

Taastuvenergia mikro- ja väikelahendused energiakulude alandajana

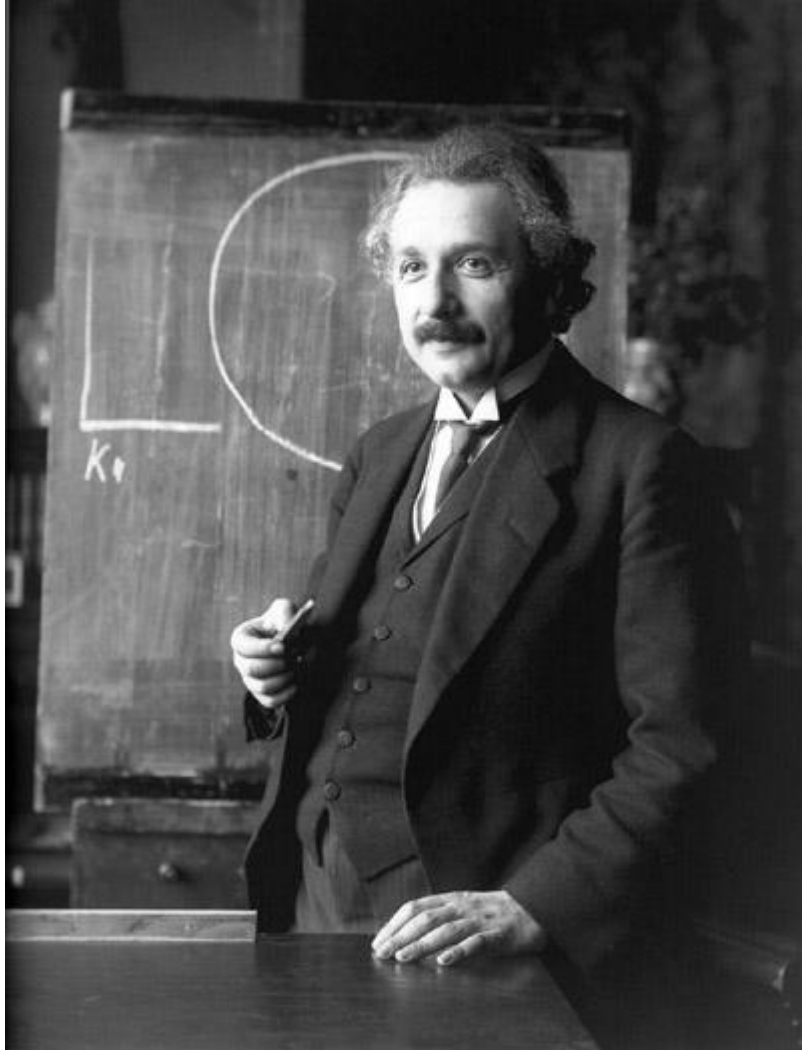
Andres Meesak

- 9 kW tootmisvõimsus
- Tootmise algus august 2012
- Tänapäevaks toodetud 35 000 kWh elektrit



Millest räägin?

1. Mõne põhitõed
2. Globaalseid arengud ja trendid
3. Päikese potentsiaal Eestis
4. Tänapäevaks toimunud arengud
5. Tarbimine omatarbeks. Dimensioneerimine.
6. Mis on tasuvus?
7. Negatiivid
8. Küsimused...

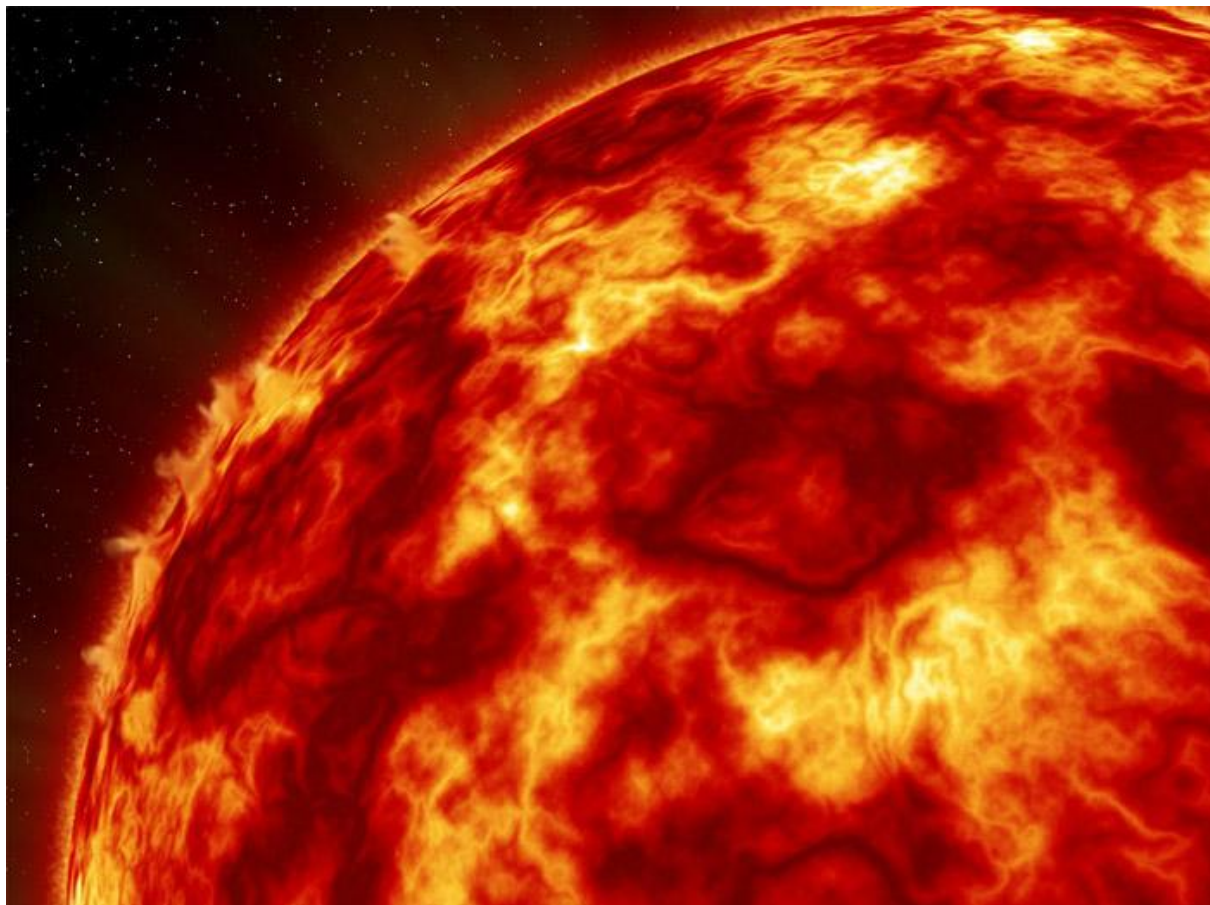


Kuidas PV elemendid töötavad

PV elementides kasutatakse elektri tootmiseks fotoelektriliseks efektiks nimetatavat füüsikanähtust. Seda kirjeldas esimesena Heinrich Hertz 1887.a. Selle efekti detailse kirjeldamise eest sai 1905. a.-l Albert Einstein Nobel'i preemia.

Lihtsustatult on tegu materjalidega, mis valguse toimel toodavad elektrit. Valguse toimel lüüakse mõned elektronid (nn. fotoelektronid) oma aatomite küljest lahti. Kui kinnitada elektrit juhtiv materjal fotoelektrilise materjali pluss- ja miinuspoolele tekitame vooluringi ja saame tekkivat elektrienergiat juhtida.

Esimese PV-elementi valmistas Bell Labs enam kui 50 aastat tagasi. Esimene reaalne PV-paneelide kasutuskoht oli kosmosetööstuses satelliitidele energiavarustuse tagamiseks.



PV-elementide kasutegur?

PV-elementi kasutegur näitab kui palju talle langevast valguskiirgusest muundatakse efektiivselt elektrienergiaks. Tänapäevaste tehnoloogiatega on kasutegur kusagil 6% ja 44% vahel. Tavalise kodutarbeks mõeldud PV-paneelid on kasuteguriga 15-20%.

Kui tootjad mõeldavad toodetavate paneelide kasutegurit, tehakse seda kokkuleppelistes standardtingimustes (STC), mis vastavad selgele suvepäevale õhutemperatuuriga +25°C.

Kuigi paneeli kasutegur on ka oluline tegur, vaadakse ostuotsuse tegemisel pigem €/W kohta, kuna kasuteguri kasvades kasvab paneeli hind eksponentsiaalselt. Täna tagab parima W/€ suhte 250-255W polükristall paneel.

KASUTUSTEGUR ≠ KASUTEGUR!!!

Kasutustegur – mitmel tunnil vaadeldaval perioodil (aastas) töötab elektri jaam täisvõimsusele taanda tuna.



Element, paneel, ahel?

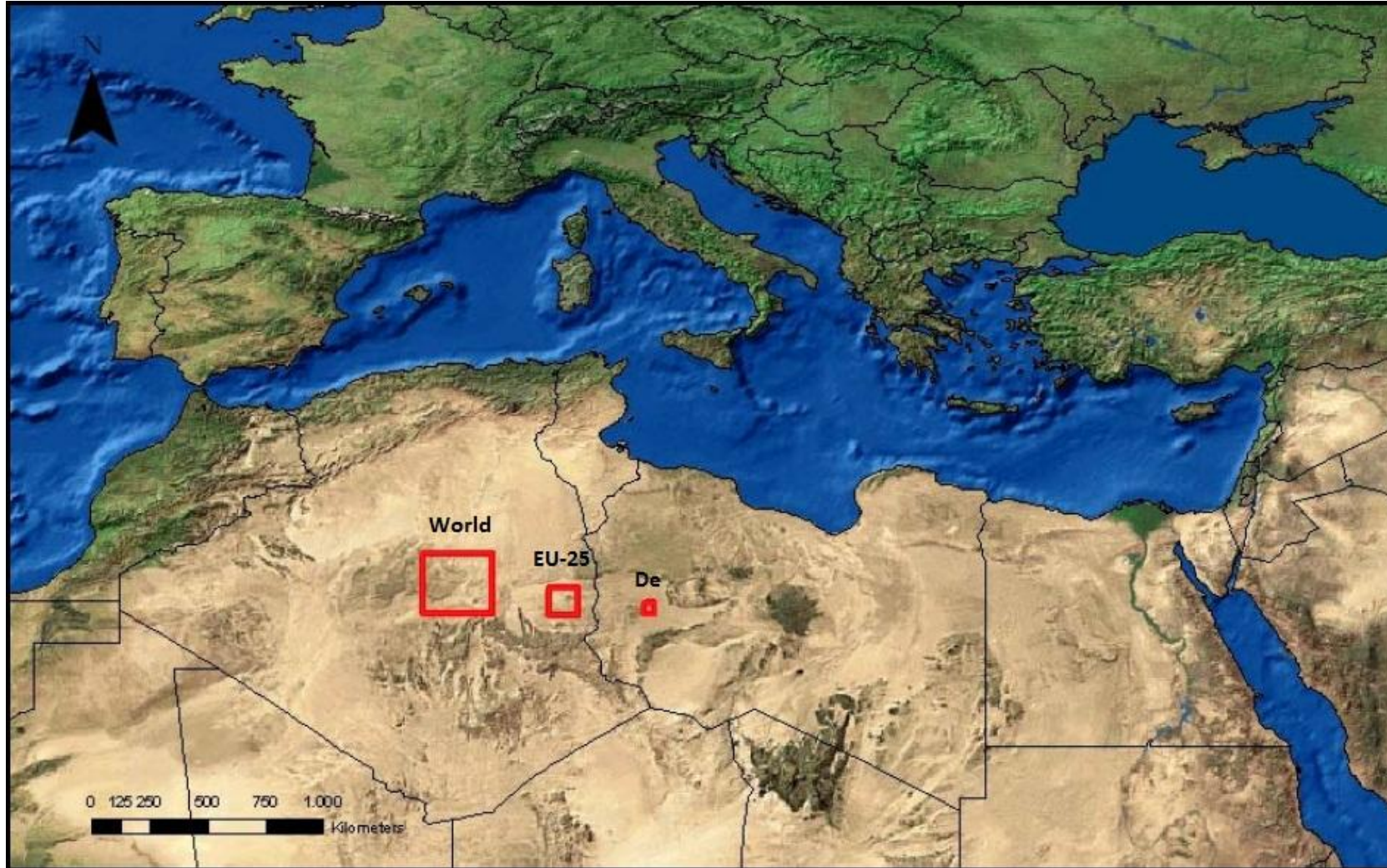
Tavaline PV-element koosneb klaasist või plastikust kattest, mittepeegelduvast kihist, pealmisest kontaktplaadist, alumisest kontaktplaadist ja pooljuht kihtidest.

