Kas biopõhised plastid suudavad asendada fossiilset päritolu materjale?

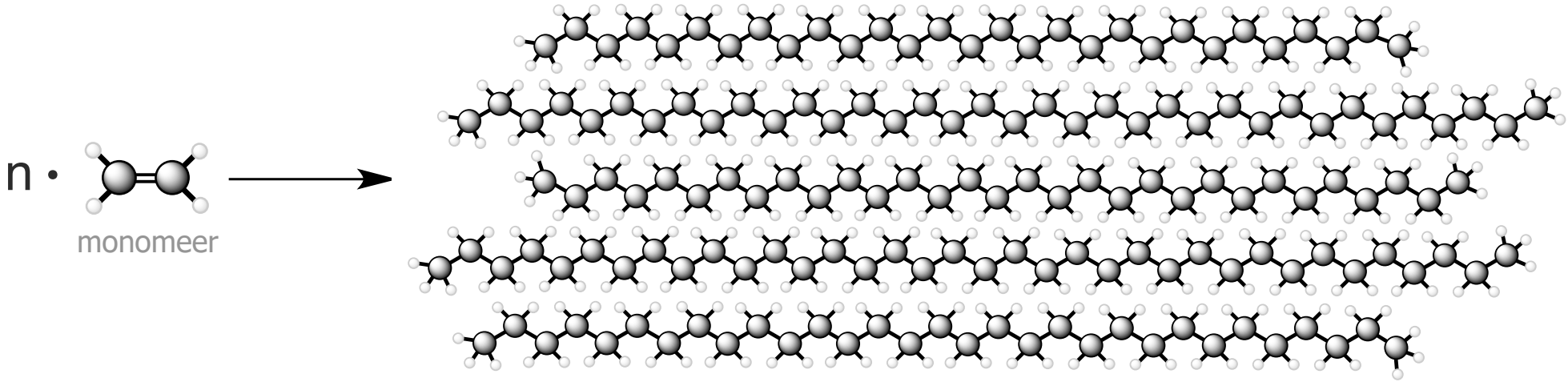
Töötuba I-8

III teadushariduse konverents

Lauri Vares lauri.vares@ut.ee
Livia Matt livia.matt@ut.ee
Tartu Ülikooli Tehnoloogiainstituut
Jätkusuutliku keemia labor

13. veebruar 2026

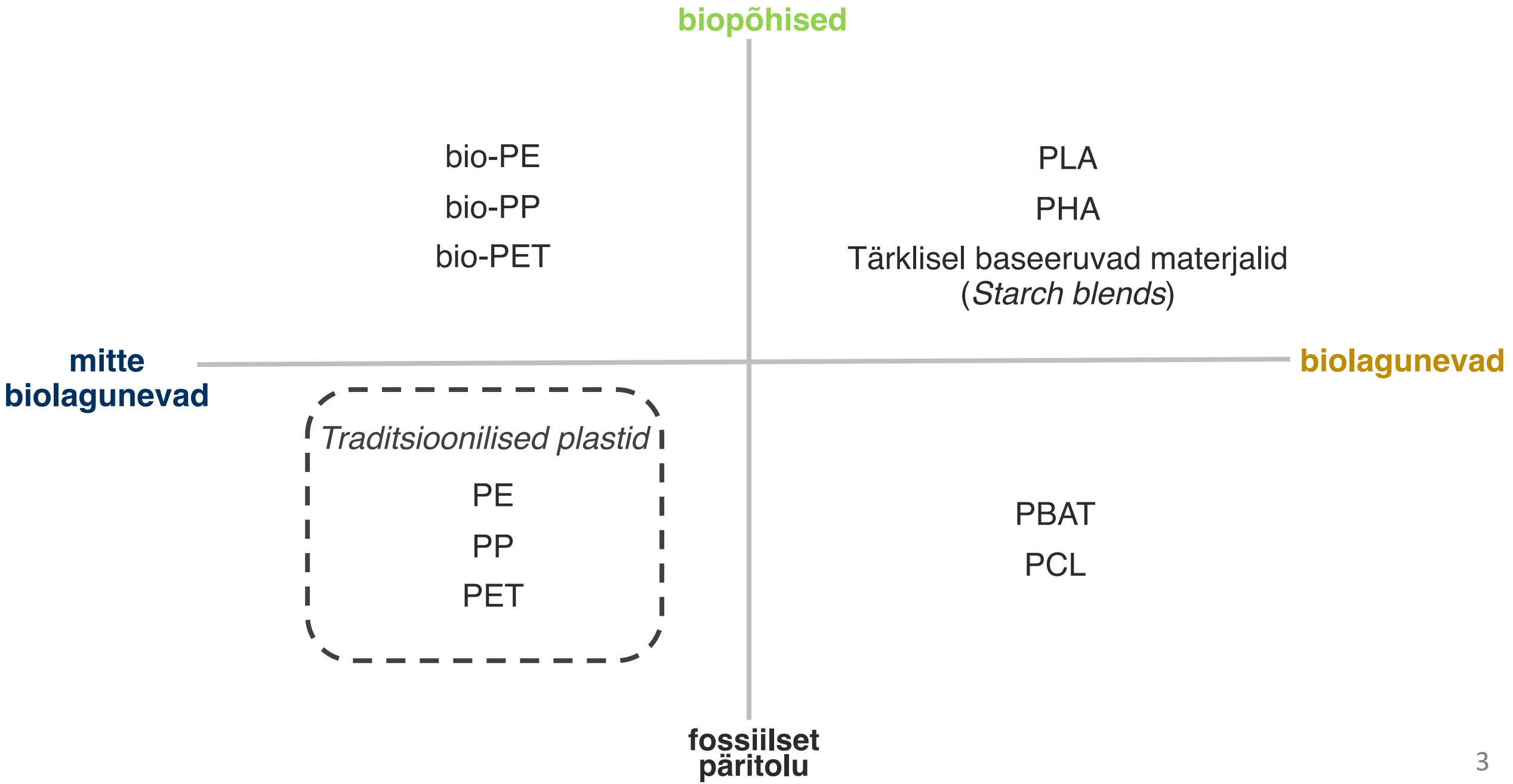
Plast = polümeer + lisandid (täiteained, värvained, plastifikaatorid jne)



