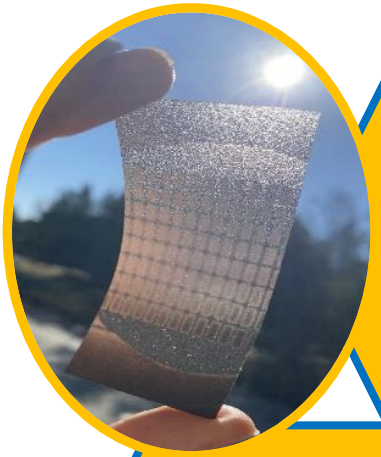
Kuhu suundub päikeseenergeetika?

Prof. Maarja Grossberg-Kuusk
Inseneriteaduskond
Tallinna Tehnikaülikool

Akadeemikukandidaatide konverents 24.10.2023

Maarja Grossberg-Kuusk

- 12.2010 doktorikraad keemia- ja materjalitehnoloogias, Tallinna Tehnikaülikool
- 01.2012 uurimisgrupi juht, uued materjalid ja tehnoloogiad päikeseenergeetikale
- 01.2021 optoelektroonsete materjalide täisprofessor tenuuris, Tallinna Tehnikaülikool
- 01.2021 magistriõppeprogrammi ,,Rohelised energiatehnoloogiad“ juht
- 07.2021-07.2023 Eesti noorte teaduste akadeemia president, liige alates 2018

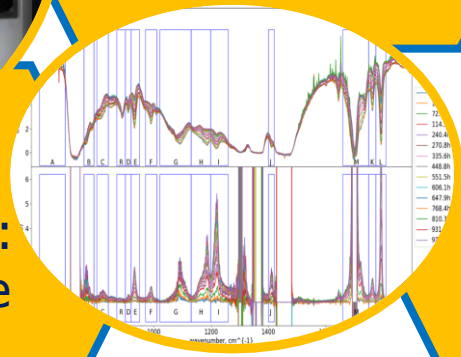


Teadus: uued materjalid ja tehnoloogiad päikese-energeetikale (h-indeks 29)

Õppetöö: magistriõppe-programm: Rohelised energia-tehnoloogiad

Koostöö ettevõtetega: innovaatiliste lahenduste juurutamine

Juhendatud: 4 doktorit, 2 järeldoktorit



Ühiskondlik teavitustöö

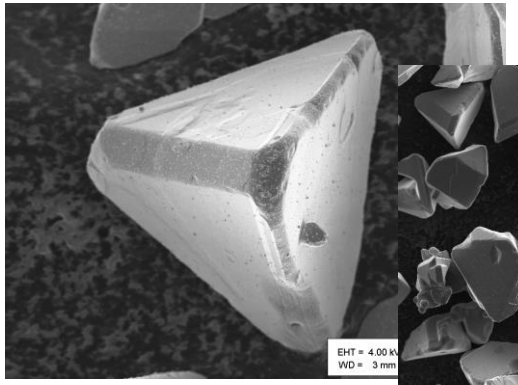
EESTI NOORTE TEADUSTE AKADEEMIA

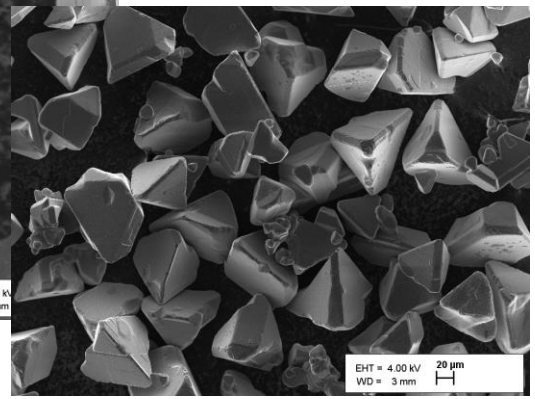
Eesti noorte teaduste akadeemia

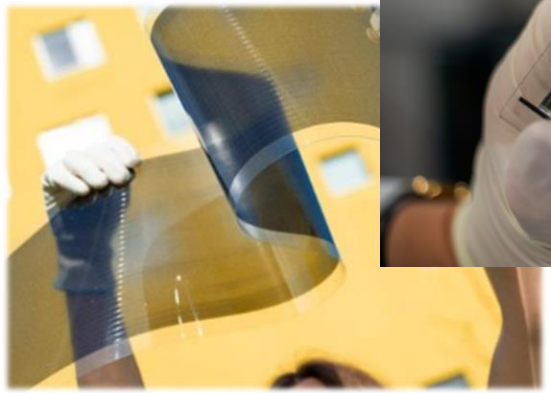
Tunnustused: 2021, EV teaduspreemia tehnikateaduste alal: L’Oréal Baltic – UNESCO „Naised teaduses“ laureaat

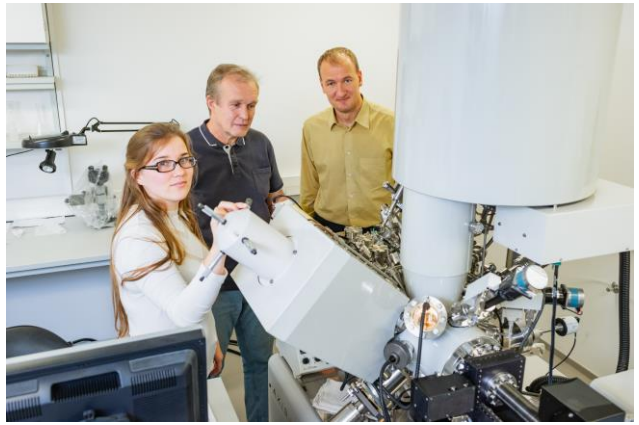
Käesoleva aasta olulisemad projektid

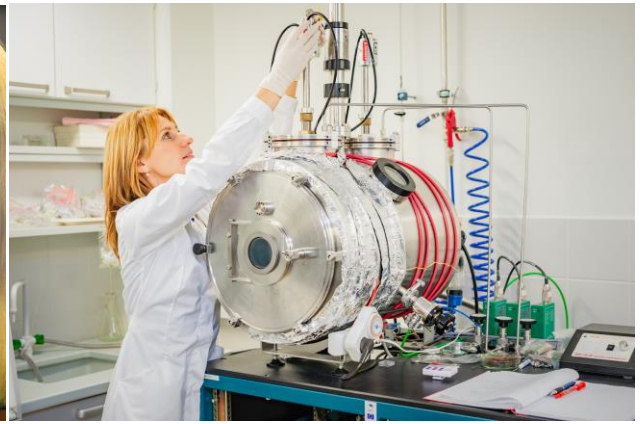
- PRG1023 "Mitmik-kalkogeniididel põhinevad jätkusuutlikud, kuluefektiivsed, kerged, painduvad ja poolläbipaistvad ehitisintegreeritavad päikesepatareid" (2021-2025)
- EU H2020 innovatsiooniprojekt CUSTOM-ART "Innovaatilistel kesteriitidel põhinevate õhukesekileliste tehnoloogiate kohandamine erilahendusega arhitektuuri ja linnamööbli rakendusteks" (2020–2024)
- MERA.net projekt MNHA23040 „Kvaasi-1D materjalid õhukesekilelistele päikeseelementidele" (2023–2026)
- TK141 "Uudsed materjalid ja kõrgtehnoloogilised seadmed energia salvestamise ja muundamise süsteemidele – HiTechDevices" (2015–2023)







