

LIITE 3: YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN ARVIOLASKELMIA

Taivaankappaleiden törmäys

Hyvin suuren asteroidin (läpimitta yli 10 km) törmätessä maahan ilmaan nousee valtava pölypilvi, joka voi peittää auringon vuosiksi aiheuttaen pimeän ja pitkän talvijakson. Tämän kaltaisen asteroiditörmäyksen on arveltu tappaneen dinosaurukset sukupuuttoon ja tuhonneen suurelta osin maan päällisen elämän liitukauden loppupuolella 65 miljoonaa vuotta sitten. Luonnon rikkauden ja monimuotoisuuden palautuminen uudessa muodossa voi kestää massiivisen törmäyksen seurauksena kymmeniä miljoonia vuosia.

Oletetaan 95 % ympäristövaikutus maan päällä, 85 % mannerjalustalla ja 60 % valtamerissä törmäyksen seurauksena. Valtaosa lajistosta siis katoaa maan päältä. Luonnon rikkauden ja ennen kaikkea monimuotoisuuden palautuminen on aluksi hidasta /38/. Jos oletetaan palautumisajaksi 30 miljoonaa vuotta, saadaan arviolaskelman 1 ekvivalenttialoilla ympäristövaikutukseksi maapallolla:

$$V = - 0.5 \times 30\,000\,000 \text{ v} \times (0.95 \times 300\,000\,000 \text{ km}^2 \text{ ekv.} + 0.95 \times 25\,000\,000 \text{ km}^2 \text{ ekv.} + 0.85 \times 75\,000\,000 \text{ km}^2 \text{ ekv.} + 0.60 \times 100\,000\,000 \text{ km}^2 \text{ ekv.}) = - 6.5 \times 10 \exp 15 \text{ km}^2 \text{ ekv.} \times \text{v}$$

Täysmittakaavainen ydinsota

Strategisten ydinaseiden määrä on nykyään noin 13 000 ja yhteenlaskettu tuhovoima suuruusluokkaa 5 000 megatonnia. Täysmittakaavaisen ydinsodan pelkän räjähdysvaikutuksen tuhovoima on massiivinen, mutta kuitenkin rajallinen. Sitä seuraa voimakas radioaktiivinen säteily ja ilmakehään joutuvan pöly- ja savupilven aiheuttama ydintalvi. Myös elämää ultraviolettisäteilyltä suojaava otsonikerros vahingoittuu. Ydintalvea seuraa malliennusteissa ydinkesä, jolloin keskilämpötila saattaa nousta kymmenkunta astetta.

Täysmittakaavaisen ydinsodan ympäristövaikutusskenaarioita on käsitelty esimerkiksi lähteissä /54/ ja /49/. Vaikutukset ovat voimakkaimpia pohjoisen pallonpuoliskon manneralueilla. Merien suuri lämpökapasiteetti voi jossain määrin suojata kapeita rantakaistaleitä äärimmäisiltä lämpötilan heilahteluilta.

On syytä pitää mielessä, että tällaisiin skenaarioihin liittyy paljon epävarmuutta. Niitä on kuitenkin käytetty seuraavan ympäristövaikutusskenaarion lähtökohtana.

Valtaosa ihmiskunnasta ja suuri osa maanpäällisestä eläin ja kasvikunnasta tuhoutuu ennusteiden mukaan ilmastonmuutosten, säteilyn ja otsonikerroksen vaurioitumisen seurauksena. Voidaan ajatella, että elämä leviää vähitellen vähemmän vaurioituneilta alueilta pahimmin tuhoutuneille alueille. Toisaalta merkittävä osa lajistoa katoaa kokonaan maan päältä. Luonnon monimuotoisuuden palautuminen voi tältä osin kestää miljoonia vuosia. Karkea arviolaskelma voidaan jakaa vaikutusten keston mukaisesti kahteen osaan.

Jos oletetaan, että maanpäällisestä elämästä tuhoutuu 70 %, elämästä mannerjalustalla 50 % ja valtamerissä 30 %, sekä leviämisen kautta tapahtuvaksi palautumisajaksi 2000 vuotta, saadaan arviolaskelman 1 ekvivalenttialoilla ympäristövaikutukseksi maapallolla:

$$V = - (0.7 \times 300\,000\,000 \text{ km}^2 \text{ ekv.} + 0.7 \times 25\,000\,000 \text{ km}^2 \text{ ekv.} + 0.5 \times 75\,000\,000 \text{ km}^2 \text{ ekv.} + 0.3 \times 100\,000\,000 \text{ km}^2 \text{ ekv.}) \times 0.5 \times 2\,000 \text{ v} = - 3.0 \times 10 \text{ exp } 11 \text{ km}^2 \text{ ekv.} \times \text{v}$$

Oletetaan lajiston katoamisen osalta pitkäaikaiseksi ympäristövaikutukseksi maan päällä 20 %, mannerjalustalla 10 % ja valtamerissä 5 % (lajistosta katoaa kaksinkertainen määrä) sekä luonnon monimuotoisuuden evoluution kautta tapahtuvaksi palautumisajaksi 4 miljoonaa vuotta. Täältä osin ympäristövaikutusarvioksi saadaan:

$$V = - (0.2 \times 300\,000\,000 \text{ km}^2 \text{ ekv.} + 0.2 \times 25\,000\,000 \text{ km}^2 \text{ ekv.} + 0.5 \times 75\,000\,000 \text{ km}^2 \text{ ekv.} + 0.05 \times 100\,000\,000 \text{ km}^2 \text{ ekv.}) \times 0.5 \times 4\,000\,000 \text{ v} = - 1.5 \times 10 \text{ exp } 14 \text{ km}^2 \text{ ekv.} \times \text{v}$$

Lajiston sukupuuttoon kuoleminen on siis tässä laskelmassa merkittävämpi tekijä kuin massiivinen mutta palautuva ympäristötuho. Edelliseen esimerkkiin verrattuna on huomattava, että kokonaisten kehittyneiden lajiryhmien kuten hirmuliskojen katoamisen korvautuminen tapahtuu evoluutiossa hitaammin kuin yksittäisten lajien korvautuminen.

