



EUROPEAN UNION
EUROPEAN REGIONAL DEVELOPMENT FUND
INVESTING IN YOUR FUTURE



CENTRAL BALTIC
INTERREG IV A
PROGRAMME
2007-2013



FOODWEB



TARTU ÜLIKOOL

LOODUSMUSEUM

Ketsupin elinkaari



Laatinut Siret Talve, DSc (Tech)

Tartto 2012

Sisällysluettelo

Sisällysluettelo.....	2
Johdanto.....	3
Mitä elinkaaren arviointi tarkoittaa?	3
Ketsupin elinkaaren vaiheet.....	7
Ensimmäinen vaihe: tomaattien viljely.....	7
Tomaattien viljely avomaalla	8
Tomaattien viljely kasvihuoneessa.....	9
Toinen vaihe: tomaattien kuljetus tehtaalle.....	10
Isompi ajoneuvo.....	10
Pienempi ajoneuvo.....	10
Kolmas vaihe: tomaattisoseen valmistus ja pakkaaminen	10
Neljäs vaihe: tomaattisoseen kuljetus tehtaalle	11
Konttialus.....	11
Kuorma-auto.....	11
Lentokone	11
Viides vaihe: ketsupin valmistus.....	11
Kuudes vaihe: ketsupin pakkaaminen ja pakkausjätteiden käsittely	12
Seitsemäs vaihe: ketsupin kuljetus tukkuvarastoon.....	12
Kahdeksas vaihe: ketsupin kuljetus tukkuvarastosta kauppaan	12
Yhdeksäs vaihe: ketsupin myynti kaupassa	13
Kymmenes vaihe: ketsupin kuljetus kaupasta kuluttajan kotiin.....	13
Yhdestoista vaihe: ketsuppi kuluttajan jääkaapissa.....	13
Ketsupin elinkaariset ympäristövaikutukset	14
Eri tutkimusten loppupäätelmiä	15
Lähteet.....	17

Ketsupin elinkaari

Laatinut: Siret Talve, DSc (Tech)

Toimittajat: Eva-Liisa Orula, Liina Laumets

Käännös: Scriba OÜ

Taitto: Eva-Liisa Orula

Kuvat: Juha Grönroos, Siret Talve, autojen kuvat Lipasto-tietokannasta

Etukannen kuva: Mihkel Must (Blank Media)

©Tarton yliopiston luonnontieteellinen museo, 2012

Materiaali on laadittu „FOODWEB – Itämeren ympäristö, ruoka ja terveys: tavoista tietoisuuteen“-hankkeen puitteissa. Hanke on Euroopan aluekehitysrahaston tukema hanke ja se toteutetaan Keski-Itämeren INTERREG IV A 2007–2013 ohjelman puitteissa. Hankkeen kotisivu: <http://foodweb.ut.ee/>.

Aineisto kuvaa tekijöiden mielipiteitä ja ohjelman järjestäjä ei vastaa hankekumppaneiden laatiman aineiston sisällöstä.

ISBN 978-9985-4-0731-8 (pdf)

Johdanto

Virolaisten, suomalaisten ja latvialaisten asiantuntijoiden yhteistyönä toteutetun ja EU:n sekä Interreg-ohjelman yhteisrahoitteisen ”FOODWEB – Itämeren ympäristö, ruoka ja terveys: tavoista tietoisuuteen”-hankkeen tavoitteena on pyrkiä lisäämään yleistä tietoisuutta ihmisen, ympäristön ja ruoan keskinäisistä suhteista ja laatia aiheeseen liittyvää opetusaineistoa. Lisätietoa hankkeesta löytyy sen kotisivuilta <http://foodweb.ut.ee/>. Ruoan, sen tuotannon ja valmistuksen ympäristövaikutusten selvittämiseksi on laadittu myös interaktiivinen verkkosovellus ”Ketsupin elinkaari”.

Verkkosovellus ”Ketsupin elinkaari” (<http://foodweb.ut.ee/tomato/>) kuvaa elinkaariajattelua ketsuppiesimerkin pohjalta. Sovelluksen eri vaiheissa käyttäjä voi itse valita, miten ketsupin tuotantoketju jatkuu, sekä samalla seurata, millaiset ovat tehtyjen valintojen ympäristövaikutukset.

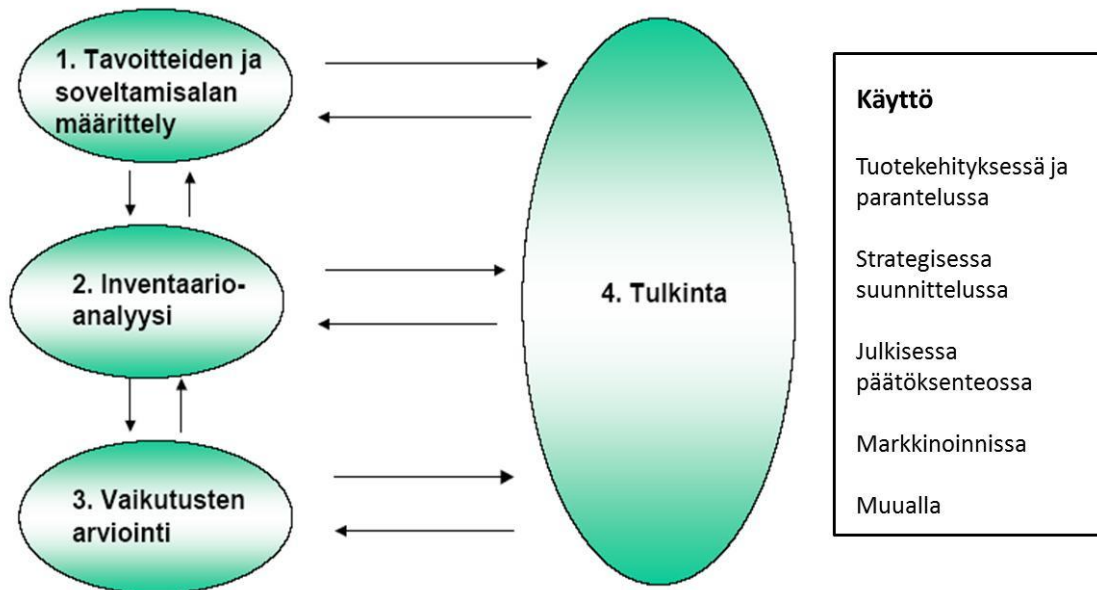
Tämä aineisto on tarkoitettu täydentämään verkkosovellusta ja se sisältää perusteellista taustatietoa kaikista ketsupin elinkaaren vaiheista sekä selvityksiä ympäristövaikutusten mittareista. Verkkosovellusta voidaan, yhdessä taustatietojen kanssa, käyttää kuluttajien tietoisuuden lisäämiseen sekä hyödyntää peruskoulun ja lukion opetusaineistona.

Verkkosovelluksen ”Ketsupin elinkaari” ja siihen kuuluvan lisäaineiston on laatinut Tarton yliopiston luonnontieteellisen museon työryhmä yhteistyössä Suomen Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen (MTT) sekä Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) asiantuntijoiden kanssa. Suomenkielisen version on toimittanut Päivi Munne Suomen ympäristökeskuksesta.

