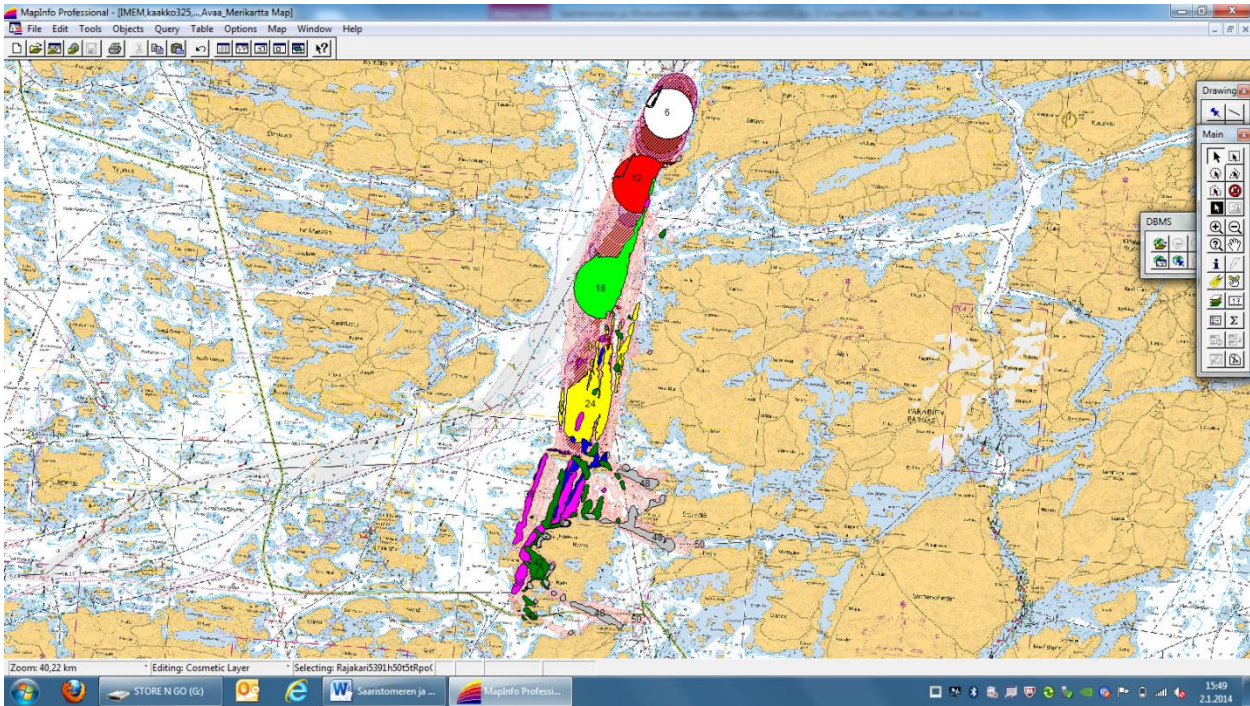
Kuva 30. Yhteensä 20 000 tonnin raakaöljyvuodon (4000 tonnia tunnissa 5 tunnin ajan) leviäminen 42 tunnissa (trajektoria 7980 v. 2000). Värät 6 tunnin välein. Samasta skenaariosta torjuntaesimerkki edellä kuvassa 27.



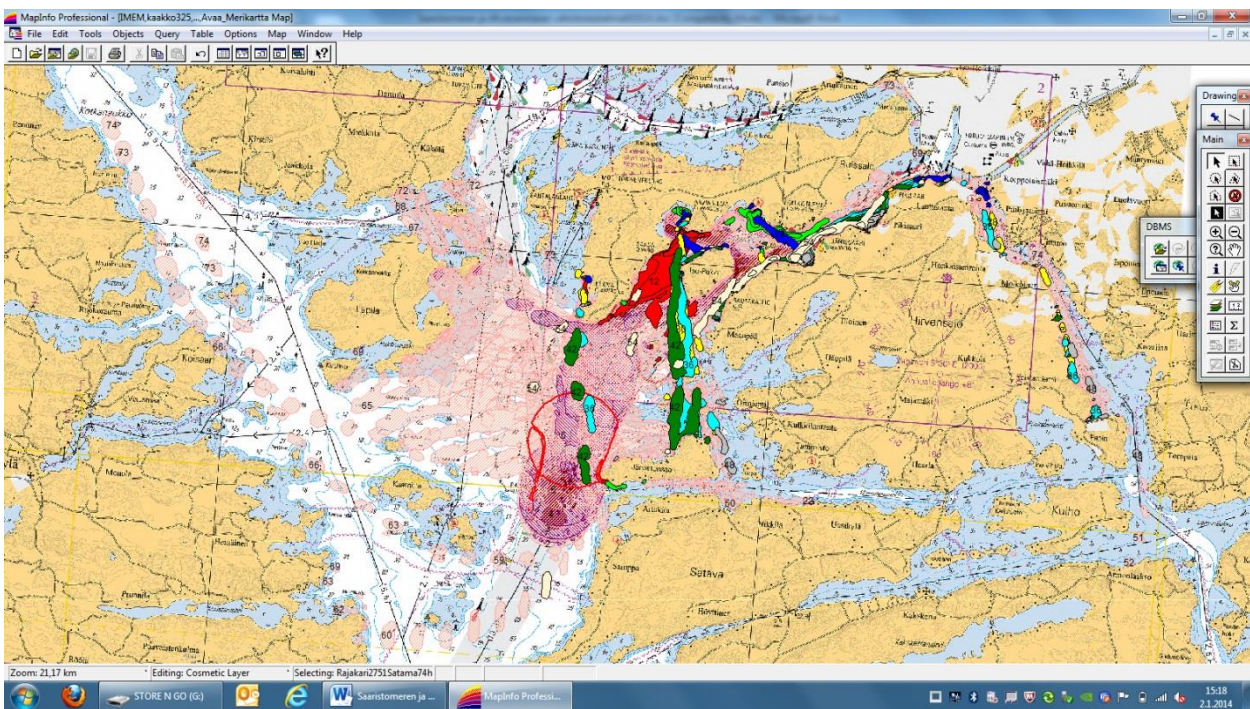
Kuva 31. Yhteensä 20 000 tonnin raakaöljyvuodon (4000 tonnia tunnissa 5 tunnin ajan) leviäminen 14 tunnissa (trajektoria 140 v. 2000) esitettyä harmaalla värillä edellisen kuvan päällä.

2.5. Airisto, Rajakari

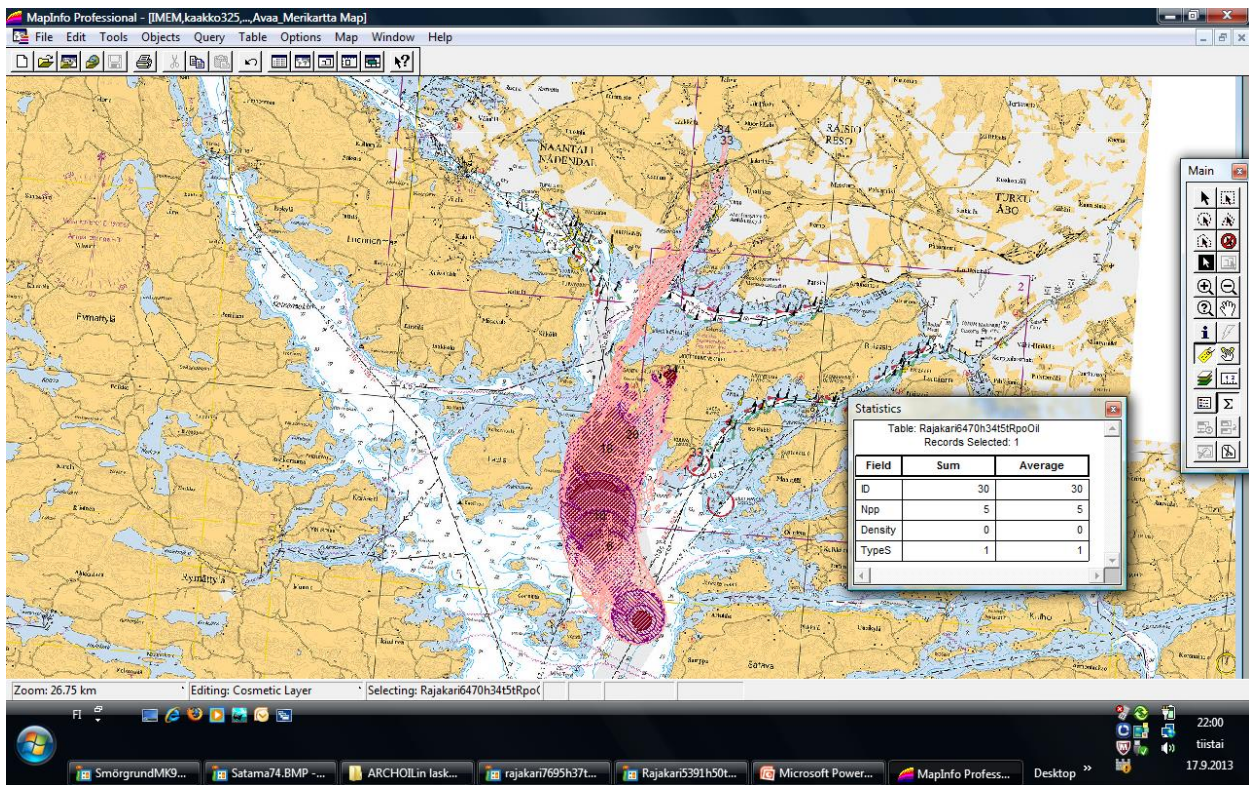
Rajakarista on laskettu 5000 tonnin raskasöljyvuoja olosuhteissa, joissa tuuli on aluksi ollut heikko.