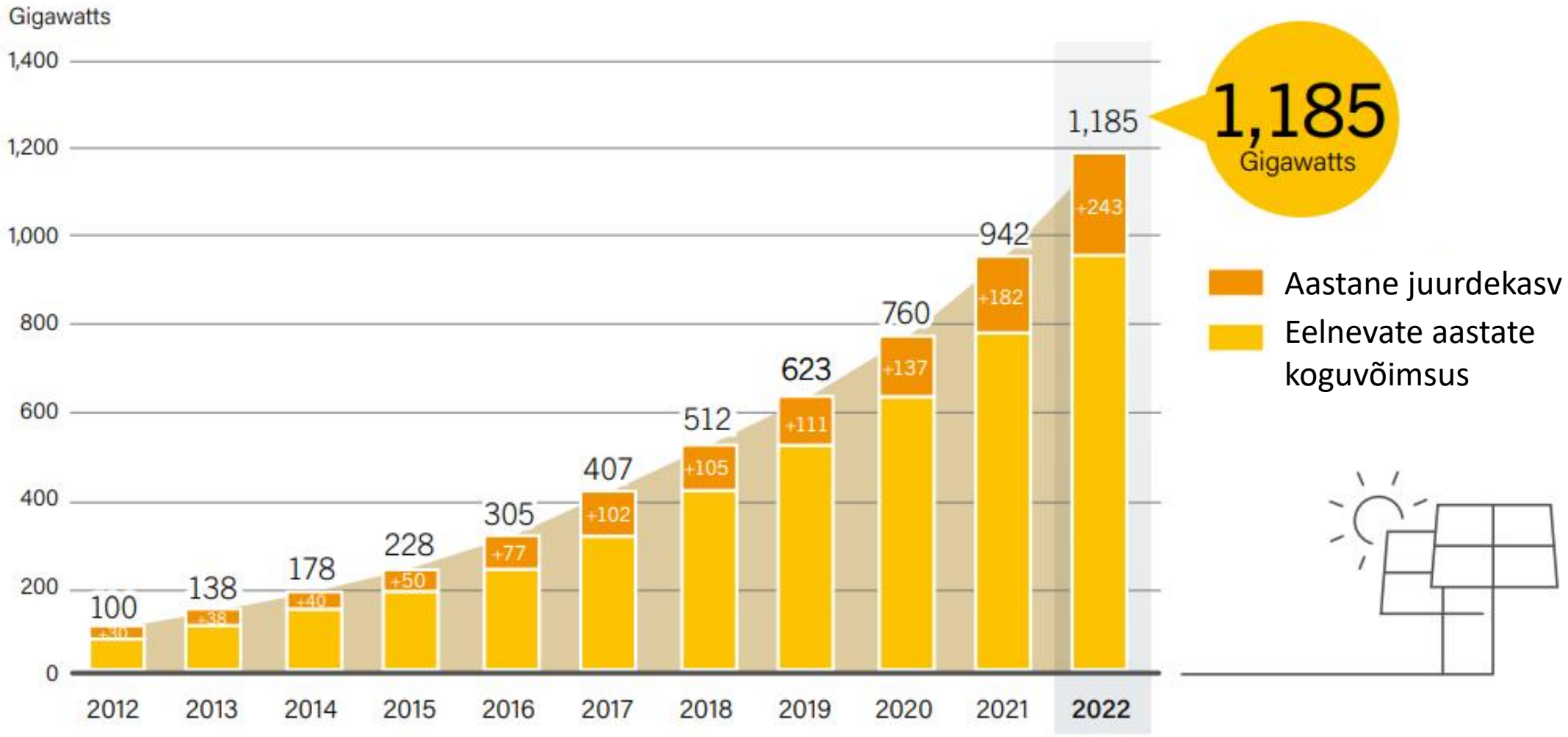




Päikeseenergeetika

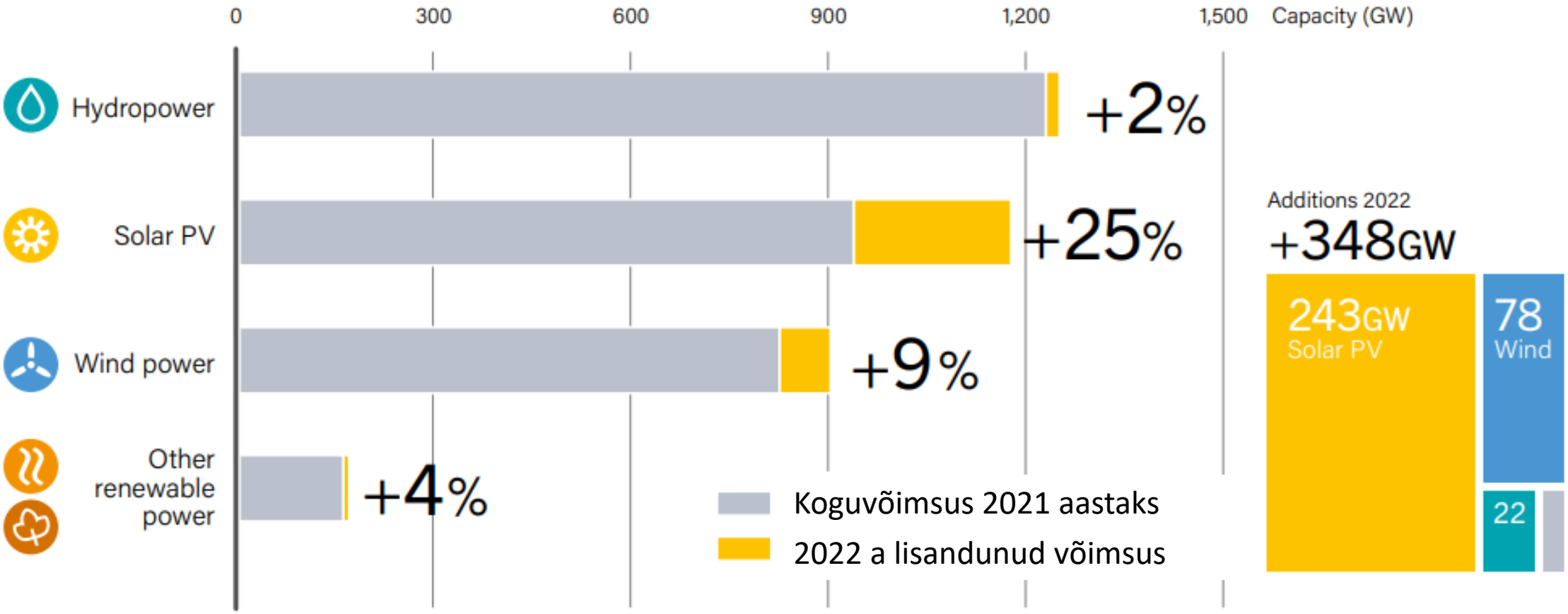
Eestis 2023. aastal ~ 600 MW

Päikeseelektri tootmise võimsus maailmas 2012-2022 (GW)



Renewables Global Status Report - REN23

Taastuvenergia võimsuste juurdekasv maailmas 2022. aastal



Kõige kiiremini kasvav taastuvenergeetika valdkond on päikeseenergeetika!

Renewables Global Status Report - REN23

Kolm põlvkonda päikesepaneelide tehnoloogiaid

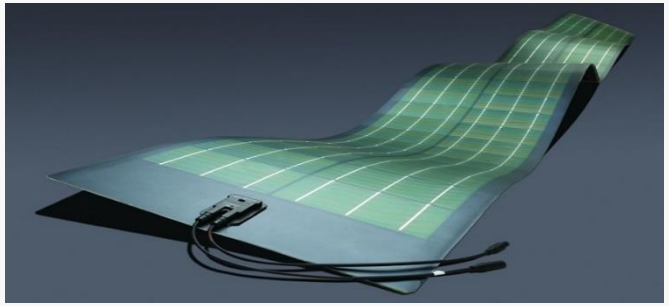
Esimene põlvkond

- Monokristalne räni
- Polükristalne räni

Teine põlvkond

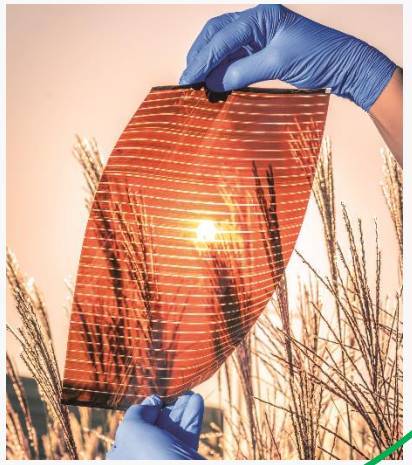
- Õhukesekilelised tehnoloogiad:
  - CdTe
  - Amorfne räni
  - $Cu(In,Ga)Se_2$