Kui liita mingi hulk PV-elemente kokku saame PV-paneeli ja kui liita omavahel kokku PV-paneelid saame PV-ahela.

PV-süsteem (paigaldis, jaam) koosneb PV-paneelidest (ahelatest) ja DC/AC muundurist (inverterist). Lisaks on võimalik süsteeme täiendada kas salvestuse või võrguühendusega.

Mõned faktid

- ▶ Igal tunnil langeb Päikeselt Maale piisavalt energiat, et rahuldada kogu planeedi aastane energiavajadus



Globaalsed trendid

Globaalselt lisandus **2015 a. PV tootmisvõimsust: 55 GW**

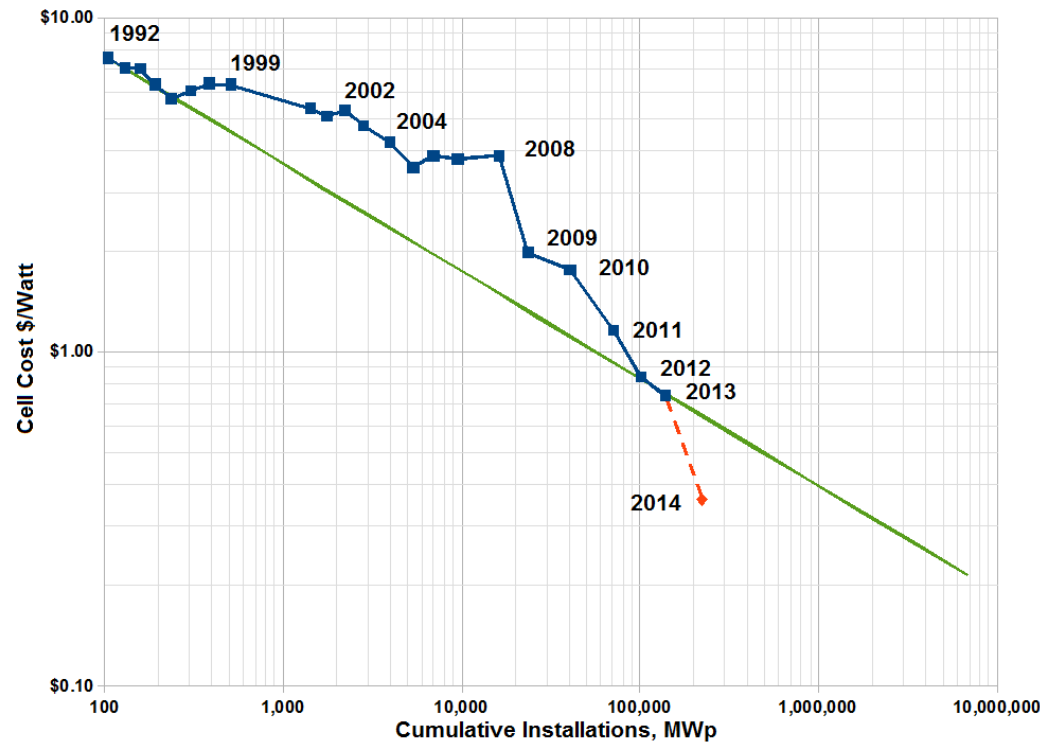
Globaalne **kumulatiivne PV tootmisvõimsus: 233 GW**

19 riigis toodetakse PV-jaamades üle 1% sisemisest elektritarbimisest:

- Itaalia 7,9%
- Kreeka 7,6%
- Saksamaa 7%
- Kogu Euroopa Liit 3,5%
- OECD riikidest veel Austraalia, Taani, Iisrael ja Jaapan
- USA ja Hiina < 1%

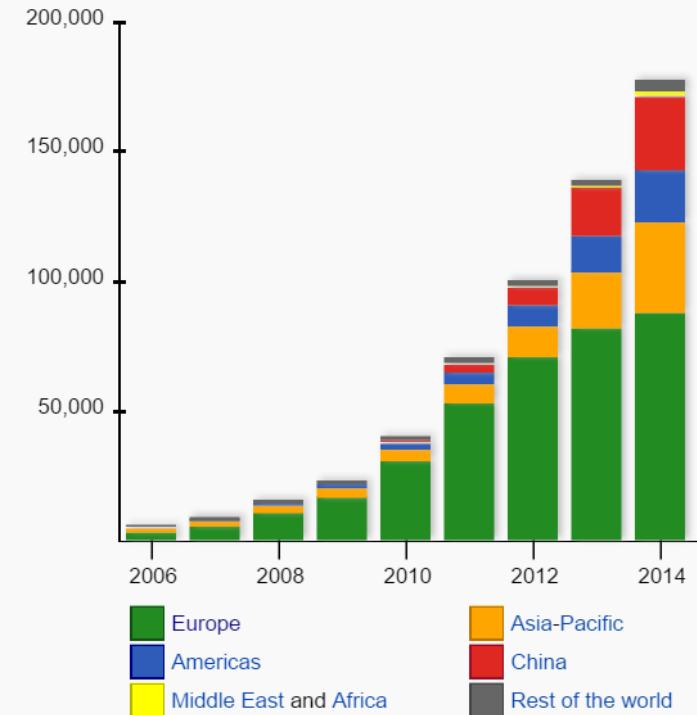
Globalised trendid

Swanson's Law



Worldwide Growth of Photovoltaics

Cumulative Capacity in Megawatts [MW_p] Grouped by Region^{[1]:17}



Capacity over recent years

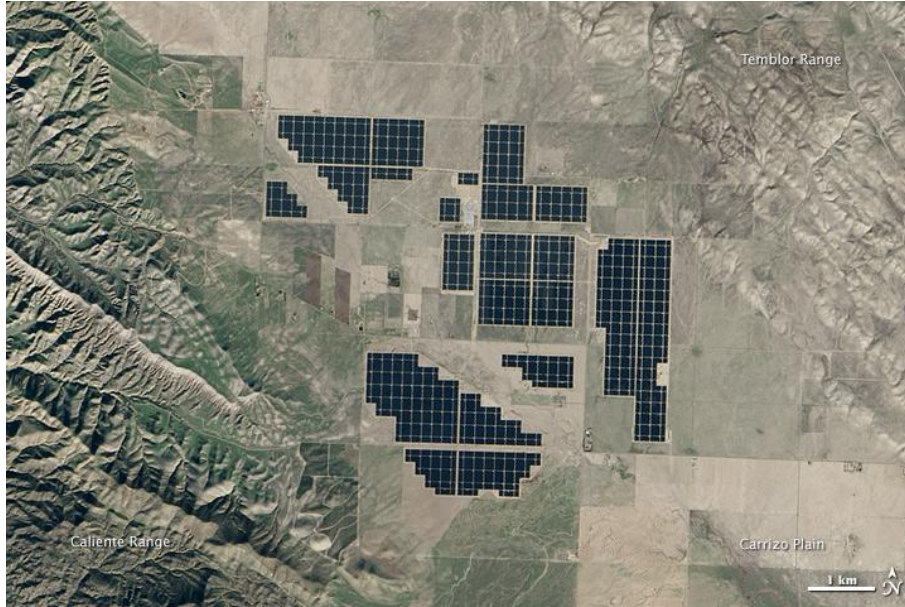
Year-end (in MW _p)	2010	2011	2012	2013	2014
Cumulative	40,336	70,469	100,504	138,856	>177,000
Annual	17,151	30,133	30,011	38,352	>38,700
installation-GR	134%	76%	0%	28%	>1%

Swanson'i seadus - PV süsteemide hind langeb 20-30 % kui globaalne tarnemaht (tootmismahut) kahekordistub. Tänapäevase kasvutempo juures hinnad „poolduvad“ iga 10 aasta järel

Maailma suurimad PV-elektrijaamad

PV-jaam	Võimsus (MW _p)	Asukoht	Valmimisaasta
Topaz Solar Farm	550	California, USA	2014
Desert Sunlight Solar Farm	550	California, USA	2015
Longyangxia Dam Solar Park	320	Qinghai, Hiina	2013
Solar Star I and II	309	USA	<i>ehituses (plaan 579 MW)</i>
California Valley Solar Ranch	292	California, USA	2013
Agua Caliente Solar Project	290	Arizona, USA	2014
Mount Signal Solar	266	California, USA	2014
Antelope Valley Solar Ranch	266	California, USA	<i>ehituses</i>
Charanka Solar Park	224	Gujarat, India	2012
Mesquite Solar project	207	Arizona, USA	<i>ehituses (plaan 700 MW)</i>
Huanghe Hydropower Golmud Solar Park	200	Qinghai, Hiina	2011
Gonghe Industrial Park Phase I	200	Hiina	2013
Imperial Valley Solar Project	200	California, USA	2013

Topaz Solar Farm



Asukoht: California, USA
Ehitus: nov. 2011 – nov. 2014
Maksumus: 2,5 Mld US\$
Võimsus: 550 MW
Paneelid: 9 miljonit CdTe moodulit
Tootja: First Solar
Pindala: 25 km²
Prognoositav aastatoodang: 1 100 GWh
(2014: 1 053 GWh)
Kasutustegur: 23%
Keskmine võimsus: 125 MW