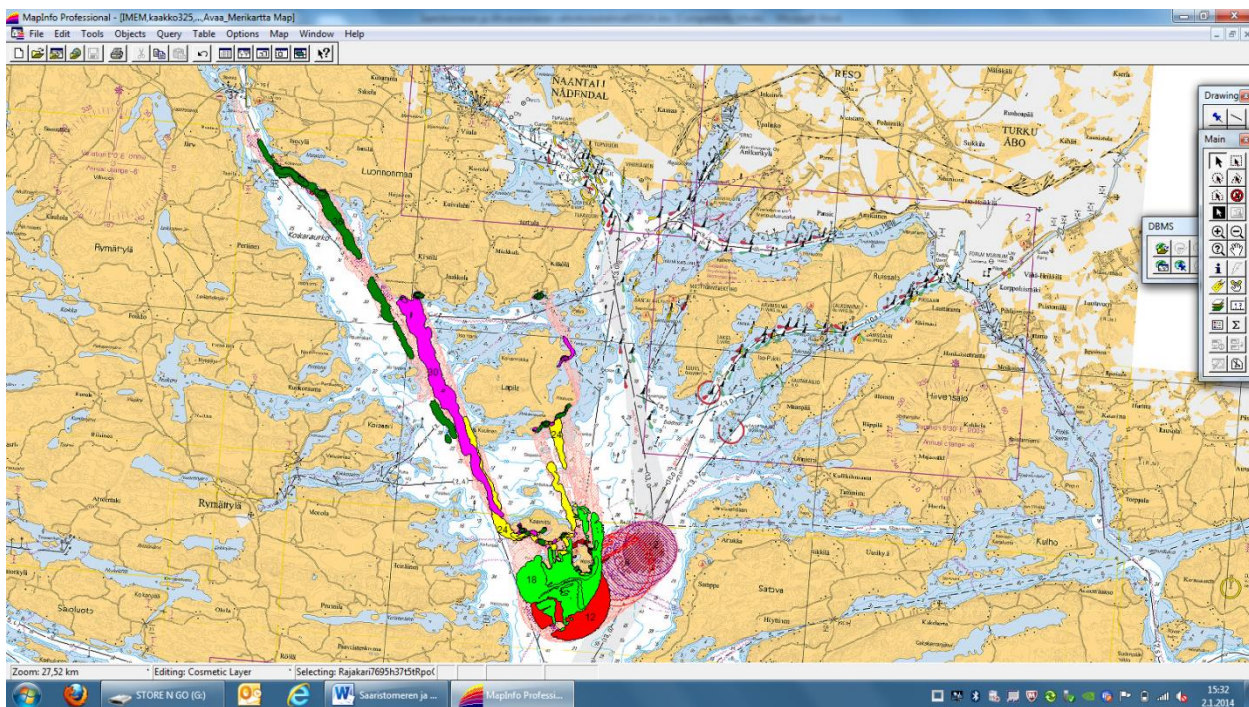
Kuva 32. Trajektori 5391 vuodelta 2000, vuoto 5000 tonnia raskasta polttoöljyä, leviämisaika 50 tuntia.



Kuva 33. Trajektori 2751 vuodelta 2000, vuoto 5000 tonnia raskasta polttoöljyä, leviämisaika 74 tuntia.



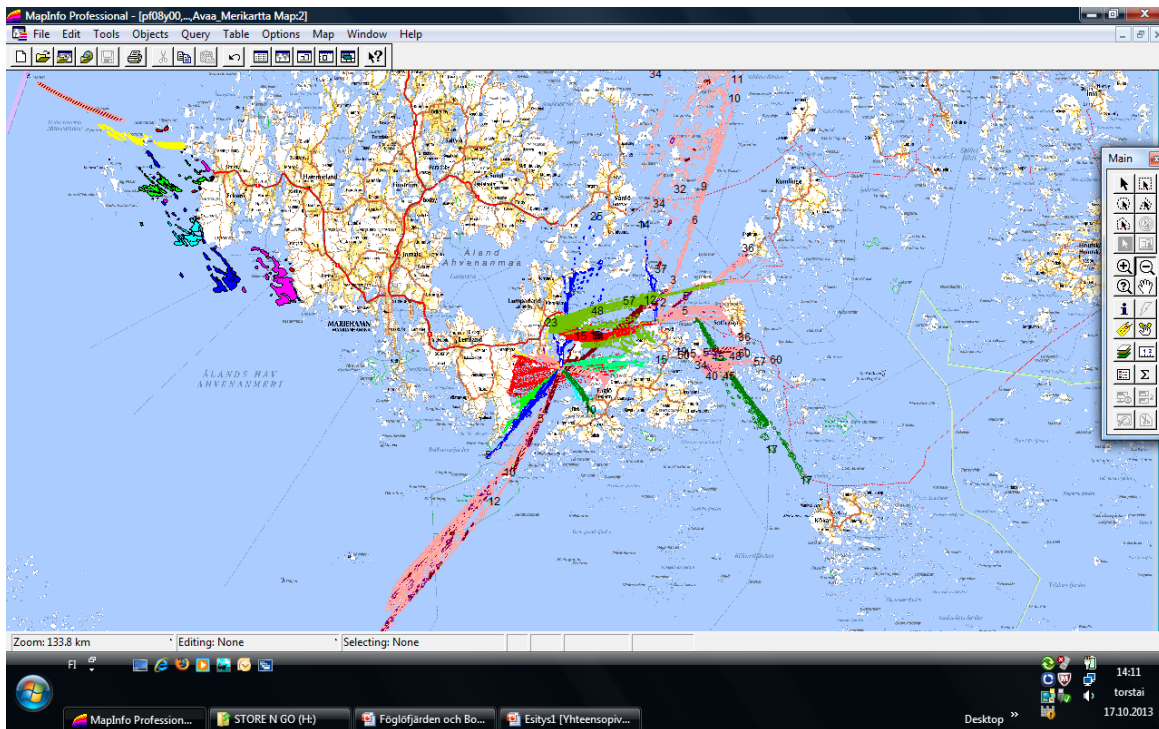
Kuva 34. Trajektori 6470 vuodelta 2000, vuoto 5000 tonnia raskasta polttoöljyä, leviämisaika 34 tuntia.



Kuva 35. Trajektori 7695 vuodelta 2000, vuoto 5000 tonnia raskasta polttoöljyä, leviämisaika 37 tuntia

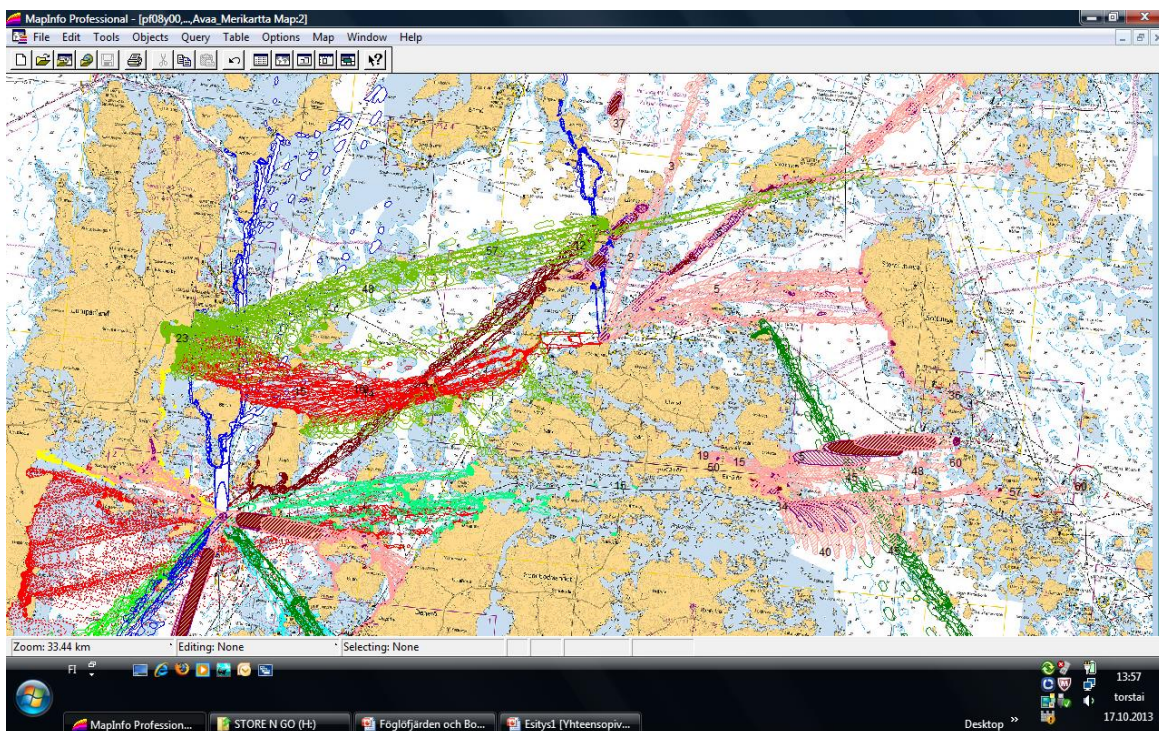
3. Ahvenanmaan itäpuoli

Ahvenanmaan ympärille lasketuista skenaarioista on seuraava esimerkkikuva.