(~10% kogu PV turust)



Kolmas põlvkond

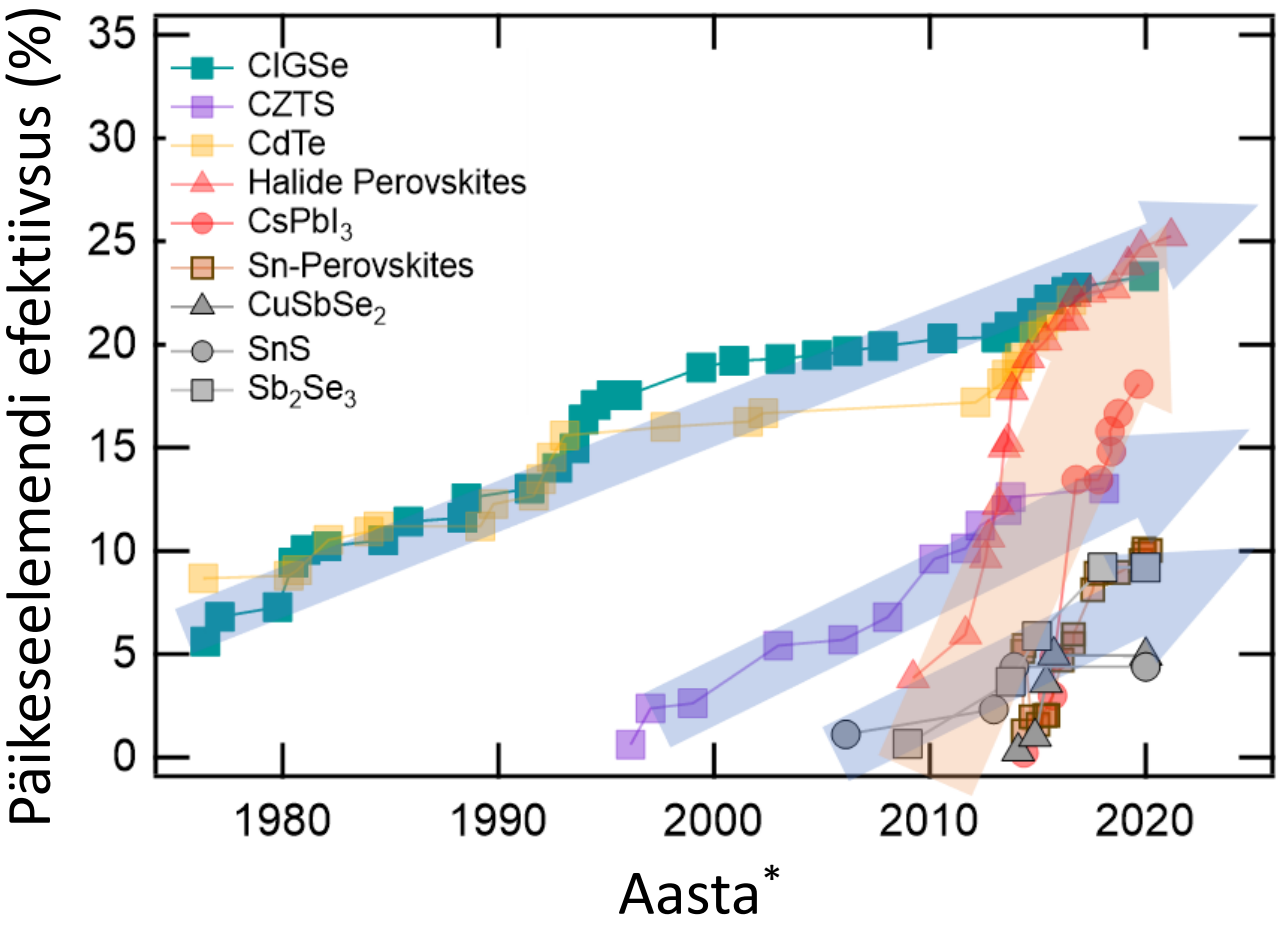
- Cu_2ZnSnS_4
- Perovskiidid
- Hübriid päikeseelemendid
- Tandem päikeseelemendid jt

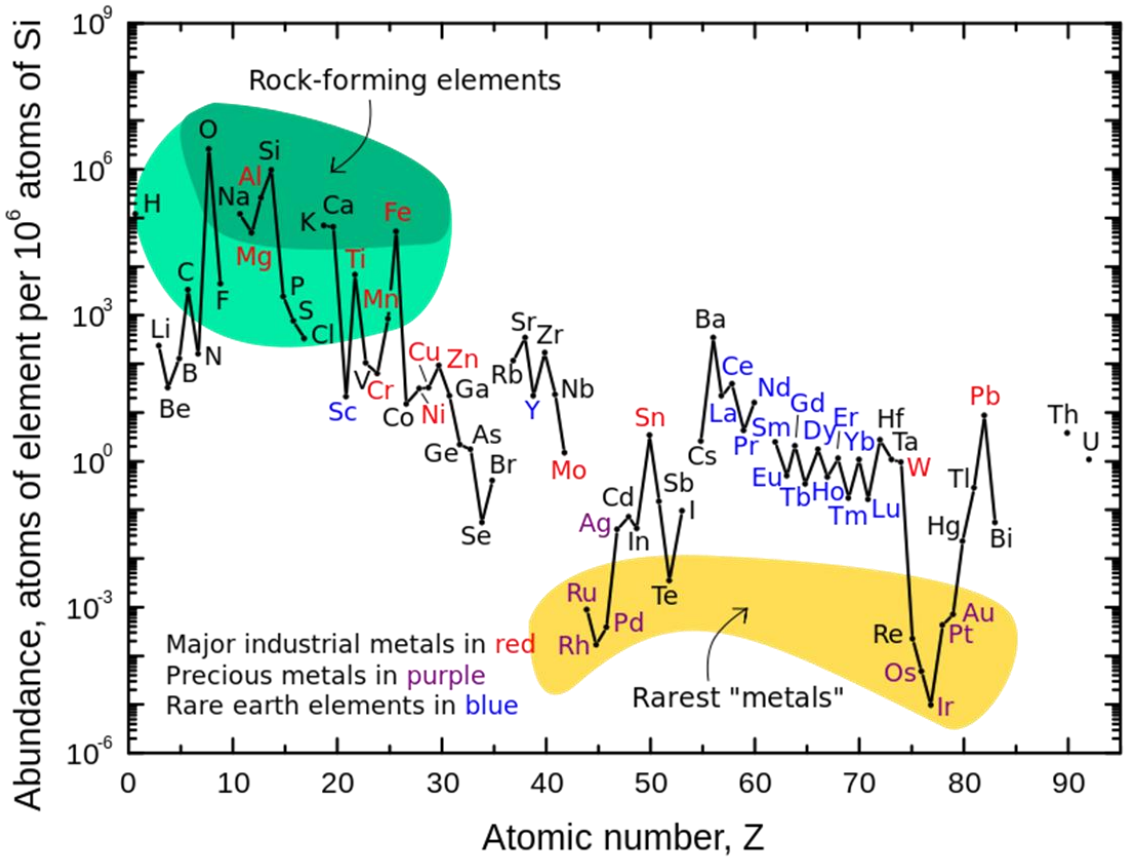


Ökoloogiline jalajälg väheneb

- Teise põlvkonna õhukesekileliste päikesepaneelide süsiniku jalajälg on **~12–20 g CO_2e/kWh** (lähedane tuuleenergiatehnoloogiatele, millel 11-12 g CO_2e/kWh!), mis on mitu korda väiksem kui c-Si puhul (50–60 g CO_2e/kWh).