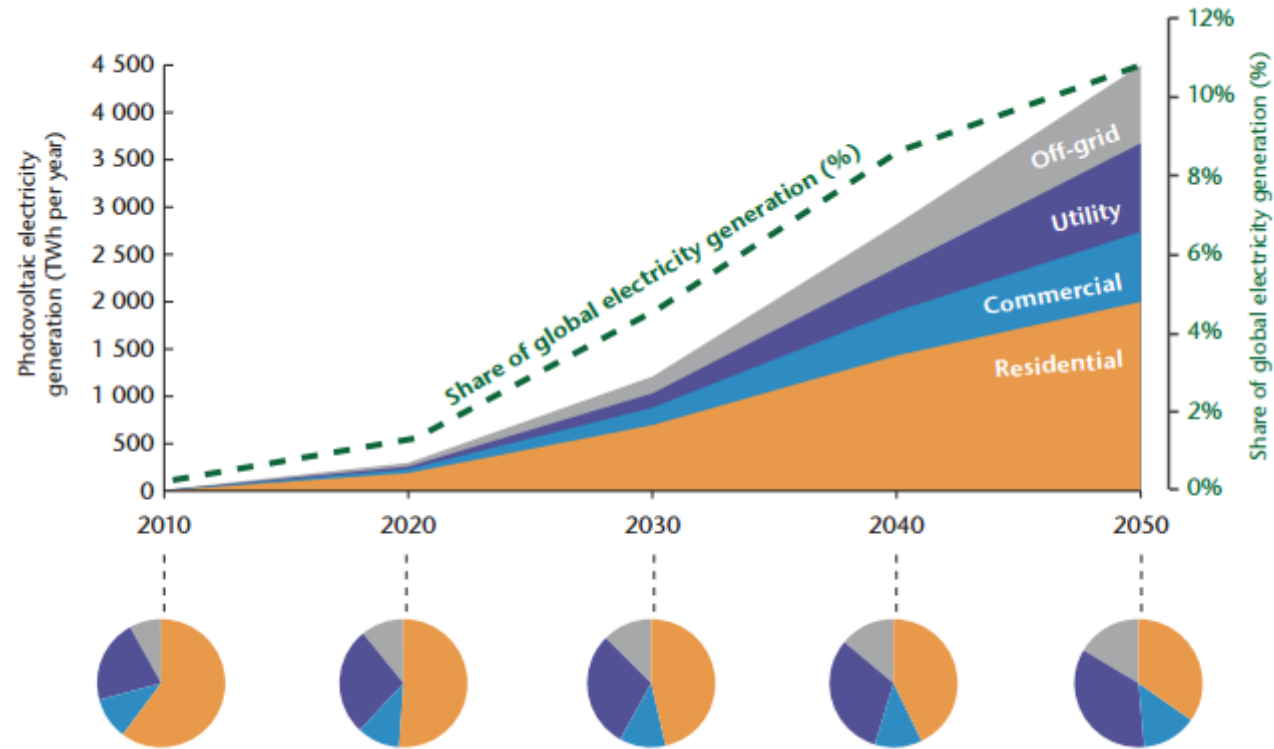
PV-jaama saab käiku anda järk-järgult tootmisvõisust lisades:

Monthly Electricity Generation in MWh													
Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
2013	-	239	24,499	18,660	31,026	40,465	47,772	58,441	53,196	47,407	39,423	40,180	401,308
2014	38,484	36,044	72,444	87,330	97,239	109,860	106,256	119,100	119,484	113,417	93,074	60,641	1,053,373
2015	89,635	92,946	108,651	114,967	103,163	123,704	130,249	133,000	120,634	111,211	-	-	-

Source: eia.gov - Electricity Data Browser^[13]

Note: Interactive chart on EIA-website displays figures with an offset of one month.

PV paigalduste jagunemine



Allikas: IEA Technology Roadmap Solar Photovoltaic Energy 2010

- Kodumajapidamiste osakaal väheneb, kuid jääb siiski domineerima
- Salvestustehnoloogiate arenedes suureneb off-grid ja hübriidsüsteemide osa

Eesti ja PV – kas ja kuidas sobivad kokku?

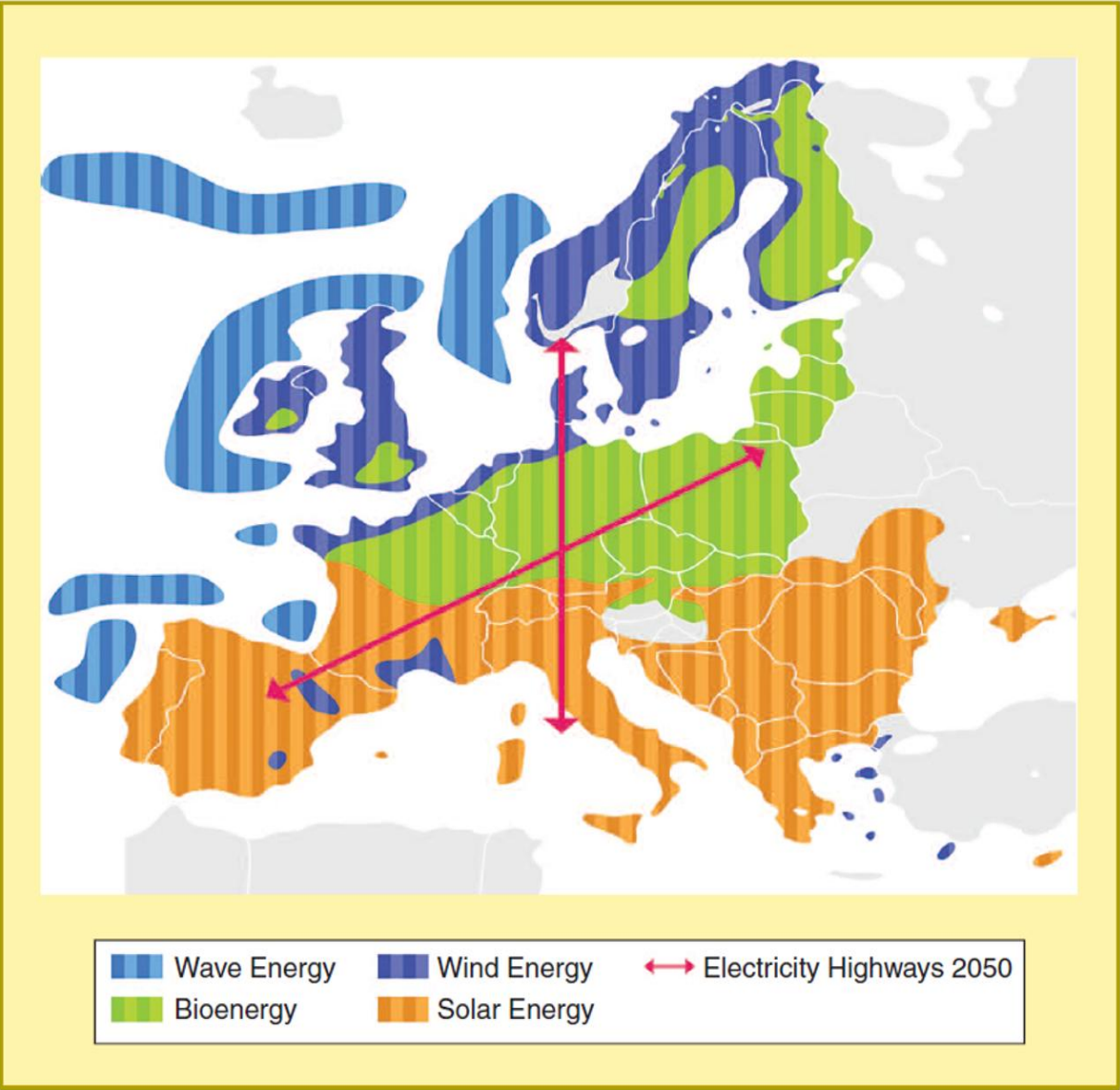
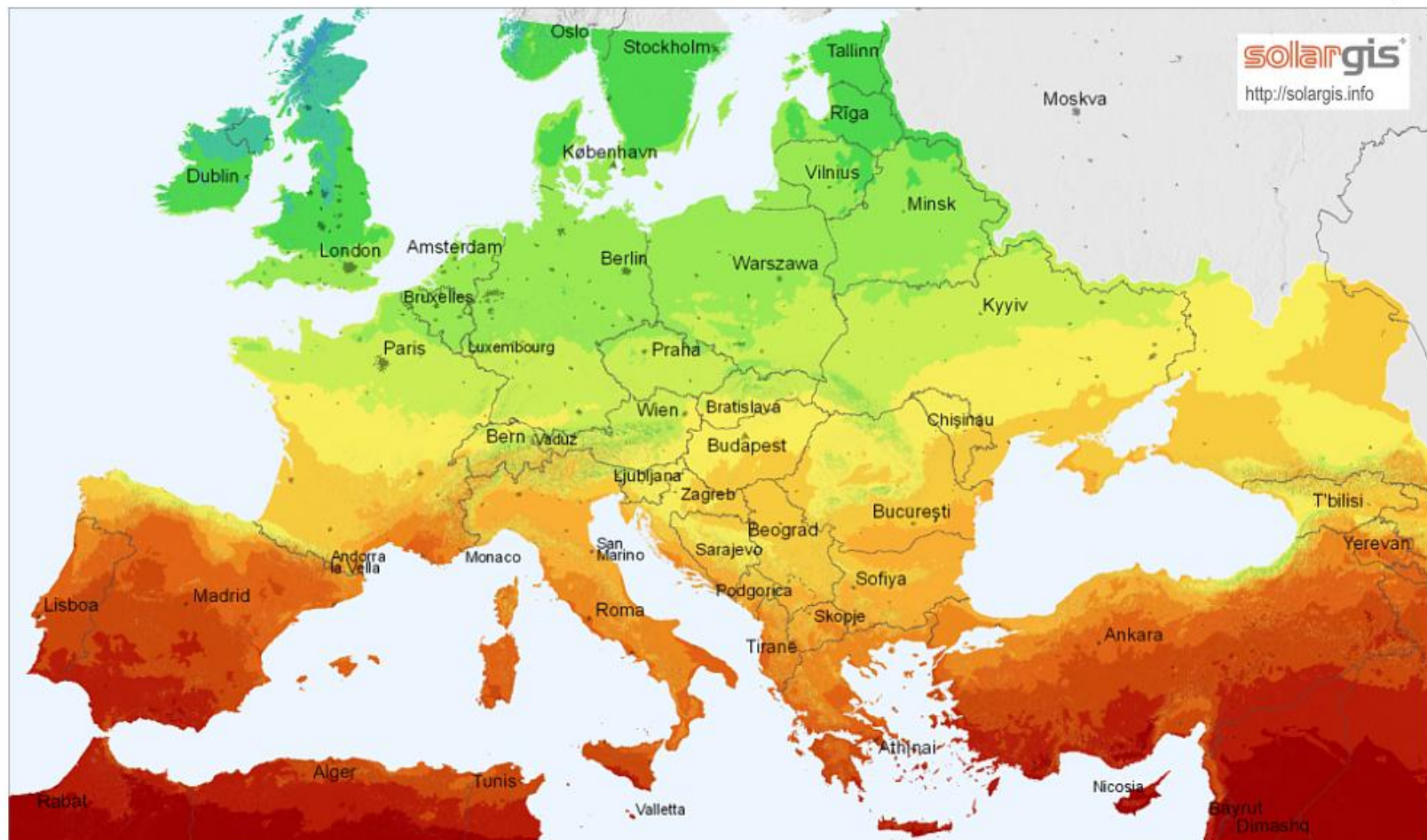


figure 1. Possible RES locations.

Eesti ja PV – kas ja kuidas sobivad kokku?