Kuva 36. Ahvenanmaan ympärille laskettuja leviämiskuvia

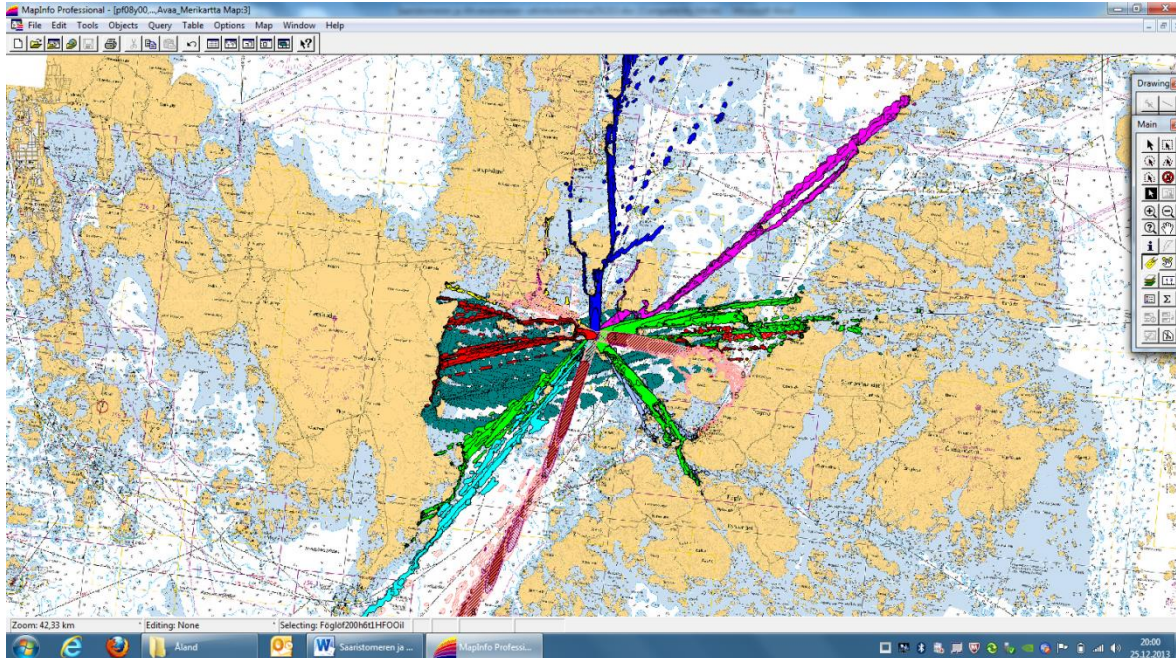
Ahvenanmaan itäpuolella on laskettu 1000 ja 500 tonnin raskasöljyvuotojen leviämistä Föglöfjärdenin, Bockholmenin saaren, Enskärin saaren sekä Sottungan eteläpuolisen salmen laskentapisteistä. Tuloksia on esitetty seuraavissa kuvissa.



Kuva 37. Leviämiskuvia neljästä paikasta Föglöfjärdenin ja Sottungan väliseltä 8 metrin väylältä

3.1. Föglöfjärden

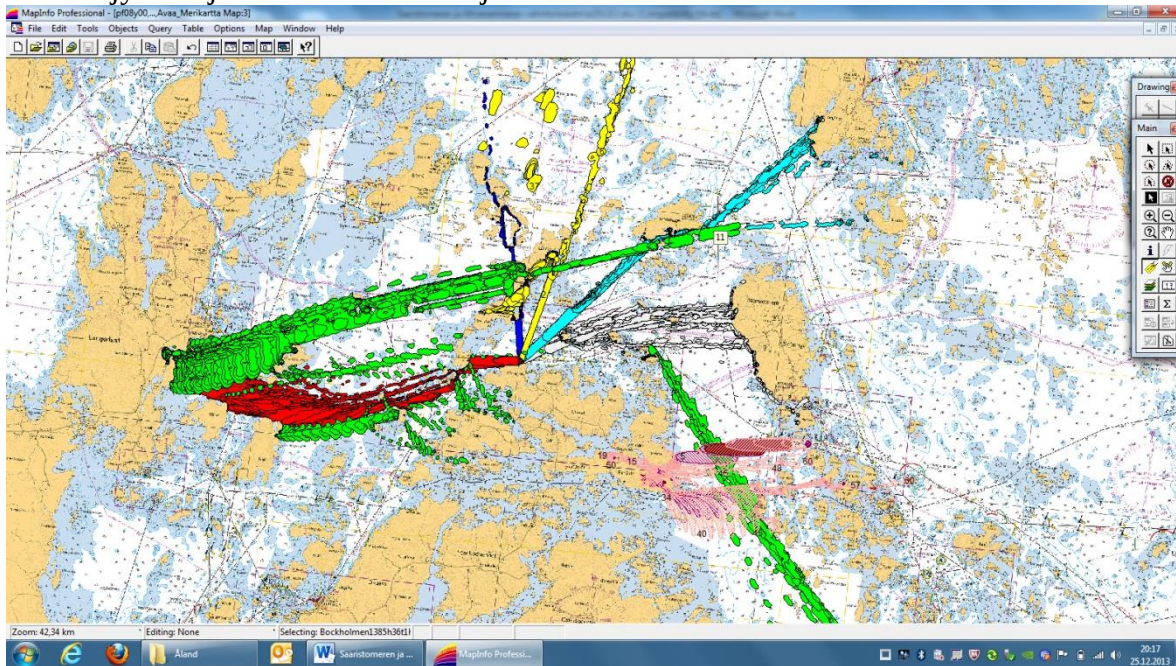
Föglöfjärdeniltä yhdestä peruspisteestä on laskettu useita 1000 tonnin raskasöljyvuotoja, joiden kesto on 2 tuntia.



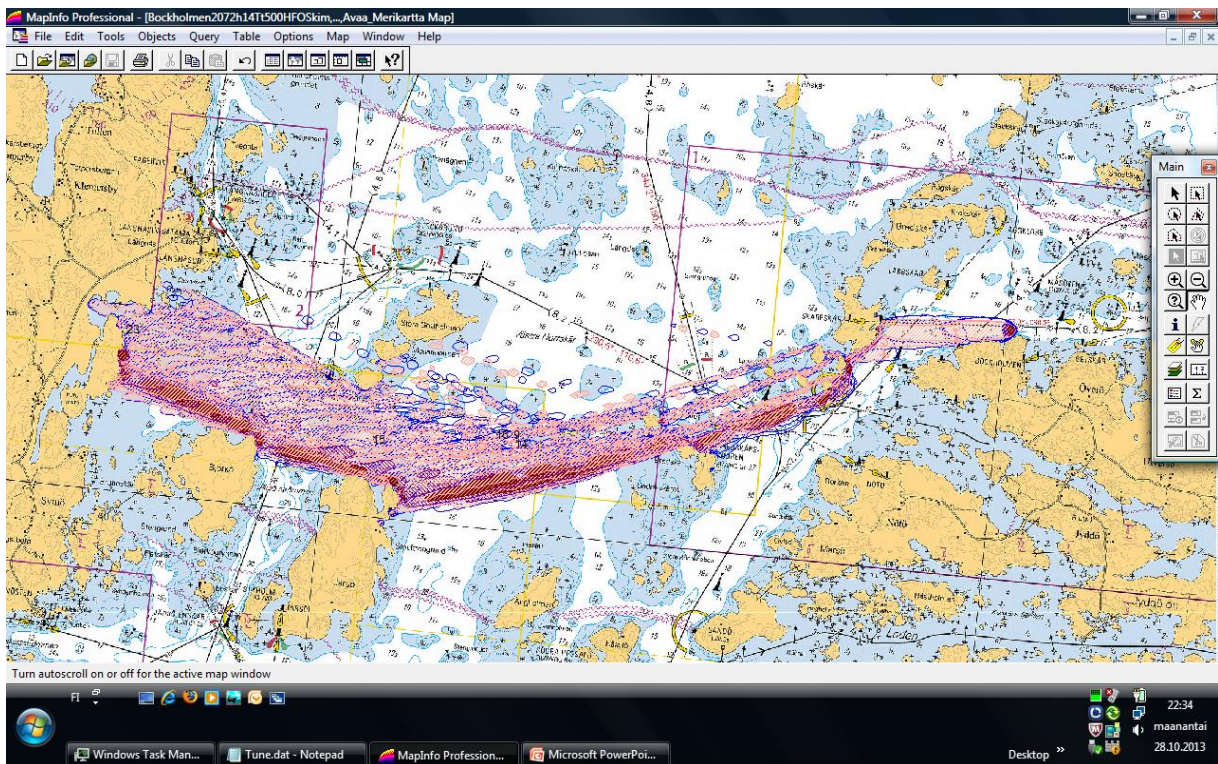
Kuva 38. 1000 tonnin raskasöljyvuotoja Föglöfjärdenillä.

3.2. Bockholmen, Enskär ja Sottunga

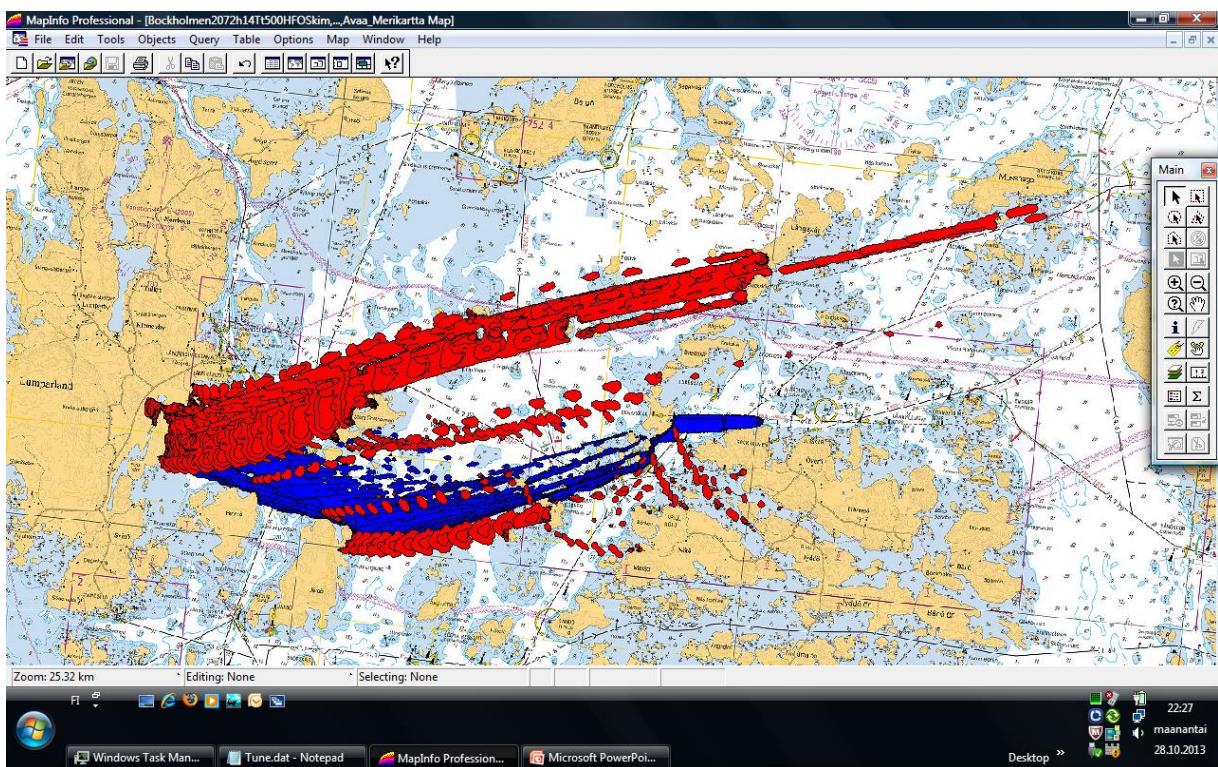
Bockholmenin saaren pohjoispäässä olevasta peruspisteestä on laskettu useita 1000 - 500 tonnin raskasöljyvuotoja eri suuntiin. Vuotojen kesto on 2 tuntia.