Teise ja kolmanda põlvkonna õhukesekileliste päikeseelementide efektiivsuste kasv ajas

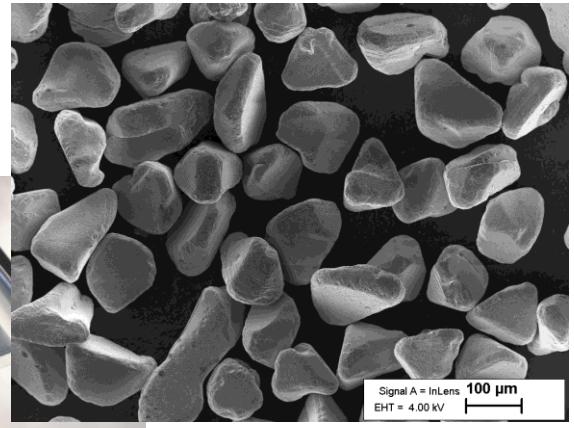


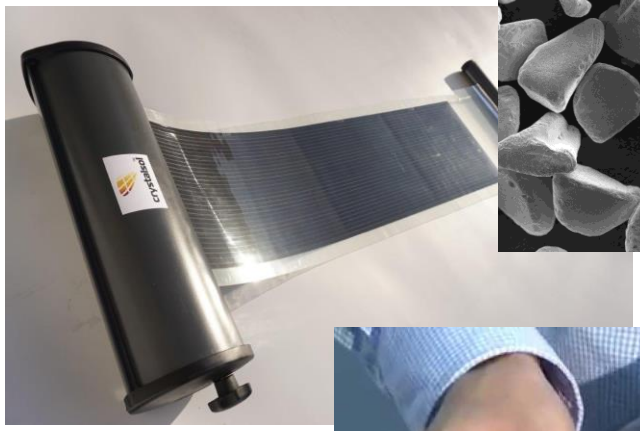


Kesteriidid $Cu_2ZnSn(S,Se)_4$ - üks keskkonnasõbralikemaid materjale päikeseenergeetika rakendusteks

*T. Unold, Accelerating research on novel photovoltaic materials, Faraday Discuss. (2022). doi:10.1039/D2FD00085G.

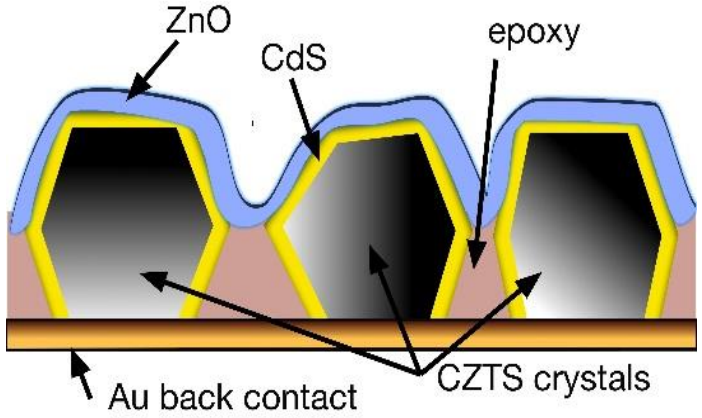
Kolmanda põlvkonna päikeseelemendid: Monoterakiht päikeseelemendid