Mitä elinkaaren arviointi tarkoittaa?

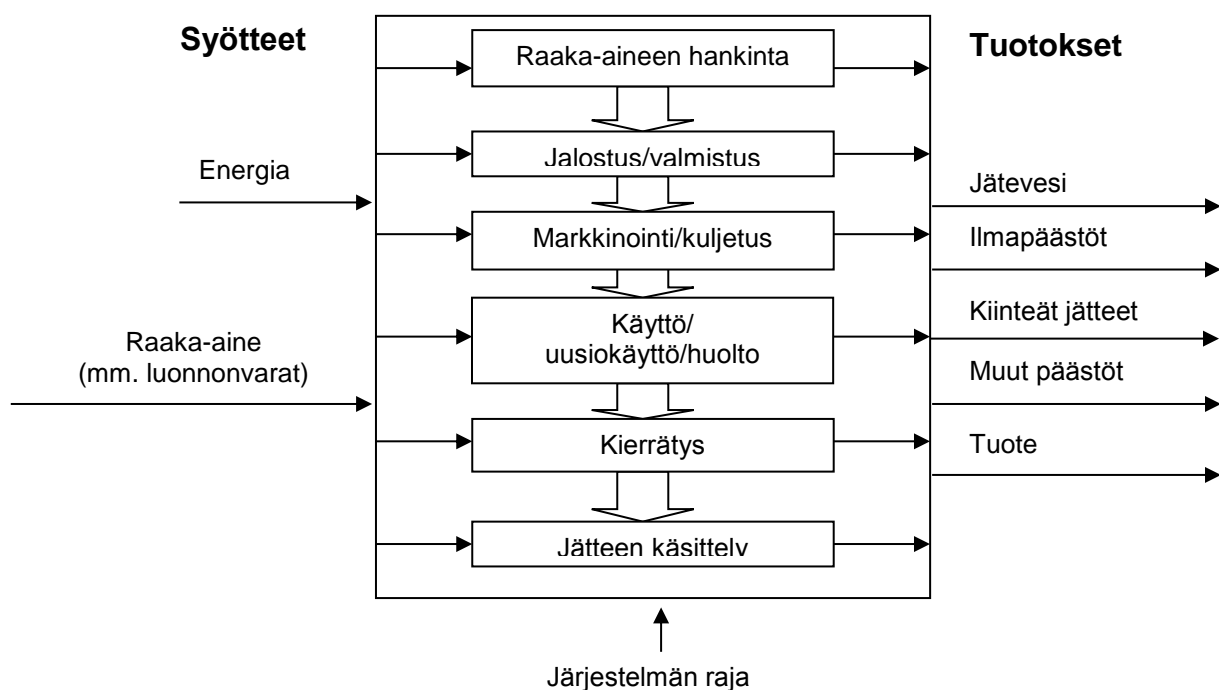
Eräs luotettavin tieteellinen menetelmä tuotteen (sekä palveluiden) ympäristövaikutusten arvioimiseen on **elinkaariarviointi** (englanniksi *Life Cycle Assessment*, LCA, kuva 1). Arvioinnissa pyritään huomioimaan koko tuotantoketjun aikana hyödynnettyjen raaka-aineiden määrä, energian kulutus sekä mahdollisesti muodostuneet päästöt aina raaka-aineen hankinnasta, tuotteen valmistukseen, käyttöön sekä loppusijoitukseen tai kierrättämiseen saakka. Kerätyt tiedot suhteutetaan järjestelmän toiminnalliseen yksikköön¹ ja arvioidaan kyseisen tuotejärjestelmän syöttöjen sekä tuotosten vaikutusta ihmisten terveyteen, ekosysteemiin ja luonnonvaroihin [1]. Kuvassa 2 (s. 4) on kuvattu elinkaaren eri vaiheiden välisiä yhteyksiä sekä tarkasteltavaan järjestelmään liittyvät syöte- ja tuotosvirrat, joiden pohjalta tehdään ympäristövaikutusten arviointi.

¹ Toiminnallinen yksikkö on tuotejärjestelmän määrällinen yksikkö, jota käytetään elinkaariarvioinnin vertailuyksikkönä. Toiminnallinen yksikkö määritetään tutkimuksen tavoitteiden pohjalta. Esimerkkejä toiminnallisista yksiköistä: 1000 MWh sähköä kuluttajan luona, 100 käsiparin kuivaaminen jne.



Kuva 1. Elinkaarianalyysin eri vaiheet.

Ruokatuotteiden elinkaaren tutkiminen on melko haasteellista, sillä tarkastelu kattaa varsin laajan ja monimutkaisen kokonaisuuden aina maataloudesta, jalostusteollisuuteen, varastointiin, logistiikkaan, pakkaamiseen, kuluttamiseen ja jätteen käsittelyn saakka. Arviointi edellyttääkin tietämystä useilta eri aloilta.



Kuva 2. Tuotteen elinkaaren vaiheet.

FOODWEB-hankkeen puitteissa laadittu verkkosovellus käsittelee siis ketsupin elinkaarta, sillä ketsuppi on paljon käytetty ja suosittu tuote. Hankkeen puitteissa ei kuitenkaan

toteutettu varsinaista ketsupin elinkaariarviointia, vaan lähinnä kerättiin eri maiden tutkimustuloksia yhteen. Lisätietoja hankittiin ainoastaan täydentämään mahdollisesti puutteellisia tietoja. Asiantuntijat Yrjö Virtanen Suomen Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksesta (MTT) sekä Juha Grönroos ja Tuomas Mattila Suomen ympäristökeskuksesta (SYKE) auttoivat tiedonhaussa sekä neuvoivat tietojen keruumenetelmien ja tietolähteiden valinnassa.

Ketsupin elinkaari jaettiin eri vaiheisiin (taulukko 1). Mallin eri kohtiin on lisätty erilaisia vaihtoehtoisia toimintatapoja (mm. kuljetustapa: rahtilaiva, kuorma-auto tai lentokone), joiden tarkoituksena on kuvata ympäristövaikutusten ja tuoteketjussa tehtävien päätösten välisiä yhteyksiä. Tavoitteena ei ole ollut kattavan LCA:n toteuttaminen, vaan elinkaariajattelun konkretisointi. Kaikkia LCA:ssa tavallisesti kerättäviä tietoja ei ole selvitetty, vaan valittiin ainoastaan muutama ympäristömittari, jotka on verkkosovelluksessa esitetty pylväsdiagrammeina. Energiankulutuksen ja kasvihuonekaasujen päästöjen lisäksi valittiin mittareiksi myös veden käyttö, sillä Välimeren alueella, josta suurin osa suurtuotannossa käytettävistä tomaateista (*Lycopersicon esculentum*) on peräisin, vesivarat ovat rajoitettuja. Lisäksi on huomioitava, että vaikka energiankulutusta usein käytetään ympäristövaikutusten mittarina, niin se ei kuitenkaan kerro energiankulutuksen aiheuttamista ympäristövaikutuksista. Ne selviävät vasta varsinaisen ympäristövaikutusten arvioinnin perusteella. Ympäristömittareiden tulokset on ilmoitettu toiminnallista yksikköä (TY) eli tässä tapauksessa 1 kilogrammaa kotitaloudessa kulutettua ketsuppia kohti.