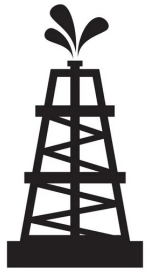
- **Biopõhine** (*biobased*) – täielikult või osaliselt valmistatud taastuvatest toormetest (puidu biomass, taimeõlid, tärklis, tselluloos, põhk, toiduainetööstuse jäägid jne), mitte fossiilsetest toormetest (nafta, maagaas jms).
- **Biolagunemine** (*biodegradability*) – mikroorganismide kaasabil toimuv lagunemine CO_2 ja H_2O-ks.
  NB! See sõltub polümeerse **materjali struktuurist** ja mitte sellest, kas konkreetse polümeeri tegemiseks on kasutatud biotooret või fossiilset tooret.

*Iga materjal laguneb – aga kui palju see aega võtab?

- **Biopolümeer** (*biopolymer*) - polümeer, mida elusorganismid/rakud toodavad looduslikult (näiteks tärklis, tselluloos, kollageen, valgud jne).


biopõhised
bio-PE
bio-PP
bio-PET
PLA
PHA
Tärklisel baseeruvad materjalid
(*Starch blends*)
mitte biolagunevad
biolagunevad
Traditsioonilised plastid
PE
PP
PET
PBAT
PCL
fossiilset päritolu

FOSSIILNE ALLIKAS



Süsinik:	82-87 %
Hapnik:	0.05-1.5 %
Vesinik:	12-15 %

Väga hüdrofoobne

Funktsionaalsuse suurendamine:

Lisada funktsionaalgruppe
ja heteroaatomeid

Palju arendatud,
välja arendatud tööstus

BIOMASS



Süsinik:	~50 %
Hapnik:	~40 %
Vesinik:	~10 %

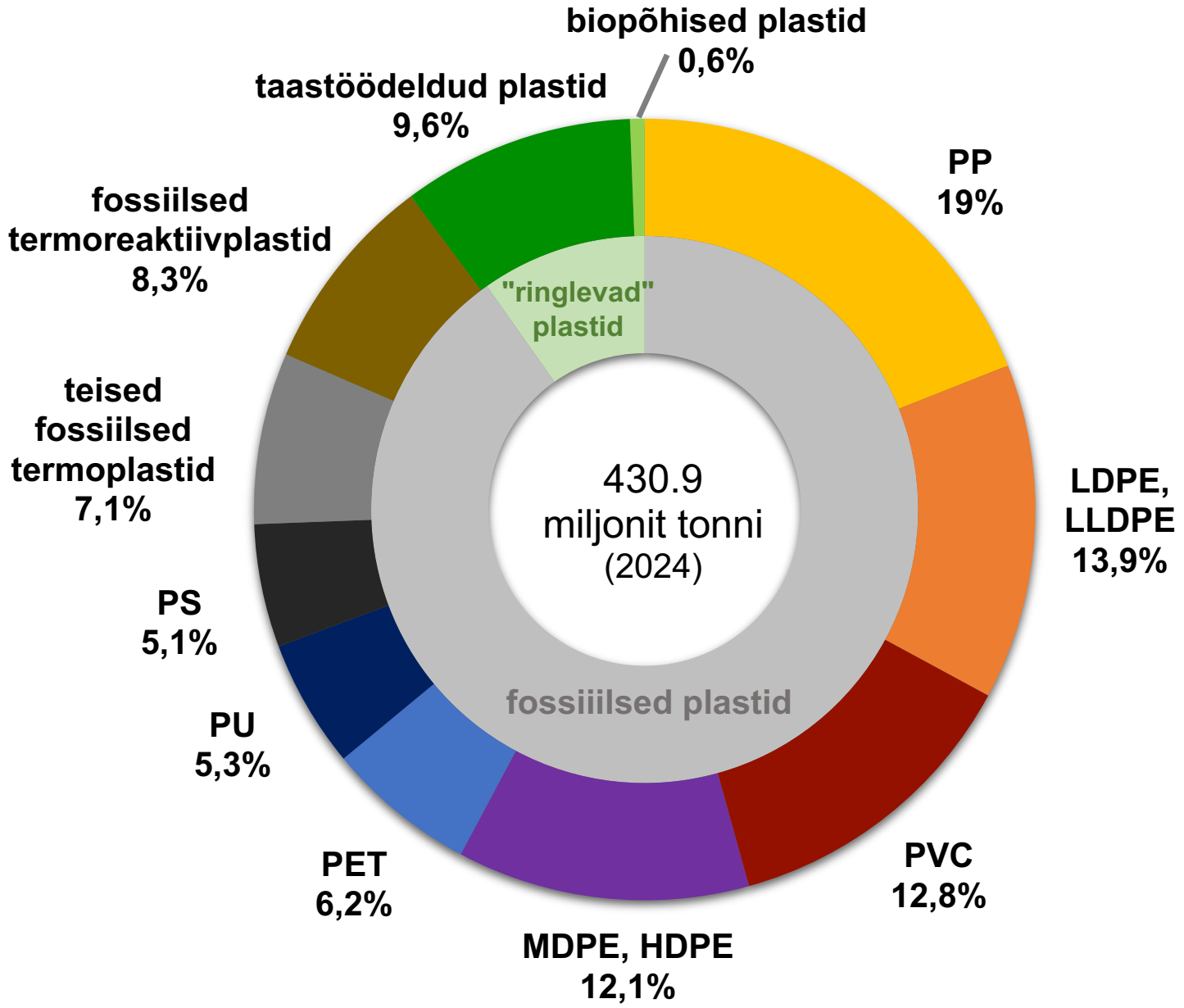
- *Väga hüdrofiilne*
- *Koostis varieerub sõltuvalt lähtematerjalist*

