



VTT

Laskennallinen tarkastelu rakennusten purkumuovien hyödyntämismahdollisuuksista – laajennettu kemiallinen kierrätys

Juha Hakala



Uudenmaan liitto
Nylands förbund



Kaikki muovi kiertää
aluekohtellilla käytännön

12/11/2024

VTT – beyond the obvious

VTT-R-00630-24

Yhteenvedo

VTT

- Pohjatyönä aiempi VTT:n mallinnus liittyen Kaikki muovi kiertää –ekosysteemiin (Kirsikka Kiviranta ja Juha Hakala, VTT)
- Projektissa mallityökalua on päivitetty kauttaaltaan huomattavasti joustavamaksi sekä huomioimaan erityisesti kemiallisen kierrätyksen mahdollisuuksia:
 - Valita eri hyödyntämisreittejä (mekaaninen tai kemiallinen kierrätys, ongelmajätteen poltto tai suora energiahyödyntäminen)
 - Valita purkutoimijan suorittamia mahdollisia esikäsittelyitä (murskaus, jauhaminen, kompaktointi tai prässäys)
 - Valita mitä pyrolyysiojille tehdään jos on valittu kemiallinen kierrätys (edelleen jalostus mm. muovin valmistuksessa tarvittaviksi kemikaaleiksi, suora energiakäyttö sähkön- ja lämmön tuotantoon, tai jättää energiapolttoaineeksi)
 - Aiempaan tapaan kierrätettävissä oleville ja esivalituille muovilaaduille voidaan syöttää massavolyymit purkutyömaakohtaisesti
 - Aiempaan tapaan voidaan valita esikäsittelyille kustannukset, porttimaksut eri hyödyntämisreiteille, sekä kuljetusetäisyydet
- Työssä kehitetyllä ja sovellettavalla lähestymistavalla voidaan laajemmin ja yksityiskohtaisemmin:
 - Tarkastella hyödynnettävissä olevien muovijakeiden kokonaisuuttua suhteessa purkumuovikohteen kaikkiin muoveihin
 - Arvioida purkutoimijan päätösten vaikutuksia kokonaispäästörakenteeseen verrattuna suoraan energiahyödyntämiseen (nykytila) huomioiden kuljetukset, esikäsittelyt, edelleen prosessointit, energiakäytöt ja korvaavat tuotteet
 - Arvioida kierrätysastetta tarkastelemalla valittujen hyödyntämisreittien massasaantoa (hyödyntämisreitit purkumuovijakohtaisia)
 - Tarkastella kustannusvaikutusta purkutoimijalle
- Työssä kehitetty ja sovellettu lähestymistapa
 - Tarjoaa perustan laajennetuille, yksityiskohtaisemmille ja tarkemmille analyyseille
 - Auttaa luomaan valmiuksia päätöksenteon tueksi
- Kehitystarpeet:
 - Mallia on mahdollista laajentaa sisältämään enemmän purkumuovijaelaatuja ja /tai niiden mahdollisia hyödyntämisreittejä. Muovien prosessointi polymeereiksi ei ole mukana.
 - Purkutoimijan kustannukset ja hyödynnysreittien porttimaksut kaipaavat päivitystä alan asiantuntijoilta.
 - Kuljetusten ominaispäästöt muuttuvat ja vanhentuvat nopeasti (perustuvat VTT:n Lipasto tietokantaan vuodelta 2017)
 - Toteutustavan hyödyntäminen myös muissa (muovi)materiaalivirtatarkasteluissa ?

Työn tausta ja tavoite

- Pohjatyönä aiempi VTT:n mallinnus liittyen Kaikki muovi kiertää –ekosysteemiin (Kirsikka Kiviranta ja Juha Hakala, VTT)
- Projektin tavoitteena on kehittää laskennallista mallia edelleen, jolla rakennusten purkumuovien hyödyntämistä voidaan alustavasti arvioida varioida purkumuovin spesifisiä määriä ja niiden ohjaamista polttoon (energia), mekaaniseen kierrätykseen (muovigranulit) ja/tai kemialliseen kierrätykseen (pyrolyysiöljy, tai olefiinit, aromaattit ja butadieeni) – Utena kemiallinen kierrätys (aiemmin rajoittui pelkästään pyrolyysiöljyyn) ja muovijakeita laajennettu (uutena XPS eristelevyt, PP suodatinpaperit ja LDPE kalvomuovit)
- Tarkasteltaville purkutyömaan muovien hyödyntämisvaihtoehdoille lasketaan materiaalitaseet (uusi) sekä CO₂-päästöjen muutos verrattuna nykytilaan (poltto energiaksi)
- Malli laskee myös kustannusarviota purkutoimijan näkökulmasta (parametrit valittu aiemmassa työssä, ei varsinaisessa fokusessa tässä työssä)
- Työssä kehitettävä ja sovellettava lähestymistapa rakennusten purkumuovien hyödyntämisen arviointiin:
 - Tarjoaa perustan laajennetuille, yksityiskohtaisemmille ja tarkemmille analyyseille
 - Mallia on mahdollista laajentaa sisältämään enemmän muovilaatua eri hyödyntämiskohteista
 - Auttaa luomaan valmiuksia päätöksenteon tueksi
 - Toteutustapaa voidaan mahdollisesti hyödyntää myös muissa (muovi)materiaalivirta tarkasteluissa

Laskennallisen mallin hyödyntäminen

- Laskennallisen mallin avulla voidaan alustavasti arvioida päästöarakenteen, tuotteiden materiaalisuannon sekä purkutoimijan kustannusten muutosta eri skenaarioissa hyödynnettävissä olevien jätemuovien kierrätysasteen nostamiseksi purkukohteessa
- Mallin avulla purkutoimijalle voidaan alustavasti arvioida purkukohteen muovijakeiden eri kierrätysvaihtoehtojen (mekaaninen, kemiallinen kierrätys, energiakäyttö ja/tai ongelmajätteen poltto)
 - **Materiaalisuantoa** suhteessa edelleen hyödynnettävissä olevaan muovimateriaaliin
 - **CO₂-päästöjä** suhteessa nykytilaan (energiakäyttö)
 - **Purkutoimijan kustannuksia ja säästöpotentiaalia** suhteessa nykytilaan (vaatii parametrien lisätarkistamista). Säästöpotentiaalilla voi esimerkiksi rahoittaa erilliskeräyksen lisäkustannuksia



Mallinnettava esimerkkikohte

- Muovien käyttö vaihtelee paljon rakennuskohteittain ja riippuu mm. suunnittelijan valinnoista, rakennustyyppistä ja rakennuksen iästä.
- Haasteena on tietopohjan rajallisuus purkukohteiden sisältämistä muovijakeista.
- Mallinnettava esimerkkikohte on sama kuin Kaikki muovi kiertää ekosysteemiin liittyvässä pohjatyössä, perustuen ulkopuolisen asiantuntijaryhmän kartoitukseen purkukohteiden muovidatasta.
 - Esimerkkikohte: Puukerrostaloja (rakennusvuosi 2015) sisältävä purkutyömaa (7074 br-m²), jonka sisältävät muovijakeet ovat tiedossa aiemmin tehdyn Plastics in Buildings –selvityksen pohjalta, tarjoten kattavasti dataa purkumuovijakeista (muun muassa muovilaadut, niiden sijainnit ja volyymit kohteessa).
 - Ei välttämättä edusta kovin hyvin nyt purkuvuorossa olevaa rakennuskantaa.
- Aiemmassa pohjatyössä muovijakeiden laadun, sijainnin ja volyymien perusteella VTT:n asiantuntijoiden avulla tehtiin arvio eri muovijakeiden hyödynnettävyydestä.
 - Arviossa hyödynnettiin alan toimijan näkemystä kierrätettävissä olevista muovijakeista ja vaadittavista esikäsittelyistä purkukohteessa.
 - Hyödyntämiskelpoisten muovijakeiden valinnassa otettiin huomioon esimerkiksi kohteessa olevien muovijakeiden eroteltavuus, puhtaus ja volyymit.
 - Valittujen muovijakeiden laadut tuli olla hyödyntämiskelpoisia ja niille täytyi löytyä potentiaalinen kierrätysvaihtoehto, joka on käytössä nyt tai lähitulevaisuudessa.



Mallinnettava esimerkkikohte

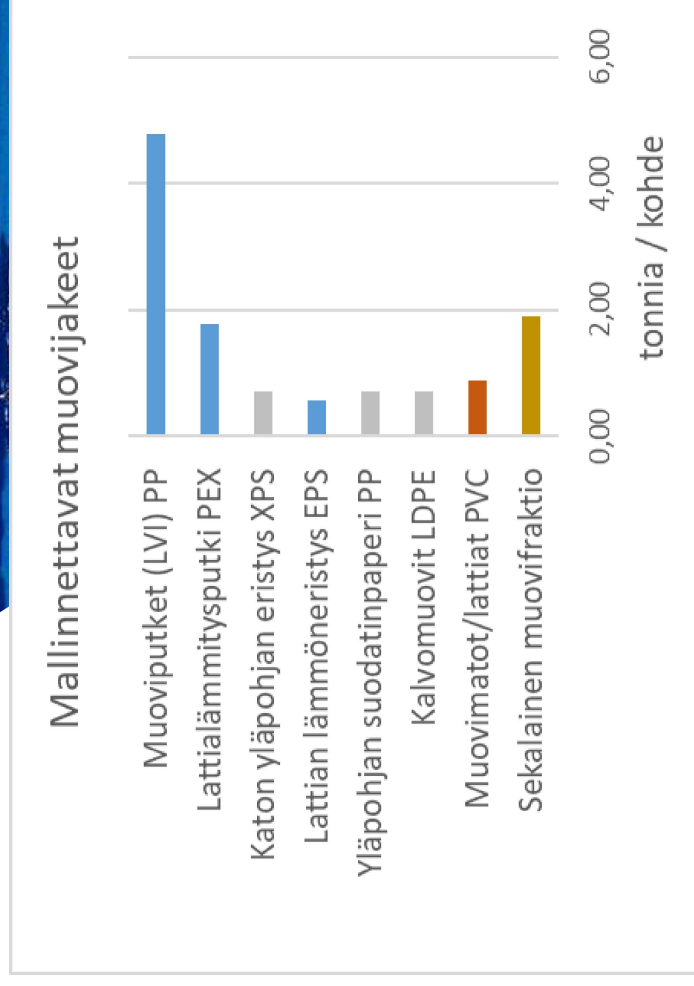
VTT

■ Kohteen tarkasteltaviksi muovijakeiksi valikoitui:

- Muoviviemärit, ilmanvaihdon muoviputket (PP)
- Irrotettavissa olevat lattialämmitysputket (PEX)
- Valikoidut eristemateriaalit (EPS, XPS) (XPS ei kohteessa)
- Suodatinpaperi (PP) (ei kohteessa)
- Kalvomuoovit (LDPE) (ei kohteessa)
- Muovimatot (PVC)
- Oletettu sekalainen muovifraktio (arvio 2 m-% koko kohteen kokonaismuovivolyymistä)

■ Kohteen muovivolyymit tonneina johdettiin kohteen kokonaismuovimäärästä (13,4 kg/br-m²) ja bruttoalasta (7 074 br-m²)