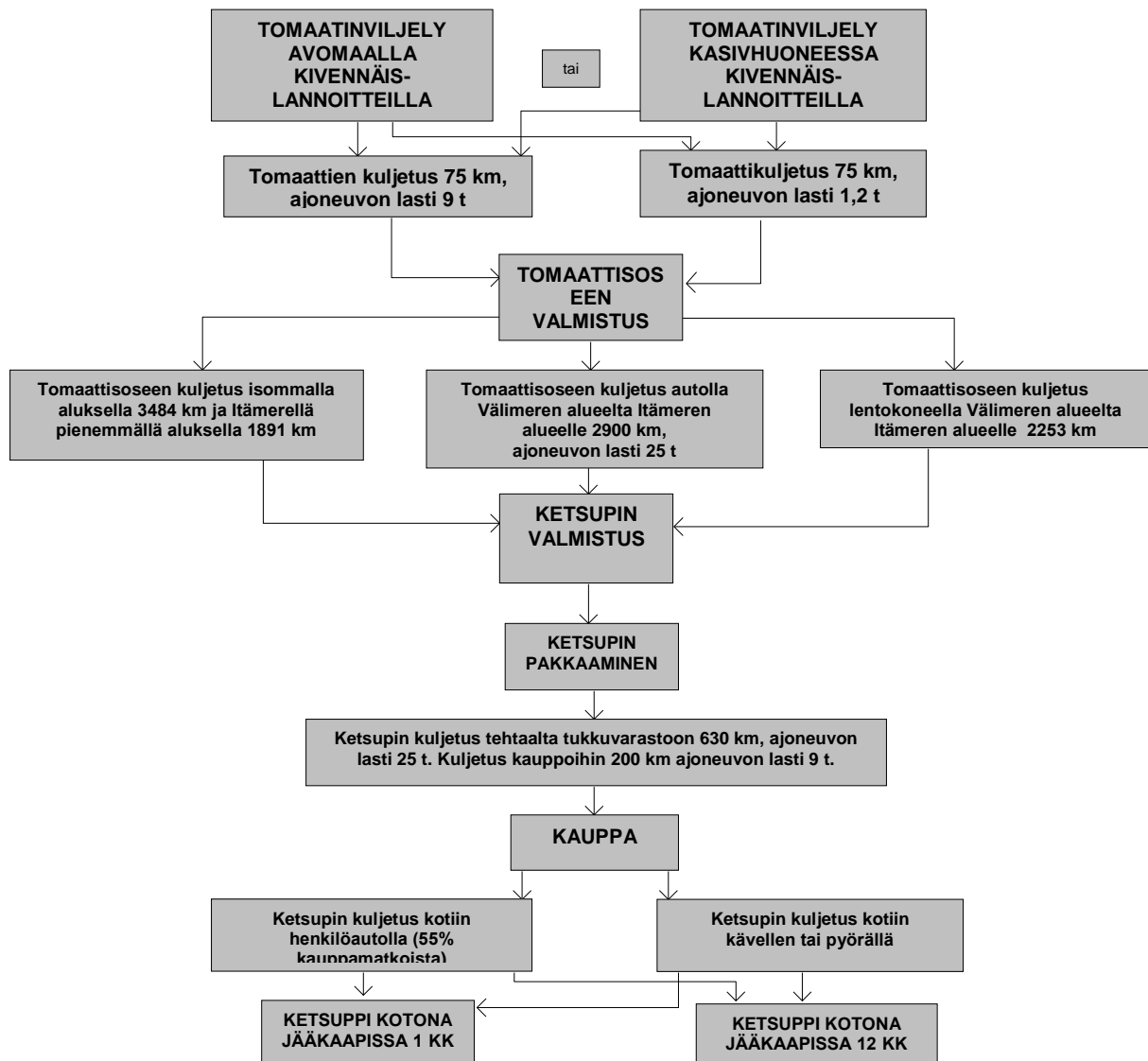
Taulukko 1. Ketsupin elinkaari.

Nro	Elinkaaren vaihe	Lyhyt kuvaus
1	Tomaatin viljely	Tomaatin viljely pellolla tai kasvihuoneissa Välimeren alueella, lannoittaminen mineraalilannoitteilla.
2	Tomaattien kuljetus tehtaalle	Tomaattien kuljetus tehtaalle isommalla tai pienemmällä kuorma-autolla tomaattien viljelyalueelta.
3	Tomaattisoseen valmistus	Tomaattisoseen valmistus.
4	Tomaattisoseen kuljetus tehtaalle	Tomaattisoseen kuljetus Välimeren alueelta Itämeren alueelle laivalla, ajoneuvossa tai lentokoneessa.
5	Ketsupin valmistus	Ketsupin ja siihen sisältyvien ainesosien (sokeri, etikka, mausteet) valmistus.
6	Ketsupin pakkaaminen	Pakkaaminen 1 kg muovipulloihin, ketsuppipakkauksen hävittäminen/kierrättäminen.
7	Ketsupin kuljetus tukkuvarastoon	Ketsuppipullojen kuljetus tavaralavoilla puoliperävaunullisella ajoneuvolla ketsuppitehtaalta tukkuvarastoon.
8	Ketsupin kuljetus kauppaan	Ketsupin kuljetus ajoneuvolla tukkuvarastosta kauppoihin.
9	Ketsupin myynti kaupassa	Ketsuppi on kaupassa avohyllyssä.
10	Ketsupin kuljetus kuluttajan kotiin	Noin puolet kuluttajista käy kaupassa autolla tai kaikki käyvät kaupassa kävellen.
11	Ketsuppi kotona jääkaapissa	Ketsuppia säilytetään kotona jääkaapissa joko 1 kuukausi tai 12 kuukautta.

Tomaattisoseen tomaattipitoisuutta ja ketsupin tomaattisoseen pitoisuutta koskevat tiedot saatiin Viron ketsupinmyynnin markkinajohtajan tuotetiedoista (pakkauksesta ja kotisivulta). Lisäksi pyydettiin valmistajalta tomaattisoseen ja ketsupin valmistus- ja pakkausprosessin vedenkulutusta koskevat tiedot, mutta niistä saatiin vain arvio. Näiden prosessien energiankulutusta ja kasvihuonekaasujen päästöjä koskevat tiedot sekä ostokäyttämisen skenaario ovat peräisin puolestaan ruotsalaisesta tutkimuksesta [4] ja tomaattisoseen valmistusta koskevat tiedot perustuvat turkkilaisten tutkijoiden julkaisuun [3]. Kuljetuspäästöt, kaupan ja kotitalouden ympäristökuormitus laskettiin FOODWEB-hankkeen puitteissa. Osassa elinkaaren vaiheista oli vedenkäyttö välitöntä, osassa taas välillistä (laskettiin, minkä verran vettä kului sähkön tai käytettävän polttoaineen tuotantoon).