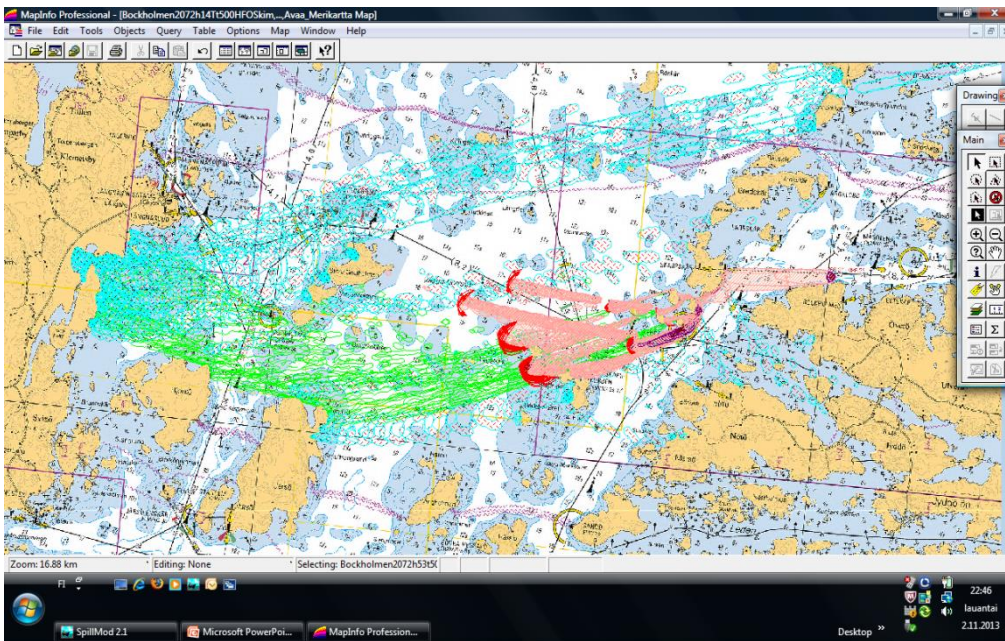
Kuva 39. 1000 tonnin vuotoja Bockholmenista, Enskäristä ja Sottungan eteläpuolelta



Kuva 40. Bockholmenista 500 tonnia raskasöljyä kahdessa tunnissa, leviäminen 24 tuntia. Sininen viiva, jos vuodon määrä olisi 1000 tonnia samassa ajassa.



Kuva 41. Bockholmenista 500 tonnia raskasöljyä kahdessa tunnissa, sinisellä leviäminen 24 tuntia, punaisella 25-62 tuntia.

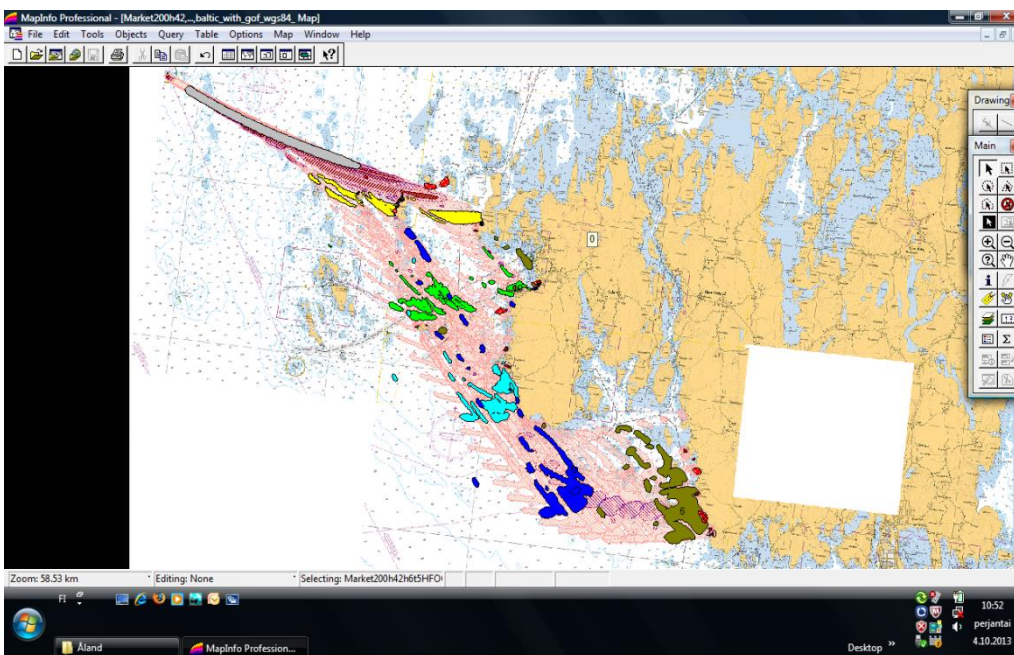


Kuva 42. Esimerkki puomituksista ja niiden vaikutuksesta edellisessä tapauksessa

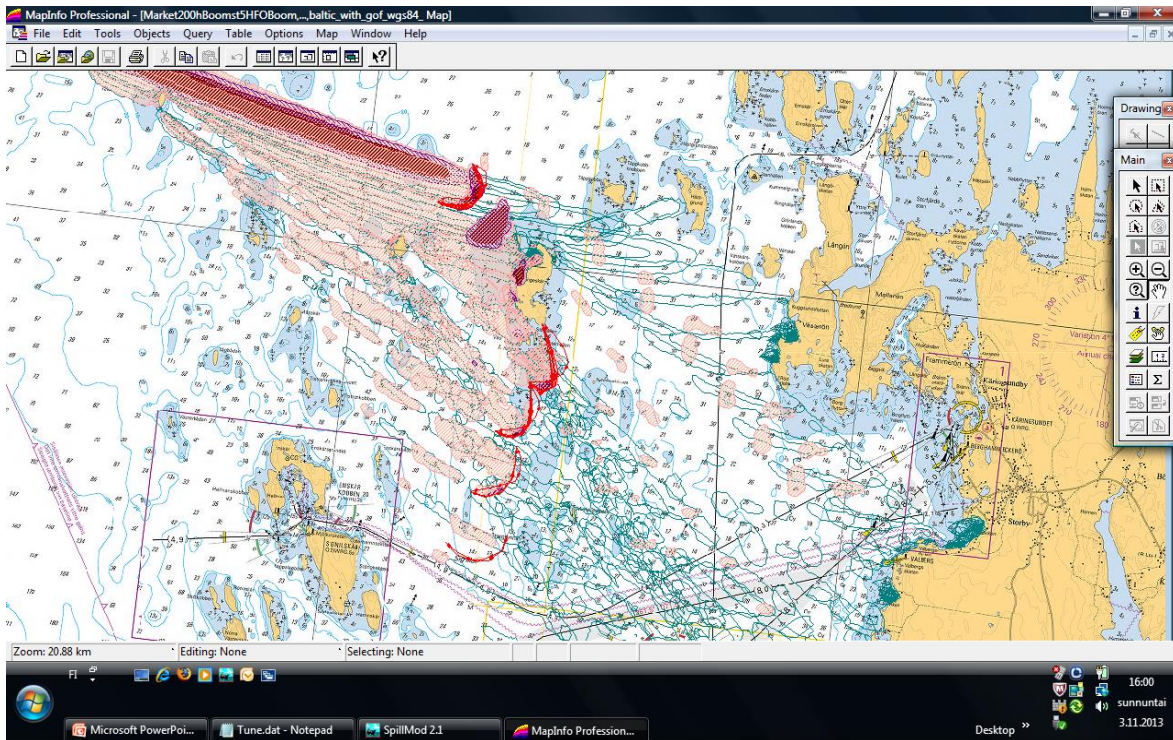
4. Ahvenanmaan länsipuoli

4.1. Märket

Märketin eteläpuolella olevasta yhdestä pisteestä on laskettu useita 5000 tonnin raskasöljyvuotoja, joiden kesto on 5 tuntia. Seuraavassa kuvassa on skenaario, jossa öljylautta kohtaa ensin Eckerön edustan saariston ja rannikon sekä myöhemmin rantautuu Hammarlandin länsirannikolle.

