

Viherkesanto maatalousmaan ravinnekuormituksen hallinnassa muuttuvissa ilmasto-oloissa

Kirsti Granlund¹, Pirjo Peltonen-Sainio², Kaija Hakala², Markku Puustinen¹

¹)Suomen ympäristökeskus, PL 140, 00251 Helsinki,

kirsti.granlund@ymparisto.fi, markku.puustinen@ymparisto.fi

²)Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus 31600, Jokioinen
pirjo.peltonen-sainio@mtt.fi, kaija.hakala@mtt.fi

Tiivistelmä

Ilmaston lämpeneminen ja sademäärän ennustettu kasvu tulevaisuudessa voivat lisätä ravinteiden huuhtoutumista maatalousmaalta. INCA-N tyypimallia (Integrated Nutrients from Catchments – Nitrogen model) sovellettiin Savijoen maatalousvaltaisella tutkimusvaluma-alueella ILMASOPU-tutkimusprojektissa (katso www.mtt.fi, Tutkimus-Hankehaku-ILMASOPU). Malli laskee veden virtauksen sekä epäorgaanisen typen prosessit maaperässä ja jokivedessä. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää mallintamisen keinoin 1) miten ilmastonmuutos vaikuttaa maatalousmaan typpihuuhtoutumaan viljelytoimenpiteiden jatkuessa muuttumattomina ja 2) missä määrin peltomaan viherkesannointi vähentää valuma-alueen typpikuormaa nykyilmastossa sekä muuttuneissa ilmasto-oloissa neljän erilaisen ilmastoskenaarioiden perusteella. Savijoki (pinta-ala 15 km²) edustaa Lounais-Suomen tehokkaasti viljeltyjä viljantuotantoalueita.

INCA-N mallin hydrologinen osio on aiemmin kalibroitu jaksolle 1981–2000. Tässä tutkimuksessa mallin uusin versio kalibroitiin jaksolla 2004–2007 ja mallia testattiin jaksolla 2000–2003. Mallin kalibroinnissa käytettiin vertailutietoina Savijoessa mitattuja virtaama-arvoja sekä nitraatti- ja ammoniumtyppipitoisuuksia. Mallilla lasketut ja havaitut epäorgaanisen typen pitoisuudet Savijoessa vastasivat keskimäärin hyvin toisiaan kalibrointi- ja testausjaksoilla. Käytetyt ilmastoskenaariot edustavat jaksoa 2071–2100 ja niiden mukaan vuoden keskilämpötila nousisi 2.8–4.7 °C ja sadanta kasvaisi 10.1–23.6 %. Skenaarioiden mukainen lämpötilan kohoaminen ja sadannan lisääntyminen erityisesti talvella vaikutti voimakkaasti mallinnettuun lumipeitteen ja valunnan jakautumiseen Savijoella. Myöhäissyksyn ja talven valunta lisääntyi huomattavasti korvaten nykyisen lumen sulamisesta aiheutuvan kevätvaluntapiikin.

Viljelytoimenpiteiden jatkuminen muuttumattomina tulevissa ilmasto-oloissa aiheutti valuma-alueen typpikuorman kasvun n. 46 %:lla (vaihteluväli eri skenaarioilla 29–64 %). Huuhtoutuma lisääntyi erityisesti marraskuun ja helmikuun välisellä jaksolla. Huuhtoutuman kasvu johtui mineralisaation kiihtymisestä ja valunnan lisääntymisestä kasvukauden ulkopuolella. Mallitulosten mukaan koko peltoalueen viherkesannointi vähentää valuma-alueen epäorgaanisen typen kuormaa nykyilmastossa n. 50 %. Tulevaisuuden ilmastossa vähenemä olisi keskimäärin vain 26 % nykytilaan verrattuna. Simuloinneissa viherkesantokasvuston typenotto kasvoi keskimäärin 26 % nykytilaan verrattuna. Valunnan ja osittain typen mineralisaation lisääntyminen talvikaudella kuitenkin heikensi viherkesannon kykyä vähentää typpikuormitusta.

Peltomaan vesitalouden hallintaan on tulevaisuudessa kiinnitettävä entistä enemmän huomiota. Maatalouden typpikuormituksen vähentäminen ilmaston muuttuessa voi vaikeutua entisestään lounaisilla viljelyalueilla, jotka nykyisin kuormittavat Saaristomerta. Intensiivisen maanmuokkauksen korvaaminen pysyvän kasvipeitteen kaltaisilla vaihtoehdoilla on keskeinen toimenpide kuormitusherkillä alueilla.

