

VIHREÄN  
SIIRTYMÄN  
TUOTEKEHITYS

# MATERIAALINVALINTA

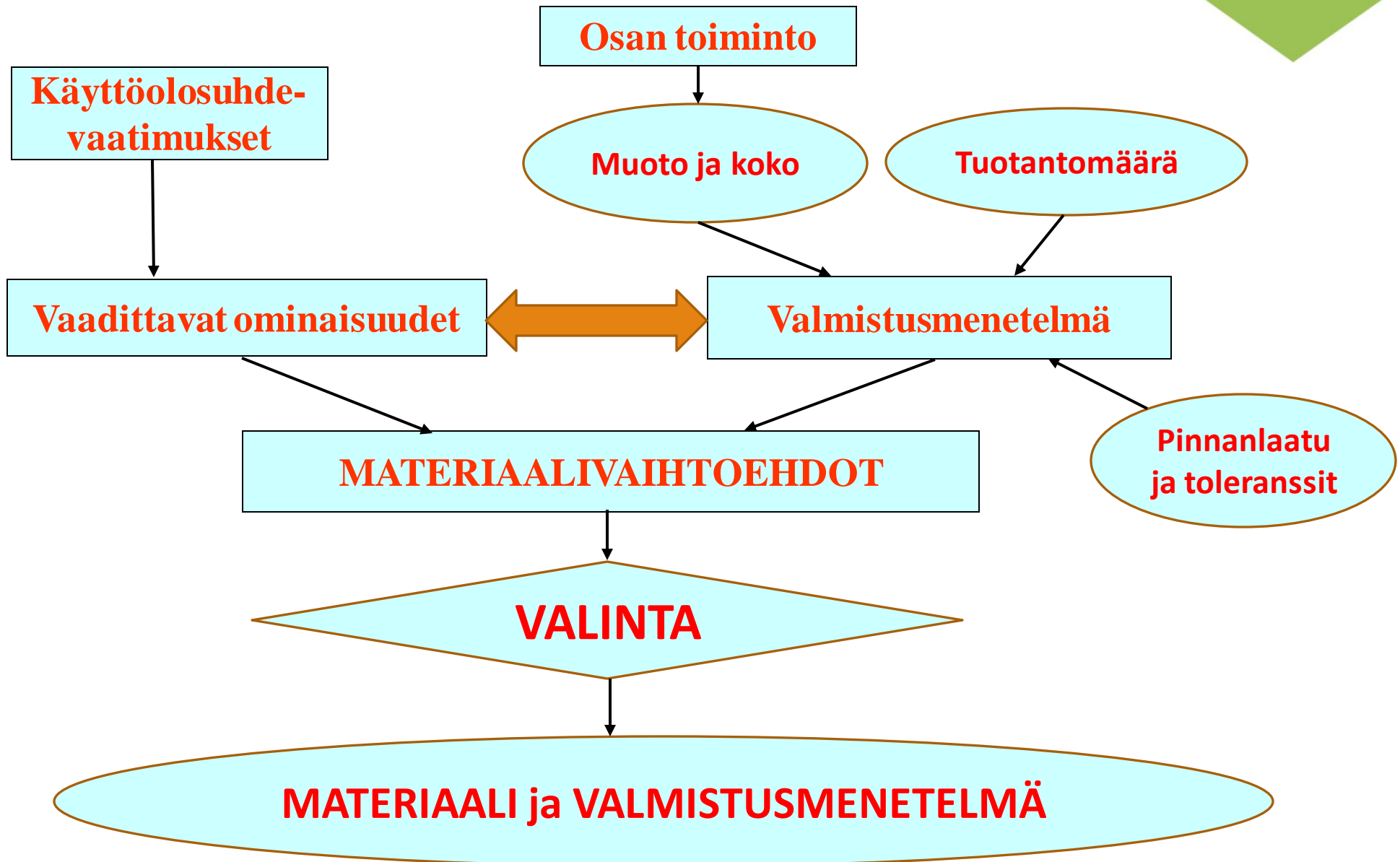


VIHREÄN  
SIIRTYMÄN  
TUOTEKEHITYS



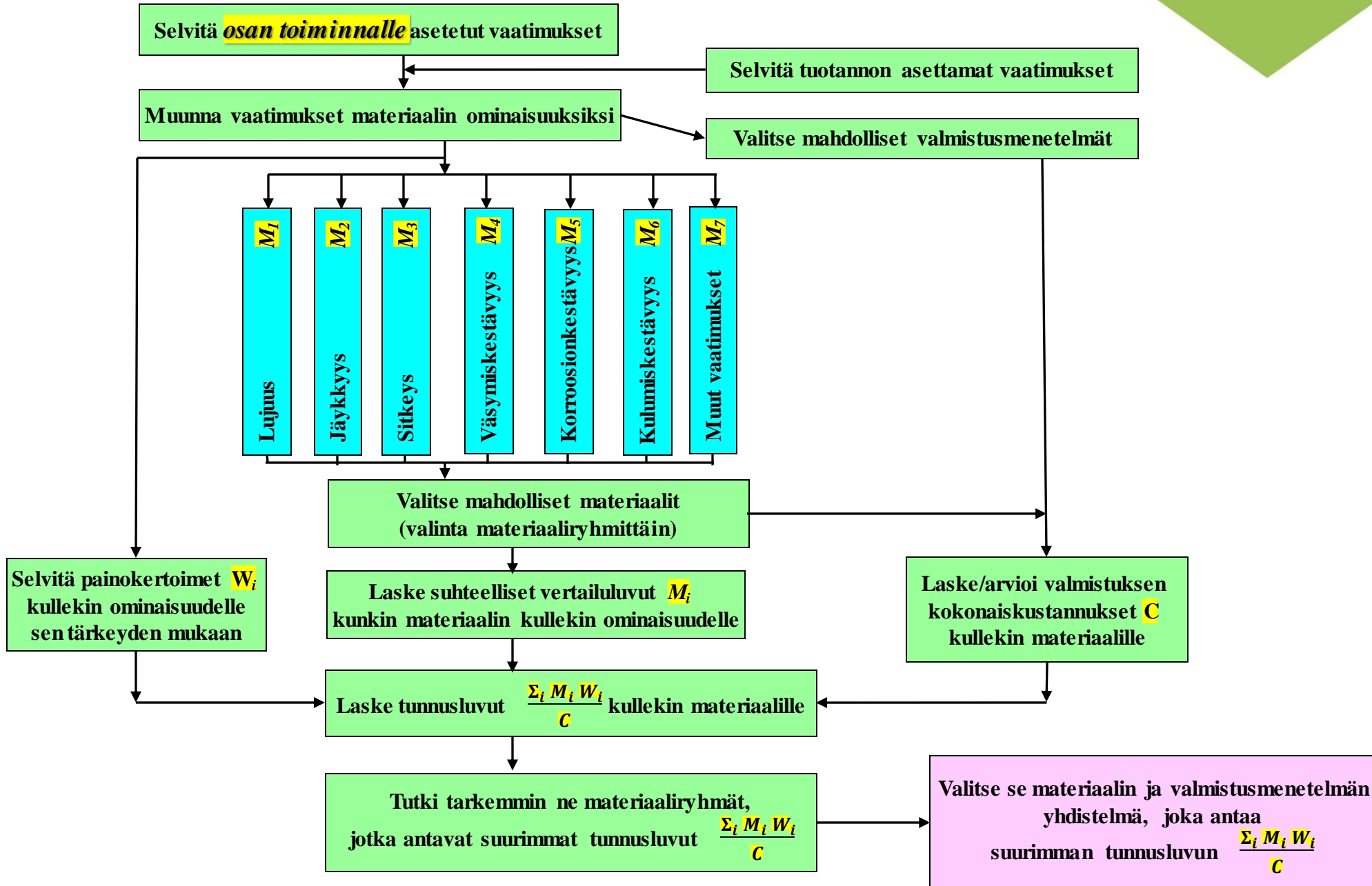
# MATERIAALINVALINTAKAAVIO

VIHREÄN  
SIIRTYMÄN  
TUOTEKEHITYS



# MATERIAALINVALINTAPROSESSI

VIHREÄN  
SIIRTYMÄN  
TUOTEKEHITYS



## OSAN TOIMINTO

- muodon säilyttäminen
- voiman/momentin siirtäminen
- kuormituksen kantaminen
- energian varastoiminen