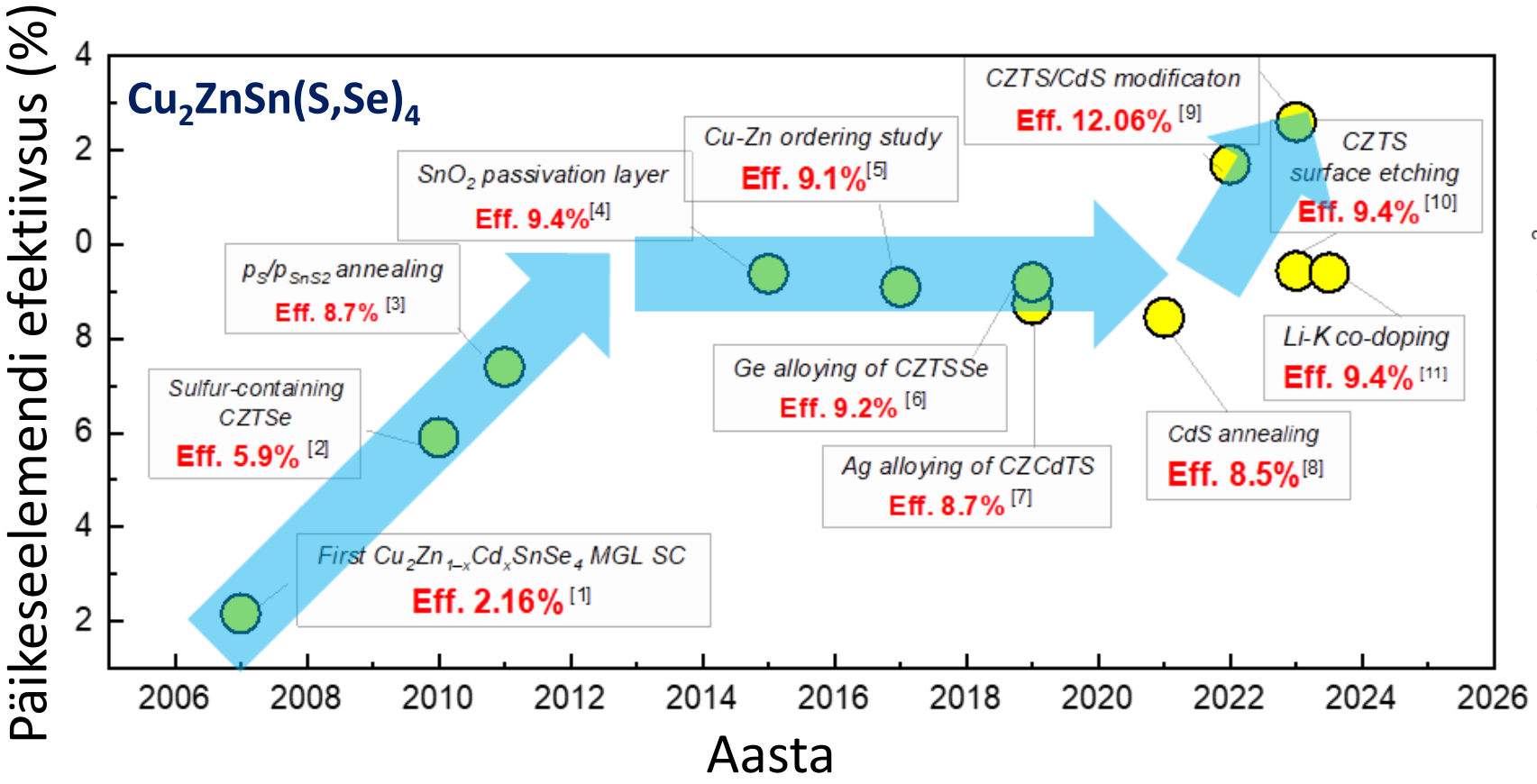


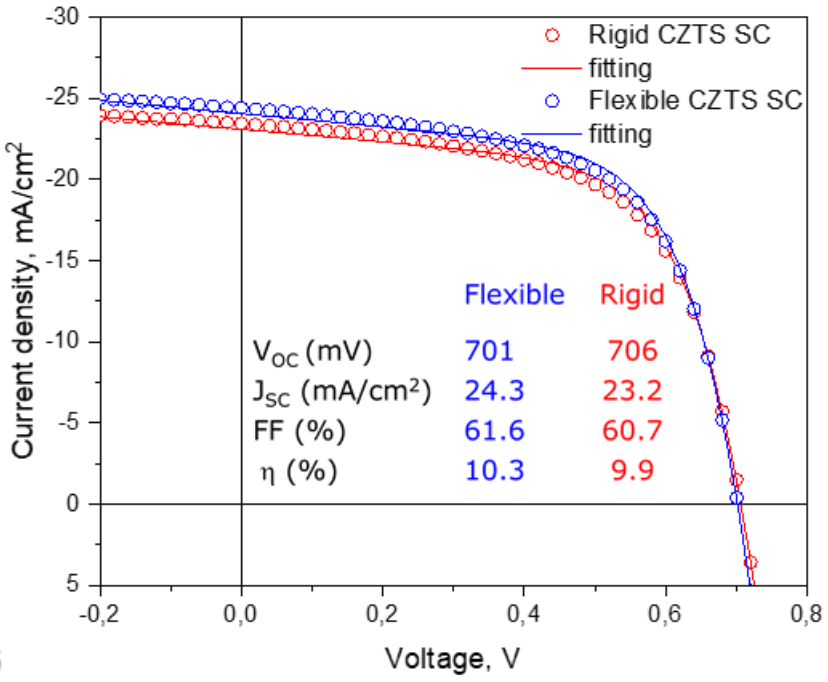
- Monoterakiht päikeseelemendid: keskkonnasõbralik ja ressursitõhus tehnoloogia, efektiivne materjalide taaskasutus.
- Uurimisgrupi liikmete poolt välja töötatud maailmas ainulaadne tehnoloogia: prinditavad, kerged, painduvad ja valgust poolläbipaistvad päikesepaneelid, mis on ideaalsed ehitisintegreeritud rakendusteks.

Crystalsol – Tallinna Tehnikaülikooli spin-off, 2008, TRL7



Kesteriitidel põhinevad monoterakiht päikeseelemendid



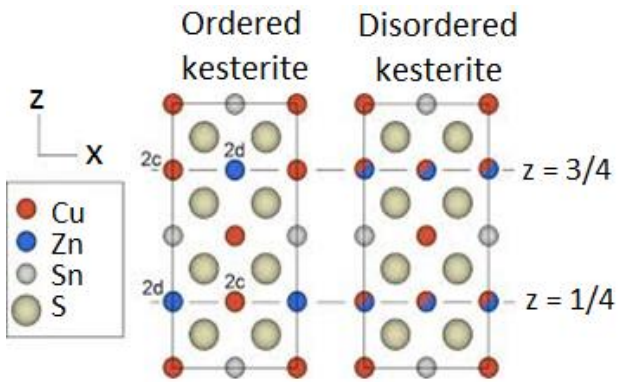


- **Uurimisgrupi käes on käesolevast aastast Cu_2ZnSnS_4 põhinevate päikeseelementide maailmarekord 12.06%.**
- Suudame teha painduvad päikeseelemente sama efektiivsusega kui jäiku klaasil olevaid.

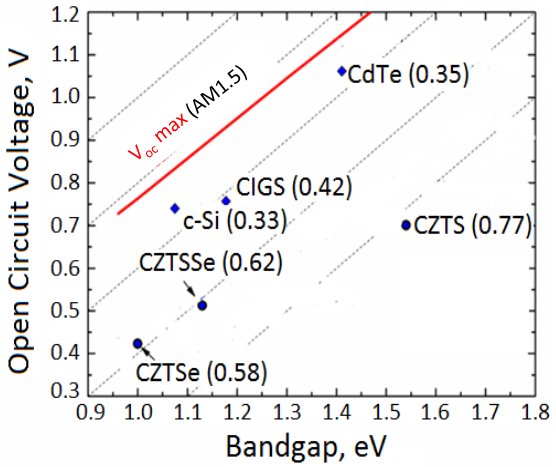
TAL TECH

[1] Altosaar M. et al. phys. stat. sol. (a) (2008)
[2] Timmo K. et al. Sol. Energy Mater Sol. Cells (2010)
[3] Kauk M. et al. Energy Procedia (2011)
[4] Kauk-Kuusik M. et al. Appl. Surf. Sci. (2015)
[5] Timmo K. et al. Thin Solid Films (2017)
[6] Oueslati S. et al. Thin Solid Films (2019)
[7] Timmo K. et al. J. Mater. Chem. A (2019)
[8] Kauk-Kuusik M. et al. ACS Appl. Energy Mater. (2021)
[9] Kauk-Kuusik M. et al. J. Phys. Energy (2022)
[10] Timmo K. et al. Sol. Energy Mater Sol. Cells (2023)
[11] Muska K. et al. Sol. Energy Mater Sol. Cells (2023)
[12] Zhou *et al. Nat Energy* 8, 526–535 (2023).

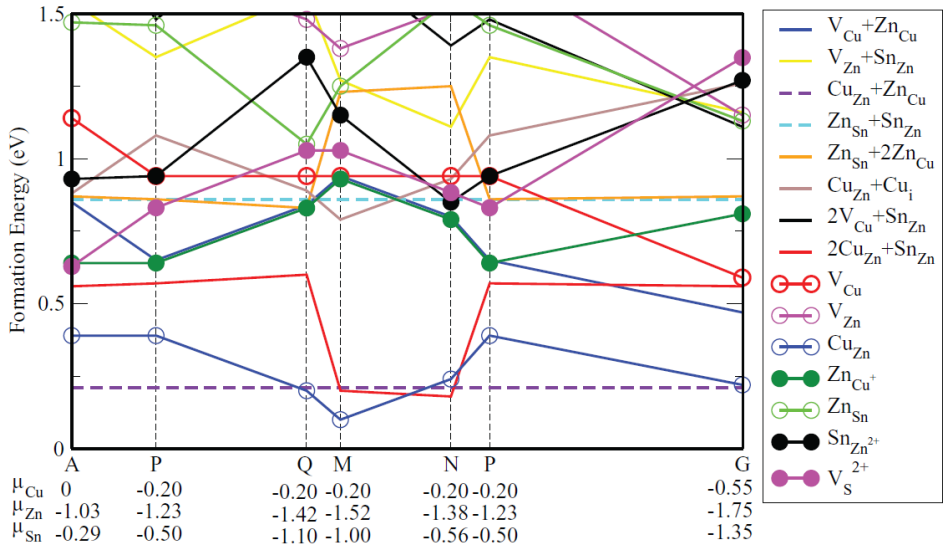
Defektid kesteriitides – teedrajavad tööd



J. J. S. Scragg et al., Physica Status Solidi, 2016

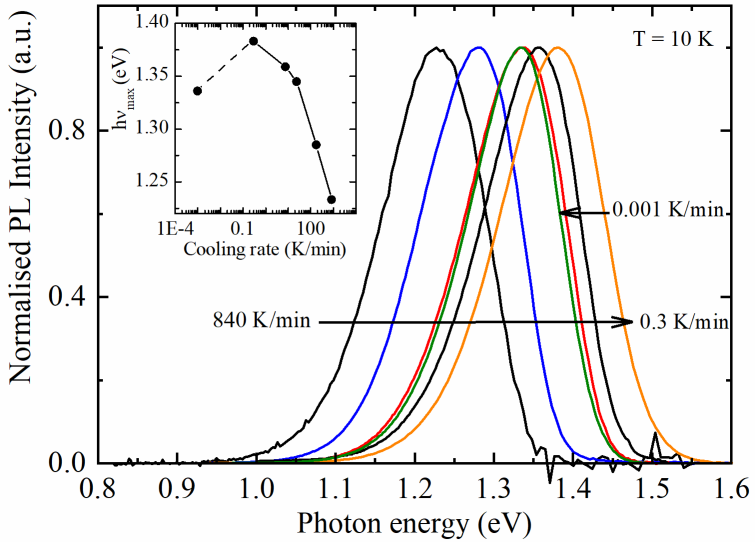


S. Bourdais et al. Adv. Energy Mater. 2016



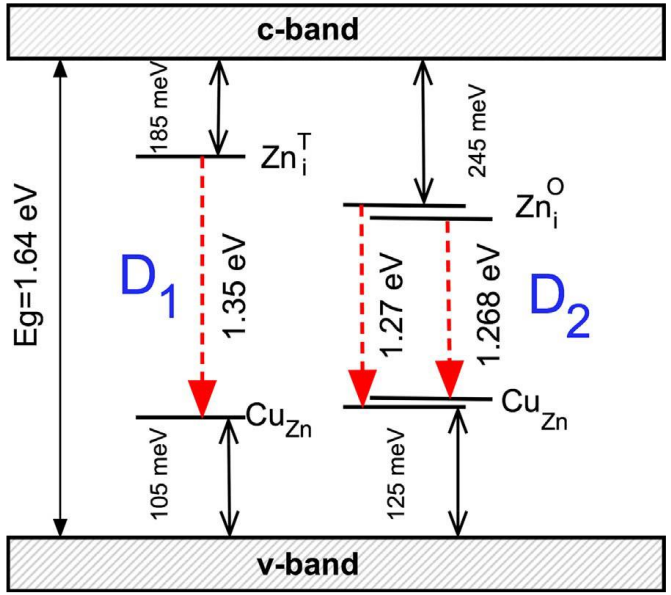
Chen *et al*. Adv. Mater. 25 (2013) 1522.