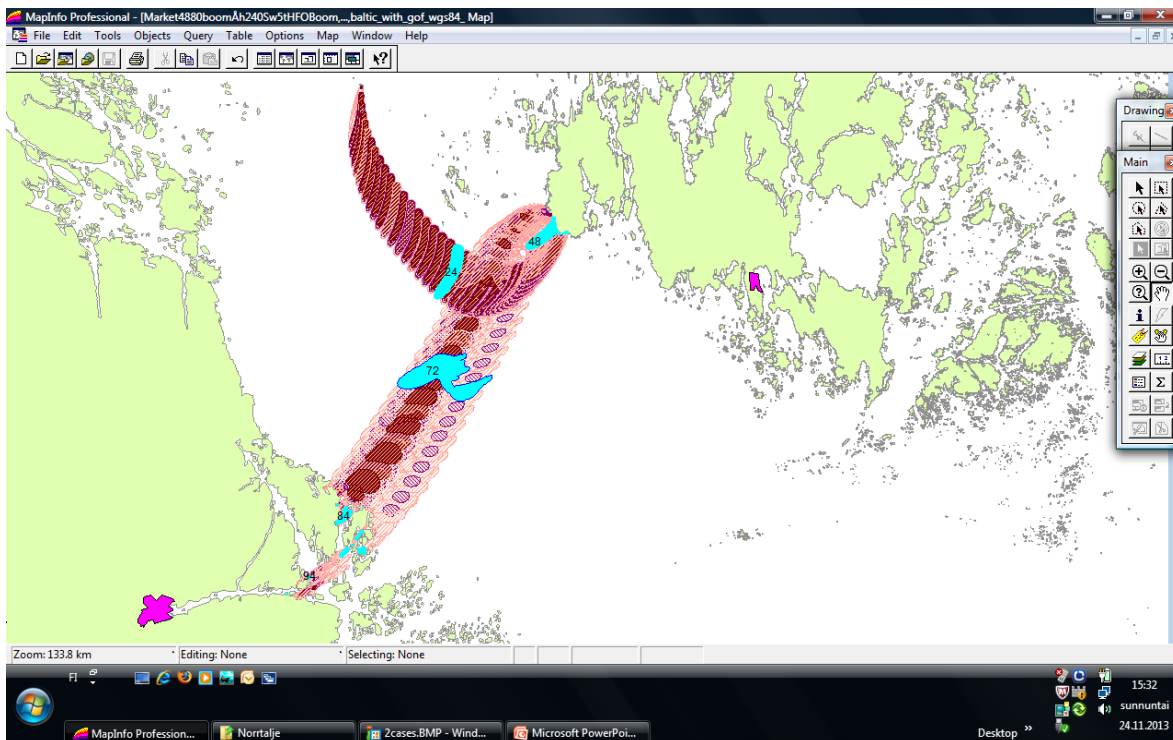


Kuva 43. Märketistä alkava 5000 tonnin raskasöljyvuoto, 1000 tonnia tunnissa 5 tunnin ajan, trajektori vuodelta 2000, värit kuuden tunnin välein.

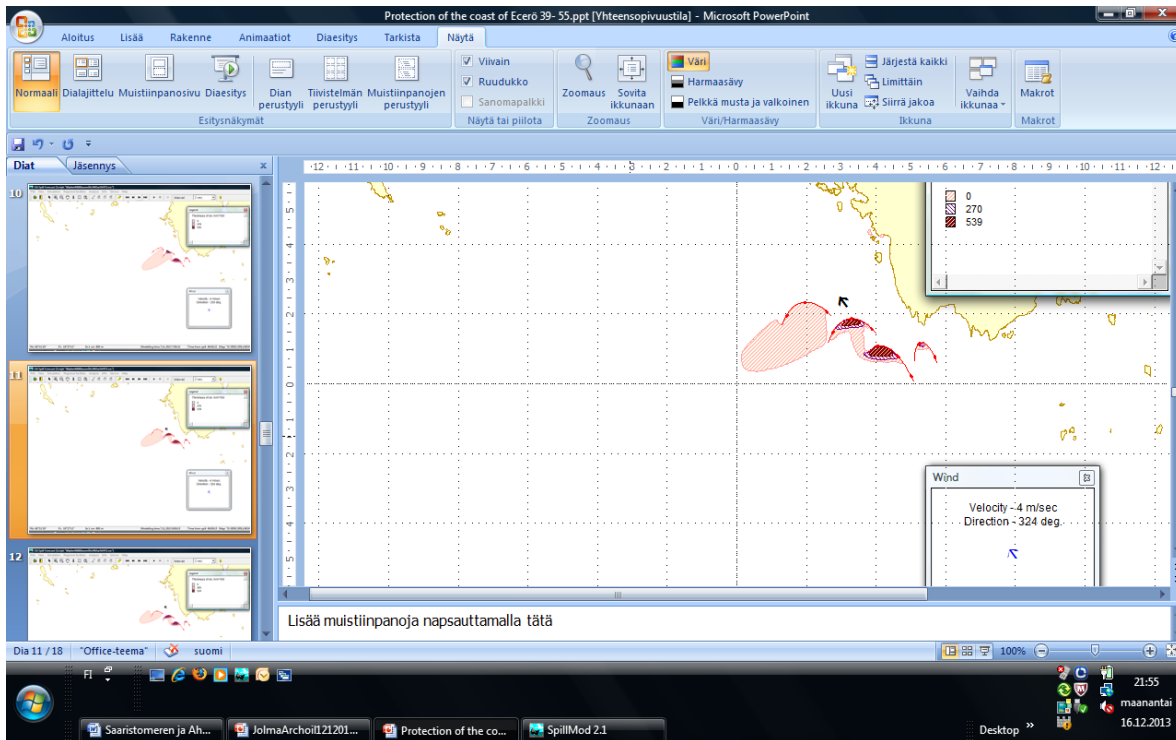


Kuva 44. Edellisen skenaarion pohjalta laskettu tapaus, jossa viidellä puolentoista kilometrin pituisella avomeripuomituksella estetään öljyn rantautumista.

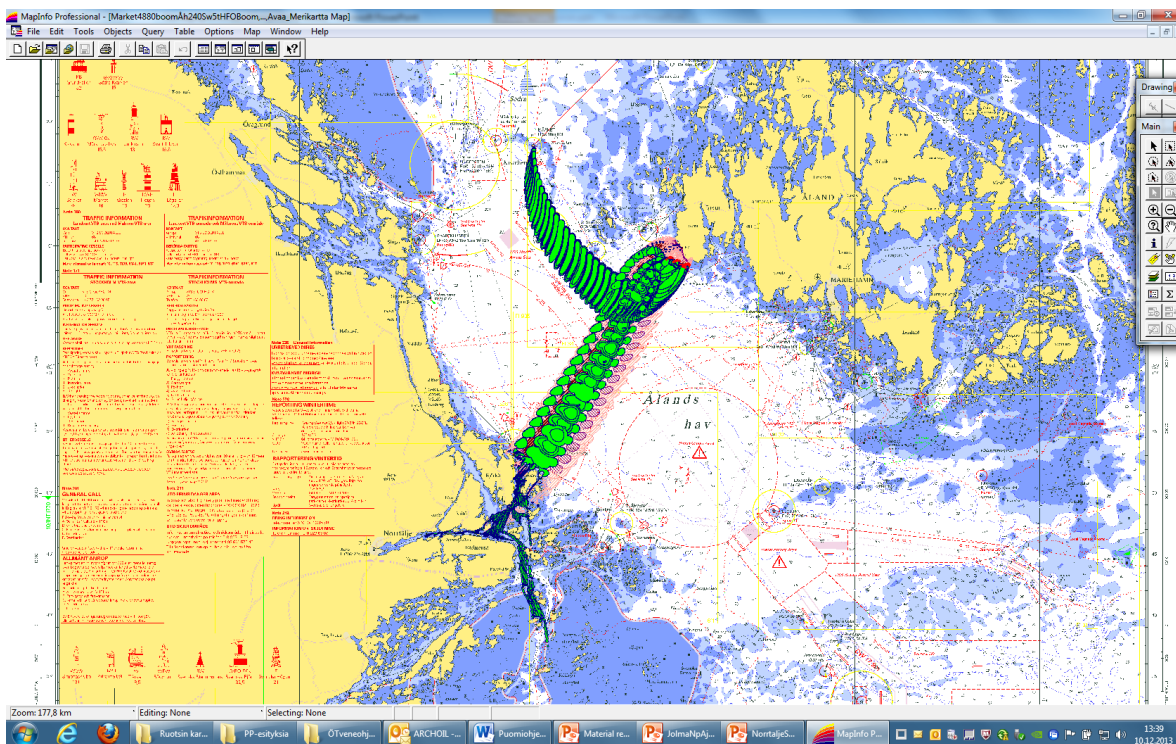
Seuraavissa kuvissa on skenaario, jossa öljylautta osaksi kohtaa Ahvenanmaan Eckerön rannikon ja sitten tuulen kääntyttyä Ruotsin rannikon Norrtäljen kohdalla. Lisäksi on laskettu skenaarion pohjalta tapaus, jossa Ahvenanmaalle tapahtuva rantautuminen on estetty avomeripuomituksin.



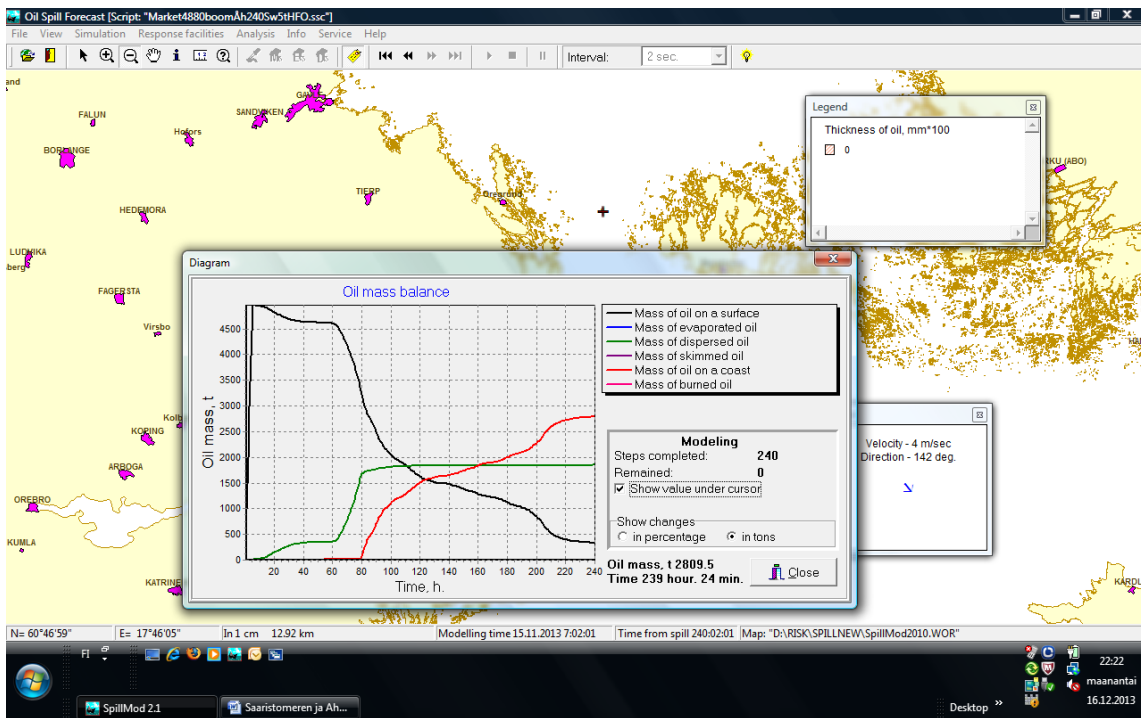
Kuva 45. Öljyn osittainen rantautuminen Ahvenanmaalle ja myöhemmin Ruotsin rannikolle.