Global horizontal irradiation

Europe



Average annual sum (4/2004 - 3/2010)



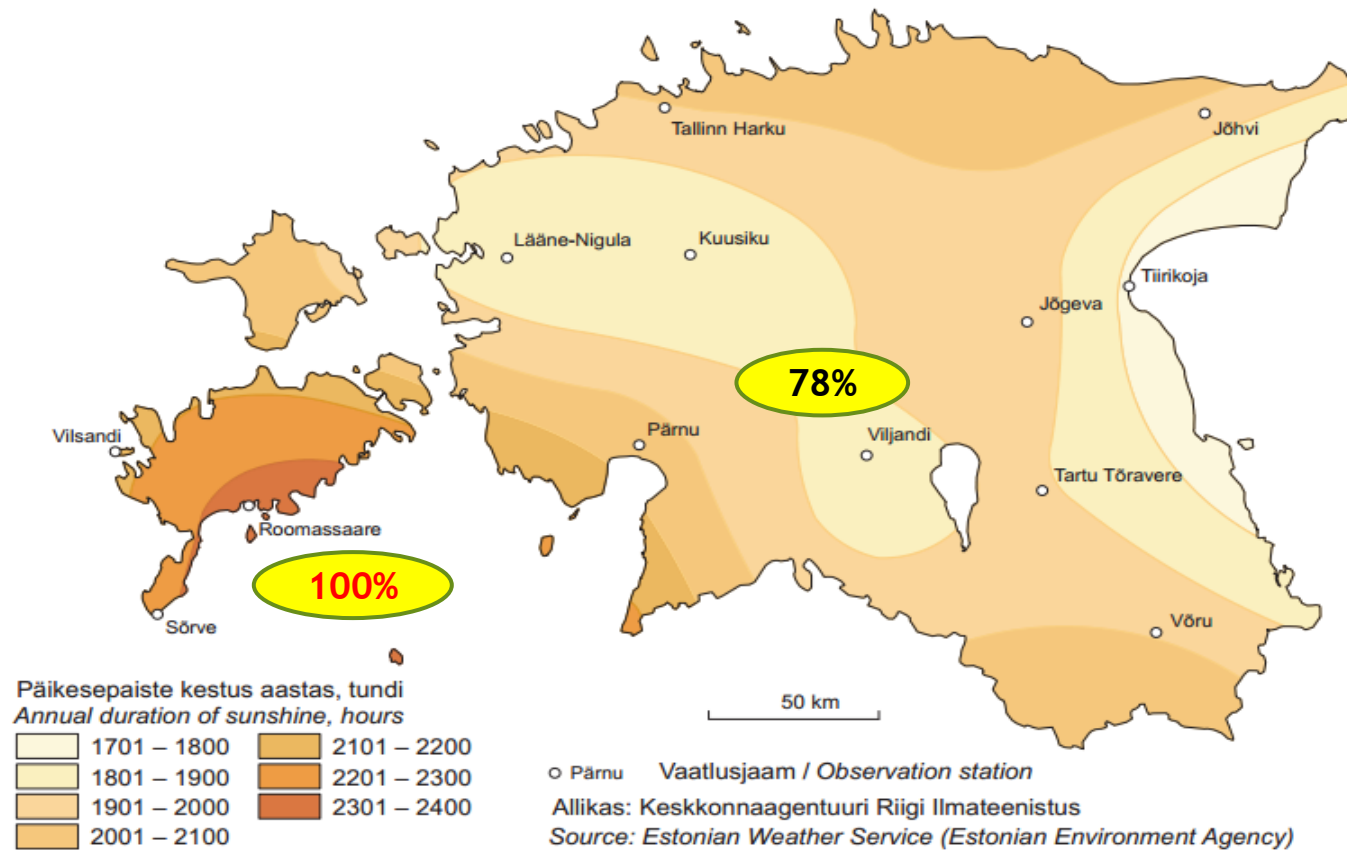
< 700 900 1100 1300 1500 1700 1900 > kWh/m²

0 250 500 km

© 2011 GeoModel Solar s.r.o.

PV ja Eesti?

Päikesepaiste, 2013
Sunshine, 2013



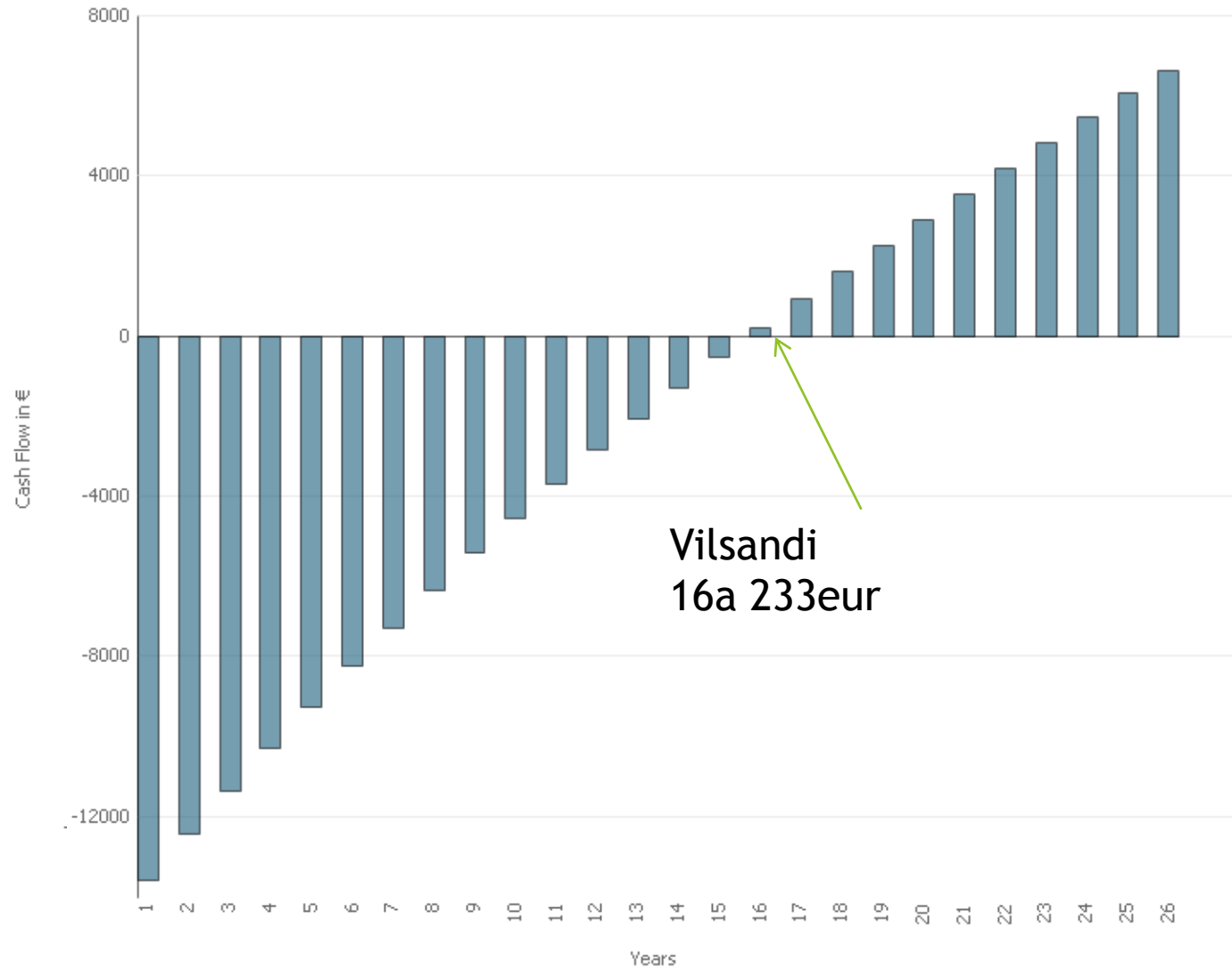
Eesti laiuskraadil:

Optimaalse kalde ja asimuudiga pinnale langeb aastas 1100 – 1200 kWh/m² energiat

85% sellest langeb vahemikus **aprillist oktoobrini**

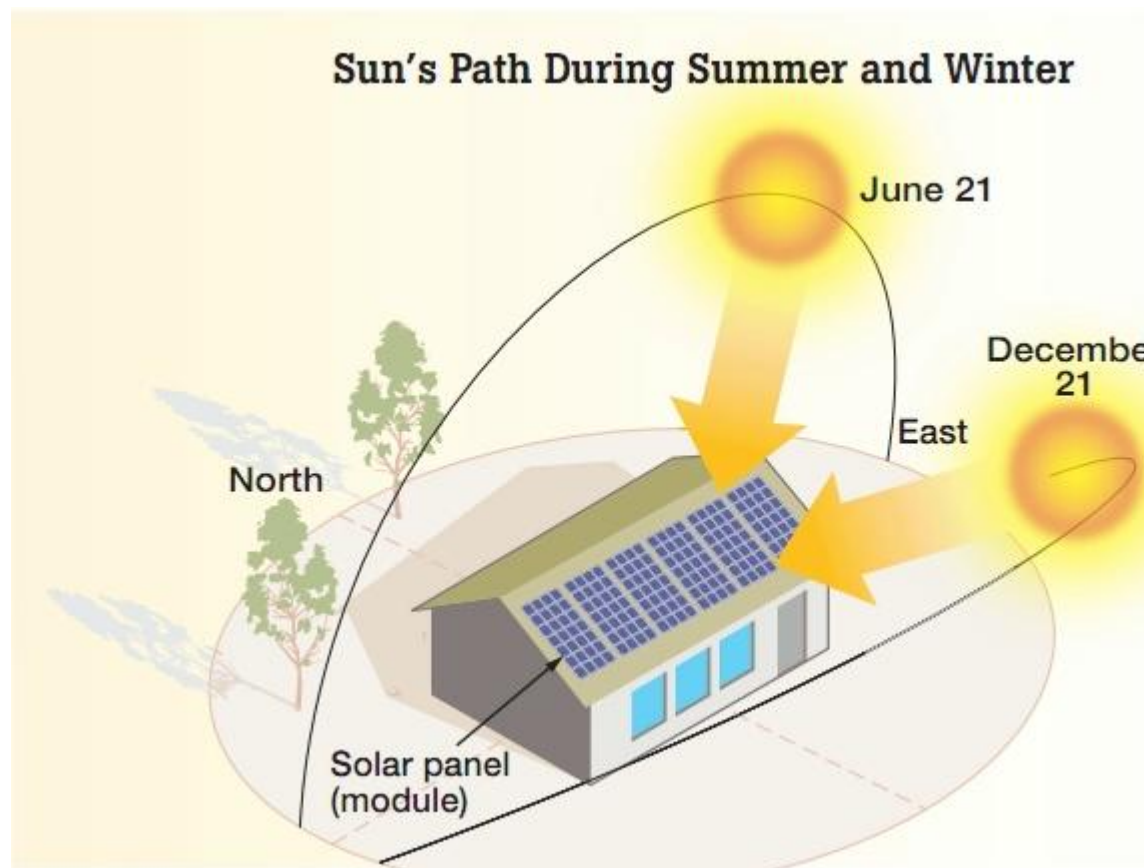
1 kW (~ 6m²) võimsusega optimaalselt paigaldatud PV-jaam toodab aastas 900 ... **1000 kWh** energiat