Asiasanat: maatalous, typpi, ilmastonmuutos, valuma-alue, mallinnus, viherkesannointi

Johdanto

Suomen ilmasto on muuttumassa ja muutokset voivat kiihtyä tulevaisuudessa. Carterin (2007) yhteenvedon mukaan Suomen ilmasto lämpenee ja tulee kosteammaksi kaikkina vuodenaikoina ja muutokset ovat suurempia talvella kuin kesällä. Tuomenvirran (2004) mukaan vuoden ja kevätkuukausien keskilämpötila on Suomessa kohonnut. Talvikauden lämpötilat ovat kohonneet erityisesti 1970-luvulta lähtien. Tulevaisuudessa ilmastosta riippuvat ekosysteemipalvelut voivat olla joko hyödyllisiä (esim. pidentynyt kasvukausi) tai haitallisia (esim. veden laadun heikkeneminen ravinteiden huuhtoutuman lisääntyessä talvikausina) (Carter 2007).

Aiemmissa suomalaisissa tutkimuksissa, jotka ovat perustuneet mallintamiseen tai veden laadun seurantaan (Kallio ym. 1997, Puustinen ym. 2007) on jo havaittu, että leutoina talvina ravinteiden huuhtoutuminen pelloilta ja valuma-alueilta on suurempaa kuin normaalitalvina. Lisäksi mallinnustulosten mukaan pellon maaprofiilissa typpihuuhtoutuma lisääntyy kun ilmaston lämmetessä mineralisaatio kiihtyy ja valunta maaperässä lisääntyy (Kallio ym. 1997). Valtioneuvoston periaatepäätös "Vesien suojeleminen vuoteen 2015" (Ympäristöministeriö 2007) edellyttää maatalouden ravinnekuormituksen vähentämistä vuoteen 2015 mennessä vähintään kolmanneksella vuosien 2001–2005 keskimääräiseen tasoon verrattuna. Uusitalo ym. (2007) mukaan maatalous vaikuttaa, sisävesistöjen lisäksi, ennen kaikkea Itämeren rannikon läheisten vesien tilaan. Lounais-Suomen maatalous kuormittaa voimakkaasti Saaristomerta, ja maatalouden ympäristösuojaus tulisi kohdentaa alueellisesti riskialttiisiin kohteisiin. Viherkesantoalan kasvu voi vähentää eroosiota ja vesistökuormitusta, jos kuormitus muulta viljelyalalta ja kasvavilta kotieläintiloilta ei samalla kasva (Uusitalo ym. 2007).

Tässä tutkimuksessa oli tavoitteena selvittää mallintamisen keinoin 1) miten ilmastomuutos vaikuttaa maatalousmaan typpihuuhtoutumaan viljelytoimenpiteiden jatkuessa muuttumattomina ja 2) missä määrin peltomaan viherkesannointi vähentää valuma-alueen typpikuormaa nykyilmastossa sekä muuttuneissa ilmasto-oloissa neljän erilaisen ilmastoskenaarioiden perusteella. Tutkimusalueena oli Savijoen pieni maatalousvaltainen valuma-alue Lounais-Suomessa Saaristomeren valuma-alueella. Tutkimuksessa sovellettiin INCA-N typpimallia, jolla voidaan simuloida epäorgaanisen typen prosesseja ja kulkeutumista valuma-alueilla.

Aineisto ja menetelmät

INCA-N typpimallia (Integrated Nutrients from Catchments – Nitrogen model) (Whitehead et al. 1998, Wade et al. 2002) sovellettiin Savijoen (60°36', 22°40') maatalousvaltaisella tutkimusvaluma-alueella Lounais-Suomessa. Alue kuuluu kansalliseen pienten valuma-alueiden verkostoon, joka perustettiin v. 1957, alun perin hydrologisia tutkimuksia varten (esim. Seuna 1983, Vuorenmaa ym. 2002). Savijoen pinta-alasta n. 39 % on peltoja, jotka sijaitsevat jokiuomaston varrella. Suurin osa ravinnekuormituksesta tulee maataloudesta, joka on pääosin viljanviljelyä. Kyntö oli vielä 2000-luvun alussa suosituin syksyn perusmuokkausmenetelmä, mutta nykyisin suorakylvö ja kevyemmät muokkausmenetelmät ovat yleistyneet (Mattila ym. 2007).