Kasvihuoneilmiön voimistumisen ympäristövaikutus

Laskelma lähtee oletuksesta, että IPCC:n arviot ilmastonmuutoksesta ja sen seurauksista pitävät paikkansa.

Maapallon pinta-alan muuttaminen ekvivalenttipinta-alaksi merkityskertoimien avulla:

Aluetyyppi	Pinta-ala	Merkityskerroin	Ekvivalenttiala
Elinvoimainen maa	100 Mkm ²	3.0	300 Mkm ² ekv.
Autiomaat ym.	50 Mkm ²	0.5	25 Mkm ² ekv.
Mannerjalusta	50 Mkm ²	1.5	75 Mkm ² ekv.
Syvät valtameret	300 Mkm ² 500 Mkm ²	0.33	100 Mkm ² ekv. 500 Mkm ² ekv.

Ilmastonmuutos:

Jos lämpötilan muutos on pieni (2°C), ihmisen ja luonnon elinolosuhteissa tapahtuu rajallisia muutoksia. Suuri lämpötilanmuutos (5°C) aiheuttaa suorien ympäristövaikutusten lisäksi kumulatiivisia vaikutuksia kuten nälänhätien, kansainvaellusten, sotien, anarkian ja kokonaisten ekosysteemien luhistumisten yhteisvaikutuksia.

Maksimivaikutus:

Aluetyyppi	Ekvivalenttiala	Suht. muutos	Muutos ekv-alassa
Elinvoimainen maa	300 Mkm ²	-0.02 ... -0.4	-6 ... -120 Mkm ²
Autiomaat ym.	25 Mkm ²	+/- 0	+/- 0
Mannerjalusta	75 Mkm ²	-0.02 ... -0.2	-1.5 ... -15 Mkm ²
Syvät valtameret	100 Mkm ²	-0.01 ... -0.1	-1.0 ... -10 Mkm ² -8.5...- 145 Mkm ² ekv.

Pienen lämpötilan nousun (2°C) ympäristövaikutusten oletetaan kehittyvän lineaarisesti noin 100 vuotta ja korjautuvan lineaarisesti toiset 100 vuotta.

Ympäristövaikutukseksi tulee $-8.5 \text{ milj. km}^2 \text{ ekv} \times 0.5 \times 200 \text{ v} = -850 \text{ milj km}^2 \text{ ekv.} \times \text{v}$

Suuri lämpötilan nousu (5°C) aiheuttaa pitkäaikaista vahinkoa. Korjautumisen oletetaan tapahtuvan lineaarisesti ilmaston viilenemisen ja uuden luonnontasapainon kehittymisen myötä 2000 vuodessa.

Ympäristövaikutukseksi tulee $-145 \text{ milj. km}^2 \text{ ekv.} \times 0.5 \times 2000 \text{ v} = -145\,000 \text{ milj. km}^2 \text{ ekv.} \times \text{v}$

Jos asteen lämpötilan nousu kasvattaa ympäristövaikutuksen tarkasteluvälillä 5.6 kertaiseksi, kasvihuoneilmiön vaikutukseksi tulee perusskenaariossa $-5000 \text{ milj. km}^2 \text{ ekv.} \times \text{v}$ vastaten keskimääräistä lämpötilan nousua 3°C (esimerkiksi Suomessa vuoden keskilämpötilan kohoaminen olisi tähän nähden noin kaksinkertainen).

Sademetsien osittainen tuhoutuminen

Monissa maissa, kuten Brasiliassa, Nigeriassa, Indonesiassa ja Väli-Amerikan maissa trooppisia metsiä on otettu hakkuiden piiriin ja maatalouskäyttöön. Alkuperäinen metsäala on supistunut ja supistuu edelleen. Erityisesti on kannettu huolta Amazonin trooppisista sademetsistä. Sademetsä on luontotyyppinä poikkeuksellisen rikas ja monimuotoinen.

Oletetaan, että sadan vuoden aikana 4 miljoonaa km² trooppista metsää otetaan maa- ja metsätalouskäyttöön tai tuhoutuu esimerkiksi kuivuuden seurauksena. Tämä on suuruusluokkaa kolmannes trooppisesta metsäalasta. Ekosysteemi kärsii eniten alueilla, joilla se tuhoutuu kokonaan tai se jää hajanaisiksi saarekkeiksi yksipuolisesti hyödynnettävän alueen tai joutomaan keskelle. Muilla alueilla ainakin luonnon monimuotoisuus voi jopa lisääntyä. Oletetaan edelleen, että pahiten kärsineillä alueille luonnon rikkaus ja monimuotoisuus palautetaan asteittain istutuksin ja alue-ekologisin menetelmin tai se palautuu muista syistä 500 vuoden kuluessa.

Ajatellaan pahimpien metsätuhojen tapahtuvan pääosin trooppisissa sademetsissä, joille käytetään merkityskerrointa 10. Luonnon rikkauden ja monimuotoisuuden menetys pelkistetään 50 %:ksi 2 miljoonan neliökilometrin alueella. Ympäristövaikutukseksi saadaan:

$$V = -2\,000\,000 \text{ km}^2 \times 0.5 \times 10 \times 0.5 \times (100 \text{ v} + 500 \text{ v}) = -3\,000\,000\,000 \text{ km}^2 \text{ ekv} \times \text{v}$$

Suomen maatalouden historiallinen jalanjälkiefekti

Suomessa harjoitettiin vielä 1700-luvulla pääosin kaskiviljelyä, jossa metsää poltettiin kaskeksi, sitä viljeltiin, laidunnettiin, metsitettiin ja kaskettiin uudelleen. Vasta 1800-luvulla maanviljelyn pääpino siirtyi Lounais-Suomen savimailta alkaen peltoviljelyyn. Väkiluku kasvoi melko lineaarisesti ollen 1600-luvun alussa 300 000 ja 1800-luvun alussa 800 000. 1900-luvun alkuun mennessä väkiluku oli kipunut 2 600 000:een ja vuoteen 2000 mennessä 5 miljoonaan. Maanviljelyn tuottavuuden kasvun takia peltoala pysyi 1900-luvun suurin piirtein 30 000 km²:ssa.