Paigaldise asukoha mõju - päike - sademed, päikesekiirgus



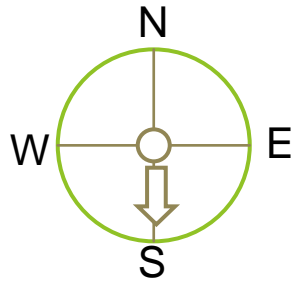
Optimaalne paigaldus Eestis

Lõuna suund ($\pm 15^\circ$) ja kalle vahemikus $35-45^\circ$

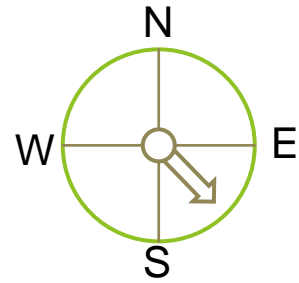


Madalam kalle = lisaks väiksemale tootlikusele ka paneelide suurem määrdumine

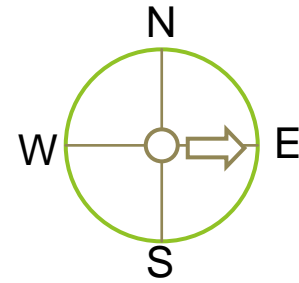
Paigalduse mõju



Lõunasse
16.1a

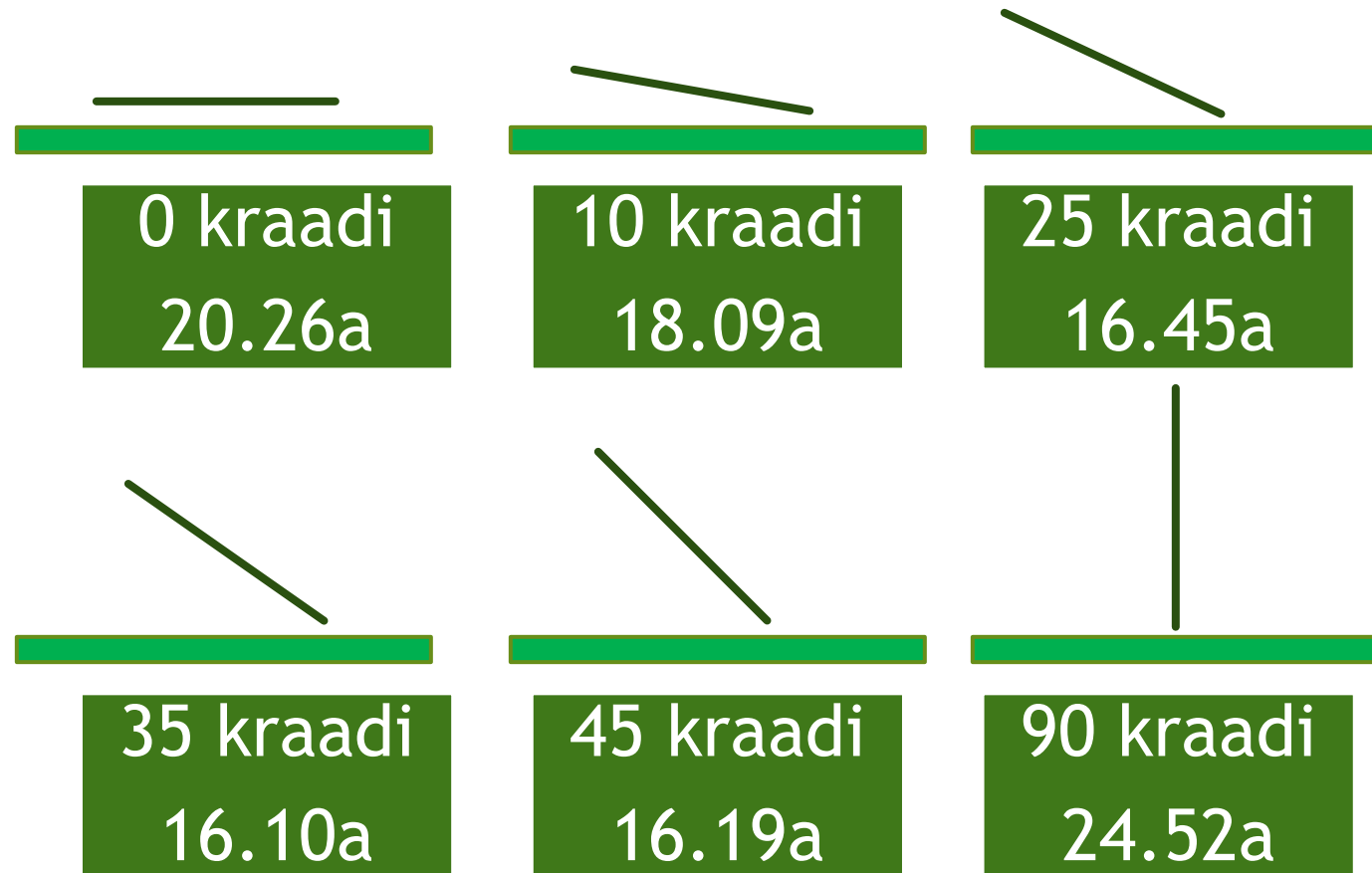


Kagusse
18.43a



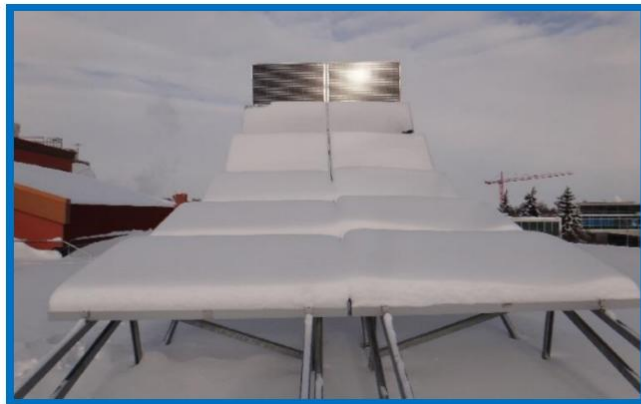
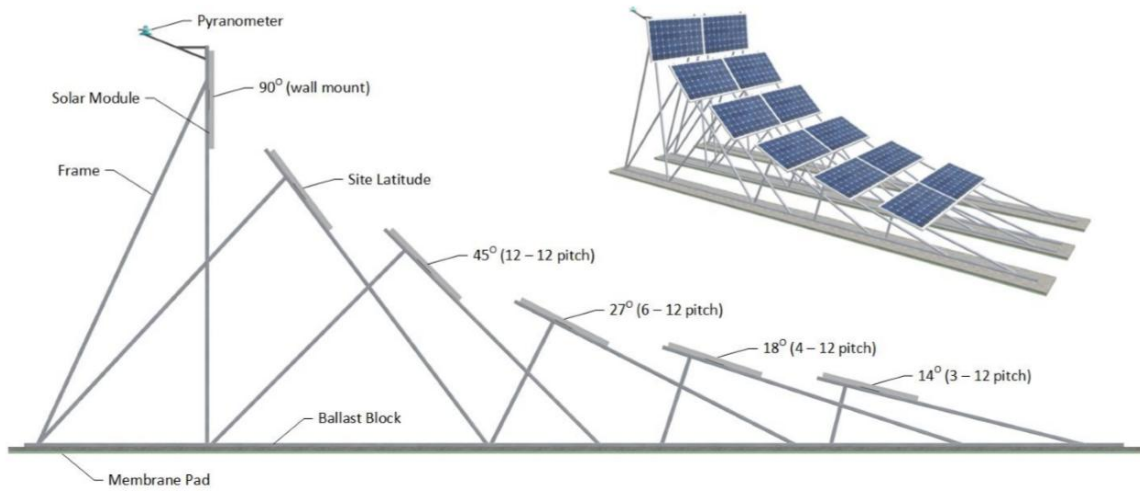
Itta
22.7a

Paigalduse mõju

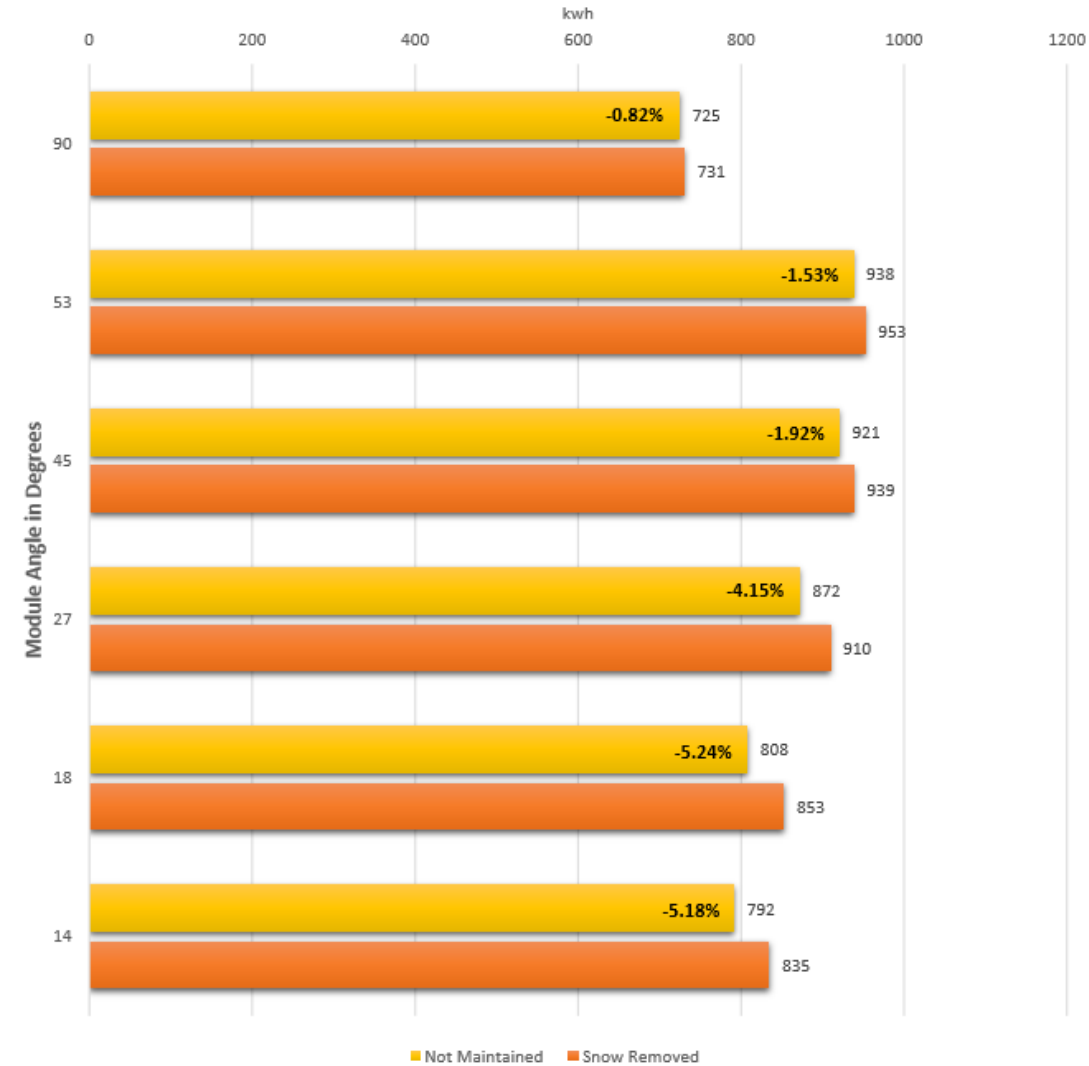


PV-paneelid ja lumi?