Ketsupin elinkaaren vaiheet

Tässä luvussa kuvataan järjestyksessä kaikki em. ketsupin elinkaaren vaiheet, selvitetään tietojen alkuperä ja millaisia prosesseja kussakin ympäristövaikutuksia kuvaavien tietojen määrittelyssä huomioitu. Vaiheet ja vaihtoehdot on esitetty kuvassa 3. Monet esitetyistä vaihtoehdoista ovat taloudellisista tai sosiaalisista syistä epärealistisia. Niitä on tässä tapauksessa käytetty esittämään valmistajien, toimittajien ja toimittajien tekemien valintojen vaikutusta tuotteen ympäristöominaisuuksiin.



Kuva 3. Ketsupin elinkaaren vaiheet ja vaihtoehdot.

Ensimmäinen vaihe: tomaattien viljely

Itämeren alueella ei valmisteta ketsuppia paikallisista tomaateista, vaan raaka-aineen – tomaattiseesen – toimittaja valitaan maailmanmarkkinoilta. Tomaattiseeseen toimittajat vaihtelevat markkinaolosuhteiden mukaan. Kyseinen esimerkki ottaa huomioon vain Välimeren alueella (Italia, Espanja, Portugali ym.) tuotettuun tomaattiseeseen.

Vaihtoehtona voisi olla myös Kiinan, maailman suurimman tomaattien tuottajamaan, hinnaltaan edullisempi tomaattisose, mutta sitä ei tässä kuitenkaan huomioitu. Tietolähteinä käytettiin espanjalaisia tutkimustuloksia [2].

Vaihtoehtoina on esitelty tomaattien viljely avomaalla tai kasvihuoneessa. On tärkeää huomata, että ketsupin valmistuksessa käytetty tomaatti on peräisin yleensä Itämeren ympäristön ilmasto huomattavasti lämpimämmiltä alueilta, joten tomaattien kasvihuoneviljelyn syyt ovat erilaisia kuin pohjoisessa. Sääntönä on, että tomaattien viljelyyn käytetään edullisia ja yksinkertaisia muovikasvihuoneita, joiden sisäilmastoa säädetään hyvin vähän. Vuonna 2009 oli EUn eteläisillä alueilla noin 90 000 ha kasvihuoneita, joista 54 000 ha Espanjassa. Espanjalaisista kasvihuoneista 26%:ssa viljellään tomaatteja.

Tomaattien lannoittamiseen käytettiin sekä avomaalla että kasvihuoneessa mineraalilannoitteita. Lannoituksessa arvioitiin lannoitteiden todellinen tarve, ottaen huomioon ravintoaineiden pitoisuudet kasvualustassa, kasteluveden typpipitoisuus, kasvien ravinteiden otto sekä lannoitteiden koostumus. Käytetyn typpilannoitteen (HNO_3) laskennallinen määrä oli $151 \text{ g NO}_3\text{-/m}^3$, yhdessä kasteluveteen sisältyvän tyypin $192 \text{ g NO}_3\text{-/m}^3$ kanssa. Arvioinnissa on huomioitu lannoitteiden valmistus, kuljetus ja siirtäminen pelloille kasteluveden mukana. Lannoitteita koskevat tiedot ovat peräisin Ecoinvent-tietokonnasta (<http://www.ecoinvent.ch/>). Tiedot kattoivat valmistuksen infrastruktuurin, raaka-aineen kuljetukset, tarvittavien kemikaalien valmistuksen sekä muodostuneiden jätteiden varastoinnin tai niiden käsittelyn. Välimeren alueella käytettävä typpihappo (HNO_3), kaliumnitraatti (KNO_3) ja kaliumsulfaatti (K_2SO_4) on valmistettu Saksassa (kuljetusmatka 1950 km, ajoneuvon lastin paino 16 t), mutta kaliumfosfaatti (K_3PO_4) tuotiin Israelista (3020 km päästä rahtialuksella, ajoneuvon lastin paino oli 3,5–16,0 t). Tiedoissa on huomioitu kuljetus vain yhteen suuntaan, sillä paluumatkalla lastina oli jokin muu tuote.

Seuraavassa esitetyt tomaattien viljelyprosessien kuvaukset avomaalla ja kasvihuoneessa ovat yhteenvetoja edellä viitatuista espanjalaisista tutkimuksista.

Tomaattien viljely avomaalla

Viljelyyn liittyviä tietoja kerättiin keväällä ja kesällä 2007 kahdelta koepelloilta, jotka sijaitsivat Maresmen maakunnassa Kataloniassa, Espanjassa. Alueella viljeltiin eniten avomaan tomaattilajiketta 'ElVirado', istutustiheys 2,3 tainta neliometriä kohti. Koepellon maaperätyyppi on Välimeren alueelle tavanomainen Xerorthent. Koejakso (yksi jakso käsitti tomaattien viljelyprosessi alusta loppuun) toistettiin neljä kertaa.

Suurin osa käytetystä vedestä meni kasteluun, lisäksi vettä satoi 105 l/m^2 . Koepelloilta saatiin kaupallista satoa keskimäärin 103 t/ha koko koejaksolta, mikä oli yli Välimeren alueen avomaatomaattien keskimääräisen sadon (noin 85 t/ha).

Lannoitteiden valmistukseen ja kuljetukseen liittyvien prosessien lisäksi huomioitiin myös muita toimintoja.

- Kasvinsuojeluaineiden valmistus ja kuljetus. Kasvinsuojeluaineita käytettiin ohjeissa (kasvinsuojeluaineiden rekisterin) annetun minimimäärän mukaisesti: avomaalla 14 kertaa. Kerralla käytettiin 1-4 erityyppisen torjunta-aineen seosta.

- Kastelujärjestelmän perustaminen ja siitä aiheutuvien jätteiden käsittely. Kasteluvettä pumpattiin sähköpumpuilla lähellä olevista kaivoista ja suihkutettiin peltoon.
- Työkoneiden valmistus, energiankäyttö, huolto, kuljetus ja jätteiden käsittely. Tässä on huomioitu traktorit ja muut maatalouskoneet sekä sadonkorjuussa tarvittavat laitteet.
- Ravinnepäästöt. Vesiin ja ilmaan kohdistuvien ravinnepäästöjen laskennassa käytettiin lannoitteen typpipitoisuutta ja kasvien hyödyntämän typen määrää. Niiden pohjalta saatiin NH₃, N₂O, NO_x ja N₂ päästöt ilmaan ja nitraattien liukeneminen veteen.
- Kasteluprosessi – mitattiin vedenkulutusta ja pumppujen sähkönkulutusta.
- Tomaattien esikasvatus ennen peltoon istuttamista. Taimet kasvatettiin lämmitettävässä kasvihuoneessa. Tiedoissa on huomioitu kasvihuoneen perustaminen, lämmitys, taimien kastelu, lannoittaminen sekä kuljetukset.
- Tomaattien viljelyjätteiden käsittely. Kierrätettäviä jätteitä (biojätteet, ei-kaupallinen sato, metallijätteet, tomaattilaatikkojen muovi) ei ole huomioitu. Kastelujärjestelmän rakenteisiin liittyvät jätteet kuljetettiin 48 km etäisyydellä sijaitsevalle kaatopaikalle kuorma-autolla (lasti 3,5–16,0 t) ja niiden varastoinnista syntyvä ympäristörasitus riippui materiaalista.