### Esimerkkejä:

<i>OSAN TOIMINTO</i>	<i>Esimerkkejä</i>
Muodon säilyttäminen	Auton pölykapseli Arpanoppa
Kuormankantokyky	Aluslaatta
Voiman siirtäminen	Kampiakseli Hammaspyörä
Energian varastoiminen (elastinen)	Jousi
Energian varastoiminen (plastinen)	Auton turvakorin kokoontuettava osa
Energian varastoiminen (kineettinen)	Jarruhihna ja -rumpu

## OSAN TOIMINTOON LIITTYVIÄ TEKIJÖITÄ

### YMPÄRISTÖ

<i>Mekaaniset tekijät + aika + lämpötila</i>	<i>Vaikutus</i>
Jännitys, jännityskeskittymät	Viruminen, relaksaatio, väsyminen
Vaihteleva kuormitus	Korroosioväsyminen
Iskut	Muotovirheet, sisäinen rakenne
Hankaus	Kuluminen

### YMPÄRISTÖ

<i>Kemialliset tekijät + aika + lämpötila</i>	<i>Vaikutustekijä</i>
Makroympäristö: Atmosfääri/väliaine Epäpuhtaudet Roiskeet	Meri- tai sisämaan ilmasto, Makea tai merivesi Syöttövesi
Mikroympäristö: Ilmastonvaihtelut Kuljetusympäristö	Kosteuden tiivistyminen Paikalliset konsentraatiohuiput

# OSAN TOIMINTOON LIITTYVIÄ TEKIJÖITÄ

VIHREÄN  
SIIRTYMÄN  
TUOTEKEHITYS

## YMPÄRISTÖ

<i>Säteilytekijät + aika + lämpötila</i>	<i>Vaikutus</i>
Valo	Värien haalistuminen
Ultraviolettisäteily	Muovien vanheneminen
Infrapunasäteily	Muovien pehmeneminen, metallien vanheneminen, lämpöpattereiden emissiokyky
Röntgensäteily	Orgaanisten materiaalien haurastuminen
Radioaktiivinen säteily	Muovien hajaantuminen, metallien haurastuminen

## YMPÄRISTÖ

<i>Sähköiset/magneettiset tekijät + aika + lämpötila</i>	<i>Vaikutus</i>
Virta, varaus	Voimansiirto, staattinen sähkö
Elektrodynaaminen voimavaikutus	Kytkenäkiskot, generaattorin johtimet
Sähkövirran lämpövaikutukset	Kipinöinti kontakteissa
Elektroforeesi	Puskuriliuoksen muuttuminen
Eristäminen	Eristemateriaalin hajaantuminen
Vuotovirrat	Galvaanisen korroosion vaara

## OSAN TOIMINTOON LIITTYVIÄ TEKIJÖITÄ

YMPÄRISTÖ	
<i>Biologiset tekijät + aika + lämpötila</i>	<i>Vaikutustekijä</i>
Mikro-organismit	Puun lahoaminen, Suljettujen hydraulijärjestelmien öljyn pilaantuminen anaerobisten bakteerien vaikutuksesta
Makro-organismit	Linnut suihkumoottoreissa, Jyrsijät Levät ja pieneliöt laivojen pohjissa

# OSAN VAATIMUS <> MATERIAALIOMINAISUUS

VIHREÄN  
SIIRTYMÄN  
TUOTEKEHITYS

VAATIMUKSIA / ASETETTAVIA TEKIJÖITÄ	MATERIAALIOMINAISUUDET
<b><i>Toiminnot</i></b> + aika + lämpötila	
<b><i>Muodon säilyttäminen</i></b>	Kovuus, kulumiskestävyys, tiheys, lämpölaajenemiskerroin, kimmomoduuli
<b><i>Kuormankantokyky</i></b> Jännitys Jännityskeskittymät Vaihteleva kuormitus Iskumaiset kuormitukset Kuluminen	Kimmo- ja liukumoduuli Myötöraja, väsymislujuus Sitkeys, loviherkkyys, haurastumistaipumus Väsymislujuus, lovenvaikutusluku, lämpöväsymiskestävyys Haurasmurtumistaipumus, iskusitkeys, transitiolämpötila Kulumiskestävyys, kovuus, kitkakerroin
<b><i>Voiman siirtäminen</i></b>	Kovuus, myötölujuus, kimmomoduuli
<b><i>Energian varastoiminen</i></b> Elastinen Plastinen  Kineettinen	Joustotyö Murto- ja myötölujuuden suhde, murtokurouma, murtovenymä, iskusitkeys Kitkakerroin, kestävyys lämpötilojen vaihteluita vastaan
<b><i>Kemialliset tekijät</i></b>	Korroosionkestävyys
<b><i>Säteilytekijät</i></b>	Vanhenemistaipumus, optiset ominaisuudet