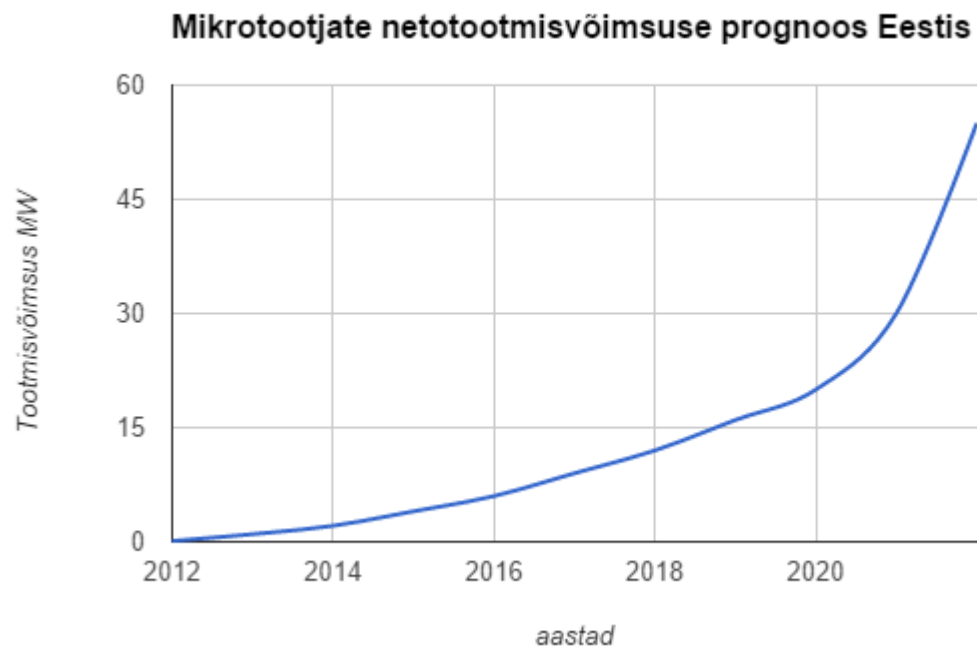
Kanada Põhja Alberta Tehnoloogiainstituudi uuring 2012-2015



Performance Comparison Between Snow Removed and Non-Maintained Modules
April 01, 2012 - March 031, 2015



Eesti ja PV – kas ja kuidas sobivad kokku?



Eestis väljastatakse aastas:

1300 - 1500 elamuehitusluba

2300 - 2400 mitteeluhoonete ehitusluba

3000 hoonet X 10 kW = 30 MW tootmisvõimsust = ~ 30 GWh elektrit aastas

2014 Eestis ~ 2 MW PV
tootmisvõimsust

Euroopa Liidu Hoonete
energiatõhususe direktiiv
(2010/31/EL):

01.01.2019 kõik riigi poolt
kasutatavad uusehitised

01.01.2021 KÕIK uusehitised

**KAS LIGINULL VÕI
NULLENERGIA HOONED**

Alates 2021 lisandub aastas ~ 30MW tootmisvõimsust
uusehitiste näol, mis toodavad aastas ~ 30 GWh elektrit

PV

VIILKATUSELE



FASSAADILE



LAMEKATUSELE



MAAPINNALE



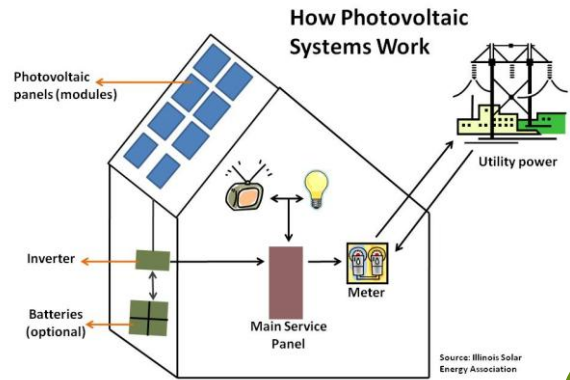
+ INTEGREERITUD

Ehitisintegreeritud PV-moodulid

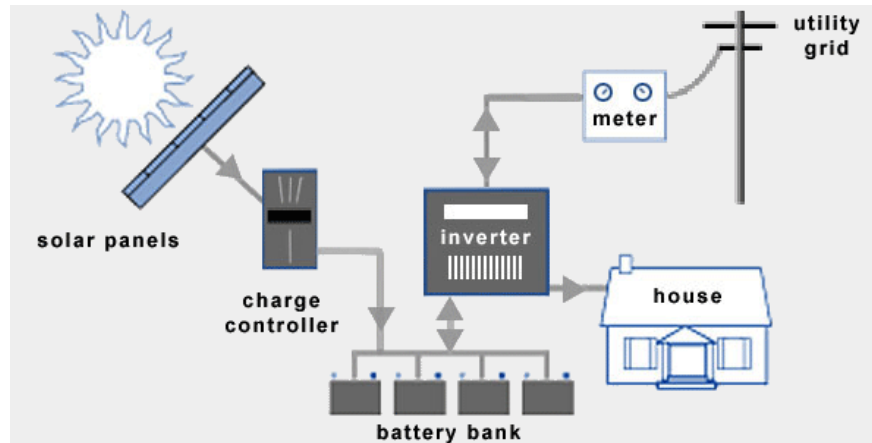


Võrguühendusega või ilma?

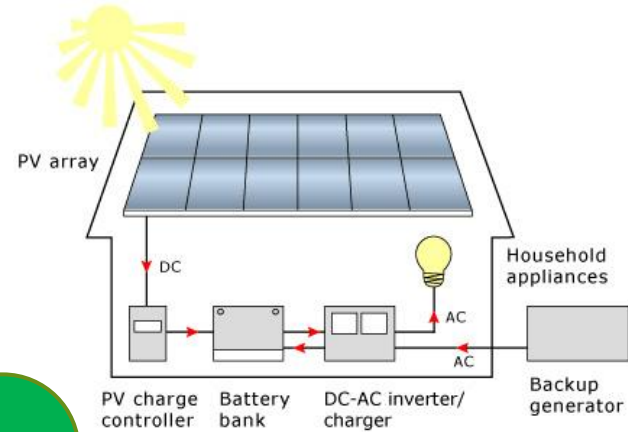
Võrguühendusega (on-grid)



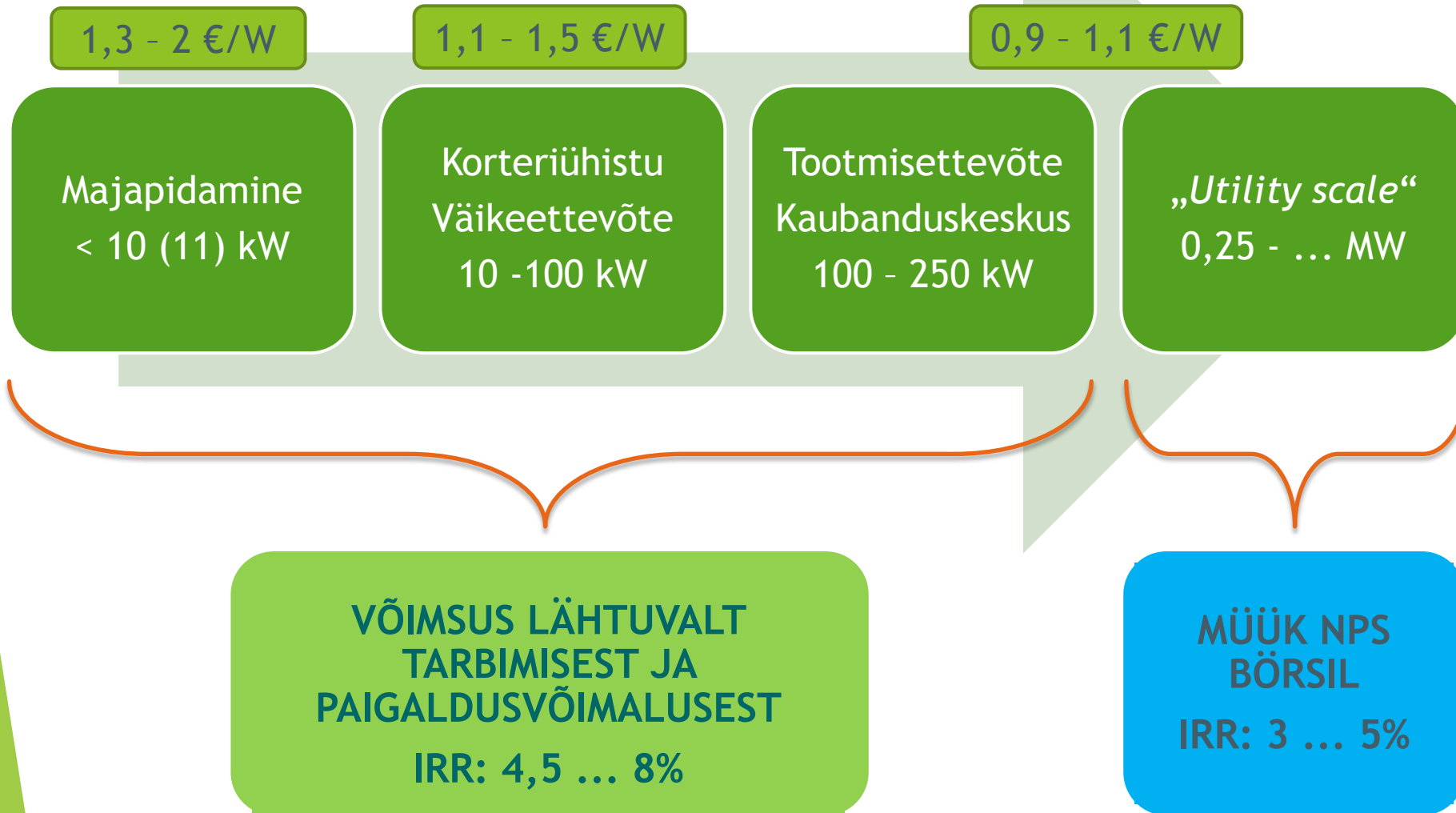
On-grid hübriidsüsteem



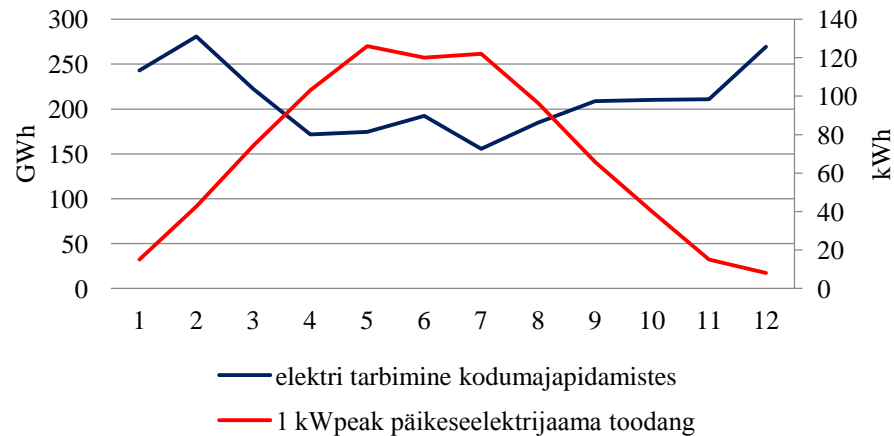
Võrguühenduseeta (off-grid)



PV-paigaldis kui finantsinvesteering



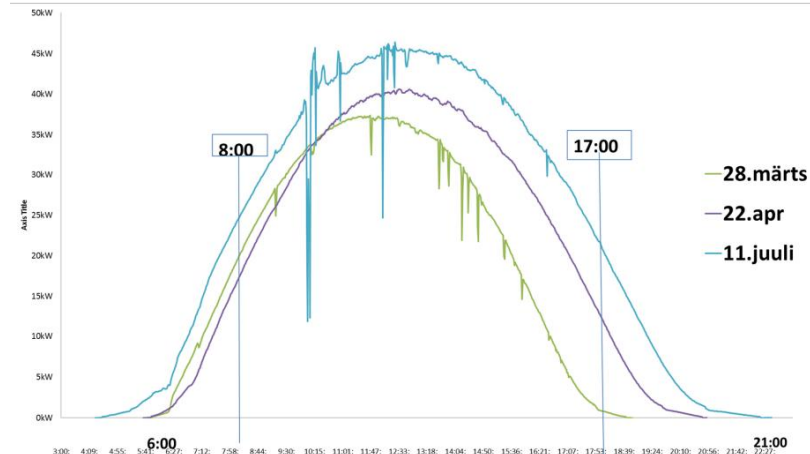
Tootmise ja tarbimise „faasinihe“



Elektritarbimise- ja PV jaama tootmise tipp on erinevatel aastaegadel - **85% kiirgusest vahemikus aprillist oktoobrini**