E_g (korrastatud) > E_g (korrastamata)

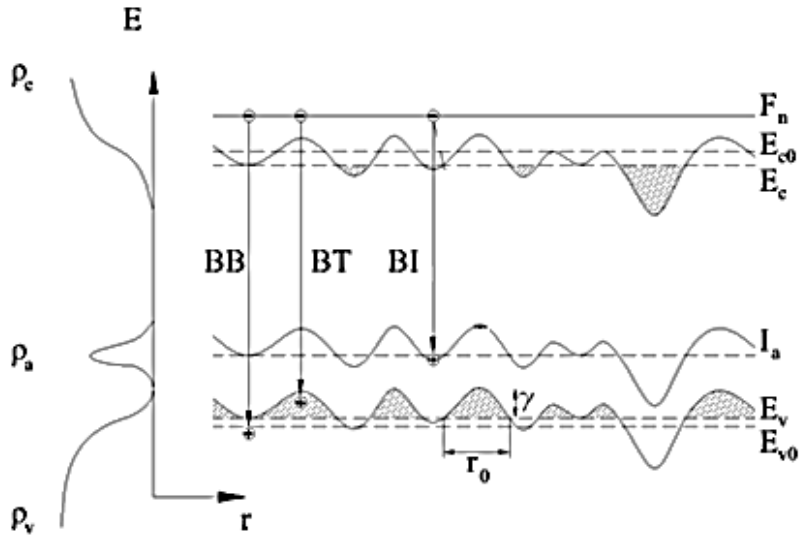


Grossberg et al. Current Applied Physics 14 (2014) 1424

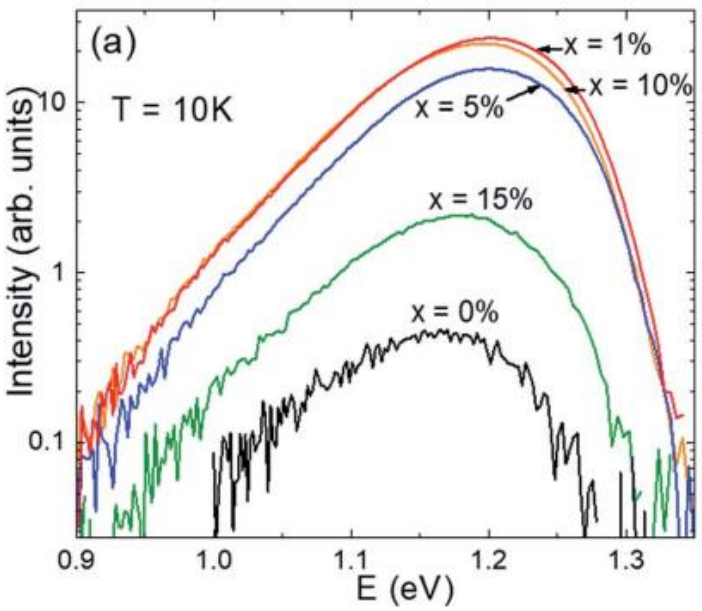
DD-DA paarid CZTS-is



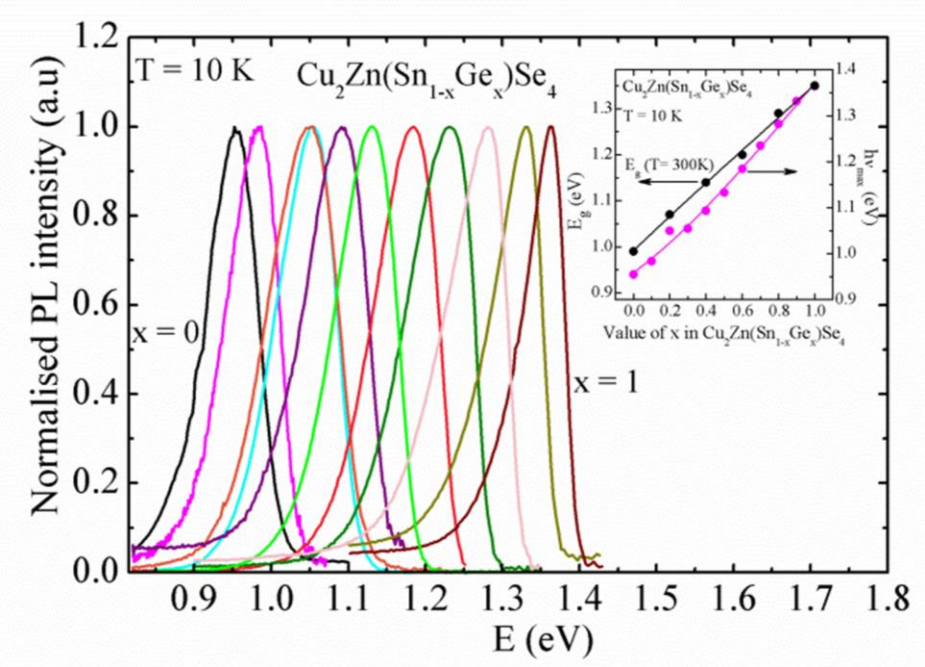
Krustok et al. Mater. Science in Semicond. Processing 80 (2018) 52



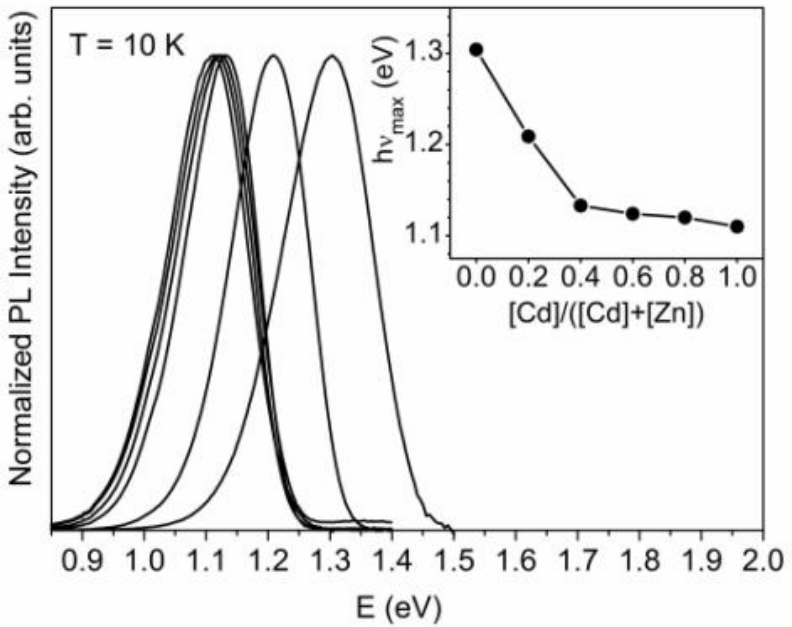
Defektid kesteriitides – teedrajavad tööd



Ag-ga legeerimise mõju CCdZTS defektstruktuurile[1]



Ge mõju $Cu_2ZnSnSe_4$ defektstruktuurile[2]