Kuva 46. Edellisen tapauksen rantautumisen estäminen Ahvenanmaalle avomeripuomituksin.



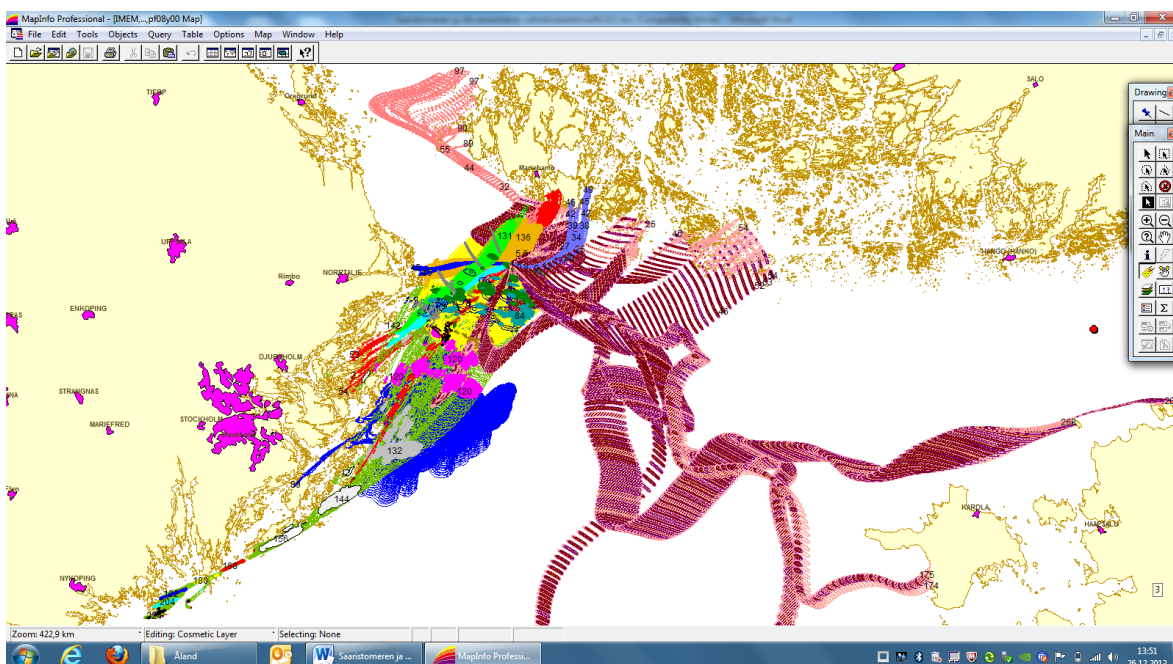
Kuva 47. Märketistä alkavan trajektorin 4880 mukaisen 5000 tonnin raskasöljyvuoodon kulkeutuminen 240 tunnin aikana. Ahvenanmaalle Eckeröön uhannut osittainen rantautuminen olisi estetty avomeripuomituksin, mutta öljy olisi rantautunut pääosin Ruotsin rannikolle. Edellisten skenaarioiden yhdistelmä.



Kuva 48. Edellisen torjuntatapauksen massa-analyysi. Märketistä alkavan trajektorin 4880 mukaisen 5000 tonnin raskasöljyvuodon hajoaminen 240 tunnin aikana. Ruotsin rannikolle olisi rantautunut noin 2800 tonnia öljyä ja veden pinnalla olisi kulkeutumassa yhä noin 300 tonnia.

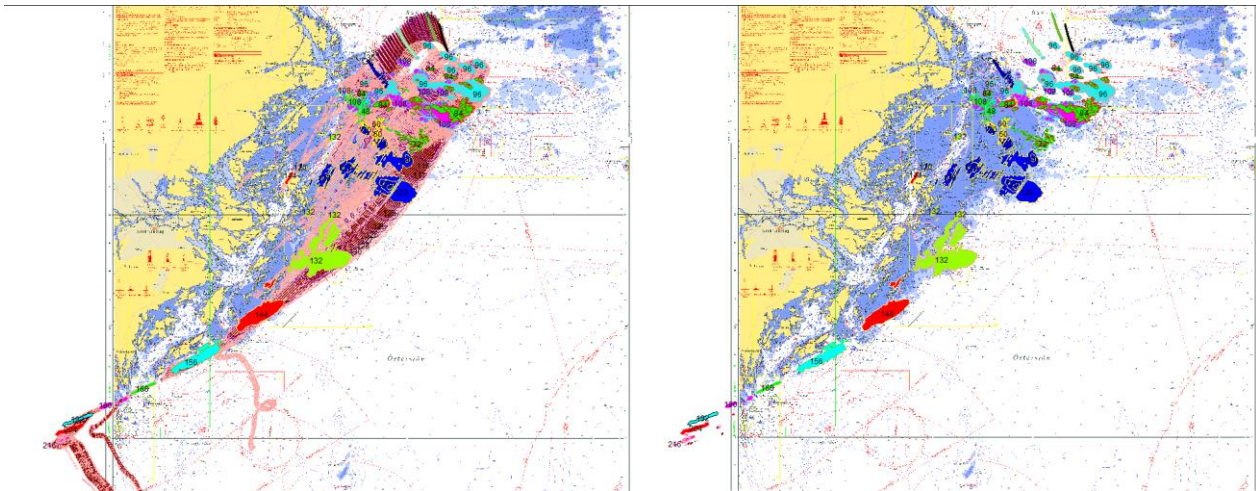
4.2. Flötjan

Flötjanin vierestä yhdestä pisteestä on laskettu joukko 5000 tonnin raskasöljyvuotoja, joiden kesto on 5 tuntia. Niitä on koottu seuraavaan kuvaan, joka on osasuurennos kuvasta 12.