Voidaan arvioida, ettei kaskiviljely vaikuttanut paljoa luonnon rikkauteen ja monimuotoisuuteen harvaanasutuilla alueilla. Luonnon monimuotoisuuden lisäykset korvasivat menetykset luonnon rikkaudessa. Kaski- ja peltoviljelyn vaikutukset luonnon rikkauteen ja monimuotoisuuteen rajoittuvat sinne, missä viljely dominoi ja valtaa piiriinsä valtaosan tietyistä varsin rikkaista ja monimuotoisista luontotyypeistä. Karjataloudella on sekä positiivisia että negatiivisia ympäristövaikutuksia. Tällä perusteella saadaan maatalouden ympäristövaikutukseksi (ilman lannoituksen vaikutusta) satavuotisjaksoissa 1600-luvulta alkaen:

$$V = - 5\,000 \text{ km}^2 \times 0.2 \times 3.0 \times 200 \text{ v} - 10\,000 \text{ km}^2 \times 0.2 \times 3.0 \times 100 \text{ v} -$$

$$15\,000 \text{ km}^2 \times 0.2 \times 3.0 \times 100 \text{ v} = - 2\,100\,000 \text{ km}^2 \text{ ekv} \times \text{v}$$

Tsernobylin ydinonnettomuus

Vuonna 1986 tapahtuneessa Tsernobylin ydinturmassa pääsi räjähdysten ja tulipalon seurauksena ympäristöön kymmenen päivän aikana runsaasti radioaktiivisia aineita. Yli 100 000 ihmistä evakuoitiin onnettomuuspaikan lähialueilta. 31 voimalaitoksen työntekijää ja pelastustyöntekijää menehtyi akuutteihin säteilyvaikutuksiin. Valtaosa radioaktiivisesta päästöstä muodostui nopeasti hajoavista komponenteista. Onnettomuus näkyy kuitenkin edelleen paikallisesti maaperän pintakerroksen kohonneina cesiumpitoisuuksina muun muassa Suomessa. 137 Cs:n puoliintumisaika on noin 30 vuotta /35/.

Yleisesti ottaen Tsernobylin ydinonnettomuus aiheuttaa vain marginaalisen lisän ympäristön luontaiseen säteilyyn. Sen vaikutukset ihmisten kuolleisuuteen ovat raskaankin laskeuman alueella ainakin kertaluokkaa pienempiä kuin tupakoinnin, fossiilisten polttoaineiden käytön tai vaikkapa röntgenkuvien oton vaikutukset. Asioiden suhteita on esitetty kansantajuisesti lähteissä /40/ ja /65/. Maanviljelylle ja kalastukselle on kuitenkin asetettu rajoituksia monilla alueilla, koska ruokatuotteet saavat luonnosta normaalia enemmän radioaktiivista materiaalia ja niiden radioaktiivisuus ylittää sallitut rajat /35/.

Ympäristövaikutuksia arvioitaessa onnettomuuden vaikutusalue jaetaan 30 kilometrin suojavyöhykkeeseen, alueisiin, joilla cesiumlaskeuma oli yli 600 kBq/m² ja alueisiin, joilla cesiumlaskeuma oli 40 – 600 kBq/m². Vertailun vuoksi annetaan normaalin pintamaan tyyppillinen säteilyarvo 300 kBq/m³, jossa esiintyy luonnollisesti myös vaihtelua.

Tsernobylin 30 kilometrin suojavyöhykkeellä ei ole laajoja merkkejä onnettomuuden ympäristövaikutuksista. Päinvastoin alueelle on kertynyt paljon villieläimiä, koska ihmisillä ei ole sinne asiaa. Onnettomuuspaikan lähistöllä on 4 km² laaja metsäalue, joka tuhoutui erittäin voimakkaan säteilyn vaikutuksesta. Alueella on myöskin saastuneen materiaalin kaatopaikkoja. Pitkän aikavälin radioaktiivisen materiaalin kulkeutumiseen liittyvät ympäristöriskit keskittyvät tälle alueelle. Alue on varsin heterogeenista saastuneisuuden suhteen, mutta laskeuma ylitti yleisesti 1500 kBq/m².

Jos ajatellaan puoliintumisaikojen perusteella, että alue pysyy 100 vuotta suljettuna ihmisiltä (valitaan korostaen ihmisen merkitystä luonnon rikkauteen ja monimuotoisuuteen suhteelliseksi ympäristövaikutukseksi tältä osin p = 20 %) ja että onnettomuudella on tänä aikana myös muita suoria ja epäsuoria vaikutuksia luonnon rikkauteen ja monimuotoisuuteen (p = 2 % keskimäärin), ympäristövaikutukseksi tulee suojavyöhykkeellä arviolta:

$$V = - 3.14 \times 30 \text{ km} \times 30 \text{ km} \times 3 \times 0.22 \times 100 \text{ v} = - 200\,000 \text{ km}^2 \text{ ekv} \times \text{v}$$

Tämän alueen ulkopuolella laskeuma ylitti 600 kBq/m^2 noin 10 000 neliökilometrin alueella olleen korkeimmillaan paikallisesti kertaluokkaa suurempi. Pitoisuuksilla on vaikutusta maatalouteen ja jossain määrin todennäköisesti myös maan pintakerroksen flooran ja faunan rikkauteen ja monimuotoisuuteen noin 100 vuoden ajan. Arvioidaan ympäristövaikutukseksi tältä osin:

$$V = - 10\,000 \text{ km}^2 \times 0.01 \times 3 \times 0.3 \times 100 \text{ v} = - 10\,000 \text{ km}^2 \text{ ekv} \times \text{v}$$

Laskeuma oli $40 - 600 \text{ kBq/m}^2$ runsaan $100\,000 \text{ km}^2$ alueella entisessä Neuvostoliitossa ja myös sateen alas tuomana esimerkiksi osissa Itävaltaa, Sveitsiä, Saksaa ja Skandinaviaa. Jos raskaamman laskeuman aluetta on $25\,000 \text{ km}^2$, vaikutusaika tältä osin on 30 vuotta ja vaikutus luonnon rikkauteen ja monimuotoisuuteen on tältä osin 0.1 %, ympäristövaikutukseksi tulee:

$$V = - 25\,000 \text{ km}^2 \times 0.001 \times 3 \times 0.5 \times 30 \text{ v} = - 1\,000 \text{ km}^2 \text{ ekv} \times \text{v}$$

Kokonaisympäristövaikutukseksi tuli tässä arviolaskelmassa siis runsaat $- 200\,000 \text{ km}^2 \text{ ekv} \times \text{v}$. Tästä ihmisten evakuointi suoja-alueen ekosysteemistä muodostaa valitun painotuksen takia valtaosan.