## OSAN VAATIMUS <> MATERIAALIOMINAISUUS

VAATIMUKSIA / ASETETTAVIA TEKIJÖITÄ	MATERIAALIOMINAISUUDET
<b><i>Toiminnot</i></b> + aika + lämpötila	<i>Vaikutus</i>
<b><i>Sähköiset ja magneettiset tekijät</i></b>	Sähkönjohtavuus, magneettinen permeabiliteetti, ym.
<b><i>Biologiset tekijät</i></b>	Myrkyllisyys, korroosionkestävyys
<b><i>Valmistettavuus</i></b>	Mm. Valettavuus: sulamispiste, jähmettymisalue, juoksevuus, lämpökapasiteetti, sulamislämpö, jne. Kylmämuovattavuus: muokkauslujittumiskyky, anisotrooppisuus, rajamuovattavuuspiirros Lastuttavuus: eri lastuamisteknologioiden koetulokset
<b><i>Kustannukset</i></b>	Kilohinta, valmistus-, lämpökäsittely- ja viimeistelykustannukset

# MATERIAALINVALINTA KESTÄVÄSSÄ TUOTEKEHITYKSESSÄ

**Kestävä kehitys** sisältää kolme pääperiaatetta, joita kutsutaan kestävän kehityksen kolmeksi E:ksi (engl.):

1. *Environment* = *ympäristö*,
2. *Equity* = *tasapuolisuus ja*
3. *Economics* = *talous*.

*2017 aineellisten resurssien maailmanlaajuinen käyttö ylitti 90 mrd t:n rajan.  
Sen odotetaan kasvavan vähintään kaksinkertaiseksi vuoteen 2050 mennessä.*

**Kestävät materiaalit** ovat nyt tärkeämpiä kuin koskaan, puhumattakaan tulevaisuudesta:

- Uusien ympäristölle vähemmän myrkyllisten/haitallisten *materiaalien löytäminen*,
- Olemassa olevien materiaalien ja tuotteiden *uusiokäyttö* ja *uusiovalmistus* jätteen minimoimiseksi.

Jopa yksittäisen tuotteen materiaalien valinnassa joutuu pitämään mielessään niiden vaikutukset:

- ilmastoon,
- maaperään,
- vesistöön,
- lajien monimuotoisuuteen ja
- biogeokemiallisiin kiertokulkuihin.

## MATERIAALINVALINTA KESTÄVÄSSÄ TUOTEKEHITYKSESSÄ

**Materiaalien käytön  
vähentäminen**

Vaikutusten ennakoiva arviointi

Uusien monitieteellisten ratkaisujen soveltaminen

Tuotteen suunnittelussa ja kehittämisessä huomioitavaa:

- Materiaalin ominaisuudet
- Valmistuksen helppous
- Kustannukset
- Muut tuotteen käyttöalueeseen liittyvät ominaisuudet
- Ympäristövaikutukset

Jokaisella materiaalilla ja lopputuotteella on **ympäristöjalanjälki**, jolle on tunnusomaista:

- Valmistus
- Käsittely,
- Muotoilu
- Kestävyys/lujuus
- Uudelleenkäytettävyys

# MATERIAALINVALINTA KESTÄVÄSSÄ TUOTEKEHITYKSESSÄ

T&K-vaiheessa kestävä kehitys otetaan huomioon:

- Älykkäämpinä tuotantotekniikoina,
- Kierrätettävyytenä,
- Materiaalien pitkäikäisyytenä, biohajoavuutena ja alhaisempina CO<sub>2</sub>-päästöinä ja
- Vakiintuneena kiertotaloutena.

## ***Materiaalien kiertotalous:***

- ei välttämättä tarkoita luonnossa biohajoavien materiaalien käyttöä,
- vaan materiaaleja, joita voidaan käyttää uudelleen useita kertoja.