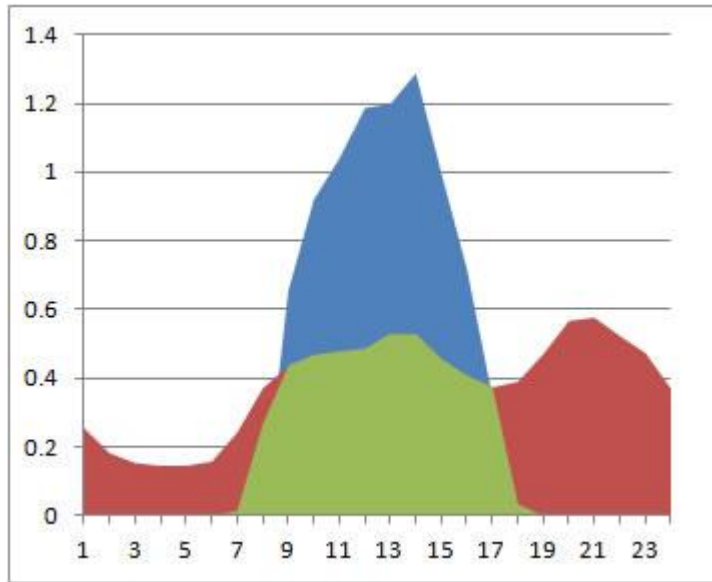
Ööpeva siseselt:

- **Ettevõtte** tüüpiline tarbimine langeb PV-jaama tootmistsükliga kokku
- **Majapidamise** tüüpiline tarbimine ei lange kokku



AS Konesko 50kW PV-jaam Koerus

Võti on õige dimensioneerimine



TÄNASE TURUKORRALDUSE JUURES:

- SÜSTEEMI AASTANE TOODANG EI TOHIKS ÜLETADA AASTAST TARBIMIST
- VÕIMALIKULT SUURE OSA TOODANGU LOKAALNE TARBIMINE

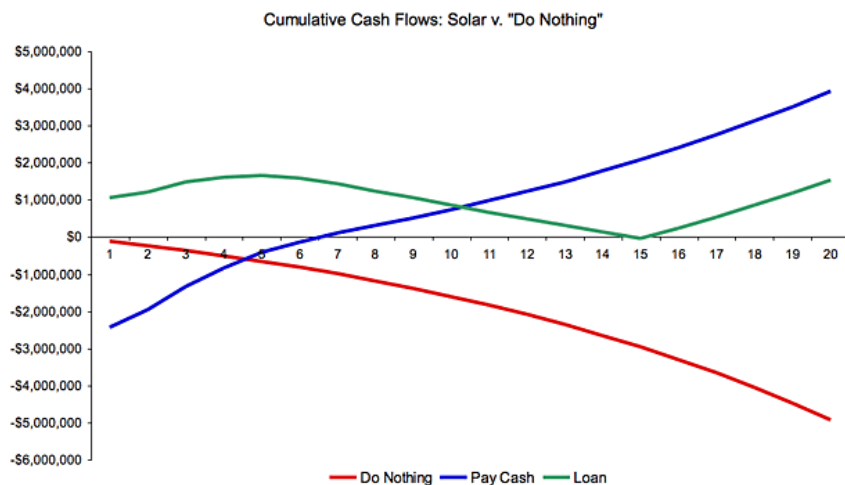
Õigesti dimensioneeritud mikrotootmise puhul:

RAHAVOOG = SÄÄST ELEKTRIVÄRVELT

Mis on PV-süsteemi tasuvus?

Süsteemi rajamiseks tehtud investeeringu katmine rahavooga, mis koosneb kahest komponendist:

1. **SÄÄSTURAHAVOOG** - võrgust ostmata jäänud elektrienergia hind koos ülekandetasude ja riiklike maksudega (kaetakse toodetava elektri tarbimisega kohapeal, samavõrra võrgust vähem elektrit ostes
2. **ELEKTRIMÜÜGI RAHAVOOG** - kohapealsest tarbimisest ülejääva elektri müügist saadav tulu, millele lisandub 12a. jooksul taastuenergia toetus



Rahavoo kujunemine

Võrku müüdava elektri
väärtus:

NPS elektribörsi spot hind +
TE-toetus (12 aastat)



Kohapeal tarbitava toodangu
väärtus:

Võrgust ostetava elektri hind
koos kõigi tasude ja
maksudega

Toodetav energia 100%

Elekter üldvõrku 60-80%

Kohapealne tarbimine 20-40%

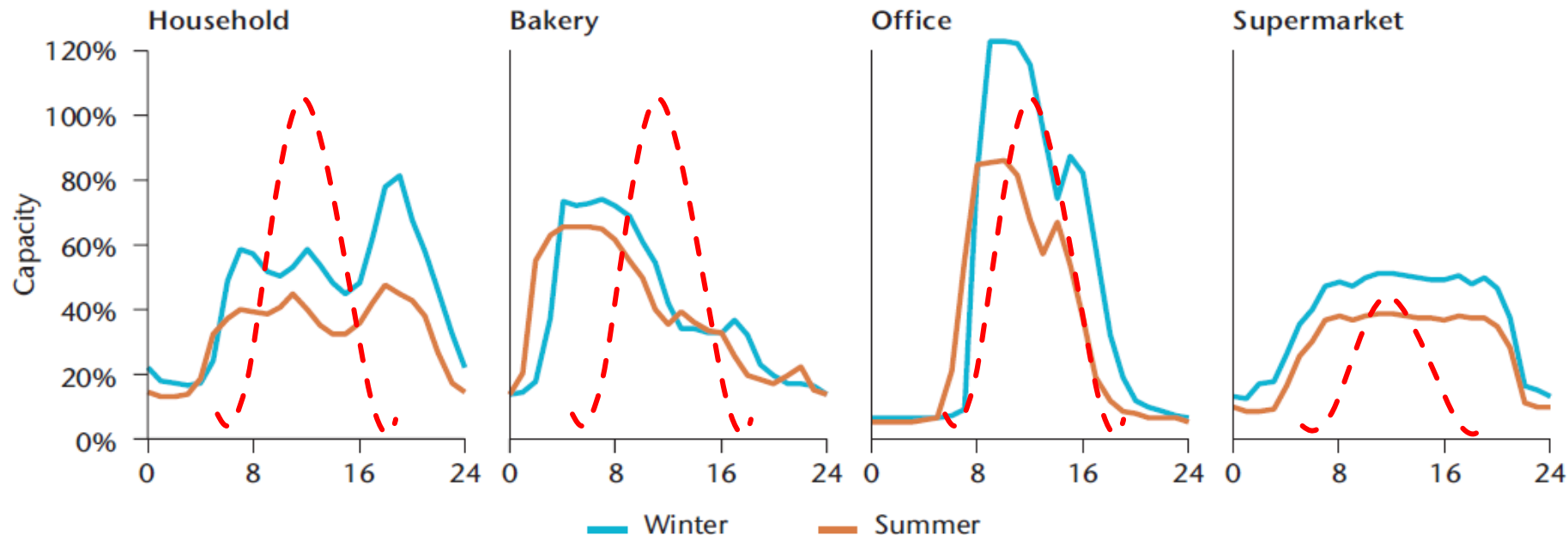
Elekter üldvõrgust



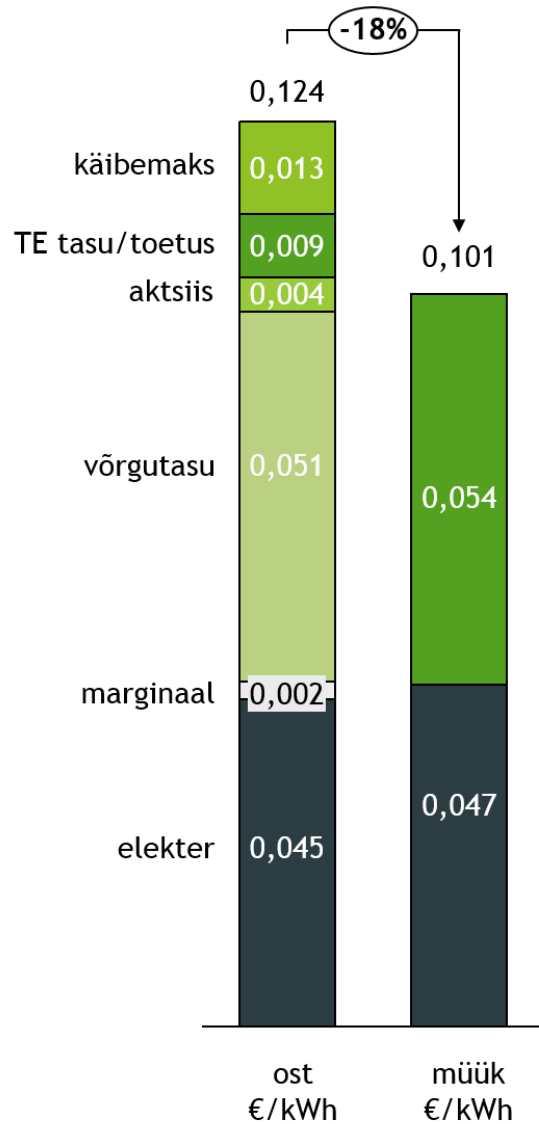
Kohapeal äratarbitava energia osakaal:

- ▶ Tavaline majapidamine 30-40%
- ▶ „Tark“ maja 40-50%

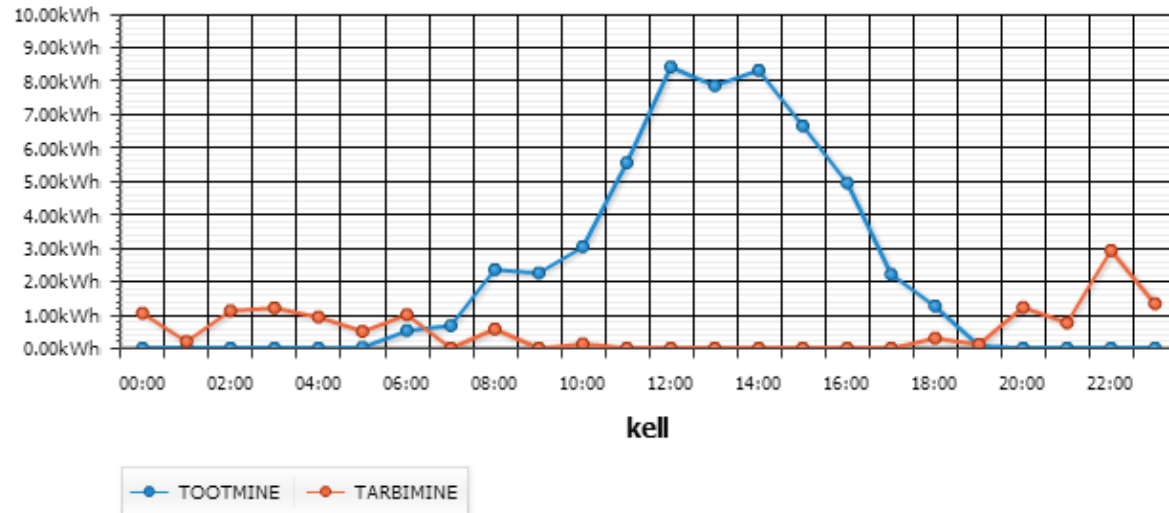
Figure 20: Hourly electricity consumption profiles for different building types in Germany