INCA-N on prosessipohjainen, osittain hajautettu valuma-alueittakaavan typpimalli, joka simuloi vuorokauden aika-askeleella veden virtauksen ja epäorgaanisen typen prosessit valuma-alueen maaperässä ja jokivedessä. Malli laskee lisäksi lumipeitteen paksuuden, lumen vesiarvon ja maan lämpötilan. INCA-N sisältää kolme maaperän osiota, joissa hydrologia ja typpikulkeuma lasketaan: pintavalunta, maan reaktiivinen kerros ja pohjavesivarasto. Malli sisältää tärkeimmät epäorgaanisen typen prosessit maaperässä. Jokivedessä lasketaan nitrifikaatio ja denitrifikaatio. Typen prosessit voidaan laskea kuudessa erilaisessa maankäyttöluokassa, jotka Savijoella olivat nykytilanteessa metsä ja viisi peltokasvia (kevätiljat, syysviljat, rypsi, nurmi, viherkesanto). Kasvilajien prosentuaalinen jakauma saatiin aikaisemmista tutkimuksista (Vuorenmaa ym. 2002, Mattila ym. 2007).

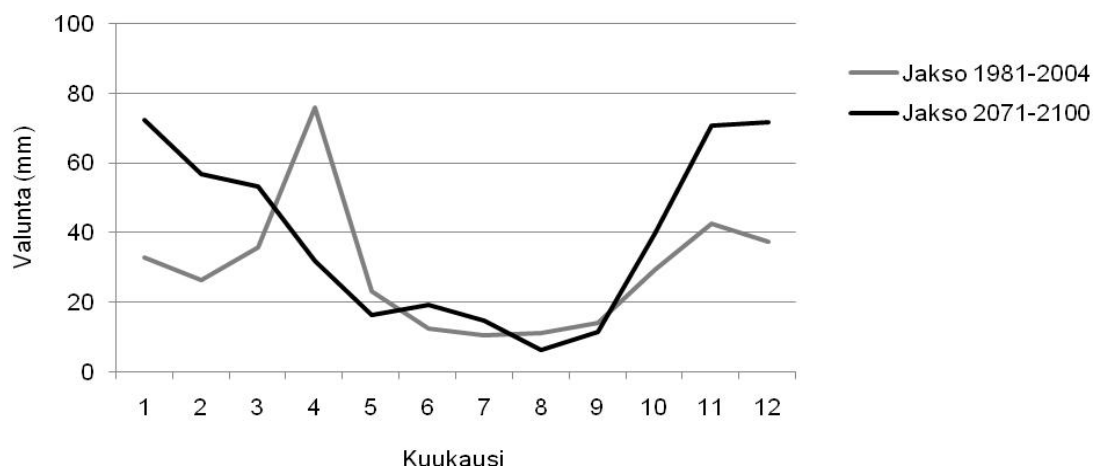
INCA-N mallin hydrologinen osio on aiemmin kalibroitu jaksolle 1981–2000 (Granlund ym. 2004). Tässä tutkimuksessa mallin uusin versio (Vs. 1.11.10) kalibroitiin jaksolla 2004–2007 ja mallia testattiin jaksolla 2000–2003. Mallin kalibroinnissa käytettiin vertailutietoina Savijoessa mitattuja virtaama-arvoja sekä nitraatti- ja ammoniumtyppipitoisuuksia. Lisäksi maaperän typpiprosessien kalibroinnissa käytettiin apuna kirjallisuustietoja mm. kasvien typenotosta ja tyypillisistä huuhtoutumaluvuista nykyisissä ilmasto-oloissa.