- **Kohteesta poiketen** otettiin laskentaesimerkkiin mukaan **eristemateriaali XPS, suodatinpaperit PP ja kalvomuoovit LDPE** 0,1 kg kuivaa/br-m² mallinnuksen monipuolistamiseksi
- **Hyödynnettävää muovia kohteessa ilman lisäyksiä 9,9 tonnia** (tasetarkistettu, sisältää sekalaisen muovifraktion 1,9 tonnia), ja **lisäyksien kanssa 12 tonnia (sis. Sekalaisen muovifraktion 1,9 tonnia)**
- **Määrä** ennen lisäyksiä noin 10,5% **kohteen kokonaismuovimäärästä, ja lisäysten jälkeen 12,7%**
- Nykyprosessille hyödyntämiskelvotonta muovia on siis paljon (mm. maahan / betoniin sekoitettunutta, pinnoitteet)



Kuva 1. Mallinnettavan esimerkkikohteen muovijakeet ja -volyymit. Laskentaa varten tehdyt lisäykset mukana (harmaat palkit)

12/11/2024

VTT – beyond the obvious



Esimerkkikohteen mallinnus

VTT

- Mallissa voi muokata purkukohteen muovijakeiden **massa osuusia**, (kg / br-m²) sekä antaa **purkukohteen kokonaispinta-alan**

- Osuuksien tulee perustua purkukohteeseen
 - Laskennalliset lisäykset, poiketen todellisesta kohteesta, on merkitty **kellertävällä taustavärillä**
 - Sekalainen, mutta riittävän puhdas muovifraktio ei kelpaa mekaaniseen kierrätykseen ilman edelleen lajittelua (ei huomioitu mallissa), mutta se kelpaa kemialliseen kierrätykseen

Syntyvät muovitonnit	
Muoviemärit	PP 1,79 t kuivaa/purkukohde
Ilmanvaihdon muoviputket	PP 2,98 t kuivaa/purkukohde
Lattialämmitysputki	PEX 1,78 t kuivaa/purkukohde
Muovimatot/lattiat	PVC 0,88 t kuivaa/purkukohde
Lattian lämmöneristys	EPS 0,56 t kuivaa/purkukohde
Katon yläpohjan eristys	XPS 0,71 t kuivaa/purkukohde
Yläpohjan suodatinpaperi	PP 0,71 t kuivaa/purkukohde
Kalvomuoovit	LDPE 0,71 t kuivaa/purkukohde
Sekalainen muovifraktio	n/a 1,89 t kuivaa/purkukohde
Yhteensä ilman sekalaista muovifraktiota	10,12 t kuivaa/purkukohde
Yhteensä sis. sekalaisen muovifraktion	12,01 t kuivaa/purkukohde
12,7 % Rakennuksen kaikista muovista	

Taulukko 2. Taulukossa on esitetty esimerkkikohteen muovijakeiden tonnimäärät.

Syntyvät muovivolyymit	
Purkukohteen kokonaispinta-ala	7074 br-m ²
Muovit kaikki	13,37 kg kuivaa/br-m ²
Muovit kaikki	94,6 t kuivaa/purkukohde
Muoviemärit	PP 0,25 kg kuivaa/br-m ²
Ilmanvaihdon muoviputket	PP 0,42 kg kuivaa/br-m ²
Lattialämmitysputki	PEX 0,25 kg kuivaa/br-m ²
Muovimatot/lattiat	PVC 0,13 kg kuivaa/br-m ²
Lattian lämmöneristys	EPS 0,08 kg kuivaa/br-m ²
Katon yläpohjan eristys	XPS 0,10 kg kuivaa/br-m ²
Yläpohjan suodatinpaperi	PP 0,10 kg kuivaa/br-m ²
Kalvomuoovit	LDPE 0,10 kg kuivaa/br-m ²
Sekalainen fraktio kaikesta muovista	n/a m-%

Taulukko 1. Esimerkki laskennallisen työkalun etusivulta, johon on lisätty mallinnettavan esimerkkikohteen muovijakeet ja -volyymit.



VTT – beyond the obvious

12/11/2024

Esimerkkikohteen mallinnus

VTT

- Mallissa voi edelleen valita mahdollisuuksien mukaan:
- hyödynnettäville **purkumuovijakeille** **hyödyntämistavan**:
 - **Mekaanisen**
 - **kemiallisen kierrätyksen** (pyrolyysi)
 - **energiakäytön**
 - tai **ongelmajätteeseen ohjaamisen**
 - **Jaekohdaisesti esikäsittelyksi**:
 - **Murskauksen** tai murskaamatta jättämisen
 - **Jauhamisen**
 - **kompaktoinnin** tai kompaktioimatta jättämisen
 - tai **prässäyksen**.
 - Malli olettaa joillekin jakeille (muovimatot, kalvomuovit, sekalainen fraktio) ja valitulle hyödyntämispolulle suoraan tietyn esikäsittelytavan riippuen hyödyntämistavasta

- Valita **pyrolyysiöljyn** käyttöksi
 - edelleen jalostuksen **muovin valmistukseen** (käytännössä kemikaaleiksi)
 - **energiaksi** sähkön- ja lämmön tuotantoon
 - **Tuote öljy: jatkohyödyntämiseen /polttoaineena**
- **Pyrolyysikaasun nettotuotanto hyödynnetään energiana sähkön- ja lämmön tuotannossa**

Muoviviemärit	Mekaaninen kierrätys	Irskattu
Ilmanvaihdon muoviputket	Mekaaninen kierrätys	Murskattu
Lattialämmitysputki	Pyrolyysi	Murskattu
Muovimatot/lattiat	Energiakäyttö	Painavaa päällä sekalainen
Lattian lämmöneristys	Pyrolyysi	Kompaktoitu
Katon yläpohjan eristys	Pyrolyysi	Kompaktoitu
Yläpohjan suodatinpaperi	Mekaaninen kierrätys	Prässätty muovi
Kalvomuovit	Mekaaninen kierrätys	Prässätty muovi
Sekalainen fraktio kaikesta muovista	Pyrolyysi	Prässätty muovi
Pyrolyysiöljyn käyttö		
Jalostus muovin valmistukseen		
Sähkön ja lämmön tuotanto		

12/11/2024 VTT – beyond the obvious

Taulukko 3. Esimerkki hyödyntämispolkujen ja esikäsittelyjen valintaan liittyen.

Esimerkkikohteen mallinnus

VTT

- **Purkutoimijan tapaustarkastelun kustannuksia verrataan nykytilaan (energiahyödyntäminen)**
- Laskentaa varten mallissa pystyy muokkaamaan:
 - **Kuljetuskustannuksia** (täysi ja tyhjä kuorma) (€/km)
 - Muovien keräys ja kuljetus vaihtolavoilla (33 m³)
 - Kalvomuovien keräys ja kuljetus muovijätetepuristimella (20 m³)
 - **Muovijakeiden tiheyksiä kuljetuksissa** (kg/m³) (voidaan muokata, ei esimerkiksi taulukossa mukana)
 - (murskaamattomat 20 ja murskatut putket 175, kompaktioimattomat 25 ja kompaktoidut eristelevyt 225, puristamaton 35 ja puristettu kalvomuovi 175 sekä muovi sekajätteen seassa 70 kg/m³ oletuksena että painavaa päällä)
 - **Kuljetuseäisyyksiä** purkutyömaalta tai purkutoimijan esikäsittelypisteeltä (km)
 - Purkutoimijan toteuttaman **esikäsittelyn kustannuksia** (€/t)
 - Jauhaukselle sama oletus kuin murskaukselle
 - Jakeiden eri hyödyntämisvaihtoehtojen **porttimaksuja** (€/t)

Kuljetuskustannus

Yksinkertaistus: Ei huomioi esim. prässikontin korkeampaa painoa

tyhjä	0,8	1,0	1,2	€/km
täysi	0,9	1,1	1,3	€/km

Purkutoimijan esikäsittelykustannukset

Murskaus (putket)	50	75	100	€/t
Kompaktointi (eristeet)	50	75	100	€/t

Kuljetuseäisyydet jatkokäsittelyyn

	BEST	STATIC	WORST	
Kuljetuseäisyys purkutoimijan oma käsittely	0	5	10	km
Kuljetuseäisyys energiakäyttö purkutyömaalta	10	50	150	km
Kuljetuseäisyys energiakäyttöön -purkutoimijan pisteeltä	10	50	150	km
Kuljetuseäisyys mekaaninen kierrätys/jauhatus	50	50	300	km
Kuljetuseäisyys pyrolyysi	50	50	300	km
Kuljetuseäisyys ongelmajätteen poltto	10	50	150	km

Porttimaksut

	BEST	STATIC	WORST	
jätetäyttö energia-/sekajätteeneksi	100	200	300	€/t
jätetäyttö murskattu esilajiteltu kovamuovi (putket)	0	10	50	€/t
Kompaktoitu muovijae (eristeet)	0	10	50	€/t
jätetäyttö muovit (kalvomuovit tms.)	0	10	50	€/t
jätetäyttö jauhettu kovamuovi (esim. PEX)	0	10	50	€/t
jätetäyttö ongelmajätteen (PVC)	1000	1400	1800	€/t
jätetäyttö pyrolyysiin menevä jae	0	50	100	€/t

Taulukko 4. Esimerkki käytetyistä kustannus- ja kuljetuseäisyyksien arvoista joita pystyy muokkaamaan. Esitetyt hinnat ja etäisyydet ovat laskennassa käytettyjä arvoja.

Eri muovijakeiden hyödyntämisestä ja esikäsittelyistä

VTT

Käyttökohde/ muovilaatu	Huomiot ja esikäsittelyvalinnat laskelmissa purkutoimijan pisteellä
Muoviemärit, ilmanvaihdon muoviputket, Lattialämmityspotket PP PE (ei mallissa eikä kohteessa) PEX PVC (ei mallissa eikä kohteessa)	<p>Ongelmaa putkien kierrätyksessä aiheuttavat epäpuhtaudet (metalli, betoni, irtomaa, muut ilmeiset epäpuhtaudet). Eritasoiset pesut mahdollistavat suuremman kierrätysosuuden. Vanhojen putkien kierrätyskelpoisuuden arviointi voi olla vaikeaa.</p> <p><u>PP ja PE putket soveltuvat mekaaniseen kierrätykseen (jos riittävän puhtaita –pesutarve?) ja kemialliseen kierrätykseen.</u></p> <p><u>PVC putket eivät sovellu kemialliseen kierrätykseen johtuen muodostuvista kloori yhdisteistä, mutta mekaaninen kierrätys on periaatteessa mahdollinen: https://www.plastics.fi/putkijaosto/muoviputkijarjestelmien_kierratys/</u></p> <p><u>PEX putket ovat kertamuoveja, ei termoplastisia. Voidaan jauhaa täyteaineeksi, mutta vaatii markkinan ja toimijat (Suomen tilanne ?). Skenaarioissa kemiallinen kierrätys oletetaan mahdolliseksi mutta ei ohjata mekaaniseen kierrätykseen.</u></p> <p><u>Esikäsittelyvalinnat:</u></p> <p>Jos energiakäyttö tai ongelmajäte, murskaamattomana lavalle suoraan purkutyömaalla (sekalainen fraktio)</p> <p>Jos mekaaninen kierrätys, murskaus. (jauhatus kovamuoveille vain poikkeustapauksissa erittäin puhtaille, täyteaineeksi)</p> <p>Jos Pyrolyysi, joka murskaus tai murskaamaton (Huom. Murskattuna tiheys kuljetuksessa on suurempi)</p>
Eristemateriaalit EPS XPS (lisätty kohteeseen)	<p>Voivat sisältää palonestoaineita, kuten bromia, sekä muita epäpuhtauksia (liimat ja maalit) vaikeuttaen kierrätystä.</p> <p>Epävarmuustekijänä Suomen markkina- ja toimijatilanne ?</p> <p>Oletetaan soveltuvan mekaaniseen kierrätykseen riittävän puhtaina ja kemialliseen kierrätykseen (myös likaisemmat).</p> <p><u>Esikäsittelyvalinnat:</u></p> <p>Kompaktointi aina (johtuen matalasta tiheydestä)</p>