Funktsionaalsuse vähendamine:

Vähendada funktsionaalgruppe
ja hapniku sisaldust

Vähem arendatud: **<u>uued võimalused</u>**

*näiteks: materjalid, mida saab keemiliselt ümber töödelda või mis lagunevad kindlatel tingimustel


biopõhised plastid
0,6%
taastöödeldud plastid
9,6%
PP
19%
fossiilsed
termoreaktiivplastid
8,3%
"ringlevad"
plastid
teised
fossiilsed
termoplastid
7,1%
430.9
miljonit tonni
(2024)
LDPE,
LLDPE
13,9%
PS
5,1%
fossiiilsed plastid
PU
5,3%
PET
6,2%
PVC
12,8%
MDPE, HDPE
12,1%

Ligi 1 miljon tonni plastikut toodetakse maailmas ühes päevas



Johan Cruyff Arena Amsterdamis

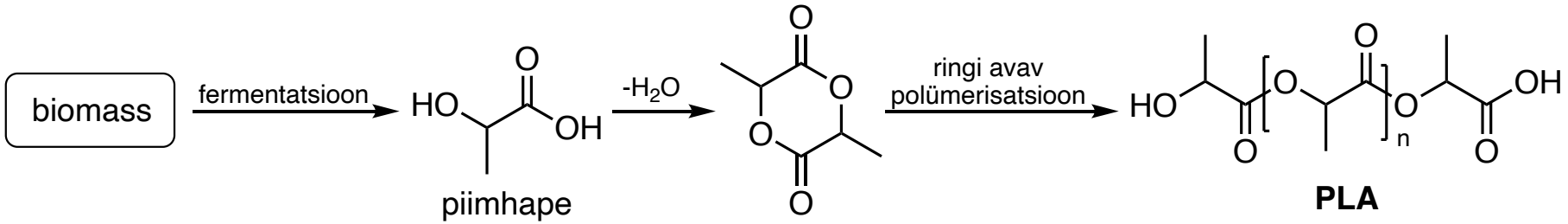


polümeerigraanulid

Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry 2023, 40:100743.

PLA (*polylactic acid*) – polüpiimhape





T_g = 55 °C

PLA lagunemine

- Ei lagune tavapärastes tingimustes, aga saab lagundada spetsiifilistes tingimustes (vajalik ensüüm ja temperatuur)
- Ei ole võimalik lagundada koduses komposteris
- Pinnases on lagunemine väga aeglane (liiga madal temperatuur ja puudub sobiv ensüüm)
- Vees väga stabiilne (ei lahustu).