Tomaattien viljely kasvihuoneessa

Välimeren rannikolla etenkin Espanjassa ja Ranskassa laajasti viljeltyä kasvihuonetomaattilajiketta, 'Caramba', viljeltiin samaisessa Xerorthent maaperässä. Kasvatus tapahtui keväällä ja kesällä 2008 Espanjassa, Cabrilsen alueen kasvihuoneissa. Kasvien istutustiheys oli 2,8 tainta neliometriä kohti. Koejakso (yksi jakso käsitti tomaattien viljelyprosessin alusta loppuun) toistettiin neljä kertaa.

Kasteluveden tarve oli kasvihuoneessa 53% pienempi kuin avomaalla ja auringonsäteily oli 25–40% alhaisempaa kuin ulkona. Koska ilma liikkuu kasvihuoneissa hitaammin, oli myös haihdunta pienempää, mikä on välimerellisessä, puolikuivassa ilmastossa hyvin tärkeä seikka. Toinen merkittävä pienemmän vedenkulutuksen syy oli parempi satoisuus neliometriä kohti. Kasvihuoneiden päälle sataneet vedet kerättiin ja käytettiin kastelussa.

Kasvinsuojeluaineita käytettiin ohjeissa (kasvisuojeluaineiden rekisterin) määritellyn minimimäärän mukaisesti: kasvihuoneissa vain kaksi kertaa. Tiedoissa huomioitiin myös käytettyjen kasvisuojeluaineiden valmistus ja kuljetus.

Koekasvihuoneissa tomaattisato oli alueen keskitasoa (150–200 t/ha) pienempi: kaupallinen sato oli 159 t/ha. Hukkaan menneitä tomaatteja oli paljon vähemmän kuin avomaalla.

Lisäksi huomioitiin myös avomaan tomaattien viljelyä käsittelevänkappaleen prosessit sekä kasvihuoneisiin liittyvät lisäprosessit.

- Kasvihuoneen valmistus, kuljetus, asennus ja jätteen käsittely. Kasvihuone koostui kuudesta 104 m pituisesta ja 8 m leveästä kaarevanmuotoisesta tunnelikappaleesta. Harjan korkeus oli 5,5 m ja seinien korkeus 4 m. Kasvihuoneen perustukset olivat betonia. Teräsrunko oli peitetty 0,2 mm vahvuisella polyetyleenikalvolla. Rungon odotettavissa oleva käyttöikä oli 20 vuotta, muovivaikkeitä vaihdettiin joka neljäs vuosi. Runko valmistettiin kierrätysteräksestä, komponenttien pinta oli galvanoitu. Muoviosat eivät olleet kierrätysmateriaalia. Kasvihuoneen teräsjätteet (runko, ovet) ohjattiin kokonaan

kierrätykseen, muut käytetyt materiaalit taas kaatopaikalle. Uusiokäyttöön meni 50% muovista ja betonista.

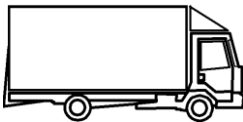
- Kasvihuoneen lämpötilaa säädettiin kuuden kattoluukun ja kahden sivuluukun avulla, joita avattiin ja suljettiin 0,75 hv:n sähkömoottoreilla. Moottorit toimivat keskimäärin 36 minuuttia päivässä.

Toinen vaihe: tomaattien kuljetus tehtaalle

Tomaattisoseen valmistus tapahtuu yleensä tomaattien viljelyalueella ja on kausiluontoista. Sovelluksessa edellytettiin, että tehdas sijaitsee keskimäärin 75 km etäisyydellä tomaattien viljelyalueelta ja ajoneuvo ajaa pellolle tyhjänä ja palaa tehtaalle tomaattilastissa. Sovelluksessa voidaan kuljetusmenetelmä valita kahden erilaisen kuorma-auton välillä. Ajoneuvojen päästötiedot ovat peräisin suomalaisesta Lipasto-tietokannasta (<http://lipasto.vtt.fi/indexe.htm>). Tiedoissa ei ole mukana ajoneuvon lastaamiseen ja purkamiseen liittyviä päästöjä, vaan ainoastaan ajoneuvon dieselmoottorin aiheuttamat päästöt. Matkasta 30% kuljetaan valtateitä pitkin ja muu osa matkasta pienemmillä teillä.

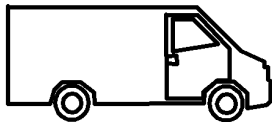
Isompi ajoneuvo

Ajoneuvon paino on 15 t ja kaupallisen lastin paino 9 t (kuva: Lipasto-tietokanta).



Pienempi ajoneuvo

Ajoneuvon paino on 2,7 t ja kaupallisen lastin paino 1,2 t (kuva: Lipasto-tietokanta).



Kolmas vaihe: tomaattisoseen valmistus ja pakkaaminen

Tomaattisoseen valmistusprosessin kuvaus ja verkkosovelluksessa käytetyt tiedot ovat peräisin turkkilaisesta tutkimuksesta [3].

Turkissa viljellyistä tomaateista käytetään tuoreena noin 80%. Loput 20% jalostetaan eri tavalla ja niistä valmistetaan erilaisia tomaattituotteita. Jalostetuista tomaateista 85% käytetään tomaattisoseen valmistukseen ja 10%:sta valmistetaan kuorittuja tomaatteja. Lopuista valmistetaan vielä tomaattimehua tai tomaatteja käytetään muulla tavoin.

Maailman suurin tomaattien viljely- ja jalostusmaa on Kiina, jossa valmistetaan myös maailmalla laajasti käytössä olevia tomaattien jalostukseen tarkoitettuja teollisia laitteita (<http://www.tomatomachinery.com/>). Esimerkiksi Turkissa käytetään kiinalaisia laitteita.

Tomaattisoseeksi jalostettavat tomaatit ohjataan pesemistä varten vesiränniin, jonka pohjalta poistetaan jatkuvasti mutaa ja soraa. Käytetty pesuvesi suodatetaan ja ohjataan uudelleen käyttöön. Tomaatit ohjataan eteenpäin suihkun alla oleville, rullilla toimiville, lajittelupöydille, jossa vihreät, mustapilkkuiset, halkeilleet, liian pienet tai muuten

kelpaamattomat tomaatit poistetaan käsin. Nämä tomaatit, joita on noin 5%, murskataan jätemurskaajassa ja käytetään tomaattipeltojen lannoittamiseen. Valikoidut tomaatit puolestaan paloitellaan soseen valmistamista varten alle 8 mm paloiksi, tiivistetään höyrytyskoneissa ja pastöroidaan ennen pakkaamista. Tomaattisoseen kuiva-ainepitoisuus on yleensä 28–30 Brix-astetta.

Ketsupin valmistukseen käytettävän tomaattisoseen pakkaamiseen liittyvät tiedot ovat peräisin ruotsalaisesta tutkimuksesta [4]. Tomaattisose pakataan aseptisiin 200 litran säkkeihin (joissa on 7% PETiä ja 0,03% alumiinia). Säkit laitetaan terästynnyreihin, jotka sijoitetaan kuljetusta varten tavanomaisille kuljetuslavoille eli EUR-lavoille.