Vertailuaineistoksi ilmastonmuutostarkasteluja varten mallilla laskettiin hydrologia ja typen huuhtoutuma jaksolla 1981–2004 käyttäen nykytilanteen (jakso 2000–2005) keskimääräisiä viljelytietoja. Lisäksi mallinnettiin ns. nykyilmaston vesiensuojeluskenaario, jossa koko peltoalue on lannoittamantonta viherkesantoa, joka muodostuu heinäkasvustosta ilman typensitojakasveja. Ilmastonmuutoksen vaikutusta valuntaan ja typpihiuhtoutumaan tarkasteltiin käyttäen lähtötietoina neljää erilaista PRUDENCE EU-projektissa (Christensen ym. 2007) kehitettyä alueellista ilmastoskenaariota. Skenaariot on tuotettu ruotsalaisella RCAO-ilmastomallilla (Döscher et al. 2002) käyttäen lähtöaineistona kahta globaalia ilmastomallia (HadAM3 ja ECHAM4/OPYC3Y) sekä IPCC SRES A2 ja B2 kasvihuonekaasujen päästökenaarioita. Skenaariot edustavat jaksoa 2071–2100 ja niiden mukaan vuoden keskilämpötila nousisi 2.8–4.7 °C ja sadanta kasvaisi 10.1–23.6 %. Sään ääri-ilmiöiden mahdollista yleistymistä ei huomioitu.

Ilmastonmuutoksen vaikutuksia tarkasteltiin ensin tilanteessa, jossa viljelykäytännöt ja kasvien kasvu säilyvät muuttumattomina. Sen jälkeen simuloitiin viherkesannon kykyä vähentää typpikuormitusta tulevassa ilmastossa ottamalla huomioon kasvukauden pidentyminen (20 vrk) sekä satotason todennäköinen kasvaminen. Viherkesannon kasvun parametrisointi tulevaisuuden ilmasto-oloissa perustui Hakalan ja Melan (1996) kasvihuonekokeisiin, joissa tutkittiin nurmen kasvun muutoksia kohonneissa lämpötiloissa ja CO₂-pitoisuuksissa.

Tulokset ja tulosten tarkastelu

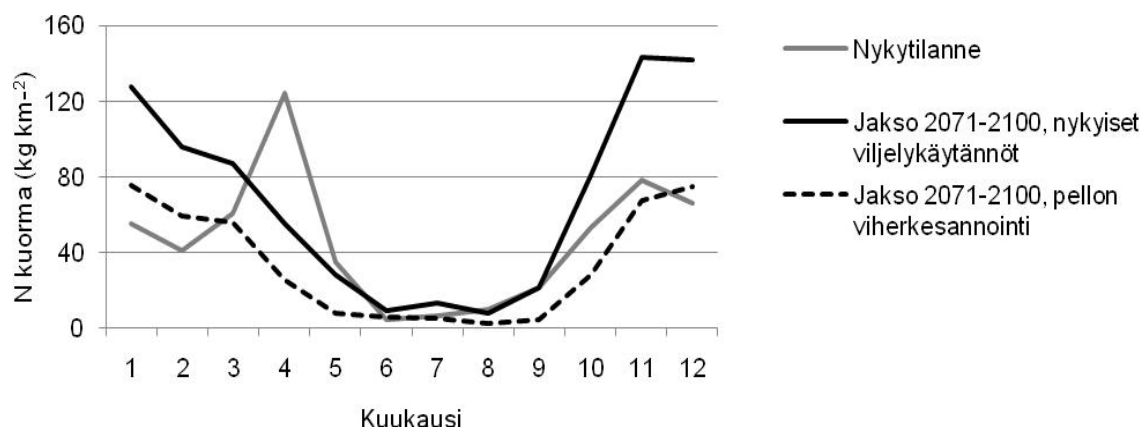
INCA-N mallilla lasketut ja havaitut epäorgaanisen typen pitoisuudet Savijoessa vastasivat keskimäärin hyvin toisiaan kalibrointi- ja testausjaksoilla. Kalibroidulla mallilla laskettua nykytilan (1981–2004) typpihiuhtoutumaa käytettiin vertailuarvona arvioitaessa viherkesannoinnin vaikutusta nykyisessä ja tulevassa ilmastossa. Ilmastoskenaarioiden mukainen lämpötilan kohoaminen ja sadannan lisääntyminen talvella vaikutti voimakkaasti mallinnettuun lumipeitteen ja valunnan jakautumiseen Savijoella. Lumen vesiarvo pysyi alhaisena (alle 20 mm) ja lumipeitekausi lyheni keväällä noin kuu-kaudella. Myöhäissyksyn ja talven valunta lisääntyi huomattavasti korvaten nykyisen lumen sulamisesta aiheutuvan kevätvaluntapiikin. (Kuva 1). Alueellisella tasolla on Suomessa arvioitu, että kevään tulvapiikit voivat alentua tulevaisuudessa huomattavasti lumen määrän pienentyessä Etelä-Suomessa (Silander ym. 2006).