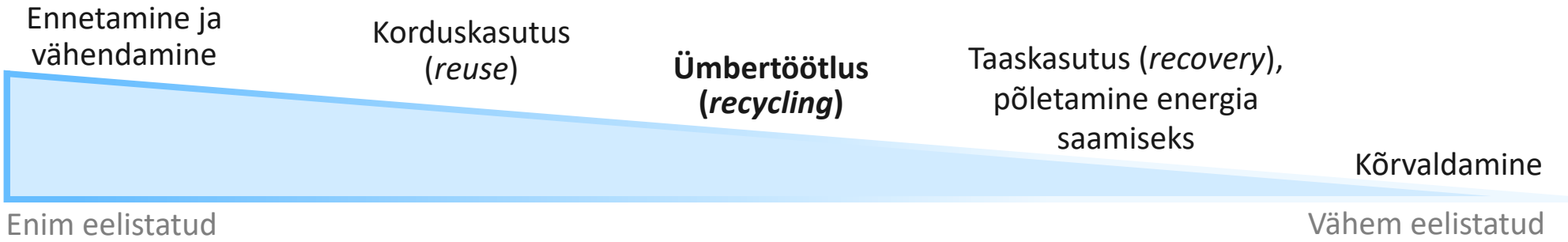


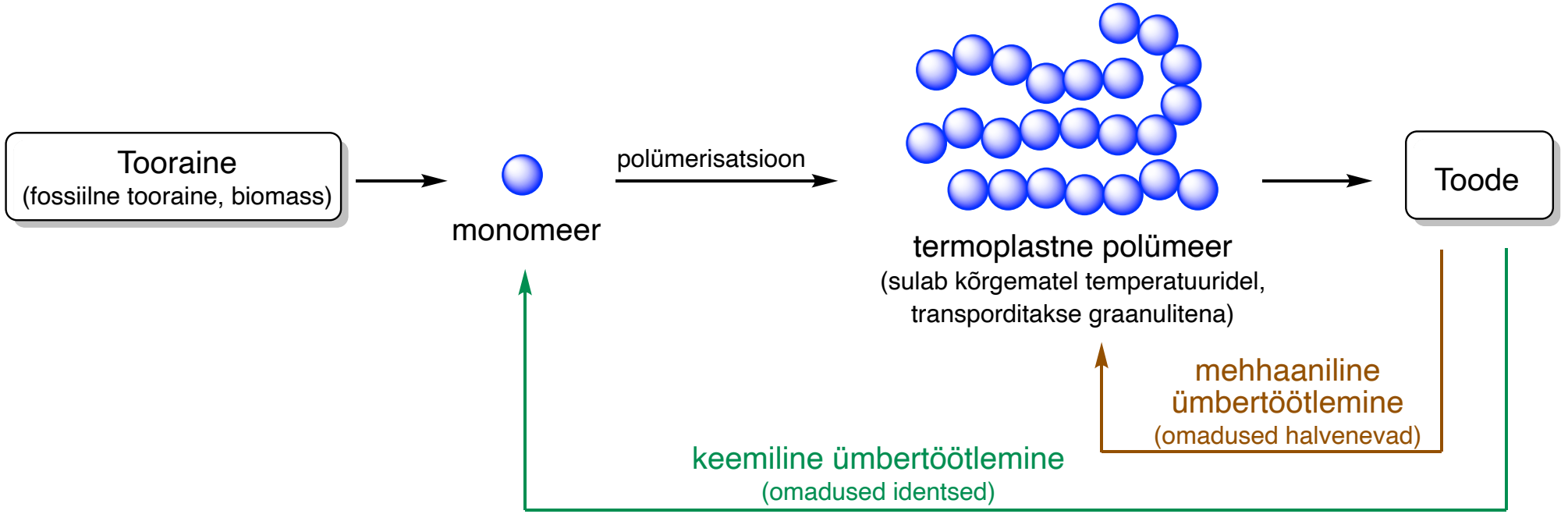
Tingimused PLA lagunemiseks

- vähemalt 50°C, kõrge niiskus, sobivad mikroorganismid (ensüüm: proteinaas K)
- tööstuslik komposter
- PLA peaks olema üsna *puhas*

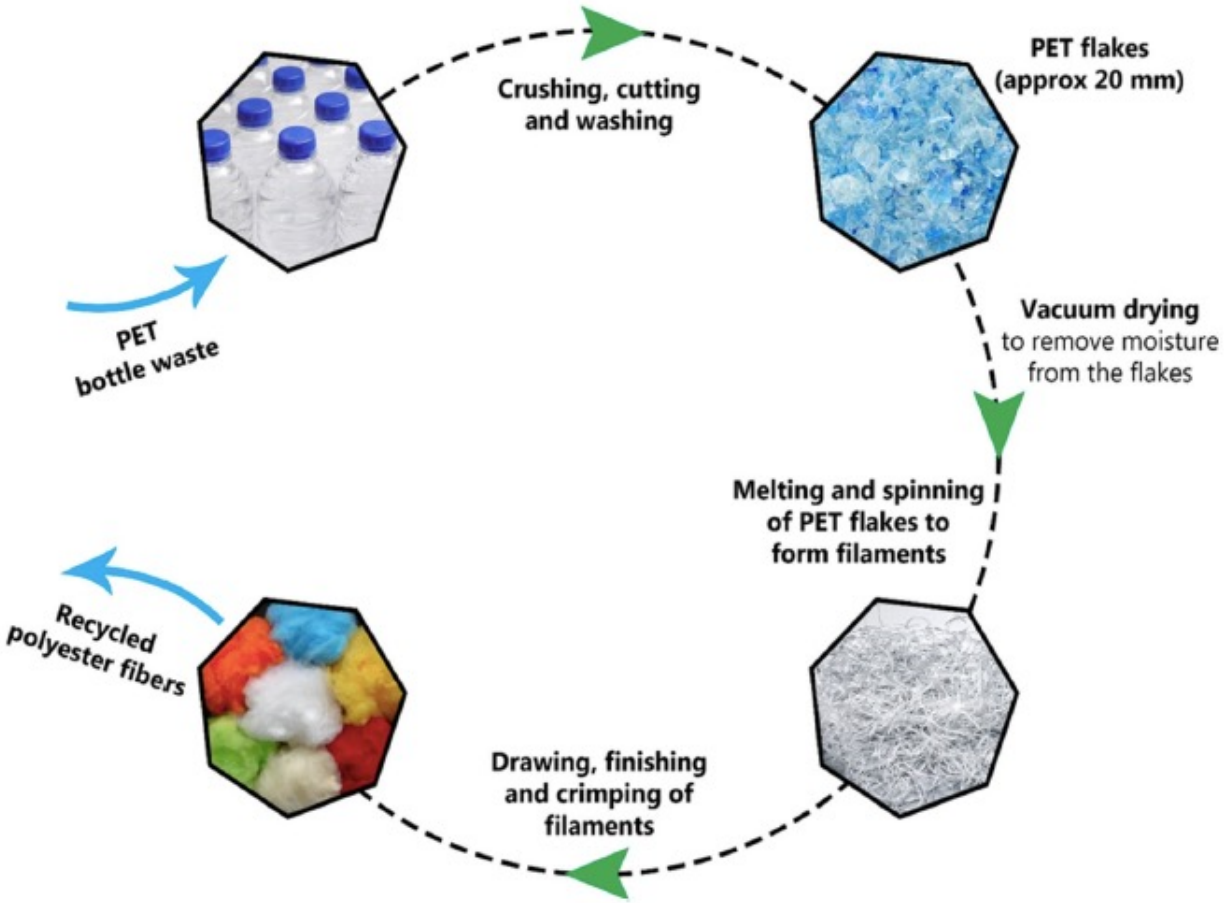
Plastikute taastöötlemine (*recycling*)