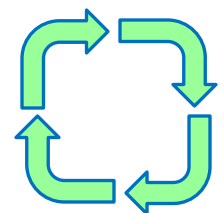
*Kiertotaloutta edistävässä materiaalien valinnassa valinnan pitäisi kohdistua materiaaleihin, joita voidaan käyttää uudelleen ilman lisäkäsittelyä tai mahdollisimman vähäisellä lisäkäsittelyllä.*

***Uusiokäyttö** vähentää materiaalien määrää niin rikastus- kuin hävitysvaiheessa ja edesauttaa niiden pysymistä mahdollisimman pitkään kiertokulussa (Make/*valmista*-Use/*käytä*-Recycle/*kierrätä*).*

**Uudelleenkäytettävyys** menee kierrätettävyyden ja valmistettavuuden edelle.

Sillä varmistetaan, että

- materiaaleja käytetään uudelleen riittävästi ja
- riittävän tehokkaasti ennen kierrätystä tai uusiovalmistusta.



# MATERIAALINVALINTA KESTÄVÄSSÄ TUOTEKEHITYKSESSÄ

M. F. Ashby (*Materials and Sustainable Development*):

"Kiertotalouden materiaaleja ei nähdä kertakäyttöhyödykkeinä, vaan arvokkaina hyödykkeinä, joita seurataan ja säilytetään uudelleenkäyttöä varten."

## Esimerkkejä



### **Rauta ja Teräs**

materiaaliominaisuudet muuttuvat ajan myötä.



### **Alumiini**



### **PET-muovi**

muovilaatu.



### **PLA**

aineista. Erittäin pieni hiilijalanjälki.

# MATERIAALINVALINTA KESTÄVÄSSÄ TUOTEKEHITYKSESSÄ

## Kierrätettävyys

*Kierrätyksen etuna* verrattuna uudelleenkäyttöön on se, että siinä missä uudelleenkäytetyt tuotteet käytetään vain alkuperäisen systeemin rajoissa, kierrätetyt tuotteet voivat palata alkutuotannon kautta kiertoon ja siten niitä voidaan hyödyntää laajemmin. Tosin, tämä tapahtuu kuitenkin energiankulutuksen kustannuksella.

Materiaalin *kierrätettävyyden merkitys korostuu* sellaisten käyttökohteiden materiaali-  
valinnoissa, joissa jätteiden hävittäminen aiheuttaa vaarallisia ympäristövaikutuksia.

Kotitalousjätteiden kuusi pääluokkaa **muovit, lasi, metalli, paperi, tekstiilit ja orgaaniset aineet** ovat kaikki kierrätettäviä materiaaleja. Sen sijaan, että ne hävitettäisiin, niistä voidaan nykyään tehdä uusia tuotteita uudelleenkäyttöä varten.

Viisi eniten kierrätettävää *teollista materiaalia* ovat:

1. Teräs
2. Alumiini
3. PET (Polyetyleenitereftalaatti) –muovi
4. HDPE (High Density polyethylene) –muovi
5. Lasi

# MATERIAALIEN HIILIJALANJÄLKI

VIHREÄN  
SIIRTYMÄN  
TUOTEKEHITYS

*Yksi merkittävimmistä kasvihuonekaasupäästöjen lähteistä on **materiaalien tuotanto**.*

1995-2015 materiaalituotannon **CO<sub>2</sub>-päästöjen** on havaittu kasvavan 120%, mikä vastaa 23% maailmanlaajuisista päästöistä. Niistä <sup>2</sup>/<sub>5</sub> käytetään koneiden, ajoneuvojen ja muiden tuotteiden valmistuksessa.

Yksi tunnetuimmista ja yleisimmin käytetyistä tekniikoista materiaalin ympäristövaikutusten arvioimiseksi on **elinkaariarviointi LCA** (Life Cycle Assessment).

Se on kehdosta hautaan -analyysimenetelmä, joka määrittää ympäristökuormituksen tuotteen elinkaaren jokaisessa vaiheessa:

1. raaka-aineiden hankinnasta,
2. jalostuksen ja valmistuksen kautta aina,
3. sen jakeluun ja
4. käyttöön sekä
5. hävittämiseen asti.

On tärkeää seurata, arvioida ja minimoida tuotteen **CO<sub>2</sub>-päästöjä** koko sen elinkaaren ajan.

LCA=elinkaariarviointi on kvantitatiivinen arviointi, jolloin se vaatii paljon aikaa ja taitoa toteutuakseen oikein ja luotettavasti.