Neljäs vaihe: tomaattisoseen kuljetus tehtaalle

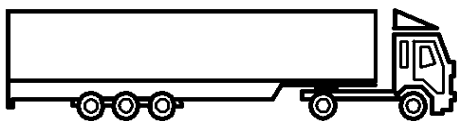
Tomaattisoseen kuljetuksesta laadittiin kolme skenaariota erilaisilla kuljetusmuodoilla: laiva- tai maantie- tai lentokuljetus. Päästöjä koskevat tiedot ovat peräisin suomalaisesta Lipasto-tietokannasta. Tässä on huomioitu vain kuljetuspäästöt, ei tavaroiden lastaamisesta tai purkamisesta aiheutuneita päästöjä. Sovelluksessa lähdettiin siitä edellytyksestä, että tomaattisose valmistettiin Välimeren alueella, mutta varsinainen ketsupitehdas sijaitisi Itämeren alueella.

Konttialus

Isompi konttialus (kantavuus 32 482 t, 2000 TEU), joka liikennöi Välimerellä, kuljettaa tomaattisosekontin 3484 km päähän Antwerpeniin. Pienempi konttialus (kantavuus 14 000 t, 1000 TEU) kuljettaa tavarat sieltä eteenpäin 1890 km päähän johonkin Itämeren satamaan. TEU on konttiliikenteen mittayksikkö, yhdessä kontissa (1 TEU) on keskimäärin 9 t lastia.

Kuorma-auto

Maantiekuljetuksen etäisyys on noin 2900 km. Puoliperävaunun massa on 40 t, kantavuus 25 t. Tiedoissa huomioidaan dieselmoottorin päästöt maantieajossa ja edellytetään, että ajoneuvo on täydessä lastissa ja kuljetti paluumatkalla jotakin muuta tuotetta (kuva: Lipasto-tietokanta).



Lentokone

Lentomatka on noin 2250 km. Käytetyt tiedot kuvaavat keskimääräisiä ilmakuljetuksen päästöjä ja energiankulutusta Euroopan sisäisillä lennoilla. Tavaraa kuljetetaan joskus myös rahtikoneissa, mutta useammin kuitenkin matkustajakoneissa. Viimeksi mainitussa tapauksessa tulee lentokoneen energiankulutus sekä päästöt jakaa oikeudenmukaisesti matkustajien ja tavaroiden kesken. Tässä tapauksessa ne on jaettu massasuhteiden mukaan.

Viides vaihe: ketsupin valmistus

Tätä vaihetta koskevat tiedot ovat peräisin ruotsalaisesta tutkimuksesta [4]. Tässä yhteydessä on huomioitu seuraavat prosessit:

- sokerin valmistus – sokerijuurikkaan viljely ja kuljetus, sokerin valmistus ja kuljetus;
- etikan valmistus ja kuljetus;

- mausteseoksen (mukana myös suola) valmistus ja kuljetus;
- sitruunahapon kuljetus;
- ketsupin valmistus.

Kuudes vaihe: ketsupin pakkaaminen ja pakkausjätteiden käsittely

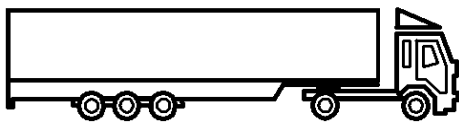
Ketsuppi pakataan yhden kilon muovipulloihin. Pullojen seinän sisäinen ja ulkokerros ovat polypropyleeniä (PP), joiden väliin on liimattu etyleenivinyylialkoholin (EVOH) muodostama tiivis kerros. Tietojen puuttuessa ei ole huomioitu liiman, EVOHin, pigmentin, etikettien ja musteen valmistusta, mutta on huomioitu niiden kuljetukset. EVOH on peräisin Japanista ja Yhdysvalloista, muut materiaalit Euroopasta. Tietoja kerättiin myös pullonsulkimien valmistuksen ja kuljetuksen sekä täytettyjen pullojen pakkausmateriaalien (kalvo, aaltopahvi) valmistuksesta ja kuljetuksesta.

Tämän vaiheen tiedot sisältävät tomaattiseosen ja ketsuppipakkauksen käsittelyn seuraavan mallin mukaisesti:

- tomaattiseosen pakkauksena käytetyistä terästynnyreistä 70% kierrätettiin ja 30% päätyi kaatopaikalle, 80% PP:stä poltettiin ja muu osa vietiin kaatopaikalle, polyeteeni (LPDE) ja tuotelavat poltettiin;
- ketsuppipakkauksen LDPE poltettiin, 80% PP:stä poltettiin ja muut vietiin kaatopaikalle, 80% pahvista kierrätettiin ja 20% poltettiin, myös EUR-lavat poltettiin 100 käyttökerran jälkeen.

Seitsemäs vaihe: ketsupin kuljetus tukkuvarastoon

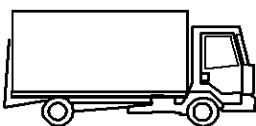
Tiedot ajoneuvojen päästöistä ovat peräisin suomalaisesta Lipasto-tietokannasta ja niissä ei ole mukana ajoneuvon lastaamiseen ja purkamiseen liittyvää ympäristökuormitusta, vaan ainoastaan ajoneuvon dieselmoottorin aiheuttamat päästöt. Ketsuppia kuljetetaan 40-tonnin kuorma-autolla, jonka lasti voi olla enintään 25 t (kuva: Lipasto-tietokanta). Tässä yhteydessä on oletettu keskimääräisen kuljetetun lastin olevan 70% maksimilastista. Laskennallinen ajomatka tehtaan ja tukkuvaraston välillä on 630 km. Käytetystä polttoaineesta 6% on biodieseliä (Suomen vuoden 2011 keskiarvo).



Kahdeksas vaihe: ketsupin kuljetus tukkuvarastosta kauppaan

Ajoneuvojen päästöjä koskevat tiedot ovat peräisin suomalaisesta Lipasto-tietokannasta ja niissä ei ole mukana tavaroiden lastaamista ja purkua, vaan pelkästään ajoneuvon dieselmoottorin päästöt.

Kuljetuksiin käytettiin 6 tonnin kuorma-autoa, kantavuus 3,5 t. Maantieajon osuus on 30%, keskimääräinen ajomatka tukkuvarastosta kauppaan on 200 km (kuva: Lipasto-tietokanta).



Yhdeksäs vaihe: ketsupin myynti kaupassa

Tiedot kerättiin Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen (MTT) asiantuntijan Yrjö Virtasen laskentamenetelmien ja ominaiskulutustietojen avulla. Verkkosovelluksessa tarkoitetaan kaupalla itsepalvelumyymälää. Ketsuppi sijoitetaan kaupassa avohyllyyn. Tietojen laskemisessa on huomioitu kaupan energian- ja sähkönkulutus neliometriä kohti. Lisäksi selvitettiin ketsupin päivittäiseen myyntiin tarvittava lattiapinta, jossa on huomioitu sekä hyllyjen alla oleva alue että myös hyllyjen välissä oleva kuluttajakäytävä. Ketsupin myyntiä ja siihen tarvittava kauppatilaa koskevat tiedot pyydettiin erästä virolaisesta kaupasta. Sähkön oletettiin olevan peräisin pohjoismaisesta sähköpörssistä (<https://www.entsoe.eu/the-association/history/nordel/>), jossa myytävä sähkö on tuotettu sekä uusiutumattomista että uusiutuvista luonnonvaroista (mm. kivihiili, tuuli, ydinpolttoaine, vesi jne.). Virossa puolestaan käytetään eniten Eesti Energia-sähkölaitoksessa palavasta kivistä tuotettua sähköä, jota ei näissä laskelmissa huomioitu.