- Jäätmekäitluse hierarhia:

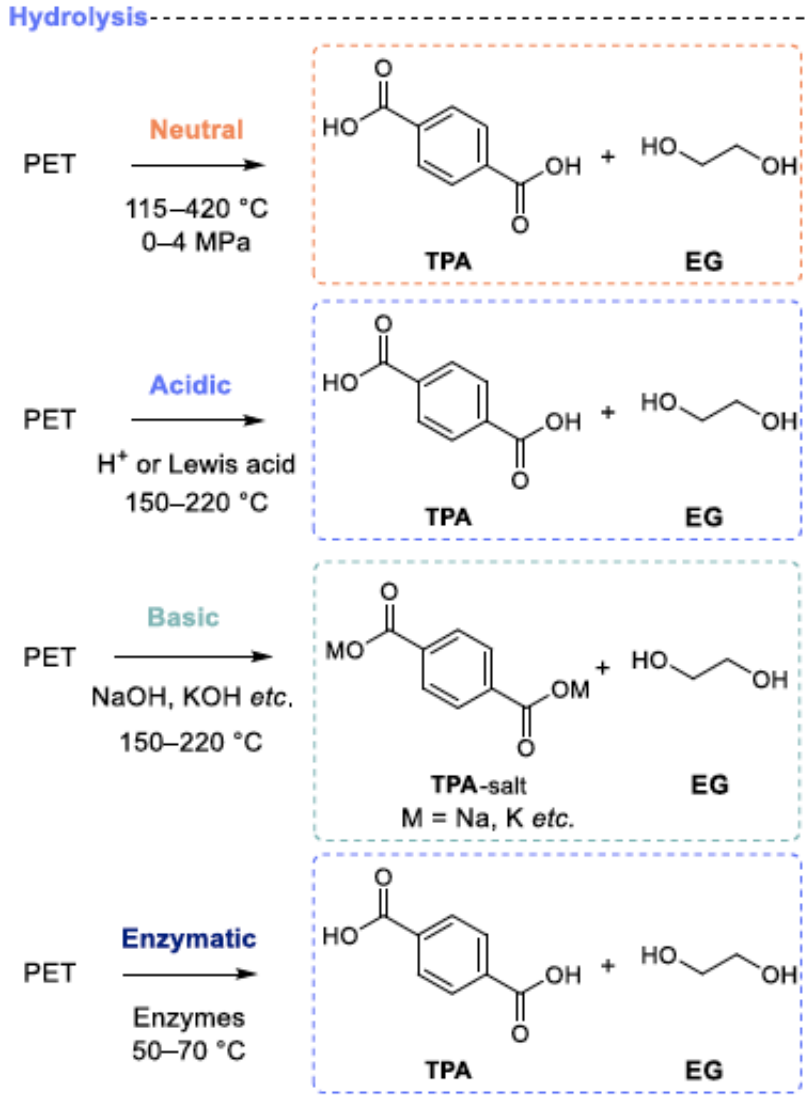




PET mehhaaniline ümbertöötlemine vs keemiline ümbertöötlus

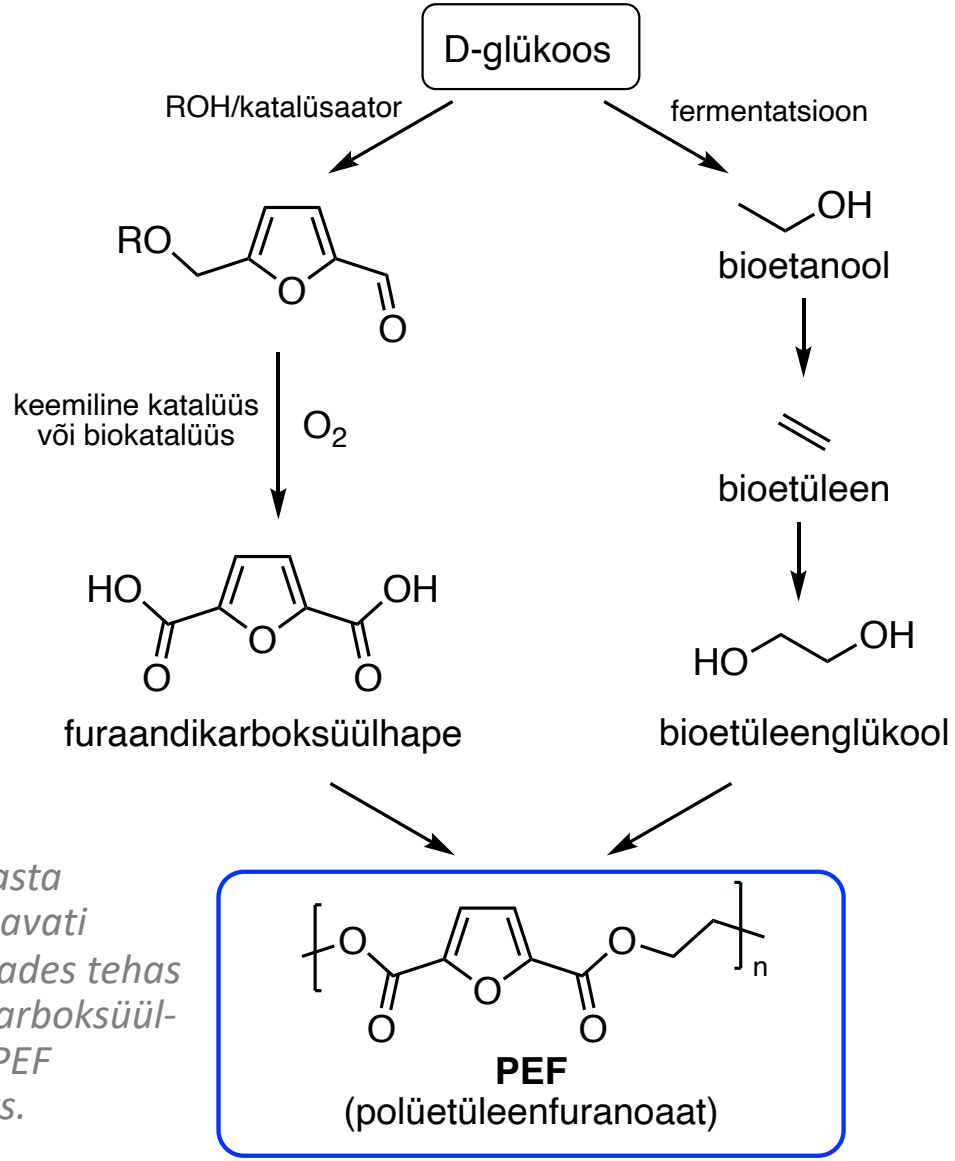


Mater Circ Econ 3, 4 (2021).

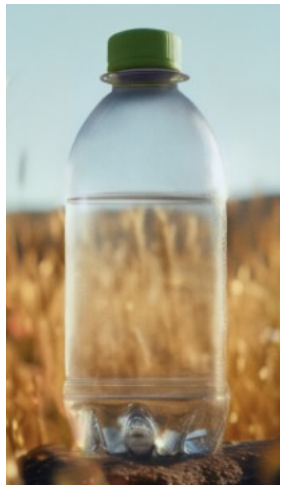


Chem. Rev. 2024, 124, 2617−2650.

PEF (*polyethylene furanoate*) – polüetüleenfuranoaat

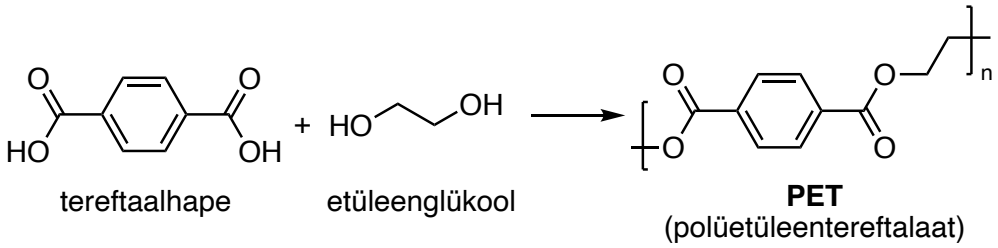


- 55% vähem kasvuhoonegaaside emissioone kui fossiilset päritolu PET puhul,
- parem gaasibarjäär, paremad mehhaanilised omadused ja parem vormitavus kui PET puhul,
- madalam töötlemistemperatuur kui PET puhul,
- PEF saab töödelda samade masinatega, mida kasutatakse PET vormimiseks (puudub investeerimisvajadus uude tehnikasse)
- PEF sobib suurepäraselt PET taaskasutusliinidesse



Releaf® (Avantium)

** 2024. aasta oktoobris avati Madalmaades tehas furaandikarboksüül-happe ja PEF tootmiseks.*



Millist probleemi lahendavad biopõhised polümeerid?