Eri muovijakeiden hyödyntämisestä ja esikäsittelyistä

VTT

Käyttökohde/ muovilaatu	Huomiot ja esikäsittelyvalinnat laskelmissa purkutoimijan pisteellä
Suodatinpaperi, Kalvomuovit PP (lisätty kohteeseen) LDPE) (lisätty kohteeseen)	<p>Puhtaat kalvomuovit soveltuvat hyvin mekaaniseen ja kemialliseen kierrätykseen.</p> <p><u>Esikäsittelyvalinnat:</u> Mekaaninen ja kemiallinen kierrätys: Prässätty</p> <p>Energiakäyttö: Sellaisenaan (tiheysoletukseen vaikuttaa oletus että painavaa muuta jaetta päällä)</p>
Muovimatot PVC	<p>Haasteellista kierrättää. Voi myös sisältää mm. liimoja ja likaa. Euroopassa kehitetty erilaisia kierrätysmenetelmiä. Epävarmuustekijänä Suomen markkina- ja toimijatilanne ?</p> <p>Skenaarioissa on valittu energiakäyttö olettaen että PVC osuudet energiahyödyntämisjakeessa eivät nouse liian korkeaksi. Muussa tapauksessa ongelmajätteen (energiaa saadaan myös hyödynnettyä)</p> <p><u>Esikäsittelyvalinnat:</u> Sellaisenaan lavalle energia- tai ongelmajätejakeeseen (tiheysoletukseen vaikuttaa oletus että painavaa muuta jaetta päällä).</p>
Sekalainen muovifraktio	<p>Tuotteissa mahdollisesti useita materiaaleja. Voi mahdollisesti sisältää myös osin kontaminoitua muovia. Ei saa kuitenkaan sisältää hiekkaa tai sementtijäämiä.</p> <p><u>Esikäsittelyvalinnat:</u> Mekaaninen ja kemiallinen kierrätys: Prässätty</p> <p>Energiakäyttö: Sellaisenaan (tiheysoletukseen vaikuttaa oletus että painavaa muuta jaetta päällä)</p>

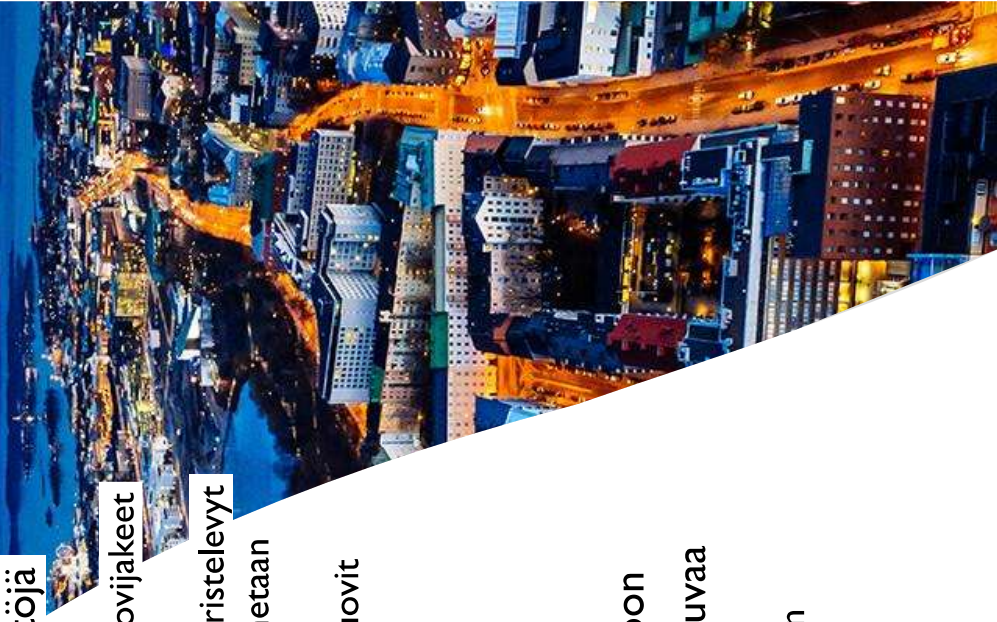
Päästökomponenttien laskennasta

VTT

- **Tapaustarkastelun päästöjä verrataan nykytilaan (energiahyödyntäminen)**
- **CO₂ päästöt tapaustarkastelussa ja/tai energiahyödyntämisessä (nykytila):**
 - Kuljetuksen aiheuttamat päästöt (polttoaineen kulutus, ja valmistus, oleellisia suureita esimerkiksi kuorman tiheys ja tilavuus)
 - **Polttoon päätyvän muovijakeen päästöt** (energian tuotanto ja ongelmajätteen poltto)
 - **Sähkön kulutus prosessoinneissa** (esikäsittelyt, edelleen prosessoinnit) Suomen keskimääräisen sähkön aiheuttamien päästöjen mukaan.
 - **Omakäyttö:** tapaustarkastelussa. Ulkopuolista lämmitysenergiaa ei tarvita, vaan käytetään sivutuotekaasuja. Näiden aiheuttamat päästöt on arvioissa mukana maakaasun käytön aiheuttamien päästöjen mukaan laskettuna.
 - **Jatkojalostuksen tarvitsema vety** tapaustarkastelussa. Oletetaan tuotettavaksi elektrolyysillä. Päästöt valmistuksen sähkön kulutuksen mukaan
 - **Korvattava sähkön- ja lämmöntuotanto tapaustarkastelussa.** Tuotetaan vähemmän vs. nykytila, Suomen sähkön- ja kaukolämmöntuotannon keskimääräisten päästöjen mukaan)
 - **Korvattava tuotanto nykytilassa** (kierrätysmuovigranulit, kemikaalit (tai pyrolyysiöljy), ja pyrolyysikaasu ja raskas jae energiana). Tapaustarkasteluun verrattuna nämä tuotteet jäävät nykytilassa tuottamatta, ja niiden konventionaalinen tuotanto huomioidaan nykytilassa. (Huomautus: Tuotettujen tuotteiden osalta huomioidaan lähinnä sähkön kulutus ja omakäyttö päästökomponentteina, ei siis käytetä kirjallisuusarvoa esimerkiksi kierrätysmuovigranulin tuotannon päästöistä).
 - **Pyrolyysiöljy voi olla (energia-) tuotteena** (korvaa raskasta polttoöljyä, sen valmistuksen päästöt huomioidaan), se voidaan hyödyntää suoraan energiana (aiheutuvat päästöt raskaan polttoöljyn käytön ja valmistuksen aiheuttamien päästöjen mukaan) tai se käytetään jatkojalostuksessa kemikaaleiksi.
 - **Pyrolyysikaasu** (netto – oman käytön jälkeen, päästöt maakaasun mukaan) ja **raskas jae** jatkojalostuksesta (päästöt raskaan polttoöljyn mukaan) poltetaan energiaksi (tuotetaan sähkö ja lämpöä) vähentäen energiavaajasta vs. nykytila.

Mallinnettavat skenaariot

- Laskennallisessa mallissa käyttäjän asettamia muovilaatuja- ja volyymejä hyödynnetään arvioitaessa purkumuovien kierrätyksen taloudellista kannattavuutta ja CO₂-päästöjä nykytilanteen ja kahden eri skenaarion välillä:
 - **Referenssi** eli nykytilanne, jossa muovijakeita ei kierrätetä. Kaikki hyödyntämiskelpoiset muovijakeet ohjataan sekalaiseksi energijätteeksi.
 - **Mekaaninen kierrätys**. Kaikki mahdollinen ohjataan mekaaniseen kierrätykseen (putket, eristelevyt ja kalvomuovit). Hyödyntämiskelpoiset muovijakeet kierrätetään muovigranulaateiksi, tai jauhetaan täyteaineiksi. Sekalainen muovifraktio ja PVC energiahyödyntämiseen.
 - **Mekaaninen ja kemiallinen kierrätys**. Granuloitavaksi kelpaavat muoviputket ja kalvomuovit ohjataan mekaaniseen kierrätykseen. Muut hyödyntämiskelpoiset muovijakeet kemialliseen kierrätykseen kemikaaleiksi. PVC energiahyödyntämiseen.
 - **Kemiallinen kierrätys**. Kaikki mahdollinen ohjataan kemialliseen kierrätykseen päätyen kemikaaleiksi (muovin raaka-aineet olefiinit, butadieeni sekä aromaattit), poislukien PVC energiahyödyntämiseen
- Kaikissa skenaarioissa optiona on mahdollisuus ohjata PVC ongelmajätteen polttoon
- Malli ei huomio nykytilan mukaista SER- ja metallien kierrätyksen mukana kulkeutuvaa muovijaetta
 - Mahdollinen lisäpotentiaali muovin kierrätykselle, johon purkutoimija ei voi vaikuttaa suoraan
- Seuraavalla kalvolla skemaattinen kuva toteutetusta mallista



Esimerkkikohteen hyödynnettävissä olevien muovien hyödyntämispolut ja esikäsittelyt eri skenaarioissa

VTT

Käyttökohde/ sijainti	Muovilaatu	Referenssi Nykytila	Mekaaninen kierrätys	Mekaaninen ja kemiallinen kierrätys	Kemiallinen kierrätys
Muoviemärit, ilmanvaihdon muoviputket	Polypropeeni (PP)	Energiäkäyttö Murskaamaton	Mekaaninen kierrätys Murskattu	Mekaaninen kierrätys Murskattu	Kemiallinen kierrätys kemikaaleiksi Murskattu
Lattialämmitys-putket	Polyeteeni (PEX)	Energiäkäyttö Murskaamaton	Mekaaninen kierrätys (täyteaineeksi) Jauhatus	Kemiallinen kierrätys kemikaaleiksi Murskattu	Kemiallinen kierrätys kemikaaleiksi Murskattu
Eristemateriaalit	Polystyreeni (EPS, XPS)	Energiäkäyttö Kompaktoimaton	Mekaaninen kierrätys Kompaktoitu	Kemiallinen kierrätys kemikaaleiksi Kompaktoitu	Kemiallinen kierrätys kemikaaleiksi Kompaktoitu
Muovimatot	Polyvinyylikloridi (PVC)	Energiäkäyttö Sellaisenaan	Energiäkäyttö Sellaisenaan	Energiäkäyttö Sellaisenaan	Energiäkäyttö Sellaisenaan
Suodatinpaperi	PP	Energiäkäyttö Sellaisenaan	Mekaaninen kierrätys Prässätty	Mekaaninen kierrätys Prässätty	Kemiallinen kierrätys kemikaaleiksi
Kalvomuoovit	LDPE	Energiäkäyttö Sellaisenaan	Mekaaninen kierrätys Prässätty	Mekaaninen kierrätys Prässätty	Kemiallinen kierrätys kemikaaleiksi
Sekalainen muovifraktio	Seka	Energiäkäyttö Sellaisenaan	Energiäkäyttö Sellaisenaan	Kemiallinen kierrätys kemikaaleiksi Prässätty	Kemiallinen kierrätys kemikaaleiksi Prässätty