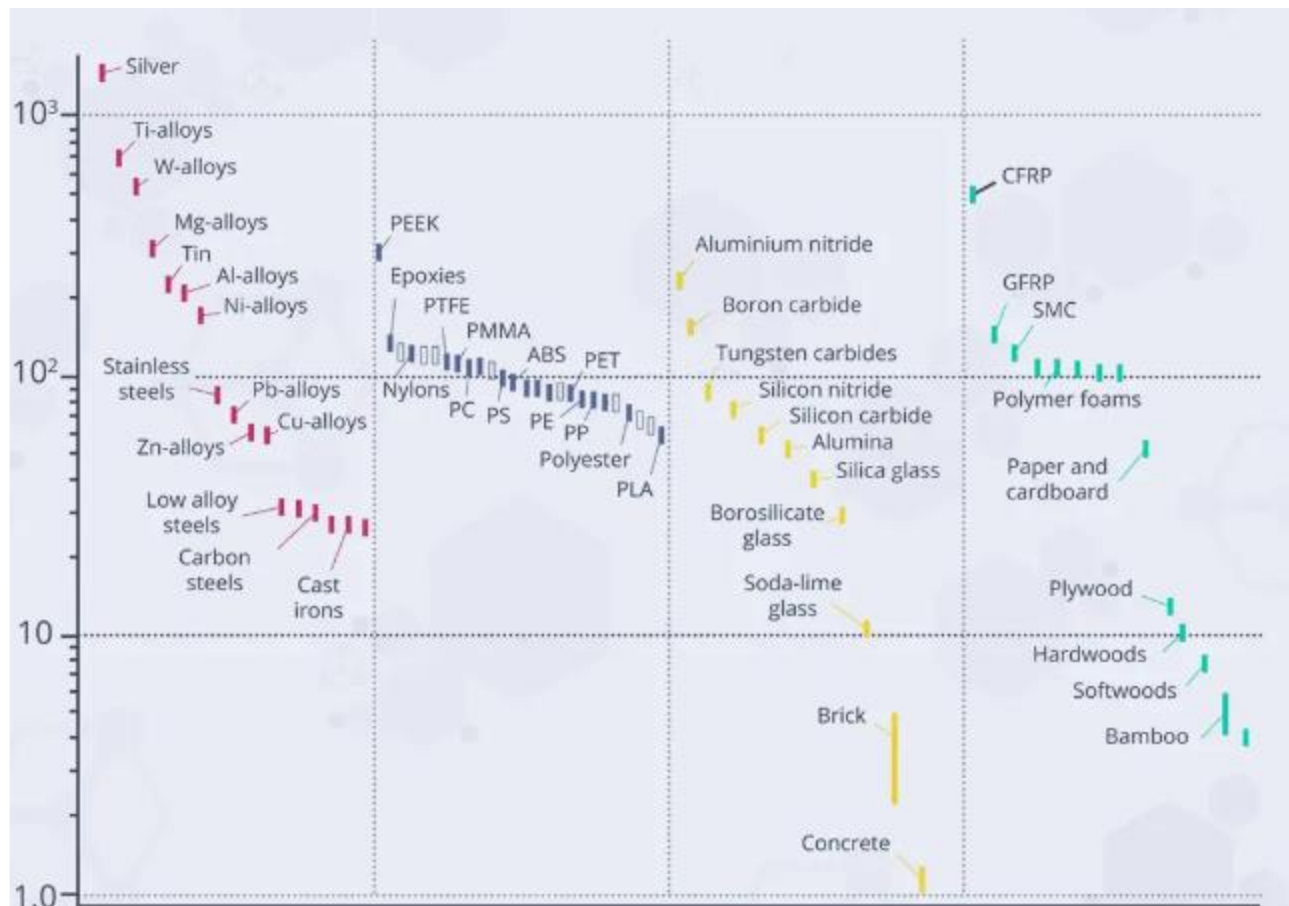
Vähemmän ympäristöä  
kuormittavien materiaalien  
valinta t&k-prosessin alussa



• Hiilijalanjäljen laskenta  
• LCA-määrittäminen  
• Sitoutuneen energian määrittäminen

# MATERIAALEIHIN SITOUTUNUT ENERGIA

## Eri materiaaleihin sitoutunut energia massayksikköä kohti



on materiaalin aikaansaantiin (esim. louhiminen), jalostamiseen hyödynnettäväksi aineeksi, käsittelyyn, tuotantoon ja toimittamiseen (vrt. jakelu) liittyvän energian kokonaismäärä.