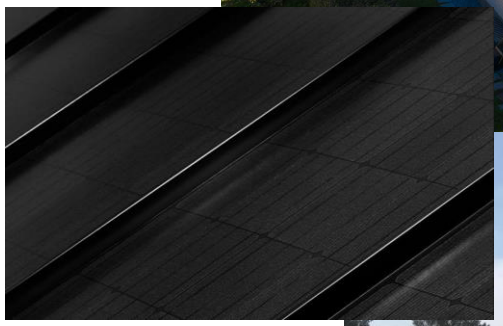


Cd mõju Cu_2ZnSnS_4 defektstruktuurile[3]

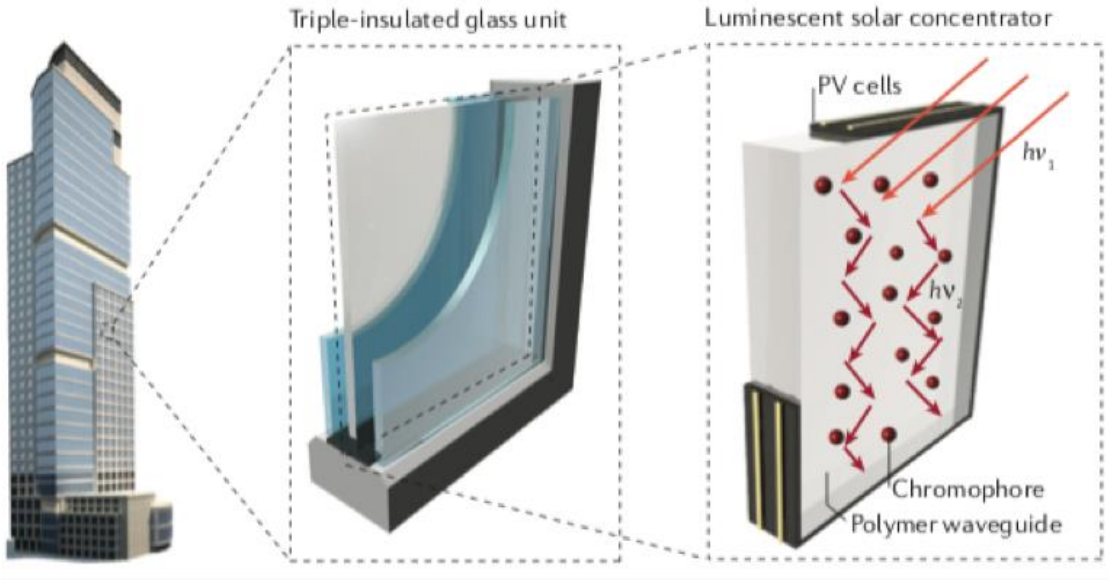
- Senised tööd on andnud meile ülevaate kesteriidi defektstruktuurist ja selle mõjutamise võimalustest.
- Edasised tööd keskenduvad peamiselt rekombinatsiooniliste kadude vähendamisele päikeseelemendi siirdealas, sest kontaktpinna olekutega seotud rekombinatsioonist ei ole õnnestunud veel jagu saada.

[1] Timmo *et al.* J. Mater. Chem. A, 2019, 7, 24281
[2] Grossberg *et al*. Thin Solid Films 582, 2015 176
[3] Pilvet *et al.* Thin Solid Films, 582, 2017, 180

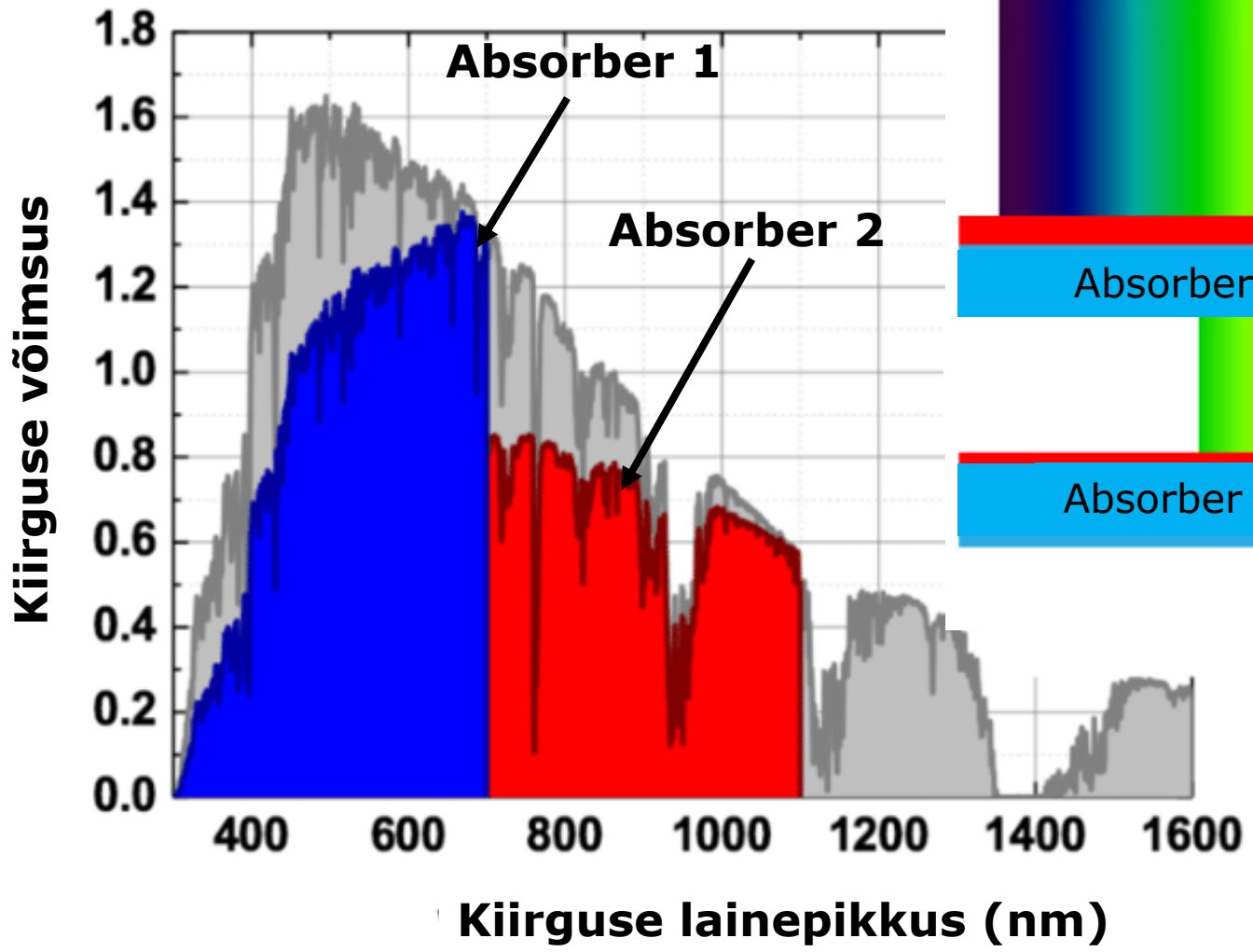
Hetkel aktuaalne: ehitisintegreeritud päikeseelemendid