Suomenlahden rehevöityminen

Suomenlahtea on kuormitettu voimakkaasti ravinteilla noin 50 vuoden ajan. Ravinteet valuvat Suomenlahteen veden mukana rantavaltioiden maataloudesta, yhdyskunnista ja teollisuudesta. Osa kuormituksesta on liikenteestä, energiantuotannosta ja teollisuudesta peräisin olevaa laskeumaa ilmasta. Ravinnekuormitus on nyt kääntynyt laskuun.

Ravinteet toimivat vedessä lannoitteiden tavoin lisäten muun muassa leväkasvustoa. Ravinteita ja niin sanottua sisäistä kuormitusta pidetään osasyynä Itämeren alueella esiintyvään happikatoon, joskin tähän on myös luontaisia syitä. Suomenlahden pohja onkin laajoilta alueilta hapeton ja kuollut. Ravinteet ovat osatekijänä myöskin esimerkiksi haitallisina pidetyissä sinilevän massaesiintymisissä, veden samenemisessa, rantojen ruovikoitumisessa ja sedimentoitumisen lisääntymisessä. Kaikki nämä tekijät vaikuttavat osaltaan Suomenlahden ekosysteemiin.

Käytetään Suomenlahdelle merkityskerrointa 1.5. Rehevöitymisen aiheuttamaksi suhteelliseksi ympäristövaikutukseksi oletetaan $5\,000 \text{ km}^2$:n alueella - 10 %, $10\,000 \text{ km}^2$:n alueella 4 % ja $15\,000 \text{ km}^2$:n alueella 1 %. Palautumisajaksi oletetaan keskimäärin 100 vuotta. Ympäristövaikutusarvioksi saadaan tältä pohjalta:

$$V = - (5\,000 \text{ km}^2 \times 0.10 + 10\,000 \text{ km}^2 \times 0.04 + 15\,000 \text{ km}^2 \times 0.01) \times 1.5 \times 0.5 \times (50 \text{ v} + 100 \text{ v}) = - 120\,000 \text{ km}^2 \text{ ekv} \times \text{v}$$

Persianlahden sota

Irak miehitti ensin Kuwaitin ja liittoutuneet löivät sen joukot takaisin 1990-luvun alussa käydyssä Persianlahden sodassa. Sodan pääasialliset vaikutukset luonnon rikkauteen ja monimuotoisuuteen voidaan jakaa seuraaviin osiin:

- Ilmapommitukset ja ohjusiskut
- Maaoperaatiot
- Öljytuhot

Sotilaslähteiden mukaan Persianlahden sodassa laukaistiin kaikkiaan noin 220 000 pommia ja ohjusta, joista noin 200 000 oli ohjautumattomia pommeja pääasiassa aavikolle ryhmittyneitä joukkoja vastaan ja 20 000 ohjautuvia aseita pistemäisiin sotilaskohteisiin tai infrastruktuurin avainkohtiin kohdennettuna. Kokonaistuhovoimaksi on mainittu noin 100 000 tonnia.

Kun noin 500 kilon pommi putoaa tasaiselle hennon pintakasvillisuuden dominoivalle hiekka-alueelle, painevaikutus tempaa kasvillisuuden juuriltaan ja elollinen luonto vaurioituu laajalla alueella. Pelkistetään pommin tuho vaikutus luonnon rikkauteen ja monimuotoisuuteen 50 %:ksi hehtaarin alueella. Ajatellaan edelleen, että iskut aiheuttavat myös kertoimella 1.5 huomioon otettavia heijastusvaikutuksia, kuten häiriövaikutuksia ja haitallisten aineiden pääsyä ympäristöön. Jos autiomaan merkityskerroin on 0.5, muuten käytetään merkityskerrointa 3.0 ja luonnon rikkauden ja monimuotoisuuden asteettaiseksi palautumisajaksi oletetaan keskimäärin 10 vuotta, ympäristövaikutusarvioksi tulee pommitusten ja ohjusiskujen osalta:

$$V = - 1.5 \times (200\,000 \times 0.01 \text{ km}^2 \times 0.5 \times 0.5 + 20\,000 \times 0.01 \text{ km}^2 \times 0.5 \times 3.0) \times 0.5 \times 10 \text{ v}$$
$$= - 6\,000 \text{ km}^2 \text{ ekv. x v}$$

Autiomaahan on jäänyt osittain hiekkaan peittyneitä räjähtämättömiä rypälepommeja, jotka ovat suureksi vaaraksi alueilla liikkuville beduiineille. Muut pyrkivät välttämään näitä alueita. Jos ajatellaan rypälepommeja kylvetyn 2 000 km²:n alueelle, ympäristövaikutukseksi räjähtämättömien pommien osalta 2 % ja keskimääräiseksi vaikutusajaksi tältä osin 50 vuotta (vaikutus muuttumaton), ympäristövaikutusarvioksi saadaan tältä osin:

$$V = - 2\,000 \text{ km}^2 \times 0.02 \times 0.5 \times 50 = - 1\,000 \text{ km}^2 \text{ ekv. x v}$$

Maaoperaatioissa on tehty miinoituksia ja ammuttu tykistökeskityksiä. Kymmeniä divisioonia on liikuteltu ja raskaat tankit ja ajoneuvot ovat kuluttaneet alueen kasvillisuutta. Operaatioiden seurauksena on syntynyt jätettä ja romua, joita ei ole kaikilta osin siivottu.