Tuotteeseen sitoutuneen energian **minimointi** on materiaalivalinnan kannalta ratkaisevan tärkeää sen ympäristövaikutusten minimoimiseksi.

# BIOHAJOAVAT MATERIAALIT

## Määritelmä:

Biohajoavat materiaalit hajoavat tietyssä ajassa biologisen vuorovaikutuksen (bakteerien entsyymitoiminta, hydrolyysi) seurauksena.

Materiaali voi hajota kokonaan tai osittain riippuen sen:

- biohajoavuuden tasosta,
- sitä koskettavista mikro-organismeista ja
- ympäristöolosuhteista.

Esimerkiksi uusiutuvista luonnonvaroista peräisin oleva **biohajoava polymeeri-materiaali** luokitellaan yleensä **vihreäksi polymeeriksi**, koska sitä luonnehditaan vaihtoehtona petrokemian resursseista johdetuille materiaaleille. Koska biohajoavat polymeerit voidaan luonnollisesti kompostoida, niillä voidaan rikastaa maaperää ja siten niillä on selvä etu hajoamisessa muihin polymeereihin verrattuna.

Materiaalien biohajoavuus määritetään **biohajoavuustesteillä**. Ne mittaavat monimutkaisia biokemiallisia prosesseja, joissa mikro-organismit kuluttavat tiettyä materiaalia.

**Tuotteen hajoamiskyky** riippuu pääasiassa siitä, kuinka paljon **hiiltä** on läsnä mikrobeille sen kuluttamiseksi.



## BIOHAJOAVAT MATERIAALIT

Kaksi tärkeintä biohajoavaa polymeeriä ovat:

1. **PLA** (polylaktidi) ja
2. **PHA** (polyhydroksialkanoaatti)