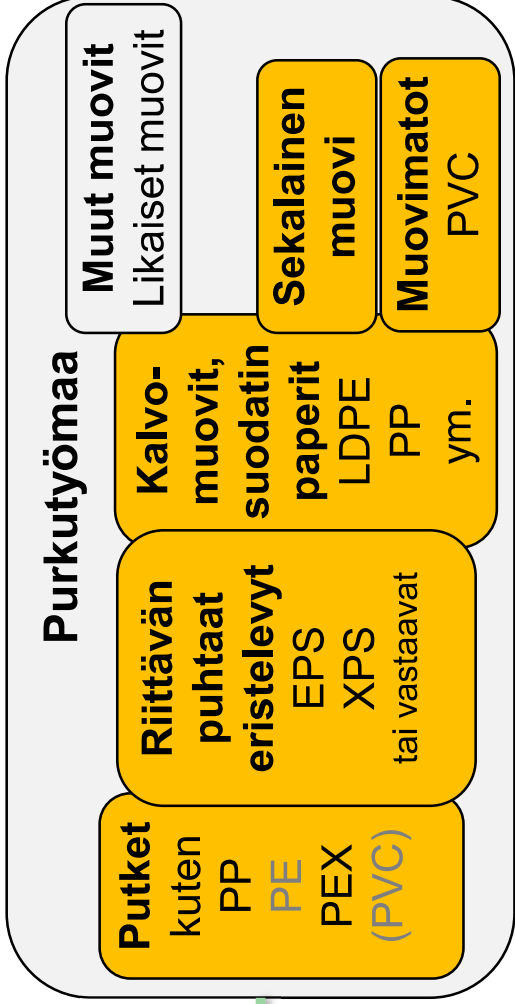
Multistruktuuri tarkastelulle

**Ongelma-
jätteen
poltto**
(jos suuria määriä
kovaa/pehmeää
PVC muovia)

SER
- sähkö- ja
elektronikka-
romu

**Metallien
kierrätys**
- Kaapelit
- ym.

Sisältää
muoveja jotka
on
mahdollista
osin kierrättää
**Ei
fokuksessa**



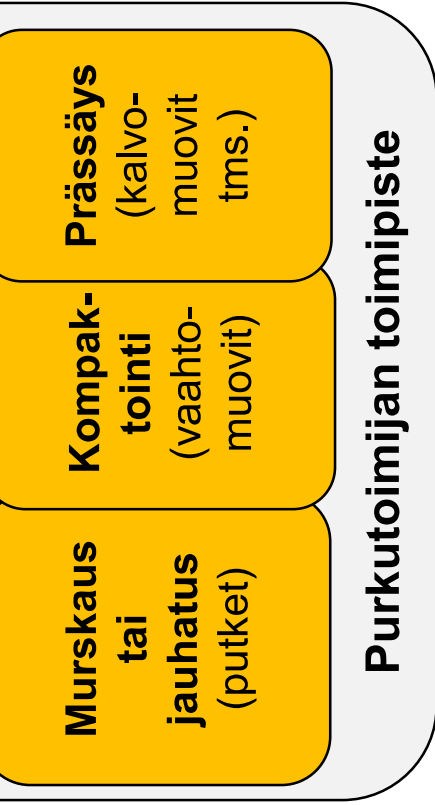
Poltto CHP

Sähkö

Lämpö

muovigranulit

**Mekaaninen
kierrätys (mkl.
jauhaus)**



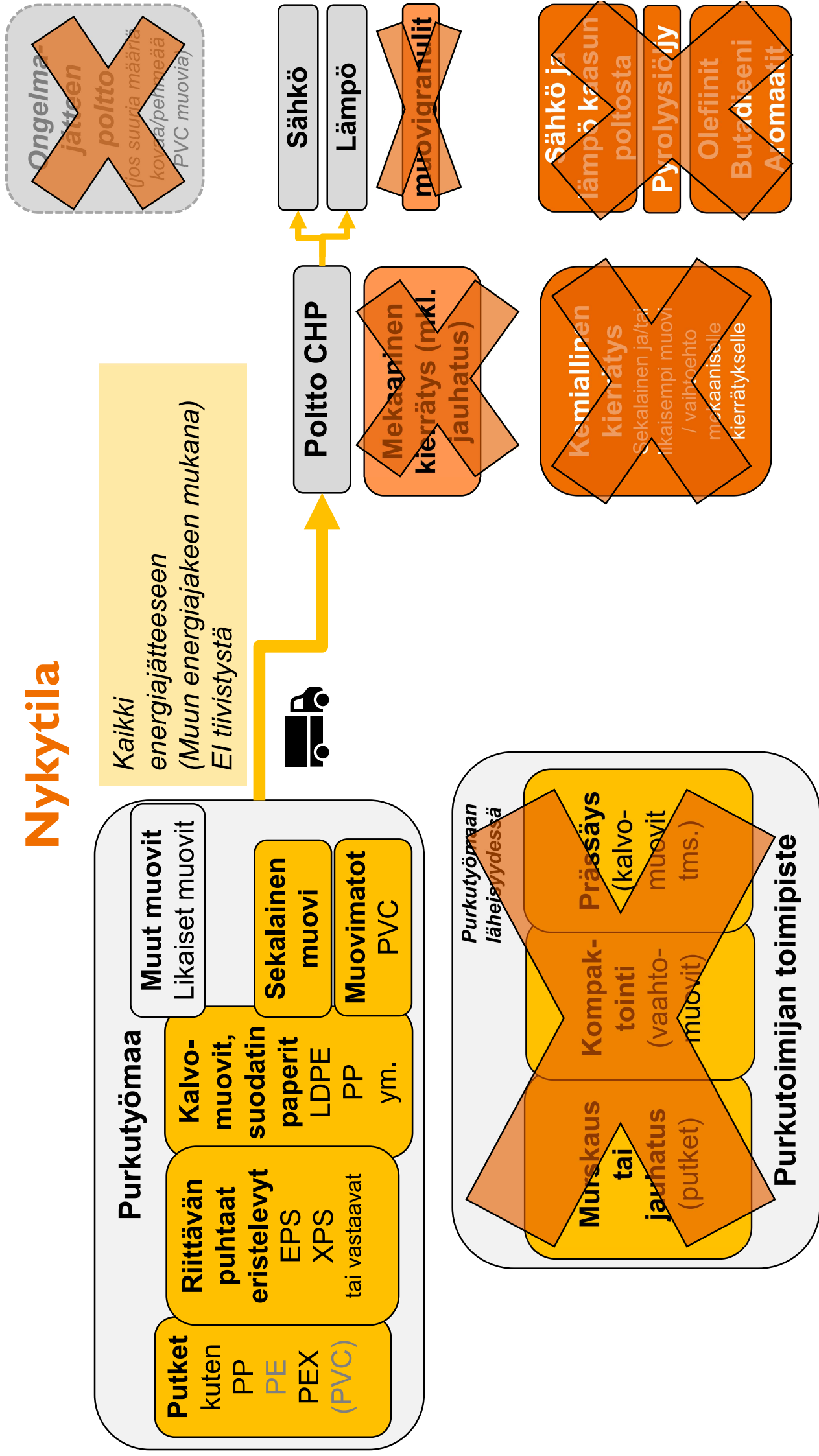
**Sähkö ja
lämpö kaasun
poltosta**

Pyrolyysiöljy

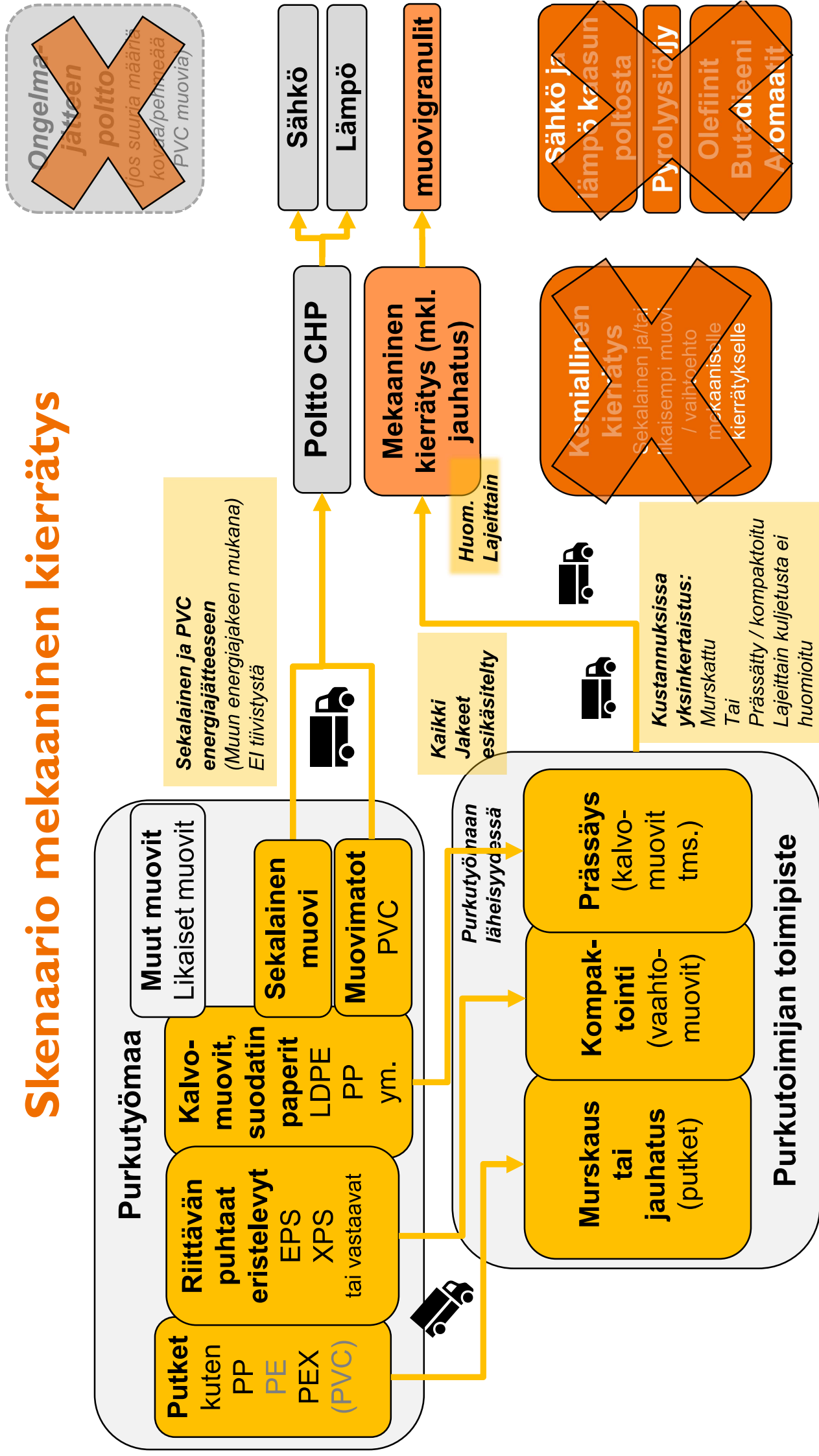
**Olefiinit
Butadieeni
Aromaattit**

**Kemiallinen
kierrätys**
Sekalainen ja/tai
likaisempi muovi