Irakin arvioidaan käyttäneen noin 500 000 miinaa lähinnä Kuwait Cityn ympäristöön ja Saudi-Arabian rajalle rakennettuihin sulutteisiin. Sulutealueet ja niiden lähiympäristö ovat ihmisiltä suljettuja eikä niillä voi käyskennellä myöskään muita isoja nisäkkäitä niin kauan kuin ne ovat aktiivisia. Ainakin Kuwaitissa miinat ja muut räjähteet on raivattu asuutilta alueilta. Jos oletetaan jäljellä olevan autiomaassa noin 10 km² aktiivista miinakenttää, aktiivisen miinakentän suhteelliseksi ympäristövaikutukseksi 25 % sekä miinakenttien aktiiviseksi ajaksi keskimäärin 40 vuotta (vaikutus aktiivian muuttumaton, miinakenttiä raivattaneen pikku hiljaa), ympäristövaikutusarvioksi tulee miinoitusten osalta:

$$V = - 10 \text{ km}^2 \times 0.25 \times 0.5 \times 40 \text{ v} = - 50 \text{ km}^2 \text{ ekv. x v}$$

Tykistökeskityksistä, raskaiden ajoneuvojen liikkeistä tai sotaromusta on hankalaa saada tietoa. Pommitusten rooli oli Persianlahden sodassa dominoiva tykistöön verrattuna. Raskaiden ajoneuvojen liikkeiden luontoon jättämiä arpia on edelleen näkyvissä ilmasta käsin, mutta ne ovat jo kasvillisuuden peittämiä. Kuwaitissa sotaromut kerättiin tieltä aidatulle kaatopaikka-alueelle, jossa ne peitettiin hiekkaan. Kaikkiaan maaoperaatioiden ympäristövaikutukset lienevät kertaluokkaa pienemmät kuin pommitusten ja ohjusiskujen vaikutukset.

Irakilaisten aiheuttamat tahalliset öljytuhot olivat yksi Persianlahden sodan ulottuvuus /27/. Öljyä päästettiin mereen ainakin kahdesta terminaalista ja useista tankkereista. Näiden päästöjen suuruusluokaksi on arvioitu vajaat 1 000 000 m³. Suuri osa tästä öljystä haihtui, osa saatiin kerättyä talteen, mutta osa (ehkä noin 100 000 – 200 000 m³) ajautui rannoille tai painui pohjaan vahingoittaen erityisesti rantavyöhykkeen herkkää ekosysteemiä noin 700 kilometrin matkalla Persianlahden pohjukasta Abu Ali saarelle asti.

Noin 650 öljylähdettä sytytettiin tuleen. Näissä roihuissa paloi parhaimmillaan noin 500 000 m³ öljyä päivässä. Valtavat savu- ja nokipilvet peittivät taivaan. Myrkyllinen savu ja öljyiset, nokiset ja happamat sateet lisäsivät ympäristötuhoja. On arvioitu, että öljyisten sateiden vaikutuksesta Persian lahteen päässeen öljyn määrä lähes kaksinkertaistui. Noin 82 öljylähteen venttiilit avattiin. Niiden ympärille syntyi suuria öljylammikoita.

Öljytuhojen ympäristövaikutusten arviointia hankaloittaa se, että öljy on aina ollut osa Persianlahden ekosysteemiä ja sen rooli on kasvanut alueen öljyntuotannon myötä. Persianlahden pohjukassa on ennen sotaa tapahtunut useita 100 000 m³:n suuruusluokkaa olevia öljypäästöjä. Kaasua poltetaan öljyntuotannon yhteydessä laajalti. Persianlahden on arvioitu pääsevän öljyä teollisuudesta ja suotautuvan luontaisista lähteistä luontaisista lähteistä ehkä kymmeniä tai satoja tuhansia kuutiometrejä vuodessa.

Sodan aikana toteutettujen tahallisten öljytuhojen määrä on kuitenkin suuruusluokassaan ainutlaatuinen. Öljyvahinkoja ole ryhdytty korjaamaan aivan samanlaisella innolla kuin Euroopassa tai Pohjois-Amerikassa, koska öljyn esiintymiseen ympäristössä on totuttu. Silti vuosikymmenen kuluttua sodasta näkyvät merkit sodan öljytuhoista ovat Persianlahden pohjukan alueella vähäisiä.

Veden luontainen kierto Persian lahdella ja pohjoisen puoleiset tuulet keskittivät öljypäästöjen vaikutukset Saudi-Arabian puoleisille matalille rannoille /3/. Arvioidaan raskaiden öljyvaikutusten alueeksi merellä 2 000 km² ja 0.5 km leveällä rantavyöhykkeellä 200 km sekä kevyempien vaikutusten alueeksi merellä 10 000 km² ja 0.2 km leveällä rantavyöhykkeellä 500 km (tahrii ja tappaa muun muassa vesilintuja, vaikuttaa leviin ja planktoniin jne.). Heijastusvaikutukset kuten muuttolintuihin kohdistuneet vaikutukset otetaan huomioon kertoimella 1.5 ja ekosysteemin kannalta tärkeälle rantavyöhykkeelle käytetään merkityskerrointa 6.0. Öljypäästöjen lyhytaikaiseksi ympäristövaikutusarvioksi tulee:

$$\begin{aligned} V &= - 1.5 \times (2\,000 \text{ km}^2 \times 0.2 \times 1.5 \times 0.5 \times 1 \text{ v} + 200 \text{ km} \times 0.5 \text{ km} \times 6.0 \times 0.4 \times 0.5 \times 1 \text{ v} + \\ &10\,000 \text{ km}^2 \times 0.02 \times 1.5 \times 0.5 \times 1 \text{ v} + 500 \text{ km} \times 0.2 \text{ km} \times 6.0 \times 0.1 \times 0.5 \times 1 \text{ v}) \\ &= - 900 \text{ km}^2 \text{ ekv} \times \text{v} \end{aligned}$$