1 kk    1,5 kk    2 kk    2,5 kk

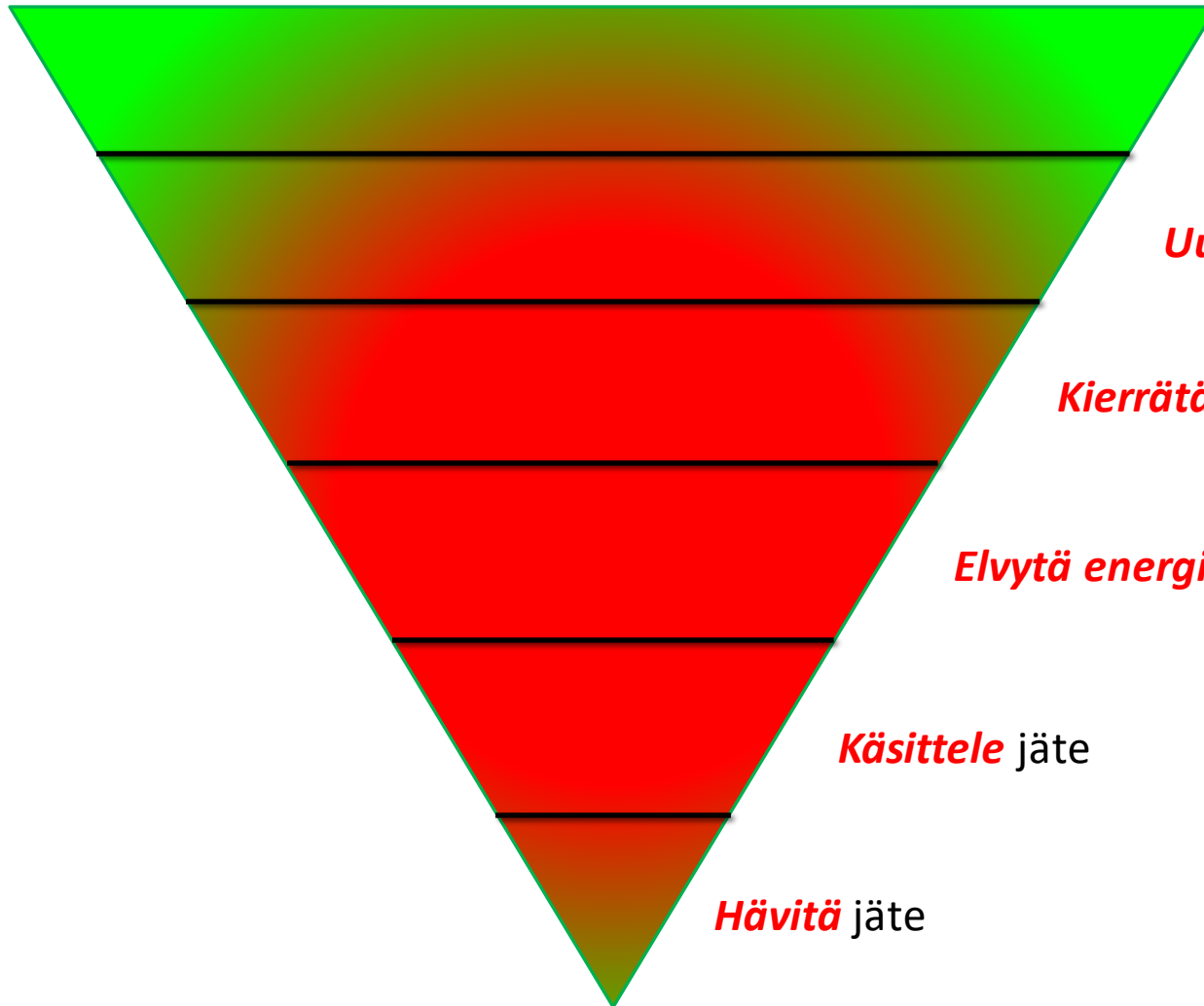
Biohajoava  
PLA

PLA:n ja PHA:n tapauksessa näiden alifaattisten polyesterien tuotantoa pidetään "hiilineutraalina", koska ne on johdettu uusiutuvista kasvimateriaaleista ja ne ovat biohajoavia eli ne ovat muutettavissa takaisin hiilidioksidiksi.

Toisin sanoen hiilen nettomäärä ympäristössä pysyy vakiona pitkällä aikavälillä.

Periaatteessa tällaisilla materiaaleilla on merkittävä rooli sellaisilla alueilla, joilla ei ole infrastruktuuria kierrätykseen tai kierrätettävät materiaalit eivät ole hyvä materiaalivaihtoehto. Ne katsotaan kiertotalousratkaisuna huonoiksi.

# Jätehierarkia



**Vältä ja vähennä** jätteen tuottamista

**Uusiokäytä** jäte

**Kierrätä** jäte

**Elvytä energian** lähteet

**Käsittele** jäte

**Hävitä** jäte

# Kestävän tuotekehityksen perusperiaatteet

1. Vältä myrkyllisten materiaalien käyttöä. Jos kuitenkin joudut niitä käyttämään, varmista suljettu systeemi.
2. Valmistamisen ja kuljetuksen aikaisen energia ja resurssien minimointi (vrt. 'inhouse' valmistaminen).
3. Korkeatasoisia materiaaleja ja kehittyneitä rakenteita pitää suosia, jotta voidaan minimoida lopputuotteen paino.
4. Tuotteen käytön aikaisen energian ja resurssien minimointi.
5. Tuotteen korjaamiseen(/korjaamismahdollisuuteen) ja jatkuvaan kehittämiseen kannattaa panostaa ja rohkaista.
6. Kestävän kehityksen periaattein suunnitellun tuotteen eliniän on oltava pidempi kuin 'tavallisella' tuotekehitysprosessilla luodun tuotteen. Tuotteen elinikää voi kasvattaa mm. valitsemalla pitkäkestoisemmat materiaalit, miettimällä kokoonpantavien osien liitokset järkeviksi tai käyttämällä kestävämpiä liitoselimiä.



# Kestävän tuotekehityksen perusperiaatteet

7. Tuotesuunnittelijoiden ja –muotoilijoiden olisi käytettävä sellaisia tuoterakenteita, jotka vähentävät huollon tarvetta ja siten pidentävät tuotteen elinikää.
8. Tuotteet pitää suunnitella modulaarisiksi, helposti jatkokehitettäviksi, korjattaviksi ja kierrätettäviksi. Suunnittelijan keinot: osiin luoksepääsevyys helpoksi, tuoteperheajattelu, huollon etukäteishuomiointi, osien merkkkaus, jne.
9. Materiaalikirjo pidettävä mahdollisimman pienenä ja valittava kierrätettäviä materiaaleja.
10. Toisiinsa liitettävien osien määrä minimoitava. Liitokset suunniteltava purettaviksi ilman osien rikkomista. Liitoksen purkuohjeet!