/ vaihtoehto
mekaaniselle
kierrätykselle

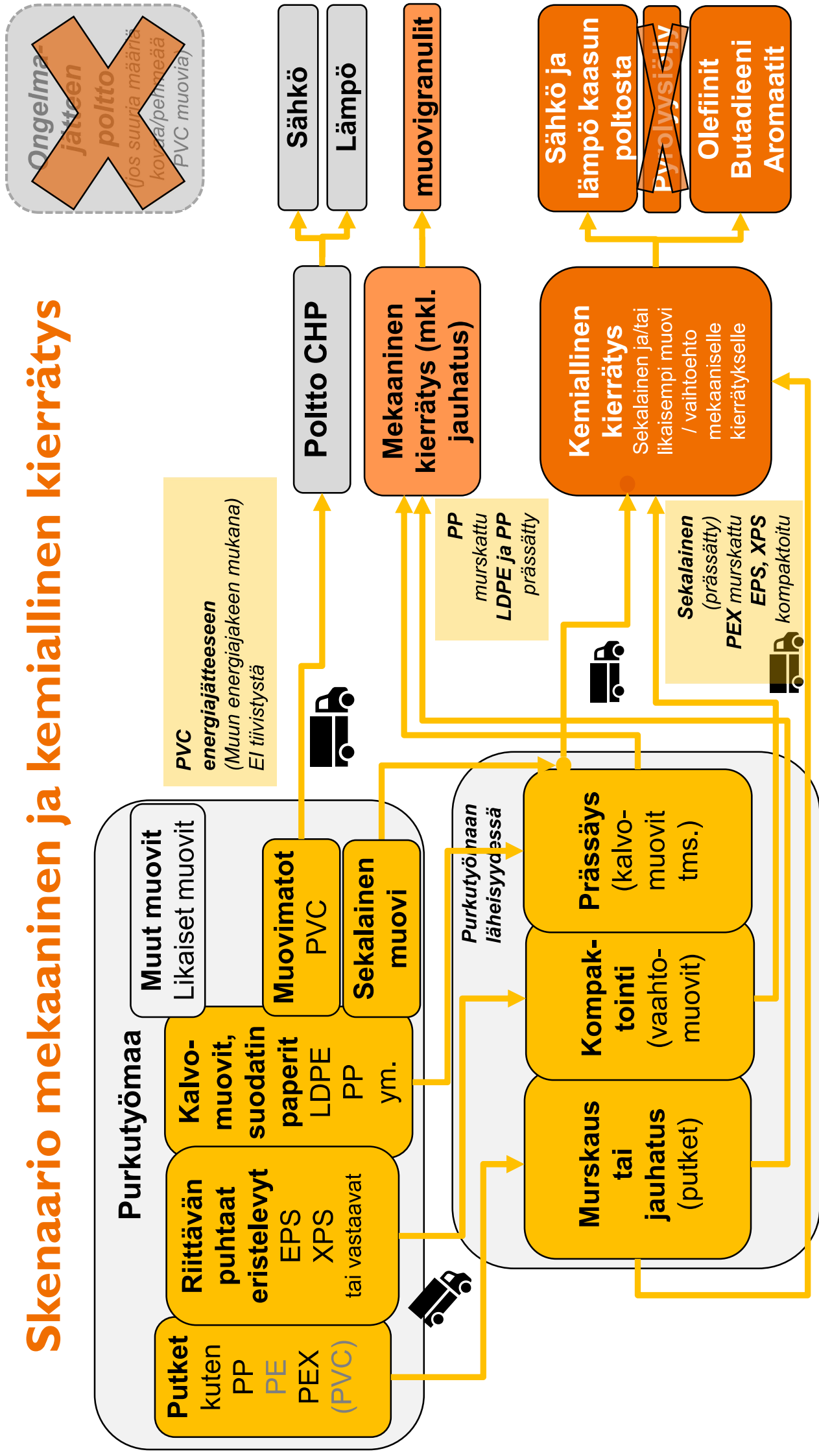
Nykytila



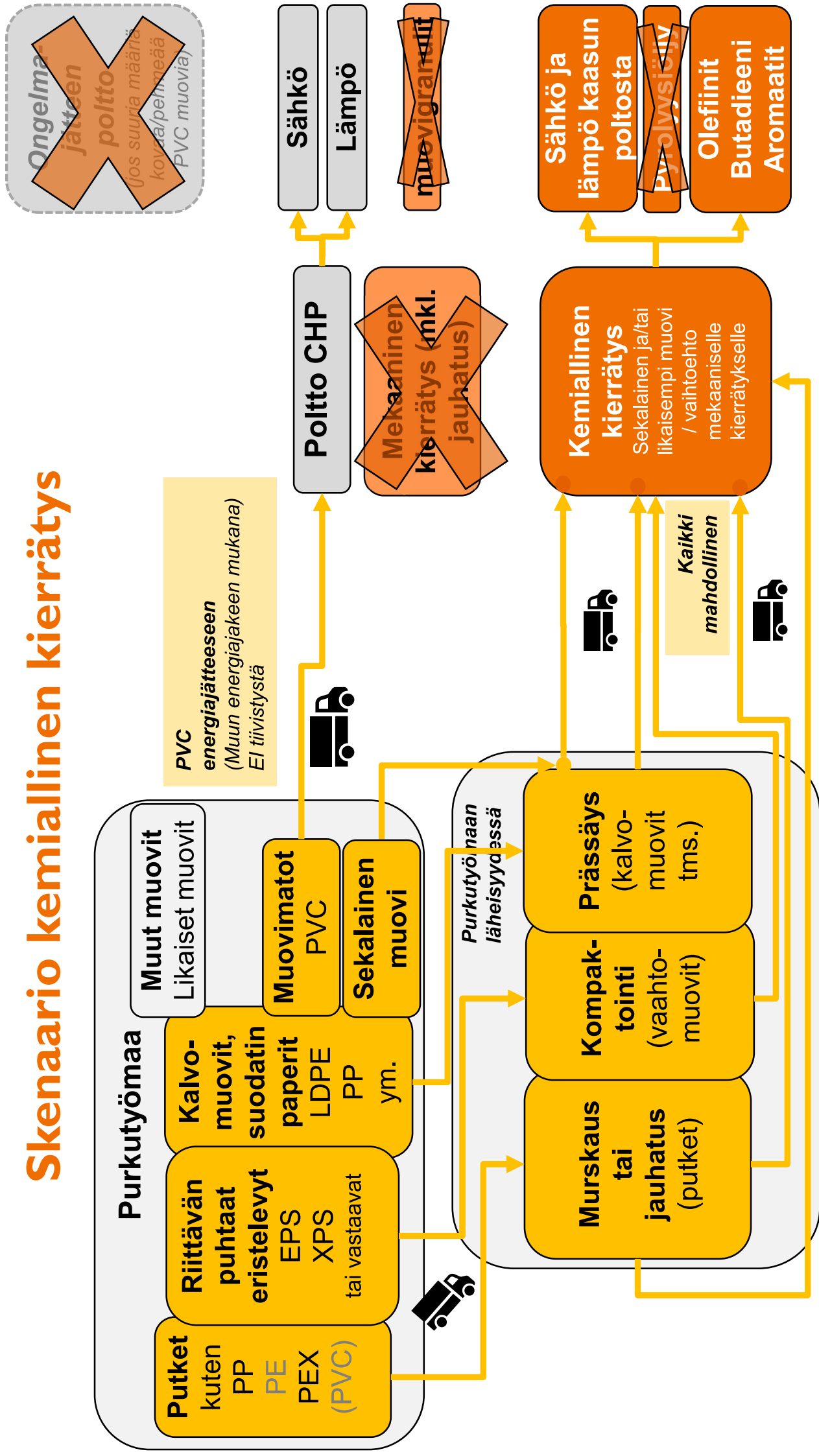
Skenaario mekaaninen kierrätys



Skenaario mekaaninen ja kemiallinen kierrätys



Skenaario kemiallinen kierrätys



Massatasevertailu

VTT

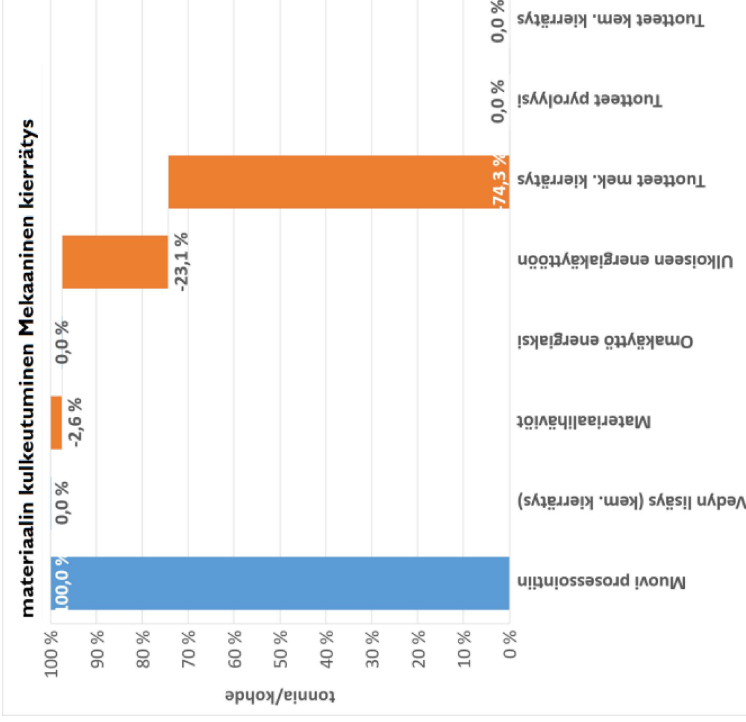
Tuotteiden massaannot (mekaanisesta ja/tai kemiallisesta kierrätyksestä yhteensä:

74,3 m-%

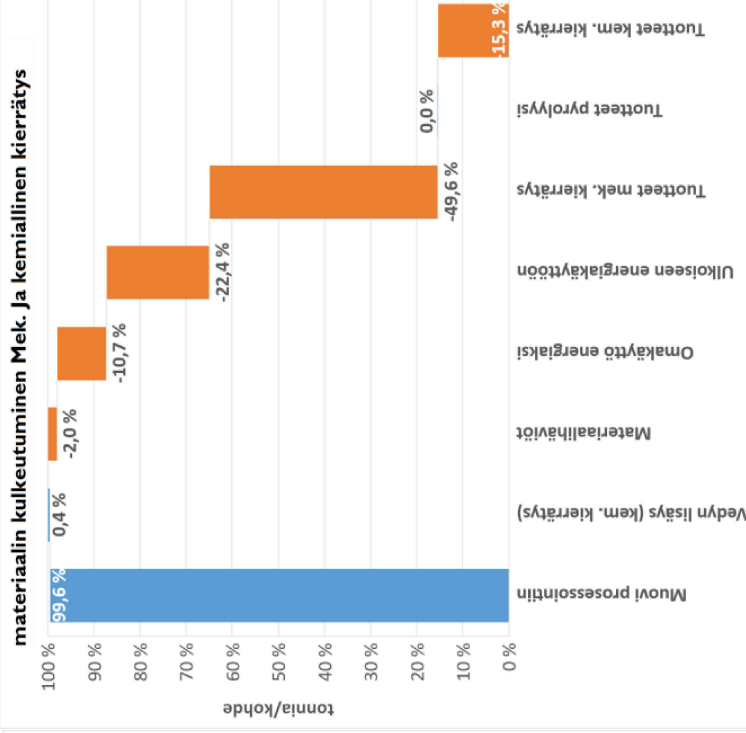
64,9 m-%

34,3 m-%

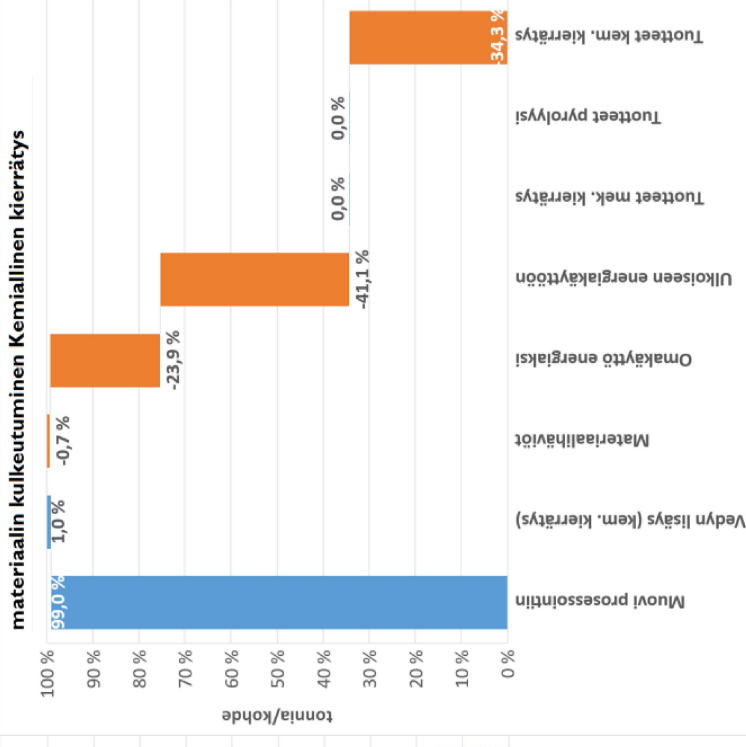
Mekaaninen kierrätys



Mekaaninen ja kemiallinen kierrätys



Kemiallinen kierrätys



Päästölaskenta

Päästövähennemä tonnia CO₂ / kohde:

37,1

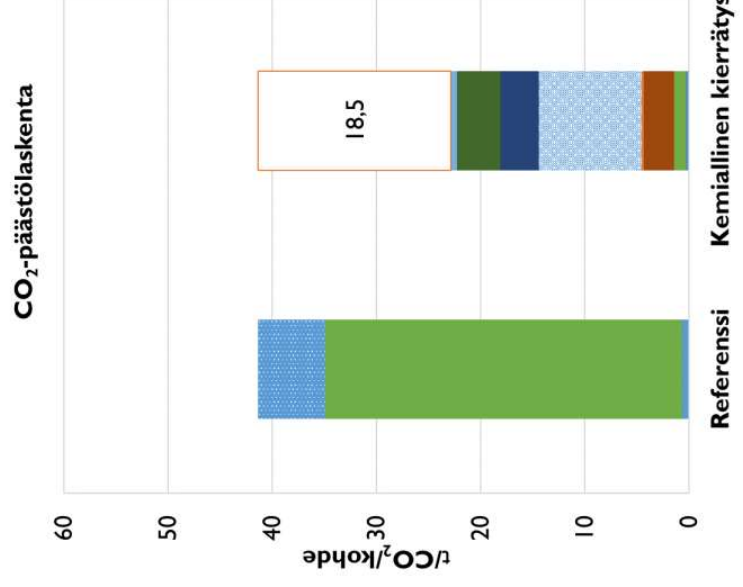
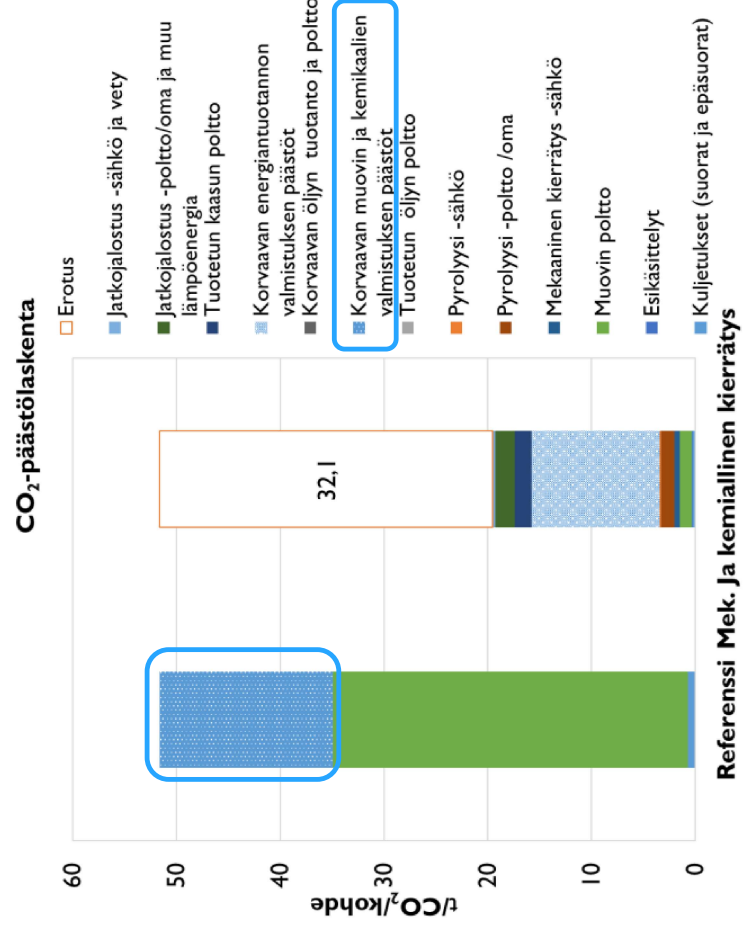
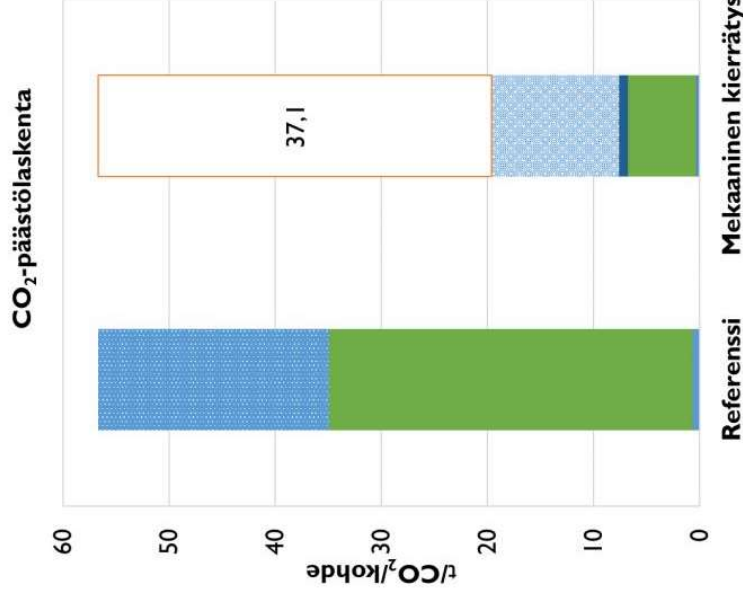
32,1

18,5

Mekaaninen kierrätys

Mekaaninen ja kemiallinen kierrätys

Kemiallinen kierrätys



Kustannukset -purkutoimija

Kustannussäästöt saman tasoisia eri kierrätysvaihtoehdoille verrattuna nykytilaan
1 990 – 2 220 € / kohde

VTT

Nykytila

0
2 402
1 395

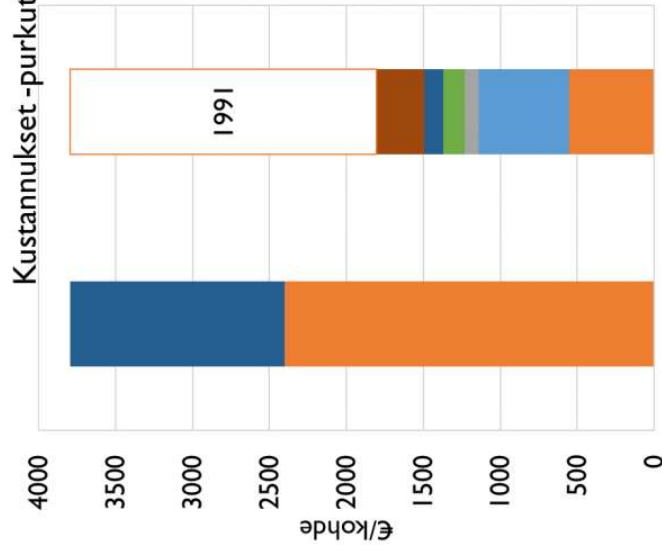
€ / kohde:

587 Esikäsitteilykulut
648 Vastaanottomaksut
572 Kuljetuskustannukset

587
486
508

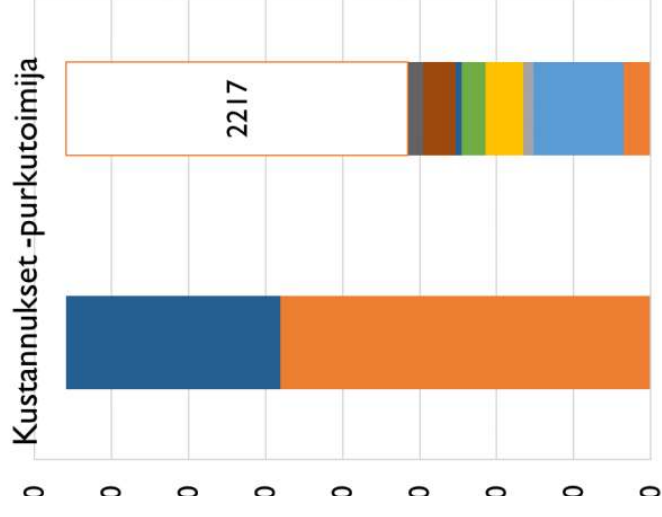
587
733
407

Mekaaninen kierrätys



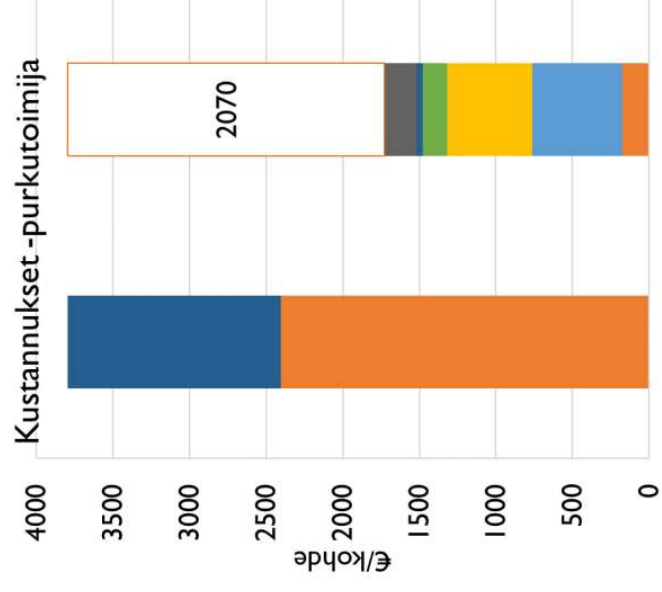
Refenssi Mekaaninen kierrätys

Mekaaninen ja kemiallinen kierrätys



Refenssi Mek. ja kemiallinen kierrätys

Kemiallinen kierrätys



Refenssi Kemiallinen kierrätys

Huomioita esimerkkikohteesta ja -skenaarioista

- Mekaanisessa kierrätyksessä syntyy suurin päästövähennelmä nykytilanteeseen verrattuna
 - Kierrätetyn materiaalin määrä on suurin, joka välillisesti pienentää päästöjä korvaten tuotteita markkinoilla, jotka nykytilanteessa oletetaan valmistettavan konventionaalisesti fossiilisista lähteistä
 - Päästövähennemää pienentää vastaavasti korvaava energiantuotanto,, joka jää eri skenaarioissa tuottamatta verrattuna nykytilaan. Lämmön- ja sähköntuotanto on huomioitu Suomen keskimääräisten päästökertointen mukaan
 - Toisaalta korvaavan energiantuotannon päästöt ovat matalammat kuin jos se olisi tuotettu muovia polttamalla (nykytila)
- Vaikka kemiallisessa kierrätyksessä päästövähennemä- ja materiaalin kierrätysastepotentiaali näyttäytyy pienempänä, on syytä muistaa, että kierrätetyt muovin raaka-aineet ja kemikaalit vastaavat konventionaalisesti tuotettuja, ja ovat siten käytettävissä kaikissa vastaavissa käyttökohteissa. Mekaanisen kierrätyksen muovigranulit soveltuvat vain osaan käyttöapplikaatioista johtuen epäpuhtauksista, lisäaineista ja usein väristä
 - Kemiallisessa kierrätyksessä korvattavan energiantuotannon osuus jää pienemmäksi kuin mekaanisessa kierrätyksessä, koska materiaaliwirrasta suurempi osuus päättyy ulkoiseen polttoon (energiantuotanto), esimerkiksi raskas tislusfraktio. Samoin omapoltto (pyrolyysikoksi ja prosessikaasut) prosessin lämmitystarpeisiin lisää päästöjä
- Kuljetusten ja sähkön käytön osuus nykytilan ja/tai skenaarioiden kokonaispäästöissä on pieni
- Eri kierrätysvaihtoehdoissa syntyy kustannussäästöjä purkutoimijalle, ollen saman tasoisia eri kierrätysvaihtoehdoille verrattuna nykytilaan 1 990 – 2 220 € / kohde. Säästö olisi käytettävissä erilliskeräyksen toteuttamiseen
 - Skenaarioissa esikäsittelykulut, vastaanottomaksut ja kuljetuskustannuksen ovat samaa suuruusluokkaa. Suurimmat erot syntyvät kemiallisen kierrätyksen muovin korkeammasta vastaanottomaksusta (50 €/tonni vs. mekaaninen kierrätys 10). Nykytilassa ei oleteta esikäsittelyä, mutta sen kustannuksia nostaa energiajätteen korkea vastaanottomaksu.
 - Esikäsittelyillä (murskaus, jauhatus, kompaktointi, prässäys) muovi kuljetukseen saadaan tiheämpään muotoon vähentäen ajettuja kokonaiskuljetuskilometrejä, vaikuttaen sekä kustannuksiin että päästöihin (oletuksena samat kuljetusetäisyydet)

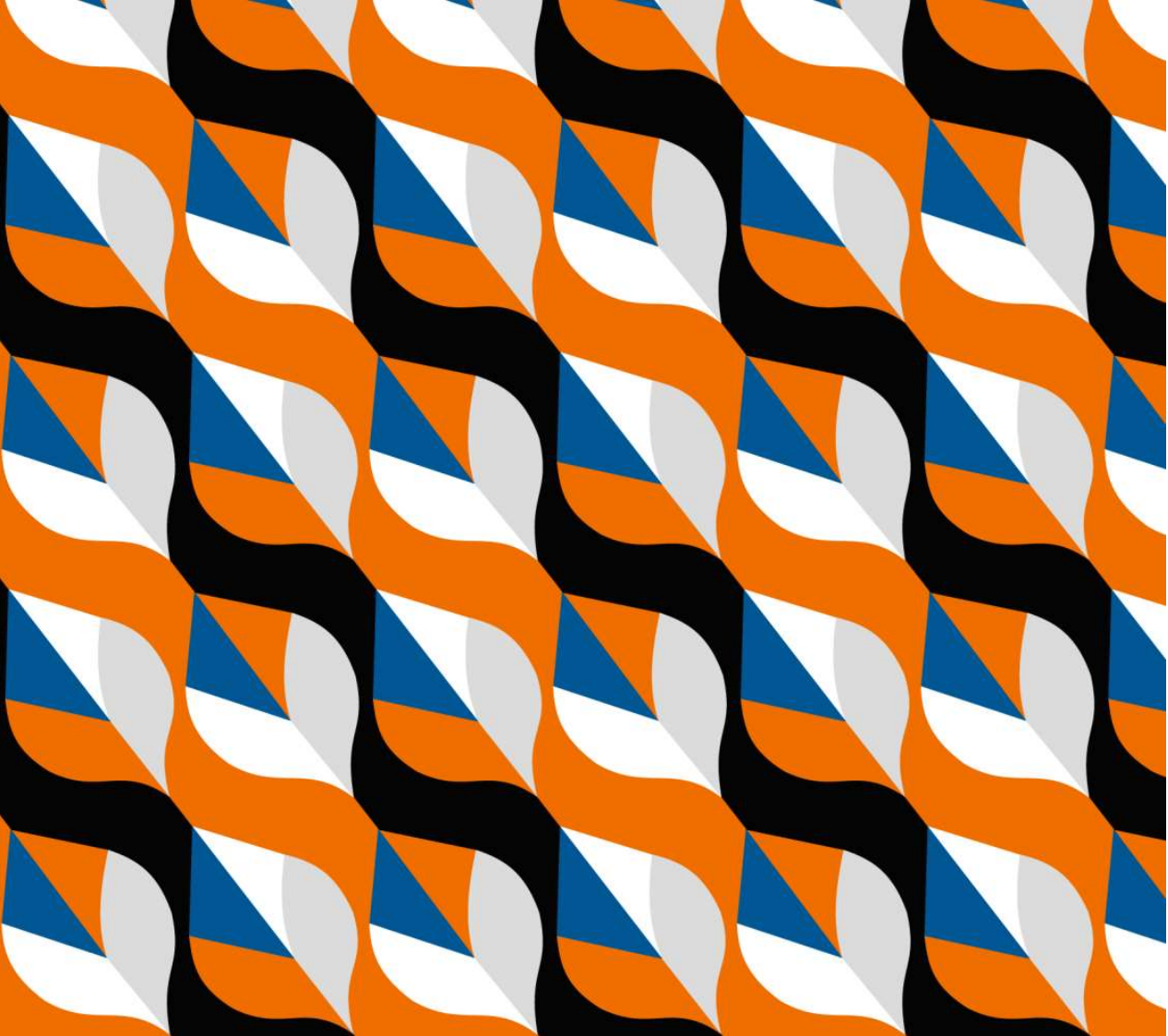
Johtopäätöksiä ja pohdintaa

- Pieni osa (alle 13 m-% laskennallinen) mallinnettavana olevan kohteen muovista oletettiin hyödyntämiskelpoiseksi
 - Syntyvät muovijakeet purkukohteissa ovat hyvin rakennusspesifejä ja riippuvat muun muassa suunnittelijan valinnoista, rakennustyyppistä (esimerkiksi toimistotalo, asuinrakennus, ym.) ja rakennuksen iästä
- Tietoa purkukohteiden sisältämistä muovijakeista on rajallisesti
 - Esimerkiksi muovilaatujen määrät ja volyymit kohteessa, purkukohteiden sijaintikeskittymät
 - Tulokset edustavat vain yhtä esimerkkikohdetta
- Hyvinkin huomattava päästövähennelmä muovien osalta on mahdollista saavuttaa lisäämällä niiden kierrätystä
 - Esimerkkikohteessa mekaaninen kierrätyksen osalta jopa 65 % kun huomioidaan korvaavuudet päästölaskennassa (kemiallinen kierrätys luokkaa 45 %)
- Purkutoimijan kustannussäästö nykytilan ja vaihtoehtoisten skenaarioiden välillä on kohtuullisen suuri
 - Tuloksissa on huomattavaa epävarmuutta ja herkkä valituille kustannusparametreille
- Huomiota tulisi kiinnittää jo rakennusten suunnitteluvaiheessa mahdollistaen paremman muovijakeiden erotuksen purkukohteessa kierrätystä varten
- Kierrätystavoitteiden kannalta purkukohteissa on myös muita materiaaleja kuin muovia

Johtopäätöksiä ja pohdintaa

- Esimerkkinä olevan kohteen hyödynnettävien muovien kartoituksessa on oletettu, että kierrätettäville muovijakeille löytyy toimijat ja markkinat Suomessa
 - Kaikki esimerkissä oletetut muovilaadut eivät välttämättä kelpaa mekaaniseen kierrätykseen
 - Toisaalta PVC putkia ja mattoja (Tarkett) on mahdollista kierrättää (mallissa oletuksena energiakäyttö)
 - Kemiallinen kierrätys on vasta lähtökuopissaan
- Kalvomuovit (esim. LDPE) ja putket eri muoveista ovat potentiaalisia purkukohteiden muovijakeita kierrätykseen
 - Esimerkkikohteessa ei ollut hyödynnettäviä LDPE kalvomuoveja, vaan niitä lisättiin keinotekoisesti
 - Myös muoviputkia on purkukohteissa useampia muovilaatuja tarjoten potentiaalia kierrätykselle (malli huomioi tällä hetkellä PP ja PEX putket)
- Kaapeli- ja SER –romun mukana poistuu muovia purkukohteesta
 - Näiden muovien kierrätyksen tilanne metallien kierrätyksen ohella ?
- Huomioitavaa päästölaskennassa. Mallissa on huomioitu polttoaineen kulutus ja sen valmistus, prosessien sähkökäytöt Suomen keskimääräisen sähkön mukaan, poltettava muovi ja vastaava sähkön ja lämmöntuotanto (keskimääräiset päästöt korvaavuuslaskennoissa), muu energia omana polttona (kaasusivujakeet, maakaasun päästökertoimen mukaan, ulkopuolista lämpöä ei tarvita), tarvittavan vedyn tuottaminen elektrolyysillä, korvattava tuotanto kuten sähkö, lämpö, muovigranulit (neitseellisen muovin valmistuksen mukaan) kemikaalit (konventionaalisen valmistuksen mukaan) ja pyrolyysiöljy (jos tuotteena niin raskaan polttoöljyn mukaan). Todelliset CO₂ e-päästöt ovat jonkin verran suuremmat korvaaville tuotteille, kun mukaan otetaan myös markkinaprosessi, mahdolliset lisäaineet ja niiden valmistus sekä kaikki kuljetuksiin (lisäaineet ym.) liittyvät päästöt jätteiden synnystä aina valmiin tuotteen toimittamiseen markkinoille asti

Liitteet



Liite I. Laskennan referenssiluettelo I/8

Parametri	Arvo	Yksikkö	Lähde
Muovijäte, päästökerroin	74.1	g/MJ	1,2
Muovijäte, tehollinen lämpöarvo	25	GJ/t	1,2
Sähköntuotannon keskimääräinen päästökerroin	85	kgCO ₂ /MWh	3,22
Kaukolämmöntuotannon keskimääräinen päästökerroin	145	kgCO ₂ /MWh	3
Muovijätteen polton kokonaishyötysuhde	90	%	4
Polttolaitoksen hyötysuhde (sähkö)	40	%	4
Polttolaitoksen hyötysuhde (lämpö)	60	%	4
Dieselin valmistus tankkiin saakka "Well to tank"	18.9	g/MJ	5
Diesel 12% bio energiasäilto	35.6	MJ/l	6
Muovin valmistus (neitseellinen, sis. suorat ja epäsuorat päästöt)			
PP	2.287	kg/kg	7
PE	2.49	kg/kg	7
PS	2.97	kg/kg	19
PVC	1.92	kg/kg	19