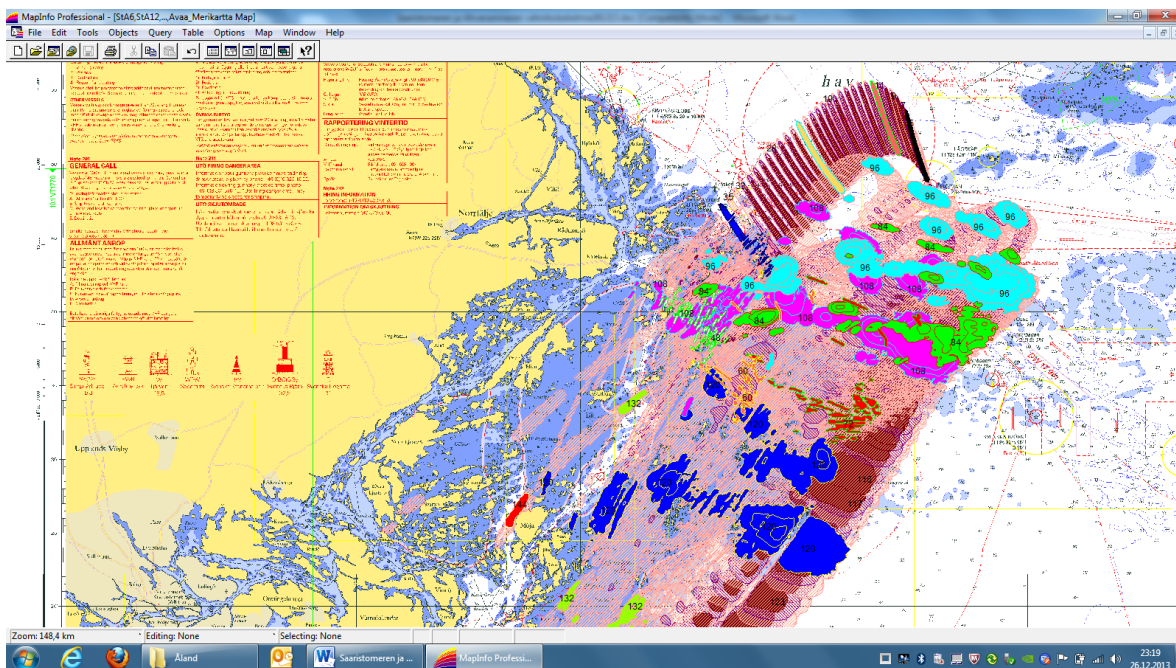


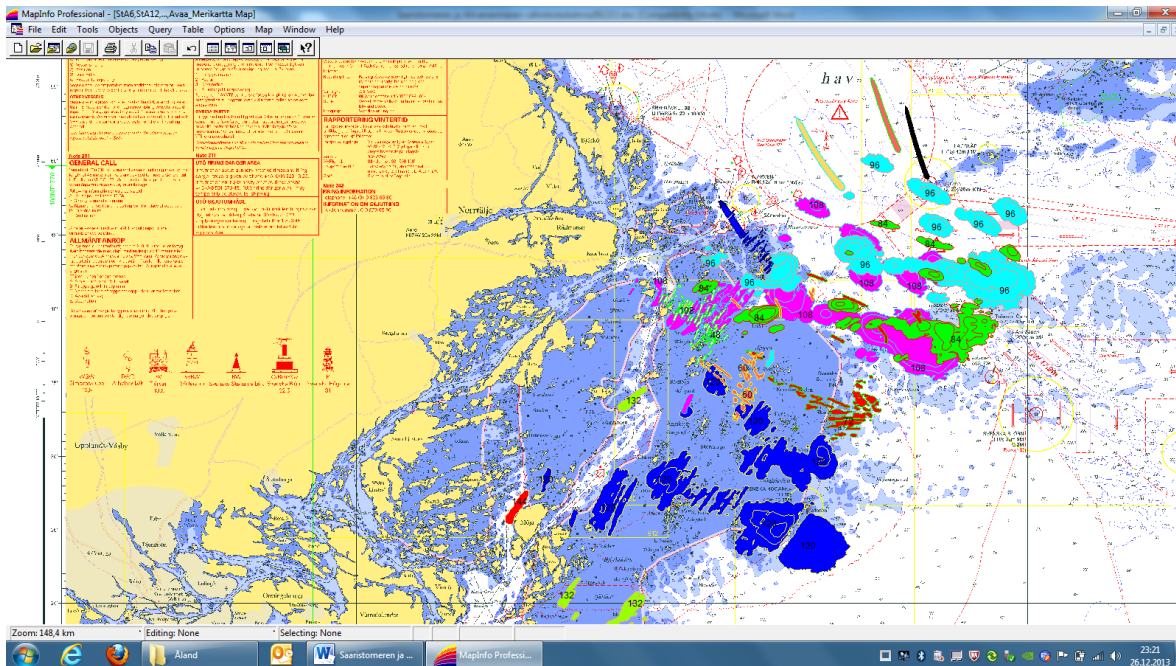
Kuva 49. Flötjanilta alkavaksi laskettuja 5000 tonnin raskasöljytapauksia (osasuurennos kuvasta 12).

Trajektorilla 4836 laskettu 5000 tonnin raskasöljyvuoto tuottaa skenaarion, jossa öljyvahinko etenee Tukholman koko ulkosaariston läpi kymmenessä vuorokaudessa. Laskennan tuloksia on esitetty seuraavissa kuvissa.

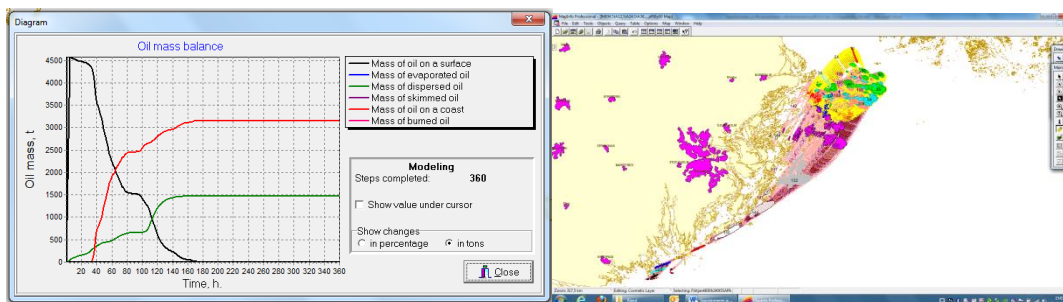


Kuva 50. Flötjanilta alkavan trajektorin 4836 mukaisen 5000 tonnin raskasöljyvuodon leviäminen





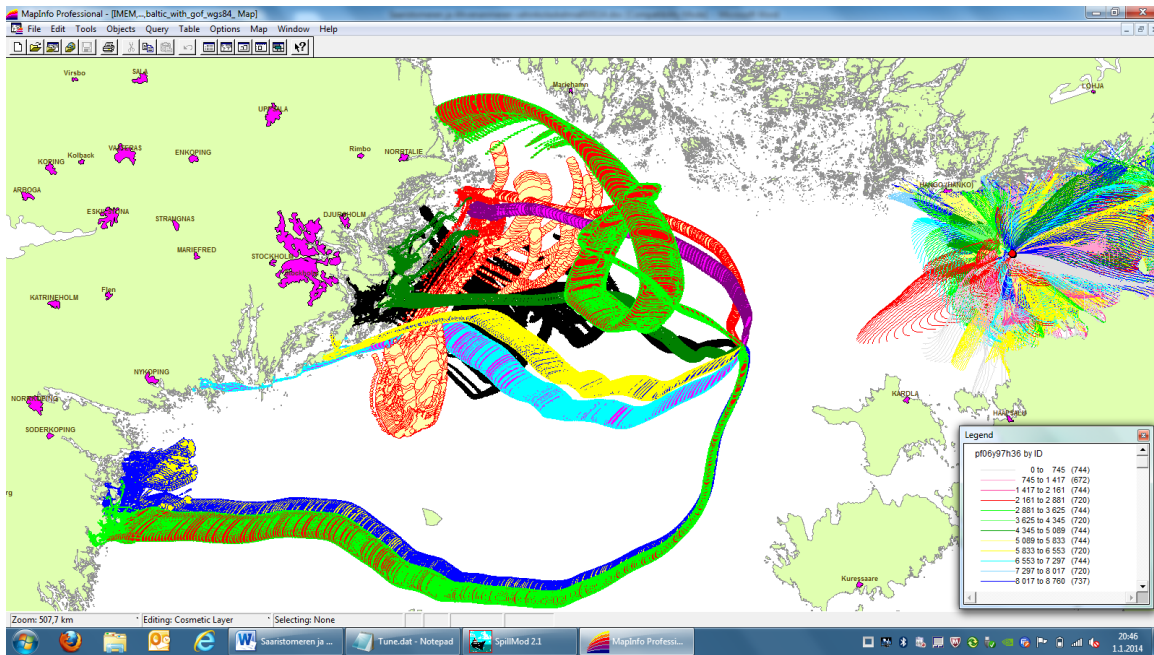
Kuva 51. Flötjanilta alkavan trajektorian 4836 mukaisen 5000 tonnin raskasöljyvuodon leviäminen noin 5 vuorokauden aikana.



Kuva 52. Flötjanilta alkavan trajektorian 4836 mukaisen 5000 tonnin raskasöljyvuodon pääasiallinen hajoaminen 170-360 tunnin aikana. Rantautuneen öljyn määrä Tukholman saaristossa yli 3000 tonnia.

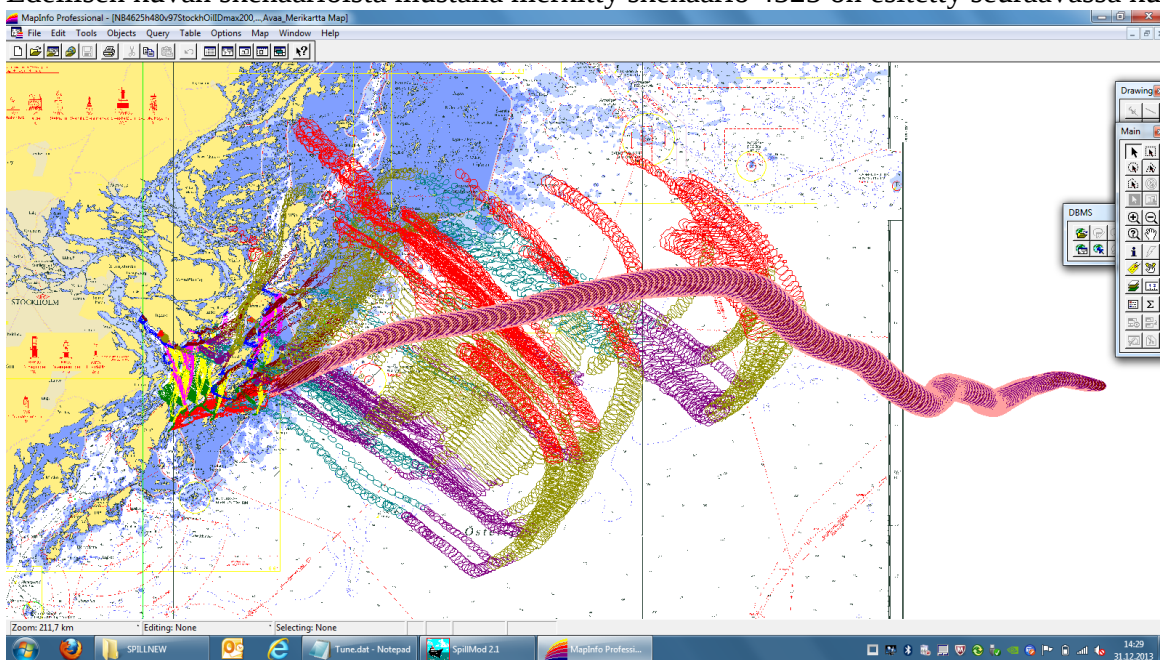
5. Esimerkkejä pääkuljetusreitiltä kahdesta pisteestä alkavista 30 000 tonnin raakaöljyskenaarioista

Seuraavassa on muutamia esimerkkejä yhdestä Hiidenmaan luoteispuolelta öljyn pääkuljetusreitiltä valitusta pisteestä lasketuista skenaarioista, jotka päätyvät Ruotsin rannikolle tai saaristoon ja pari esimerkkiä peruspisteestä 6 lasketuista skenaarioista. Laskelmissa on käytetty vuoden 1997 trajektoreja, koska niistä löytyy useampia itätuulijaksoja kuin vuoden 2000 trajektoreista kuten alussa esitettyjä kuvia 3 ja 6 vertaamalla voi nähdä. Seuraavassa kuvassa on yhdeksän skenaariota, joissa kaikissa on kyse raakaöljyn 30 000 tonnin kokonaisvuodosta, joka tapahtuu 6 tunnin aikana.