Kuva 1. Mallinnettu keskimääräinen valunta nykyilmastossa (jakso 1981–2004) ja tulevaisuuden ilmastossa (jakso 2071–2100) neljän eri ilmastoskenaarioiden keskiarvona.

Viljelytoimenpiteiden jatkuminen muuttumattomina tulevissa ilmasto-oloissa aiheutti valuma-alueen typpikuorman kasvun n. 46 %:lla (vaihteluväli eri skenaarioilla 29–64 %). Huuhtoutuma lisääntyi erityisesti marraskuun ja helmikuun välisellä jaksolla (Kuva 2). Nykytilassa typpikuorma näiden kuu-kausien aikana oli 43 % koko vuoden kuormasta, mutta tulevissa ilmasto-oloissa keskimäärin 63 %.

Huuhoutuman kasvu johtui mineralisaation kiihtymisestä ja valunnan lisääntymisestä kasvukauden ulkopuolella. Myös Etelä-Ruotsissa sijaitsevalla maatalouden kuormittamalla suurella (1900 km²) valuma-alueella tehdyissä mallinnuslaskelmissa maatalousmaan typpipitoisuudet kasvoivat keskimäärin 50 % ja valuma-alueelta mereen vuosittain kulkeutuva typpimäärä lisääntyi 22 % ilmastonmuutoksen seurauksena. Syynä oli sadannan lisääntyminen talvella ja mineralisaation kiihtyminen maaperässä (Arheimer ym. 2005).



Kuva 2. Mallinnettu keskimääräinen valuma-alueelta poistuva epäorgaanisen typen kuorma Savijoella nykytilanteessa (jakso 1981–2004, nykyiset viljelykäytännöt) sekä tulevaisuuden ilmasto-oloissa (jakso 2071–2100) muuttumattomilla viljelytoimenpiteillä ja peltomaan viherkesannoinnilla.

Mallitulosten mukaan koko peltoalueen viherkesannointi Savijoella vähentää valuma-alueen epäorgaanisen typen kuormaa nykyilmastossa n. 50 %. Tulevaisuuden ilmastossa vähenemä olisi keskimäärin vain 26 % nykytilan kuormaan verrattuna. Simuloinneissa viherkesantokasvuston typenotto, jonka lähteenä oli typpilaskeuma ja maaperän mineralisaatio, kasvoi keskimäärin 26 % nykytilaan verrattuna. Valunnan ja osittain typen mineralisaation lisääntyminen talvikaudella kuitenkin heikensi viherkesannon kykyä vähentää typpikuormitusta.

Johtopäätökset

Peltomaan vesitalouden ja typen kierron ympärivuotiseen hallintaan on tulevaisuudessa kiinnitettävä entistä enemmän huomiota. Maatalouden typpikuormituksen vähentäminen ilmaston muuttuessa voi vaikeutua entisestään lounaisilla viljelyalueilla, jotka nykyisin kuormittavat Saaristomerta. Peltojen vesitalouden ja rakenneongelmien hallintaan tulee kehittää uusia teknisiä ratkaisuja kastelun ja kuivatuksen tarpeiden muuttuessa.

Peltokasvien satoisuuden ja ympäristön kannalta optimaalinen ravinnetalous edellyttää maaperän omien ravinnevarastojen mahdollisimman tarkkaa hyödyntämistä. Kasvien typen käyttöä on tehostettava mineralisaatioprosessien kiihtyessä. Uusien kasvilajien käyttöönotto etelärannikolta alkaen ja viljelyn tehostuminen pohjoisilla alueilla korostavat maatalouden ympäristötoimenpiteiden valuma-aluekohtaisen priorisoinnin merkitystä. Intensiivisen maanmuokkauksen korvaaminen pysyvän kasvipeitteen kaltaisilla vaihtoehdoilla on keskeinen toimenpide kuormitusherkillä alueilla.

Kirjallisuusuuttelo:

Arheimer, B., Andréasson, J., Fogelberg, S., Johnsson, H., Pers, C.B. & Persson, K. 2005. Climate change impact on water quality: model results from Southern Sweden. *Ambio* Vol. 34, No. 7: 559–566.