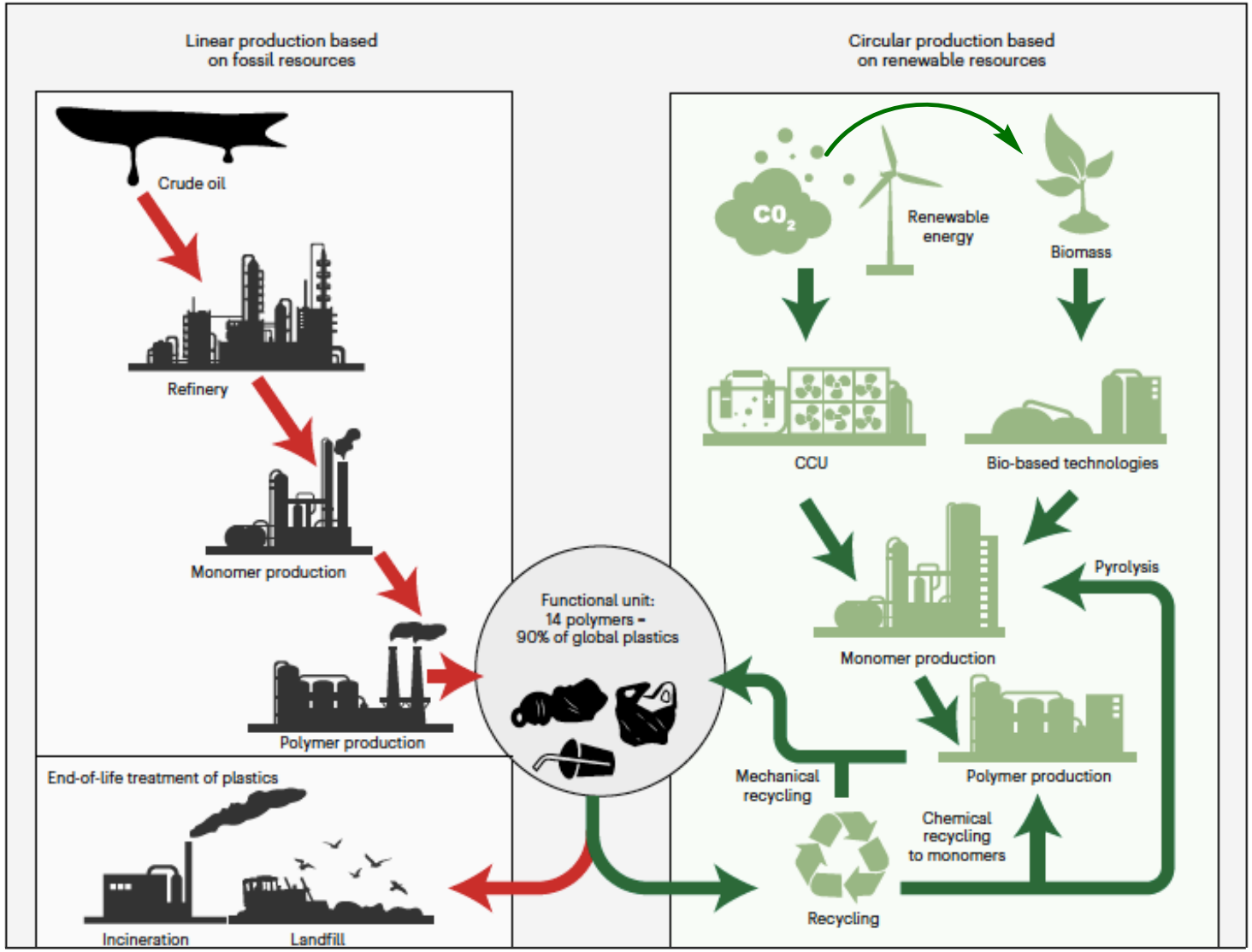
- Vähendab plastikute CO_2 jalajälge

Biopõhine toormaterjal

↓

uued võimalused

- Materjalide **tark disain** juba molekuli tasandil:
  - Keemiline taastöötlemine monomeerideks,
  - lagunemine kindlatel tingimustel,
  - biolagunevus jne.
- Elutsüklianalüüs ja toksikoloogia uurimine juba arengufaasis.

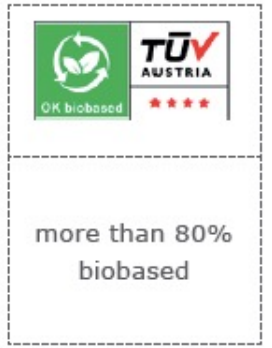


Nature Sustainability, 2023, 6, 599–610.

Kui suur peab olema biopõhise toorme osakaal, et materjali saaks kutsuda biopõhiseks materjaliks?