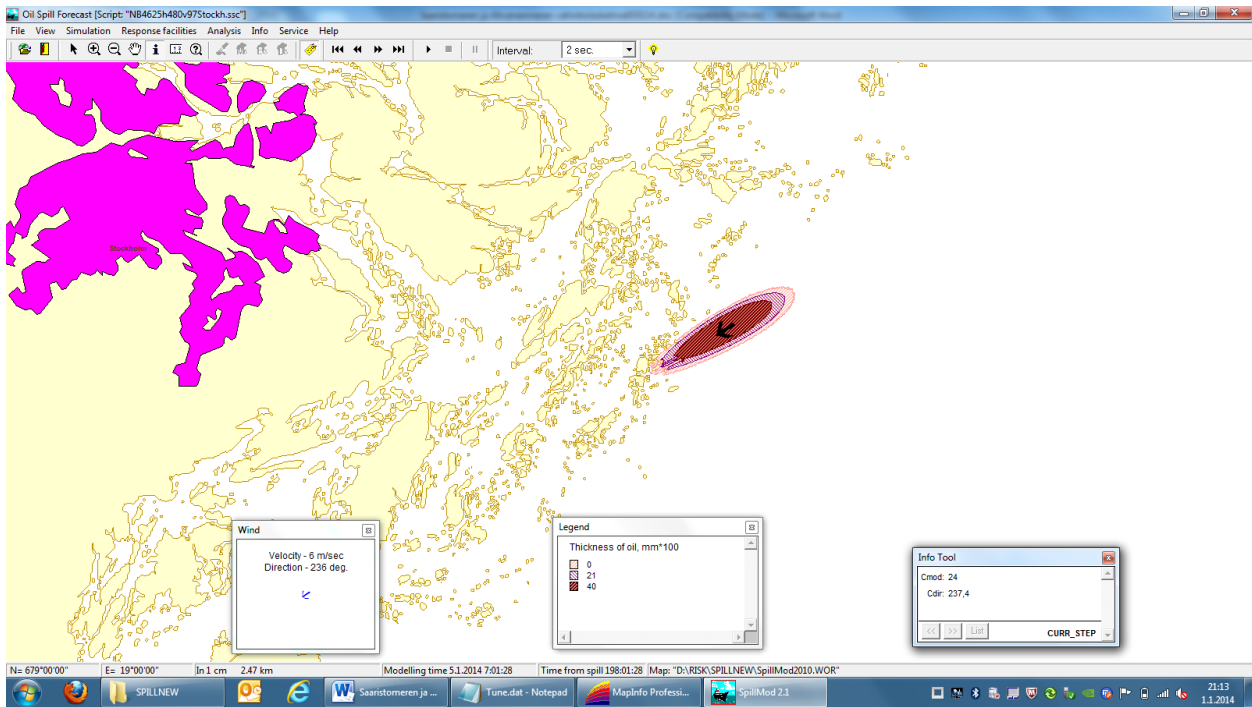


Kuva 53. Yhdeksän skenaariota 30 000 tonnin raakaöljyvuoosta, jotka päätyvät Ruotsin rannikolle.

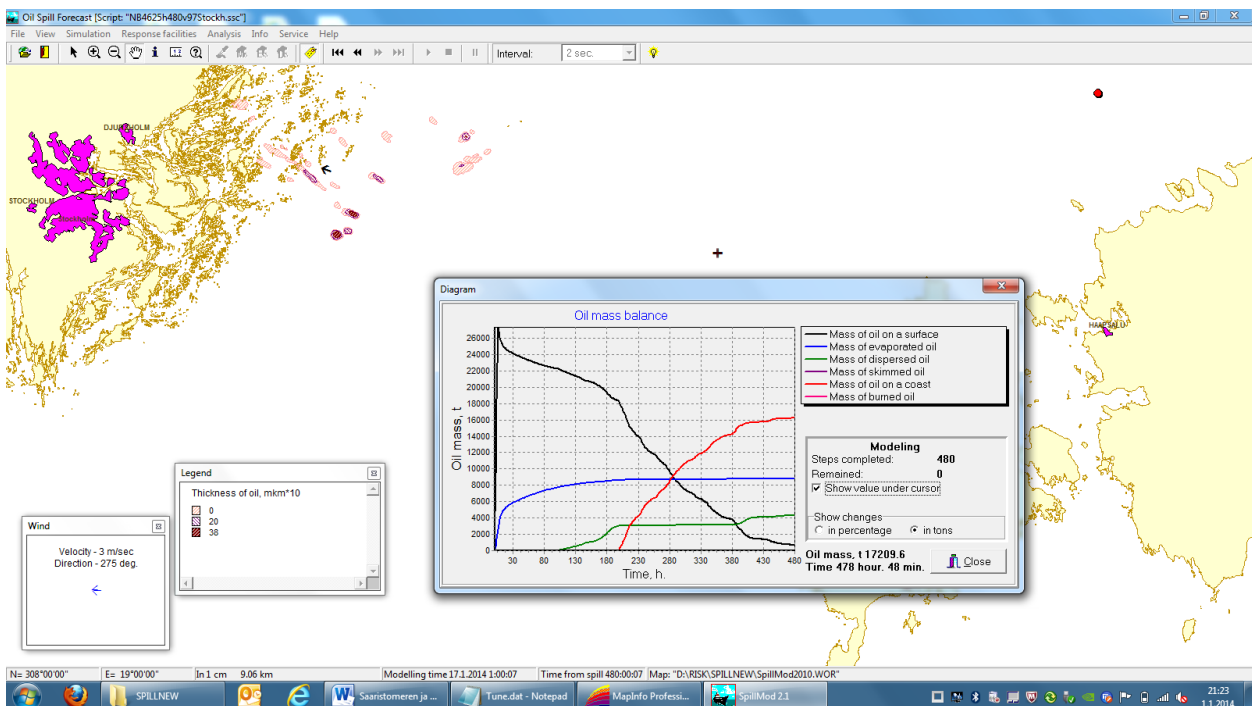
Edellisen kuvan skenaarioista mustalla merkitty skenaario 4525 on esitetty seuraavassa kuvassa.



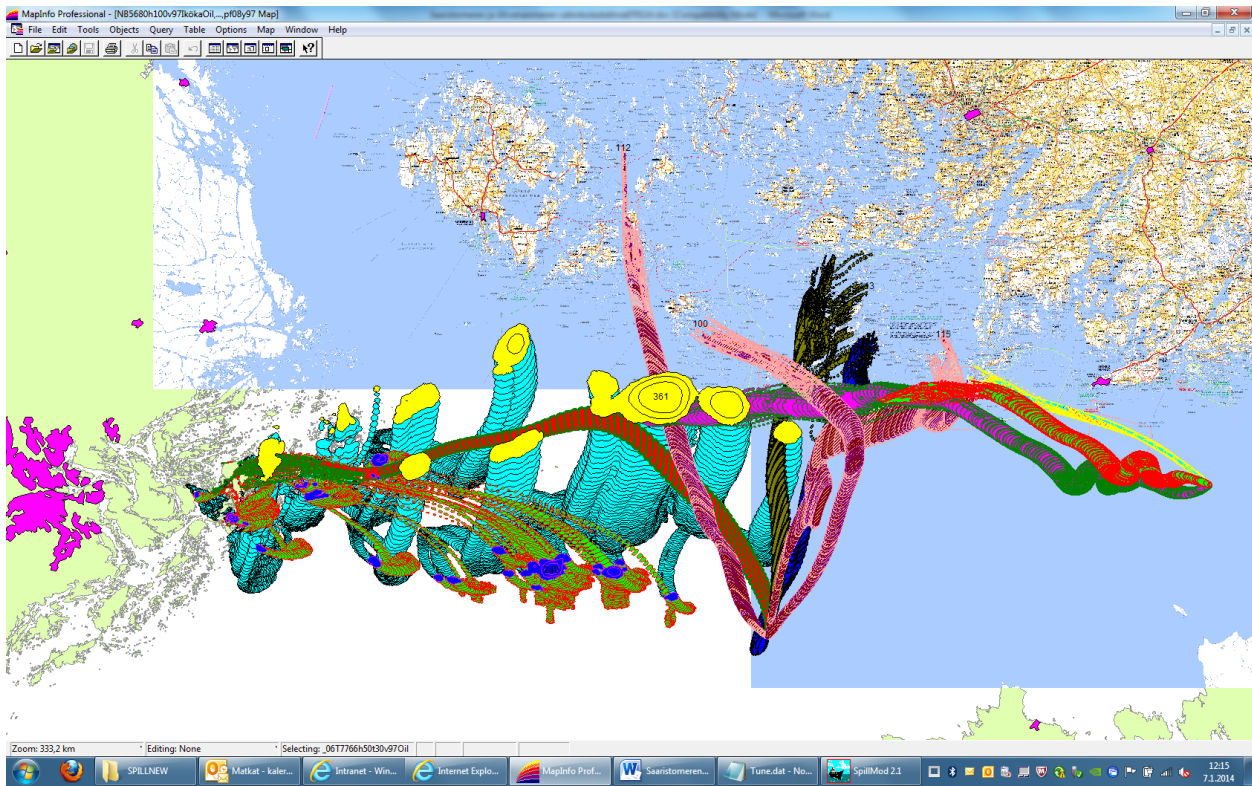
Kuva 54. Vuoden 1997 trajektorin 4625 mukainen 30 000 tonnin raakaöljyvuoodon skenaario 20 vuorokaudessa (480 tunnissa). 200 tunnin jälkeen tapahtuneen rantautumisen jälkeiset vuorokaudet on esitetty eri väreillä.



Kuva 55. Edellisen kuvan skenaariossa rantautuminen alkaa 198 tuntia vahingosta.



Kuva 56. Vuoden 1997 trajektorin 4625 mukaisen 30 000 tonnin raakaöljyvuodon skenaarion 20 vuorokauden (480 tuntia) analyysi. 20 vuorokauden kuluttua öljyä olisi rantautunut noin 17 000 tonnia ja sitä olisi veden pinnalla ajelehtimassa vajaat 1000 tonnia.



Kuva 57. Skenaarioita 30 000 tonnin raakaöljyvuoodoista, jotka päätyvät Saaristomeren ulkosaaristoon sekä yksi ensin Ruotsin rannikolle osuva kulkeutuminen 8.1.2014 8.1.2014, joka myöhemmin etenee kohti Saaristomerta. Itäisimmät kolme skenaariota alkavat peruspisteestä 6.

8.1.2014/KJ