Carter, T.R. (Ed.) 2007. Assessing the adaptive capacity of the Finnish environment and society under a changing climate: FINADAPT. *Finnish Environment* 1/2007. Environmental protection. Finnish Environment Institute.

- Christensen, J.H., Carter, T.R., Rummukainen, M. & Amanatidis, G.** 2007. Evaluating the performance and utility of regional climate models: the PRUDENCE project. *Climatic Change* 81: 1–6.
- Döscher R., Willén U., Jones, C., Rutgersson, A., Meier H.E.M., Hansson, U. & Graham, L.P.** 2002. The development of the coupled regional ocean-atmosphere model RCAO. *Boreal Environment Research* 7: 183–192.
- Granlund, K., Rankinen, K. & Lepistö, A.** 2004. Testing the INCA model in a small agricultural catchment in southern Finland. *Hydrology and Earth System Sciences* 8 (4): 717–728.
- Hakala, K. & Mela, T.** 1996. The effects of prolonged exposure to elevated temperatures and elevated CO₂ levels on the growth, yield and dry matter partitioning of field-sown meadow fescue. *Agricultural and Food Science in Finland* 5: 285–298.
- Kallio, K., Rekolainen, S., Ekholm, P., Granlund, K., Laine, Y., Johnsson, H. & Hoffman, M.** 1997. Impacts of climatic change on agricultural nutrient losses in Finland. *Boreal Environment Research* 2: 33–45.
- Mattila, P., Rankinen, K., Grönroos, J., Siimes, K., Karhu, E., Laitinen, P., Granlund, K., Ekholm, P. & Antikainen, R.** 2007. Viljelytoimenpiteet ja vesistökuormitus ympäristötukitiloilla vuosina 2003–2005. Suomen ympäristö 40/2007. Ympäristönsuojelu. 101 s.
- Puustinen, M., Tattari, S., Koskiahho, J & Linjama, J.** 2007. Influence of seasonal and annual hydrological variations on erosion and phosphorus transport from arable areas in Finland. *Soil and Tillage Research* 93: 44–55.
- Seuna, P.** 1983. Small basins – a tool in scientific and operational hydrology. Publications of the Water Research Institute 51.
- Silander, J., Vehviläinen, B., Niemi, J., Arosilta, A., Dubrovin, T., Jormola, J., Keskisarja, V., Keto, A., Lepistö, A., Mäkinen, R., Ollila, M., Pajula, H., Pitkänen, H., Sammalkorpi, I., Suomalainen, M. & Veijalainen, N.** 2006. Climate change adaptation for hydrology and water resources. Finnish Environment Institute Mimeographs 336. Finnish Environment Institute.
- Tuomenvirta, H.** 2004. Reliable estimation of climatic variations in Finland. Finnish Meteorological Institute Contributions, 43. 158 p.
- Uusitalo, R., Ekholm, P., Turtola, E., Pitkänen, H., Lehtonen, H., Granlund, K., Bäck, S., Puustinen, M., Räike, A., Lehtoranta, J., Rekolainen, S., Walls, M. & Kauppila, P.** 2007. Maatalous Itämeren rehevöittäjänä. Maa- ja elintarviketalous 96. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. 34 s.
- Wade, A., Durand, P., Beaujoan, V., Wessels, W., Raat, K., Whitehead, P.G., Butterfield, D., Rankinen, K. & Lepistö, A.** 2002. Towards a generic nitrogen model of European ecosystems: New model structure and equations. *HESS* 6: 559–582.
- Whitehead, P.G., Wilson, E.J. & Butterfield, D.** 1998. A semi-distributed Integrated Nitrogen model for multiple source assessment in Catchments (INCA): Part I-model structure and process equations. *Science of the Total Environment* 210/211: 547–558.
- Vuorenmaa, J., Rekolainen, S., Lepistö, A., Kenttämies, K. & Kauppila, P.** 2002. Losses of Nitrogen and Phosphorus from Agricultural and Forest Areas in Finland during the 1980s and 1990s. *Environmental Monitoring and Assessment* 76 (2): 213–248.
- Ympäristöministeriö 2007.** Vesiensuojelun suuntaviivat vuoteen 2015, Valtioneuvoston periaatepäätös. Suomen ympäristö 10/2007, Ympäristönsuojelu. 90 s.