- Selleks ei ole miinimumosakaalu
- Aga vähemalt 20% biopõhise süsiniku osakaal on tihti nõutud, et saada erinevaid sertifikaate ja tootemärgiseid.
- Selgeks tähistamiseks on olemas üldtunnustatud märgised:





TÜ Tehnoloogiainstituut

Jätkusuutliku keemia labor



puidu biomass → platvorm-kemikaalid

keemiline modifitseerimine → **monomeerid** *polümeriseerimine* → **polümeerid**

- orgaaniline süntees
- struktuuri analüüs
- toksikoloogia

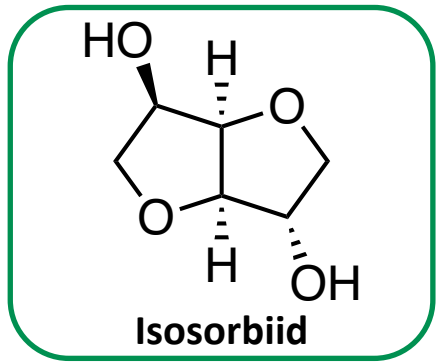
- polümeeri süntees
- struktuuri analüüs
- termiliste omaduste analüüs
- toksikoloogia

Biopõhised materjalid tselluloosist



Tavaline PE-kilega kohvitops
- 12 g pappi, 0.7 g PE
- väga raske ümber töödelda!

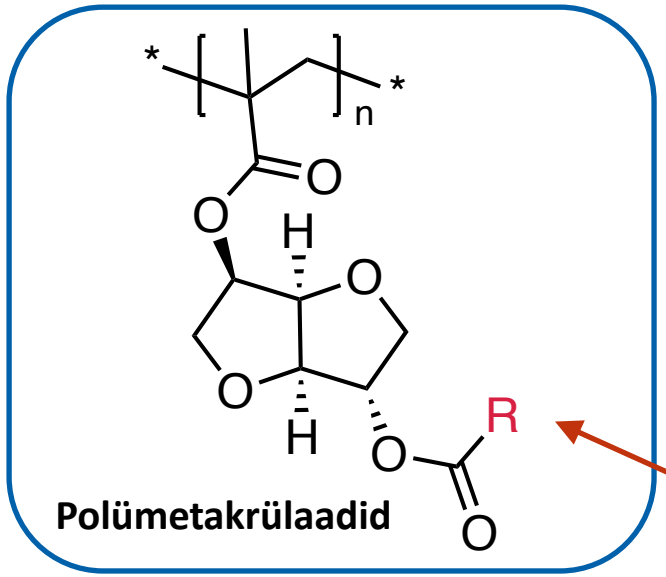
Glükoos → **Sorbitool** →



Isosorbiid

* Toodetakse aastas ~10 000 tonni.

1. *ensümaatiline süntees/ keemiline modifitseerimine*
2. *polümeriseerimine*



Polümetakrülaadid

võimaldab muuta materjali **omadusi**



- Vastupidav kõrgetel temperatuuridel (kuni 250 °C)
- Kile-moodustav



Koostöö tööstusega:
- emulsioonpolümerisatsioon
- **Kattematerjal** paberil ja papil
- **Värvid**

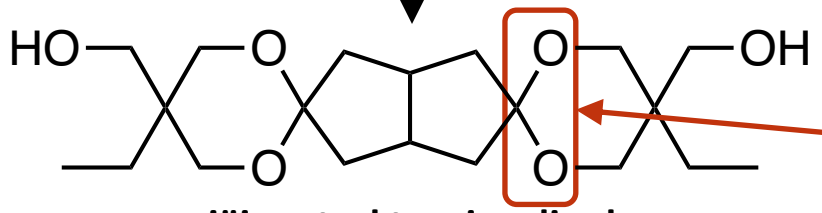
Elutsüklianalüüs (LCA)
- Skaala suurendades oleks mõju veidi väiksem kui PMMA puhul (9.1 vs 10.3 $kgCO_2eq/kg$ polymer)

Toksikoloogia
- Ohutu või praktiliselt ohutu

Biopõhised materjalid (puidu)suhkrutest

Sidrunhape

keemiline modifitseerimine



jäiga struktuuriga diool

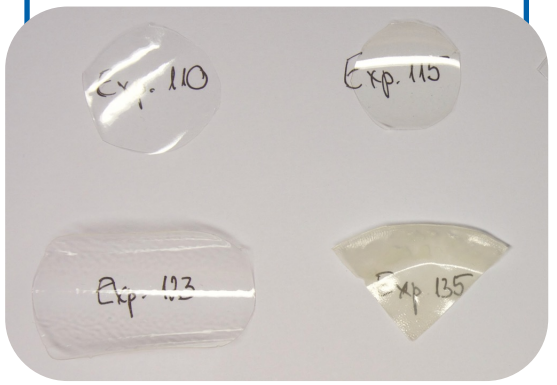
Saab keemiliselt lagundada
(võimalik **keemiline ümbertöötlemine**)





Polükarbonaadid

Polüüretaanid



- Vastupidavad kõrgetel temperatuuridel
- Hea töödeldavus
- Moodustavad kilet
- Läbipaistvad

Täname kuulamast!

Kas biopõhised plastid suudavad asendada fossiilset päritolu materjale?

Töötuba I-8

III teadushariduse konverents Tartu Tamme Gümnaasiumis

Lauri Vares lauri.vares@ut.ee
Livia Matt livia.matt@ut.ee
Tartu Ülikooli Tehnoloogiainstituut (Nooruse 1, Tartu)
Jätkusuutliku keemia labor

13. veebruar 2026