Öljyn pitkäaikaisvaikutukset keskittyvät raskaimman vaikutuksen alueille. Niiden erilaisia ilmenemismuotoja on käsitelty muun muassa lähteessä /43/. Arvioksi tulee tältä osin:

$$V = - 1.5 \times (2\,000 \text{ km}^2 \times 0.05 \times 1.5 \times 0.5 \times 10 \text{ v} + 100 \text{ km}^2 \times 6.0 \times 0.2 \times 0.5 \times 10 \text{ v} + 10\,000 \text{ km}^2 \times 0.005 \times 1.5 \times 0.5 \times 4 \text{ v} + 100 \text{ km}^2 \times 6.0 \times 0.02 \times 0.5 \times 4 \text{ v}) = - 2\,300 \text{ km}^2 \text{ ekv. x v}$$

Savun, myrkyllisten kaasujen, tuhkalaskeuman, öljy- ja happosateiden vaikutukset luonnon rikkauteen ja monimuotoisuuteen olivat laajoilla alueilla valtaosin lyhytaikaisia. Jos vaikutusalueen keskimääräinen merkityskerroin on 1.0, vaikutusarvioksi tulee:

$$V = - (20\,000 \text{ km}^2 \times 0.1 \times 1.0 \times 0.5 \times 1 \text{ v} + 2\,000 \text{ km}^2 \times 0.1 \times 1.0 \times 0.5 \times 10 \text{ v}) = - 2\,000 \text{ km}^2 \text{ ekv x v}$$

Kaikkiaan Persianlahden sodan ympäristövaikutusarvioksi saadaan siis noin 15 000 km² ekv. x v ilman hiilidioksidipäästöjen ilmastovaikutusta. Pommitukset ja öljytuhot dominoivat tässä arviossa.

Helsingin kaupungin historiallinen ympäristövaikutus (jalanjälki- ja häiriövaikutukset)

Helsinki perustettiin 1 500 luvun puolivälissä. Helsingin kaupungin maapinta-ala on nykyään 187 km² ja vesialue 500 km². Vuonna 1850 Helsingissä oli asukkaita runsaat 20 000, 1900 100 000, 1950 350 000 ja vuonna 2000 500 000. Etenkin vuonna 1946 Helsinkiin liitetyillä ja siis tämän tarkastelun piiriin kuuluneilla alueilla asui myös merkittävä määrä ihmisiä, liitoksen tapahtumisaikaan noin 50 000.

Karttatarkastelun perusteella alue jakautuu nykyään aluetyyppeihin ja ympäristövaikutuksiin seuraavasti:

Kaupunki- ja teollisuusalueet	20 km ²	- 40 %
Esikaupunkialueet	50 km ²	- 20 %
Pellot yms.	20 km ²	- 20 %
Omakotiasutusalueet	50 km ²	- 5 %
Viheralueet ja puistot	40 km ²	- 1 %
Aktiivisessa käytössä olevat vesialueet	60 km ²	- 5 %
Muut vesialueet	440 km ²	- 1 %

Oletetaan, että 1900-luvulla kaupungin ympäristövaikutus on kehittynyt suurin piirtein suhteessa väkilukuun. Ympäristövaikutukseksi tulee tältä osin

$$V = (- 3 \times 0.7 \times (20 \text{ km}^2 \times 0.4 + 50 \text{ km}^2 \times 0.2 + 20 \text{ km}^2 \times 0.2 + 50 \text{ km}^2 \times 0.05 + 40 \text{ km}^2 \times 0.01) - 1.5 \times 0.7 \times (60 \text{ km}^2 \times 0.05 + 440 \text{ km}^2 \times 0.01)) \times 100 \text{ v} = - 6\,000 \text{ km}^2 \text{ ekv x v}$$

1800-luvulla Helsinki on ollut pikkukaupunki, jonka nykyisellä alueella on harjoitettu maataloutta, metsätaloutta sekä myös metsästystä ja kalastusta. Ympäristövaikutukseksi arvioidaan tältä osin:

$$V = (-3 \times (2 \text{ km}^2 \times 0.2 + 20 \text{ km}^2 \times 0.2 + 30 \text{ km}^2 \times 0.05 + 200 \text{ km}^2 \times 0.01) -$$

$$1.5 \times (60 \text{ km}^2 \times 0.01)) \times 100 \text{ v} = -880 \text{ km}^2 \text{ ekv} \times \text{v}$$

Tätä edeltäneen kahden vuosisadan aikana inhimillisen toiminnan ympäristövaikutus on ollut pienen väestöpohjan takia ehkä viidesosa 1800-luvun tasosta. Näin päästään ympäristövaikutusarvioon $V = -7\,000 \text{ km}^2 \text{ ekv} \times \text{v}$.

Exxon Valdez

Tankkeri Exxon Valdez ajoi karille Prince William Soundin pohjoisosassa vuonna 1989. Mereen joutui $42\,000 \text{ m}^3$ raakaöljyä saastuttaen ainakin jossain määrin noin 2000 km rantavyöhykettä. Vaikutukset olivat vakavimmat Prince William Soundissa, mutta öljy levisi jopa 750 km lounaaseen pitkin Kenain niemimaan, Kodiak saariston ja Alaskan niemimaan rannikkoa. Ajan myötä valtaosa öljystä haihtui, liukeni veteen, tai hajosi luonnollisesti, 14 % saatiin kerättyä talteen ja 13 % arvioitiin uponneen meren pohjaan. Vuonna 1992 tehdyissä tutkimuksissa arvioitiin, että 2 % öljystä oli edelleen rantavyöhykkeessä. Vielä vuonna 2001 useita kilometrejä rantavyöhykettä Prince William Soundissa arvioitiin olevan öljyn saastuttamaa /15/.

Onnettomuuden kohdealue on luontoarvoiltaan erittäin rikas ja monimuotoinen rannikkoalue. Öljy vahingoitti erityisesti Prince William Soundin alueen lintu-, nisäkä- ja kalakantoja sekä rantavyöhykkeen kasvillisuutta. Luonnon rikkaus ja monimuotoisuus ei ole vieläkään palautunut kaikilta osin päästöä edeltäneelle tasolle, ja joiltakin osin (satamahylje, Tyynenmeren silli, virta-alli, kuikka, jääkyyhky ja 3 merimetsolajia) selvää toipumista ei ollut tapahtunut /15/. Öljypäästön pitkäaikaisia ja epäsuoria vaikutuksia ekosysteemiin on käsitelty lähteessä /43/.