Liite I. Laskennan referenssiluettelo 2/8

Parametri	Arvo	Yksikkö	Lähde
Kemikaalien valmistus			
Eteeni (naftasta, höyrykrakkeri)	1,56	Kg CO ₂ /kg	32
Propeeni (naftasta, höyrykrakkeri)	2,4	Kg CO ₂ /kg	32
Butadieeni	2,95	Kg CO ₂ /kg	7
Aromaattit (syklinen C9+, naftasta, höyrykrakkeri)	1,04	Kg CO ₂ /kg	7
Vety (elektrolyysi, perustuen sähkön kulutukseen, suomen keskimääräinen sähkö)	4,34	Kg CO ₂ /kg	Sähkönkulutus 33, tuloksen vertailu 34
Mekaanisen kierrätyksen sähkönkulutus			
Murskaus	250	MJ/t	8
Jauhatus	313	MJ/t	Arvio 125% murskauksesta (8)
Esimurskatun putkirouheen murskaus	150	MJ/t	Arvio perustuen murskaukseen
Pesu	1700	MJ/t	8
Lajittelu	250	MJ/t	10
Granulointi	1400	MJ/t	8
Kompaktointi	250	MJ/t	Arvio perustuen murskaukseen

Liite I. Laskennan referenssiluettelo 3/8

VTT

Parametri	Arvo	Yksikkö	Lähde
Vaihtolavan tilavuus	33	m ³	15
Vaihtolavan tyhjäpaino	2.2	t	15
Muovijättepuristimen tilavuus	20	m ³	16
Muovin massa puristettuna	3,5	t	Asiantuntijan arvio
Muovijättepuristimen tyhjäpaino	5	t	Asiantuntijan arvio
Irtotiheys muovi	0.035	t/m ³	20
Eristelevyn tiheys (kompaktoimaton)	0.025	t/m ³	27
Jätemuovin kuiva-ainepitoisuus	95	%	Arvio
Murskauksen / jauhatuksen materiaalihäviöt	0,5	%	Arvio
Prosessihäviöt mekaaninen kierrätys	3	%	Arvio



Liite 1. Laskennan referenssiluettelo 4/8

Parametri	Arvo	Yksikkö	Lähde
PP lämpöarvo LHV	42,7	MJ/kg	29
PE lämpöarvo LHV	44,6	MJ/kg	29
PS lämpöarvo LHV	42,0	MJ/kg	29
PVC lämpöarvo LHV	19,2	MJ/kg	21
PA lämpöarvo LHV	30,2	MJ/kg	21
ABS lämpöarvo LHV	38,1	MJ/kg	29
Muut muovit lämpöarvo LHV	42,0	MJ/kg	Arvio, oletetaan samaksi kuin PS
Ei muovit lämpöarvo LHV	10,0	MJ/kg	Arvio
Sekamuovi lämpöarvo	41,1	MJ/kg	Laskennallinen arvio, Koostumus perustuen 30; lisäksi oletettu ABS 0,5%, PET 0%, PVC 2%, muut ei toivotut 5%
Poltossa CO ₂ per C tonni	366	m-% (CO ₂ /C)	Laskennallinen
Muovissa muuta kuin CnHy	5	m-%	Arvio
Maakaasu poltto päästökerroin	55,5	tCO ₂ /TJ	1
Raskaan polttoöljyn poltto päästökerroin	77	tCO ₂ /TJ	1
Kivihiilen poltto päästökerroin	93,1	tCO ₂ /TJ	1
Maakaasun tuotannon päästöt	12,7	tCO ₂ /TJ	28
Raskaan polttoöljyn tuotannon päästöt	6,6	tCO ₂ /TJ	28
Kivihiilen tuotannon päästöt	16	tCO ₂ /TJ	28

Liite I. Laskennan referenssiluettelo 5/8

Parametri	Arvo	Yksikkö	Lähde
Kemiallinen kierrätys			
Olefiinien, butadieenin ja aromaattien tuotanto suhteessa pyrolyysiöljyyn	46 *)	m%	Arvio (takaisin laskettu)
Raskaan jakeen generoituminen suhteessa pyrolyysiöljyyn (polttoon)	23	m%	Arvio (takaisin laskettu)
Polttokaasun ja muun fraktion tuotanto suhteessa pyrolyysiöljyyn (omaan energiaikäyttöön)	26 *)	m%	Arvio (takaisin laskettu)
Takaisinvirtaus jalostamolle muuhun käyttöön suhteessa pyrolyysiöljyyn	6,5 *)	m%	Arvio (takaisin laskettu)
Materiaalihäviöt suhteessa pyrolyysiöljyyn	0,7 *)	m%	Arvio (takaisin laskettu)
Vedyn lisäys suhteessa pyrolyysiöljyyn	1,5	m%	Arvio
Ominais sähköön kulutus	0,48	MWh/t syötetty pyrolyysiöljy	Arvio perustuen useisiin lähteisiin (takaisin laskettu)

*) Huom. Lisätty vety vaikuttaa osuuksiin. Nyt laskettu suhteutettuna pyrolyysiöljyyn ilman vetyä

Liite I. Laskennan referenssiluettelo 6/8

Parametri	Arvo	Yksikkö	Lähde
Kuljetuspäästöt ja polttoaineen kulutus			
Jakelukuorma-auto 15 t kantavuus 9 t	9	t	I2
Maantieajo, tyhjä	378	CO ₂ e g/km	I2
Maantieajo, täydet tonnit	449	CO ₂ e g/km	I2
Maantieajo, tyhjä	15,7	L/100 km	I2
Maantieajo, täydet tonnit	18,7	L/100 km	I2



Liite I. Laskennan referenssiluettelo 7/8

Parametri	BEST	STATIC	WORST	Yksikkö	Lähde
Jätetmaksu purkumuovijätteelle (energiaksi)	100	200	300	€/t	Vanha arvio
Jätetmaksu mekaaninen kierrätys (lajiteltu putki)	0	10	50	€/t	Vanha arvio
Jätetmaksu muu mekaaninen kierrätys	0	10	50	€/t	Vanha arvio
Jätetmaksu jauhatus	0	10	50	€/t	Vanha arvio
Jätetmaksu ongelmajätteelle (PVC)	150	175	200	€/t	Vanha arvio
Jätetmaksu pyrolyysiin menevä jae*	0	50	100	€/t	Vanha arvio
Ongelmajätteen käsittely	1000	1400	1800	€/t	Vanha arvio
Esikäsittely toimijan työmaalla	50	75	100	€/t	Vanha arvio
Toimijan oma murskaus mekaaniseen kierrätykseen (sis. putket, eristeet, pex)	100	150		€/t	Vanha arvio
Kuljetuskustannukset					
Tyhjä	0,8		1,2	€/km	Vanha arvio
Täysi	0,9		1,3	€/km	Vanha arvio

*Pyrolyysin todelliset vastaanottohinnat riippuvat tulevaisuudessa pyrolyysioperaation todellisista kustannuksista ja pyrolyysiöllyn edelleen myyntihinnasta tai sen edelleen jalostuksesta

Liite I. Laskennan referenssiluettelo 8/8

VTT

- 1 Statistics Finland. 2024. Fuel classification. https://stat.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus.html
- 2 Statistics Finland. 2021. Fuel classification. https://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus.html
- 3 Motiva. 2024. CO2 päästökertoimet. https://www.motiva.fi/ratkaisut/energian kaytto_suomessa/co2-paastokertoimet
- 4 Vantaan Energia. 2015. Tehokas yhteistuotanto. Saatavilla: <https://www.vantaanenergia.fi/ykv/ykv-2015/tehokas-yhteistuotanto/>
- 5 Prussi, M., Yugo, M., De Prada, L., Padella, M., Edwards. 2020. JEC Well-To-Wheels report v5. EUR 30284 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020, ISBN 978-92-76-20109-0, doi:10.2760/100379, JRC121213. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/7a2ecd8-fed8-11ea-b44f-01aa75ed71a1/language-en>
- 6 Teknologian tutkimuskeskus VTT. 2017. LIPASTO tietokanta –Tunnusluvut (vanhentunut linkki, ei enää saatavilla)
- 7 Ecoinvent database, v. 3.7.1
- 8 Myllymaa, T., Mollis, K., Tohka, A., Rantanen, P., Ollikainen, M. ja Dahlbo, H. 2008. Jätteiden kierrätyksen ja polton käsittelykeijujen ympäristökuormitus ja kustannukset. Inventaarioraportti. Saatavilla: <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/39792>
- 10 Jeswani, H., Kruger, C., Russ, M., Horlacher, M., Antony F., Hann, S. Ja Azapagic, A. 2021. Life cycle environmental impacts of chemical recycling via pyrolysis of mixed plastic waste in comparison with mechanical recycling and energy recovery. Science of the Total Environment (769). Saatavilla: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144483>
- 12 Teknologian tutkimuskeskus VTT. 2017. LIPASTO tietokanta –Yksikköpäästöt (vanhentunut linkki, ei enää saatavilla)
- 15 ETS Logistika. 2021. Konttien mitat. Saatavilla: <https://www.etslogistika.ee/fi/hyva-tietaa/konttien-mitat/>
- 16 Europress. 2021. Combimax&Combi. Saatavilla: <https://euopressgroup.com/fi/combimax-combi/>
- 19 Kissinger, M., Sussmann, C., Moore, J. Rees, W.E. 2013. Accounting for Greenhouse Gas Emissions of Materials at the Urban Scale-Relating Existing Process Life Cycle Assessment Studies to Urban Material and Waste Composition. <https://pics.uvic.ca/sites/default/files/uploads/publications/publications/Accounting%20for%20GHG%E2%80%A6Moore.pdf>
- 20 Koistinen 2018. Muovipakkausjätteen käsittelyvaihtoehtojen ilmastomuutosvaikutusten ja jätehuoltoyhtiölle muodostuvien kustannusten arviointi. P. 50
- 21 Ioelovich 2018. Energy Potential of Natural, Synthetic Polymers and Waste Materials –A Review. Academic Journal of Polymer Science Vol 1 Issue 1 2018
- 22 SYKE 2019. Y-HIILARI. Yrityksen hiilijalanjälkilaskuri. https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Kulutus_ja_tuotanto/Laskurit/Yhiillari
- 27 Finnfoam 2021. Koostumus ja rakenne. Saatavilla: <https://www.finnfoam.fi/tuotteet/finnfoam-eristelevyt/koostumus-ja-rakenne>
- 28 Sokka, L. Correia, S., Koljonen, T. 2018 Lämmityspolttoaineiden tuotannon elinkaariset kasviuonekaasupäästöt. VTT Technology 336. 50 s
- 29 Walters, R., Hackett, S., Lyon, R. HEATS OF COMBUSTION OF HIGH TEMPERATURE POLYMERS
- 30 Genuino, H., Ruiz, P., Heeres, H., Kersten, S. 2022. Pyrolysis of mixed plastic waste (DKR-350): Effect of washing pre-treatment and fate of chlorine. Fuel Processing Technology 233.
- 32 Mynko, O., Amghizar, I., Brown, D., et al. 2022. Reducing CO2 emissions of existing ethylene plants: Evaluation of different revamp strategies to reduce global CO2 emission by 100 million tonnes. Journal of Cleaner Production 362. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132127>
- 33 EU SRIA. 2022. Strategic Research and Innovation Agenda 2021 – 2027. Clean Hydrogen Join Undertaking. Annex to GB decision no. CleanHydrogen-GB-2022-02. Available at: https://www.clean-hydrogen.europa.eu/about-us/key-documents/strategic-research-and-innovation-agenda_en
- 34 IEA 2023. Comparison of the emissions intensity of different hydrogen production routes, 2021. Available at: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/comparison-of-the-emissions-intensity-of-different-hydrogen-production-routes-2021>





Euroopan unionin
osarahjoittama



Uudenmaan liitto
Nylands förbund



Kaikki muovi kiertää
aluekokkeilla käytäntöön

VTT

beyond the obvious

Juha Hakala
Juha.hakala@vtt.fi

12/11/2024

VTT – beyond the obvious