Kymmenes vaihe: ketsupin kuljetus kaupasta kuluttajan kotiin

Kauppamatkoihin liittyvät tiedot perustuvat ruotsalaistutkimukseen [4], jonka tulokset perustuvat seuraaviin oletuksiin:

- 55% ostosmatkoista tehdään henkilöautolla;
- kuljettu matka on yhteen suuntaan keskimäärin 2,5 km;
- kerralla ostetaan 10 kg elintarvikkeita.

Ympäristökuormitus jaettiin eri ostosten välillä painon mukaan. Vaihtoehtoinen tapa on käydä kaupassa kävellen tai pyörällä, jolloin fossiilista polttoainetta ei kulu eikä päästöjä synny.

Yhdestoista vaihe: ketsuppi kuluttajan jääkaapissa

Ruotsalaisessa tutkimuksessa [4] selvitettiin 30 henkilön pois heittämien ketsuppipullojen kohtalo. Ilmeni, että ketsupin hukka kulutusvaiheessa on kuluttajista riippuen hyvinkin erilaista (0,5–26,0%) ja ketsuppipullo pysyy jääkaapissa yhdestä kahteentoista kuukauteen. Kohtuullinen hukkaprosentti on arviolta 5%, jota on laskelmissa hyödynnetty. Ympäristömittareiden tiedot laskettiin kahden mahdollisen mallin mukaisesti: ensimmäisessä tapauksessa 1 kg ketsuppipulloa säilytetään jääkaapissa ja se käytetään yhden kuukauden sisällä, toisessa tapauksessa se käytetään vuoden aikana.

Sovelluksessa oletettiin, että keskiwertokuluttajalla on A-energialuokan jääkaappi, joka Suomen ympäristökeskuksen asiantuntijan Tuomas Mattilan mukaan kuluttaa sähköä 1,45 Wh litraa kohtaan vuorokaudessa. Edellytettiin, että jääkaapin hyllyt ja laatikot ovat täynnä, joten sen tilavuudesta on käytössä noin 50% ja kuluttajan oletetaan käyttävän pohjoismaisesta sähköpörssistä peräisin olevaa sähköä. Virossa käytetään puolestaan eniten Eesti Energia-sähkölaitoksessa palavasta kivistä tuotettua sähköä, jota ei näissä laskelmissa huomioitu.

Ketsupin elinkaariset ympäristövaikutukset

Verkkosovelluksessa ”Ketsupin elinkaari” valittiin vaikutusten kuvaamiseen kolme yksinkertaista ympäristömittaria. Energiankulutus² ja kasvihuonekaasujen päästöt³ ovat monikäyttöisiä mittareita melkein kaikkien tuotteiden kohdalla. Vedenkulutuksen⁴ osalta kerättiin tietoja, sillä Välimeren maista, joissa tomaatteja viljellään ketsupin valmistamiseen ja joissa vesi on rajoitettu luonnonvara. Mittareiden tiedot ilmoitettiin LCA-periaatteiden mukaisesti toiminnallista yksikköä (TY) kohtaan. Tässä tapauksessa on toiminnallisena yksikkönä käytetty 1 kg tomaattiketsuppia käytettynä kotitaloudessa. Verkkosovelluksessa käytettyjen ympäristömittareiden tiedot ketsupin elinkaaren vaiheiden mukaan on esitetty taulukossa 2. Mittareiden tiedot akkumuloituvat verkkosovelluksessa eri vaiheissa tehtyjen valintojen mukaan.

Taulukko 2. Ympäristövaikutusmittareiden tiedot ketsupin elinkaaren eri vaiheissa 1 kg käytettyä tomaattiketsuppia kohtaan.

Elinkaaren vaihe	Energia (MJ/TY)	CO ₂ eq (kg/TY)	Vesi (l/TY)
Tomaatin viljely⁵			
avomaalla	4.2210	0.2900	126.9880
kasvihuoneessa	4.7620	0.2850	73.2047
Tomaattien kuljetus tehtaalle			
isompi ajoneuvo	0.2451	0.0179	0.0023
pienempi ajoneuvo	0.8088	0.0561	0.0075
Tomaattisoseen valmistus	0.6471	0.0500	0.0357
Tomaattisoseen kuljetus tehtaalle			
konttialus	0.8056	0.0632	0.0078
ajoneuvo	0.8179	0.0569	0.0074
lentokone	15.2821	1.1389	0.1421
Ketsupin ja sen komponenttien valmistus	6.8806	0.4147	1.8375
Ketsupin pakkaaminen ja pakkausjätteiden käsittely	6.0000	0.2800	0.0000
Ketsupin kuljetus tukkuvarastoon	0.5226	0.0364	0.0047
Ketsupin kuljetus kauppoihin	1.0290	0.0709	0.0093
Ketsupin myynti kaupassa	0.1449	0.0441	0.6418
Ketsupin kuljetus kaupasta kotiin			
55% ostajista käy kaupassa autollaan	1.2000	0.1400	0.0108
kaikki ostajat käyvät kaupassa kävellen tai pyöräillen	0.0000	0.0000	0.0000
Ketsuppi kuluttajan jääkaapissa			
1 kk	0.8832	0.0420	0.6112
12 kk	10.3990	0.4945	7.1964

² Elinkaareissa on huomioitu prosesseissa kulunut kokonaisenergia (esim. sähkö, lämmitys, polttoaineet). Yksikkö: MJ/TY.

³ Elinkaaren tutkimuksessa on huomioitu prosesseissa vapautuvien kasvihuonekaasujen päästöt, jotka on muunnettu hiilidioksidiekvivalenteiksi. Yksikkö: kg CO₂-ekviv/TY.

⁴ Elinkaareissa huomioitujen prosessien välitön tai välillinen vedenkulutus (esim. käytettävän polttoaineen valmistukseen tai energiatuotantoon tarvittava). Yksikkö: litra/TY.

⁵ Sisältää tuotantopanosten (kuten lannoitteet) valmistamisen tiedot.

Käytettyjen tietojen absoluuttisiin arvoihin tulee suhtautua varauksella, sillä ne eivät perustu toteutettuun tuoreeseen LCA-tutkimukseen, vaan suurelta osin eri lähteistä kerättyihin tietoihin. Kerätyistä tiedoista on ohjelmistoympäristössä KCL-ECO⁶ laadittu dynaaminen tuotemalli, joka mahdollistaa eri vaiheiden mittareiden tietojen laskemisen koko tuotejärjestelmän toiminnallista yksikköä kohti.

Eri tutkimusten loppupäätelmiä

Seuraavassa on esitetty käytetyissä lähteissä annettuja arvioita ja yhteenvedoja ketsupin elinkaaren vaikutuksista. Espanjalaisessa tutkimuksessa [2], jossa oli verrattu tomaattien viljelyä avomaalla ja kasvihuoneissa todettiin, että kasvihuonetomaattien sato ja laatu ovat mikroilmaston olosuhteiden säätelyn johdosta avomaatomaatteja paremmat. Kasvihuoneessa kuluu myös vähemmän kasteluvettä ja kasvinsuojeluaineita. Kasvihuonetomaateilla on toisaalta hieman korkeampi energiankulutus ja niin ikään infrastruktuurin perustamiseen kuluu enemmän materiaaleja. Taulukossa 3 on verrattu tomaatin viljelytapojen vaikutusta globaalien ympäristövaikutusten pohjalta.