Öljypäästön ympäristövaikutusten arvioimiseksi se pelkistetään vaikutukseksi raskaasti tai kohtalaisesti saastuneilla rantavyöhykkeillä (300 km), vaikutukseksi kevyesti öljyntyneillä rantavyöhykkeillä (1700 km, rannassa havaittu ohut vedestä heijastuva öljykalvo tai satunnaisia pallomaisia öljykokkareita), öljyn pitkäaikaisvaikutukseksi Prince William Soundin raskaimmin saastuneiden alueiden ympäristössä ($2\,000 \text{ km}^2$) ja öljylauttojen lyhytaikaisvaikutuksiksi Prince William Soundissa ja sitä lähellä olevilla merialueilla. Lintujen tahrinutuminen tai myrkyttyminen näkyy tässä arviossa vaikutuksena luonnon rikkauteen niiden pesäalueilla, jotka sijaitsevat tyypillisesti rantavyöhykkeessä. Rantavyöhyke on eräänlainen avainalue alueellisissa ekosysteemeissä ja siksi sille käytetään merkityskerrointa 6. Erilaiset heijastusvaikutukset (lintujen muutto, kalojen vaellukset, planktonin ajalehtiminen jne.) otetaan huomioon kertoimella 1.5. Exxon Valdez öljypäästön ympäristövaikutusarvioksi tulee

$$V = -1.5 \times (40 \text{ km} \times 0.4 \text{ km} \times 0.4 \times 6 \times 0.5 \times 10 \text{ v} + 260 \text{ km} \times 0.4 \text{ km} \times 0.1 \times 6 \times 0.5 \times 2 \text{ v} +$$

$$1700 \text{ km} \times 0.2 \text{ km} \times 0.02 \times 6 \times 0.5 \times 1 \text{ v} + 2\,000 \text{ km}^2 \times 0.1 \times 0.5 \times 10 \text{ v} +$$

$$20\,000 \text{ km}^2 \times 0.01 \times 0.5 \times 1 \text{ v}) = -2\,000 \text{ km}^2 \text{ ekv} \times \text{v}$$

Mankkaan kaatopaikka

Mankkaan turvesuolla on toiminut 50-luvulta 80-luvun puoliväliin yhdyskuntajätteiden ja ylijäämämaiden kaatopaikka. Se palveli aluksi espoolaisten tarpeita, mutta oli loppuvaiheissa lyhyen ajan koko pääkaupunkiseudun käytössä. Kaatopaikka-alueen kokonaispinta-ala on noin 70 ha. Käytön jälkeen alue on maisemoitunut ja on nykyisellään niittyineen ja pensaikkoineen sekä ympäröivine metsävyöhykkeineen erittäin rikasta ja monimuotoista luontoa. Alue on laajalti virkistyskäytössä ja pieneltä osin varastoalueena.

Ajatellaan, että Mankkaan kaatopaikka on muodostunut neljästä 10 hehtaarin alueesta ja yhdestä 30 hehtaarin alueesta, joilla kullakin on ollut 10 vuoden aktiiviaika (rakentaminen, täyttö, peitto) sekä 15 vuoden maisemoitumisaika. Jos aktiivisen kaatopaikka-alueen vaikutus luonnon rikkauteen ja monimuotoisuuteen on 50 % ja heijastusvaikutukset ympäristöön (häiriövaikutus, haitta-aineiden kulkeutuminen, vahvistuneiden harmaalokki- ja varislintukantojen vaikutukset, ylimääräinen maamateriaalin otto jne.) otetaan huomioon kertoimella 2, Mankkaan kaatopaikan ympäristövaikutukseksi tulee arviolta

$$V = - 2 \times (0.7 \text{ km}^2 \times 0.5 \times 3 \times (10 \text{ v} + 0.5 \times 15 \text{ v})) = - 40 \text{ km}^2 \text{ ekv. x v}$$

Alueelta kerätään metaania putkistolla polttoon, mutta jonkin verran kaasua pääsee ilmaan. Tämän päästön ympäristövaikutusta ei ole arviossa mukana.

100 ha:n metsätila (100 v)

Metsätilalla on tyypillisesti monen ikäistä metsää hakkuuaukeasta täysmittaiseen hakkuukypsään metsään. Nykyään osa pinta-alasta, esimerkiksi rantavyöhykkeet säilytetään luonnontilaisina. Osa maa-alasta ei muista syistä kuulu metsänhoitotoimenpiteiden piiriin. Metsänhoito vaikuttaa luonnon rikkauteen ja monimuotoisuuteen vain siltä osin, kuin alue on dominoivassa määrin metsätalouden käytössä. Jos metsätalouden vaikutus luonnon rikkauteen ja monimuotoisuuteen on 5 % 0.4 km²:n alalla, ympäristövaikutusarvioksi tulee:

$$V = - 0.4 \text{ km}^2 \times 0.05 \times 3 \times 100 \text{ v} = - 6 \text{ km}^2 \text{ ekv. x v}$$

Kaukaan jätevesipäästö

Edellä kuvattu kesäkuussa 2003 Kaukaan tehtaalta jätevedenpuhdistamon toimintahäiriön yhteydessä tapahtuneessa päästössä vesistöön joutui happea kuluttavaa kuormitusta, fosforia ja kiintoainesta yli sallitun kuormitustason. Vesistöön pääsi muun muassa suopaa ja neutraloitua mustalipeää. Kalakuolemia havaittiin noin 3 km²:n alueella. Vesi häisi, oli tumman väristä ja vaahtosi paljon laajemmalla alueella. Voimakkaiden vesistövaikutusten alue oli julkisuudessa esitettyjen Saimaan vesiensuojeluyhdistyksen karttojen perusteella suuruusluokkaa 10 km². Havaittavien vaikutusten kesto vaihteli tyypillisesti muutamasta viikosta muutamaa kuukauteen.