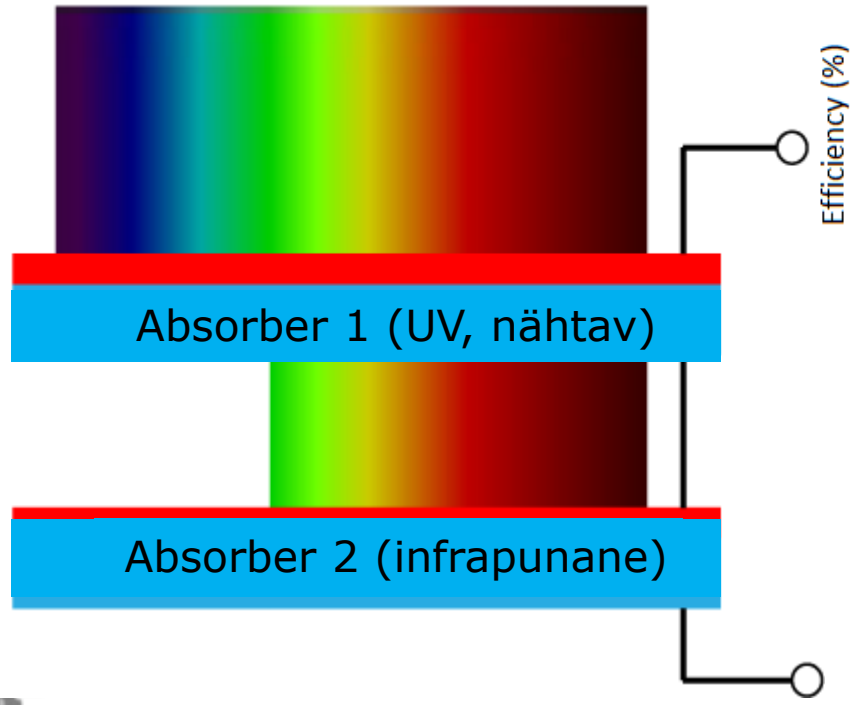
- Ehitisintegreeritud päikesepaneel (*building integrated photovoltaics – BIPV*) – päikeseelement on integreeritud ehitiselementi – aknasse, katusematerjali, fassaadimaterjali jne.



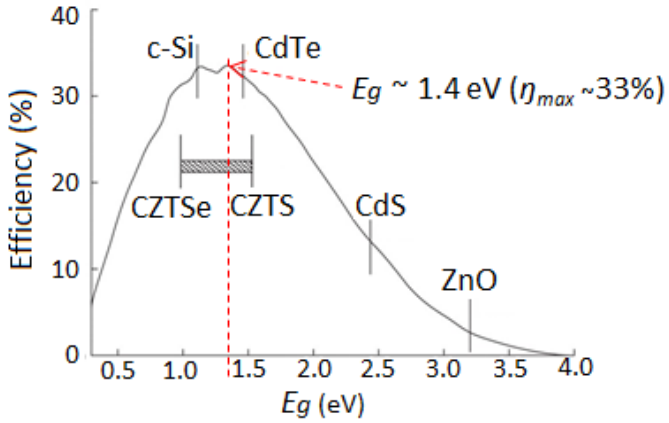
Hetkel aktuaalne: tandem päikeseelemendid

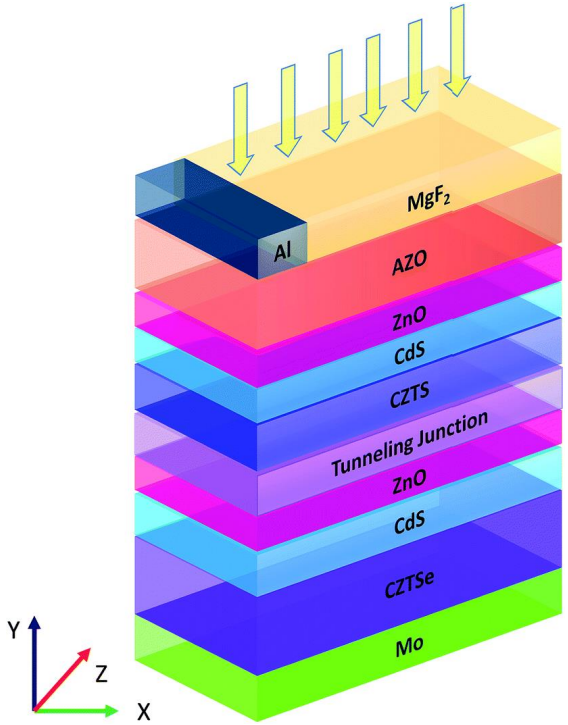


Päikesekiirgus



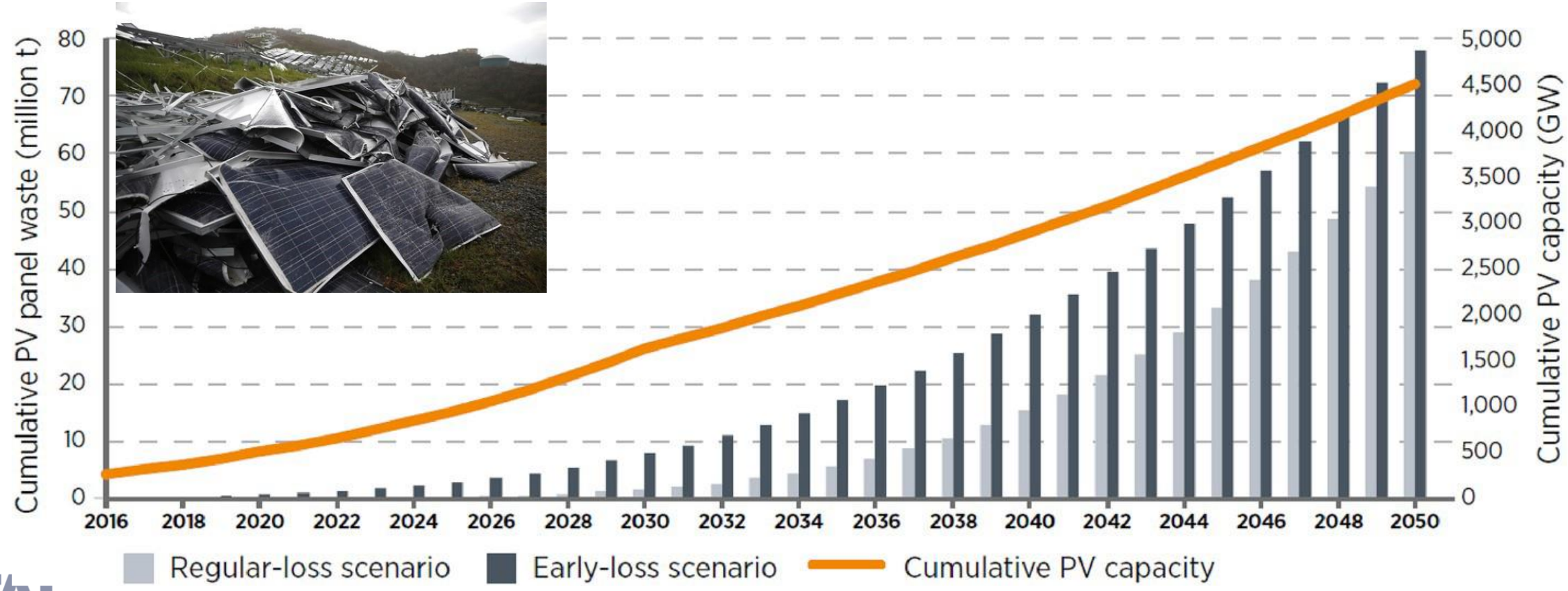
Shockley–Queisser piir





Hetkel aktuaalne: päikesepaneelide jäätmed

- Hinnanguliselt on 2050. aastaks ringluses 60-78 miljonit tonni päikesepaneelide jäätmeid [*]



[*] A. Kumar et al. Resources, Conservation and Recycling, 122, 32–42, Elsevier, 2017.

Panus Eesti ühiskonda ja Eesti teaduste akadeemiasse

- Maailmatasemel teadus-, arendus- ja innovatsioonitegevus päikeseenergeetika materjalide ja tehnoloogiate valdkonnas, valdkonna arengu eestvedamine Eestis
- Aktiivne ühiskondlik teavitustöö päikeseenergeetika erinevatest külgedest, valdkonna kõneisik Eestis
- Erialase õppetöö arendamine ja valdkonna järelkasvu eest seismine
- Sild Eesti noorte teaduste akadeemia ja Eesti teaduste akadeemia vahel

TAL TECH

Tänan!

Eesti noorte teaduste akadeemia

Päikeseenergeetika materjalide teaduslabor

TAL TECH

TÄNAN!

Kontakt:

Prof. Dr. Maarja Grossberg-Kuusk

Materjali ja keskkonnatehnoloogia instituut

Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn, Estonia

email: maarja.grossberg@taltech.ee