Taulukko 3. Välimeren alueella viljeltyjen avoma- ja kasvihuonetomaattien ympäristövaikutusten vertailuyötä tonnia viljeltyä kaupallista tomaattia kohden [2]. Pienemmän ympäristövaikutuksen aiheuttava vaihtoehto on annettu absoluuttiarvona ja suuremman tulos on ilmoitettu prosenttina edelliseen nähden.

Ympäristövaikutus	Yksikkö	Avomaatomaatti	Kasvihuonetomaatti
Luonnonvarojen käyttö	kg Sb eq·TY ⁻¹	9.46E-01	112 %
Happamoituminen	kg SO ₂ eq·TY ⁻¹	8.88E-01	106 %
Rehevöityminen	kg PO ₄ ⁻⁻⁻ eq·TY ⁻¹	2.34E-01	149 %
Ilmastomuutos	kg CO ₂ eq·TY ⁻¹	102 %	1.53E+02
Otsonikerroksen oheneminen	kg CFC-11 eq·TY ⁻¹	134 %	1.39E-05
Alailmakehän otsonin muodostuminen	kg C ₂ H ₄ ·TY ⁻¹	2.28E-02	140 %
Energiankulutus	MJ eq·TY ⁻¹	2.26E+03	113 %

Kun tarkastellaan ilmastomuutoksen sektoria, niin avomaan tomaattien viljelyssä suurimman osan ympäristökuormituksesta (60%) aiheuttaa lannoitteiden valmistus. Samaa pätee myös kasvihuonetomaatteihin, jossa lannoitteiden valmistuksen osuus on noin 47%. Seuraavana tulevat kasvihuoneeseen liittyvät prosessit. Kasvihuoneen aiheuttamaa ympäristökuormitusta voidaan pienentää vähentämällä materiaalien käyttöä, hyödyntämällä kierrätettyjä ja pitkäikäisiä komponentteja sekä tukemalla paikallisten materiaalien käyttöä, mikä osaltaan vähentää myös kuljetustarvetta. Kyseisessä artikkelissa on tultu myös siihen johtopäätökseen, että Välimeren alueella merkittäviin ympäristövaikutuksiin, kuten maaperän eroosioon ja vedenkäyttöön tulisi kehittää omat vaikutusten arviointimallit.

Turkkilaisen tutkimuksen [3] mukaan, tomaattien prosessointiin kuluu huomattavan paljon energiaa ja niiden kuljetuksessa syntyy huomattava määrä kasvihuonekaasuja. Tämä tarkoittaa sitä, että kuljetuksia tulisi optimoida ja jos mahdollistaa, hyödyntää isompia

⁶ Suomessa kehitetty erityinen ohjelmisto LCA:n tietojen keräämiseen ja tuotejärjestelmien mallintamiseen (http://www.vtt.fi/research/technology/kcl_eco_software.jsp).

ajoneuvoja. Vaikka tomaattimurskeesta veden haihduttaminen on tomaattisoseen valmistuksessa erittäin paljon energiaa vaativa prosessi, vähentää se toisaalta merkittävästi tuotteen painoa ja sen myötä elinkaaren seuraavassa vaiheessa soseen kuljettamisen vaatimia resursseja ja päästöjä. Kasvihuonekaasujen päästöt riippuvat suoranaisesti käytettävän energian tuotantotavasta. Vaikka kuluttajien tulisi ensisijassa suosia tuoreiden tomaattien hyödyntämistä, aiheuttaa tomaattisoseen valmistus kuitenkin vähemmän ympäristövaikutuksia kuin muut tomaattijalosteet, kuten tomaattimurske tai tomaattimehu.

Ruotsalainen tutkimus [4] kattaa ainoana tässä käsiteltynä tutkimuksena ketsupin koko elinkaaren. Myös siinä käytettiin useissa vaiheissa aikaisempien tutkimusten tietoja. Havaintojen perusteella on helpompaa hankkia tietoja polttoaineen tai energian kulutuksesta kuin päästöistä. Tarkasteltavan tuotteen tuotantoprosessissa käytettävien koneiden ja laitteiden valmistusta ei ole tietojen keräämisessä huomioitu. Sillä saattaa olla merkitystä myös tomaattisoseen LCA-tuloksiin, koska tomaattisoseen valmistukseen tarvittavia laitteita käytetään kausittain, vain muutama viikko vuodessa.

Useissa tutkituissa ympäristövaikutusluokissa tärkeimpinä vaikuttajina ovat ketsupin ja sen lisäaineiden valmistus ja pakkaaminen. Eniten rehevöitymistä aiheuttaa tomaattien viljely, jossa NO_x-päästöjen suurimpana lähteenä ovat kuljetukset. Eniten haitallisten aineiden päästöjä aiheuttavat puolestaan tomaatin viljely, ketsupin ja sen lisäaineiden sekä pakkausten valmistaminen. Energiankulutuksen osalta kriittinen vaihe on myös ketsupin säilytysaika kuluttajan jääkaapissa. Merkitystä on myös ostoskäyttäytymisellä (auton käyttö, etäisyys kaupasta, kerralla ostettavan tavarán määrä) ja säästeliäällä kuluttamisella. Kulutusvaiheessa syntyvä 5%:n ketsuppihukka aiheuttaa 5%:n ympäristövaikutuksen myös koko elinkaareen (kaikki tulokset kerrotaan 1,05:lla). Tämä tarkoittaa sitä, että tulevissa tutkimuksissa on kiinnitettävä huomiota myös elintarvikkeiden käyttövaiheeseen. Lisähuomiota on kiinnitettävä myös jätteiden käsittelyyn, sillä siihen kuluu energiaa ja elintarvikkejätteistä muodostuu, etenkin huonosti käsiteltynä, päästöjä. Jätteet ovat lisäksi (mm. elintarviketeollisuuden jätevedet) ravinteiden lähde ja ne soveltuvat myös biokaasun tuotantoon.

Lähteet

- [1]. Talve. S., Põld. E. 2005. Olelusringi hindamine. Pärnu: CyclePlan.
- [2]. Martínez-Blanco. J., Muñoz. P., Antón. A., Rieradevall. J. 2011. Assessment of tomato Mediterranean production in open-field and standard multi-tunnel greenhouse. with compost or mineral fertilizers. from an agricultural and environmental standpoint. *Journal of Cleaner Production*. 19. 985–997 pp.
- [3]. Karakaya. A. M., Özilgen. M. 2011. Energy utilization and carbon dioxide emission in the fresh. paste. whole-peeled. diced. and juiced tomato production processes. *Energy*. 36. 5101–5110 pp.
- [4]. Andersson. K., Ohlsson. T., Olsson. P. 1998. Screening life cycle assessment (LCA) of tomato ketchup: a case study. *Journal of Cleaner Production*, 6. 277–288 pp.