Päästön vaikutukset luonnon rikkauteen ja monimuotoisuuteen esiintyivät voimakkaimmillaan luonnollisesti tehtaan edustalla, joskin ekosysteemi on sopeutunut rajalliseen päästötasoon. Noin kuukauden kuluttua päästön jälkeen vedet tehtaan edustalla olivat kirkastuneet ja

koekalastuksissa kalaston rakenne näytti säilyneen. Etäämpänä päästö on ollut savun kaltainen häiriötekijä luonnossa. Vaikutukset luonnon rikkauteen ja monimuotoisuuteen ovat jääneet rajallisiksi. Vaikutusalueen merkityskertoimella 1.5 ympäristövaikutusarvioksi tulee:

$$V = - 1.5 \times (1 \text{ km}^2 \times 0.2 \times 0.5 \times 2 \text{ v} + 2 \text{ km}^2 \times 0.10 \times 0.5 \times 1 \text{ v} + 10 \text{ km}^2 \times 0.02 \times 0.5 \times 1 \text{ v}) = - 0.6 \text{ km}^2 \text{ ekv. x v}$$

100 000 m³:n ruoppaus ja läjitysprojekti

Otetaan tarkastelun kohteeksi Suomen oloissa suurehko ruoppaus- ja läjitysprojekti, jossa ruopattava määrä on 100 000 m³ pääosin hienojakoista sedimenttiä. Massan keskimääräiset haitta-ainepitoisuudet ovat tyypillisesti pienempiä tai samaa suuruusluokkaa, kuin ruoppaus- ja läjitysalueiden pintasedimenttien ja vesimassassa kelluvan kiintoaineksen haitta-ainepitoisuudet.

Projektin jalanjälkiefektiksi oletetaan ruoppausalueella 6 ha ja läjitysalueella leviäminen huomioon ottaen 10 ha. Suhteelliseksi ympäristövaikutukseksi ruopattavalla ja läjitysalueella oletetaan aluksi 25 % (vesimassa, pohja ja ilma). Merkityskertoimeksi oletetaan vesialueelle tyypillinen 1.5. Pohjan ekologisen tilan oletetaan palautuvan lineaarisesti 2 vuodessa (palautuminen on aluksi nopeaa, mutta täysi palautuminen voi kestää kauemmin). Ympäristövaikutukseksi tulee jalanjälkiefektin osalta:

$$V = - (0.06 + 0.10) \text{ km}^2 \times 0.25 \times 1.5 \times 0.5 \times 2 \text{ v} = - 0.06 \text{ km}^2 \text{ ekv x v}$$

Ruoppaus- ja läjitysoperaatioon liittyvän samenenaman ja häiriöefektin ympäristövaikutusalueeksi oletetaan ruoppausalueella 15 ha ja läjitysalueella 30 ha. Suhteelliseksi ympäristövaikutukseksi oletetaan 30 % (mm. kalojen karkottuminen, mikä tosin ilmenee lisääntyvänä määränä muualla). Merkityskertoimeksi otetaan 1.5 ja vaikutusajaksi operaation kesto 3 kuukautta.

Ympäristövaikutukseksi tulee samenenaman ja häiriöefektin osalta:

$$V = - (0.15 + 0.30) \text{ km}^2 \times 0.3 \times 1.5 \times 0.25 \text{ v} = - 0.05 \text{ km}^2 \text{ ekv x v}$$

Operaation kokonaisympäristövaikutusarvioksi tulee siten – 0.11 km² ekv x v. Haitta-aineiden osuus on tässä ympäristövaikutusarviossa vähäinen, ne saattavat jossain määrin tehostaa karkotusvaikutusta.

Omakotitalo pihapiireineen

Oletetaan, että omakotitalon tontti on 0.2 ha. Itse rakennuksen jalanjälki on 0.01 ha ja sen elinkaari 100 vuotta. Maisemoitumiseen ajatellaan kuluvan 20 vuotta. Ympäristövaikutusarvioksi tulee:

$$V = - (0.002 \text{ km}^2 \times 0.05 + 0.0001 \text{ km}^2 \times 0.5) \times 3 \times (100 \text{ v} + 0.5 \times 20 \text{ v}) = - 0.05 \text{ km}^2 \text{ ekv. x v}$$

Suomalaisen perheen kaatopaikkajätteet (100 v)

Pääkaupunkiseudun asukas tuottaa sekajätettä runsaat 300 kg vuodessa. Kaupunkilaisperheen (esimerkiksi vanhus, kaksi aikuista ja kaksi lasta) jätetuotanto on siten noin 1.5 tonnia vuodessa. Kaatopaikalla jäte tiivistetään ja kapseloidaan jätevuoreen, jonka korkeus voi olla jopa 40 metriä. Vuoressa talousjätteen tiheys on noin 700 kg/m³ ja määrä jopa 80 % tilavuudesta lopun ollessa lähinnä maa-ainesta.

Nykyaikaisilla kaatopaikan rakennus-, täyttö- ja kaasunkeräysmenetelmillä saadaan valtaosa jätteen anaerobisessa maatumisessa syntyvästä metaanista kerättyä talteen ja hyödynnettyä energiana. Muutkin päästöt ympäristöön ovat vähäisiä luonnon rikkauden ja monimuotoisuuden kannalta. Tunnistetut ympäristövaikutukset ovat lähinnä jalanjälkivaikutuksia, vahvistuneiden lokki- ja variskantojen heijastusvaikutuksia alueellisessa ekosysteemissä sekä toiminnan häiriövaikutusta ympäristössä.

Sadassa vuodessa suomalainen kaupunkilaisperhe tuottaa 150 tonnia sekajätettä. Tätä varten tarvitaan noin 15 m² jätevuoripinta-alaa. Oletetaan, että kaatopaikkatoiminnan vaatima pinta-ala on kaksinkertainen jätevuoripinta-alaan verrattuna, häiriö- ja heijastusvaikutukset otetaan huomioon kertoimella 2, kaatopaikka-alan aktiiviaika on 20 vuotta ja sen maisemoituminen niityksi kestää 10 vuotta. Ympäristövaikutusarvioksi saadaan:

$$V = - 3 \times 0.00006 \text{ km}^2 \times 0.5 \times (20 \text{ v} + 0.5 \times 10 \text{ v}) = - 0.002 \text{ km}^2 \text{ ekv. x v}$$