PV dimensioneerimine ja hind II



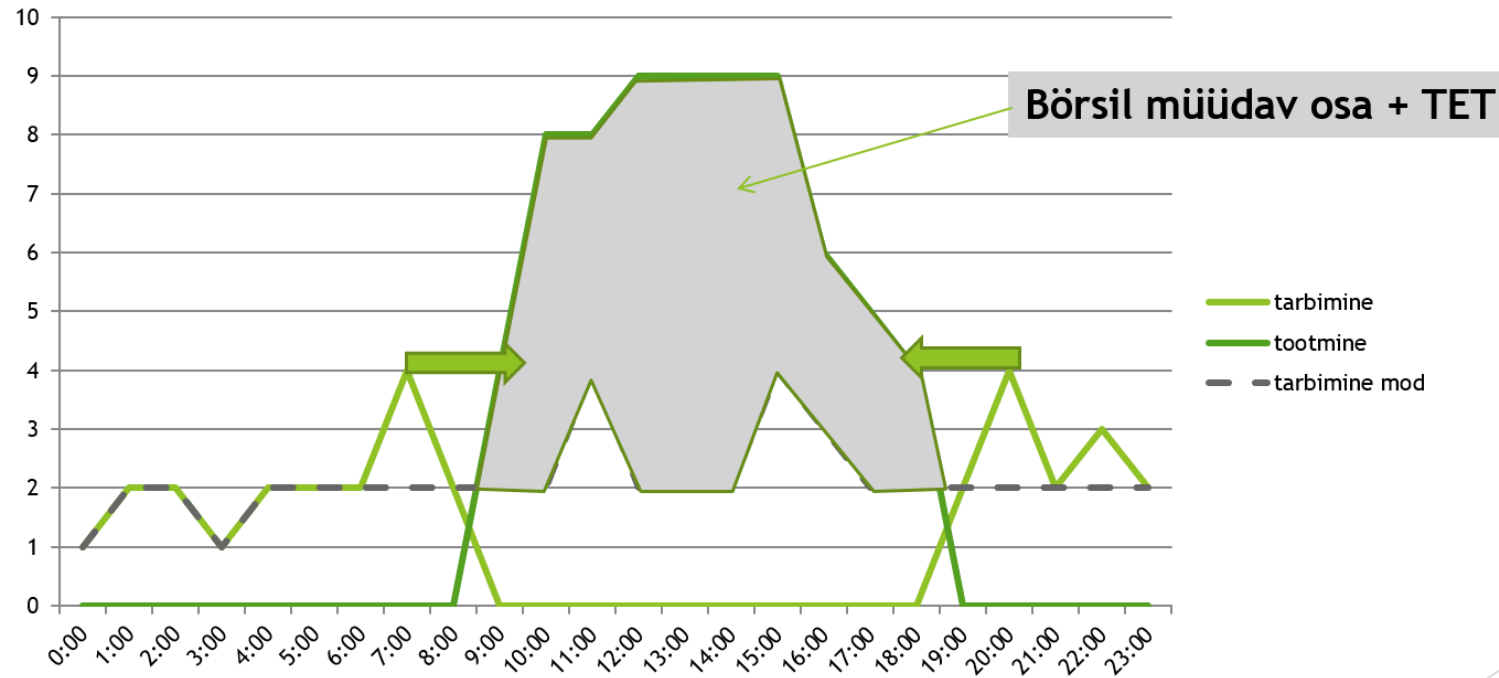
**ELEKTRI HIND:
1/3 BÖRSIHIND
1/3 VÕRGUTASUD
1/3 RIIKLIKUD MAKSUD**



Pühapäev 20.07.2014

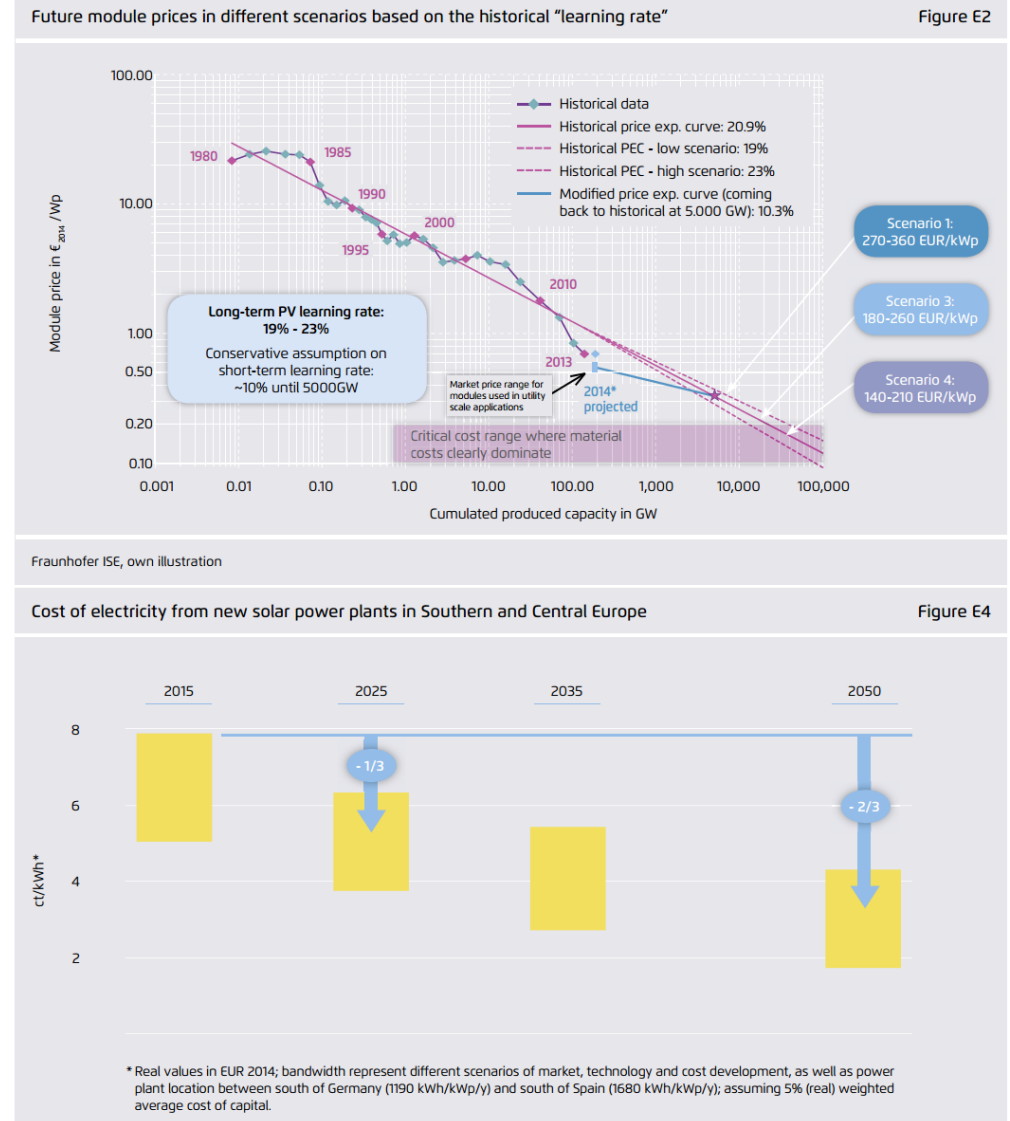
Energiatarbimise audit

- Analüüsi oma tarbimisharjumusi
- Leia suurimad tarbijad
- Kas nende tööd on võimalik nihutada ajale kui on tootmine?
- Ning SAMAVÕRRA vähendada võrgust ostetava elektrienergia kogust?



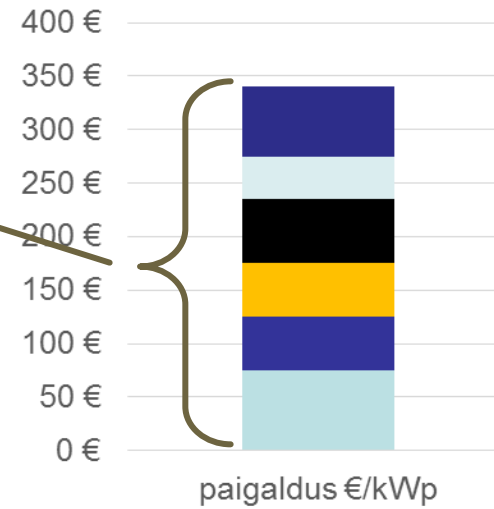
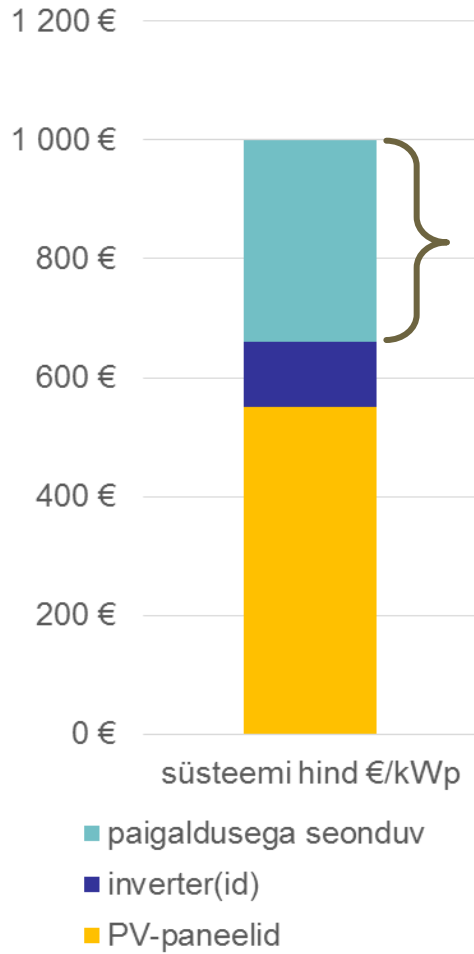
PV CAPEX ja LCOE

- Globaalse tootmismahu kahekordistumine alandab süsteemide hinda 25 – 30%
- Täna Eestis „võtmed kätte“ hind:
 - Ettevõttele vahemikus **1,3 – 1,4 €/W**
 - Eratarbijale vahemikus **1,6 – 2,0 €/W**
- **Hind sõltub konkreetse paigalduse tingimustest**
 - Võrguliitumine
 - Tehn. keerukus
- Süsteemi hinnast lähtuvalt toodangu omahind (LCOE) täna vahemikus **0,08 – 0,1 €/kWh**
- **Fikseeritud hind 25 ... 30 aastaks!**



PV CAPEX ja LCOE

Maapinnale paigaldatava nn. „Utility scale“
süsteemi komponentide maksumus Saksamaal
2015 €/kW



- muud kulud
- infra
- võrguga liitumine
- DC kaablid
- paigalduse töö
- karkass

Tasuvuse üldised parameetrid

Paigaldise kasulik eluiga

▶ Seadmetele

- ▶ Päikesepaneelid - 25-30 aastat (säilinud 80% algsest tootlikusest)
- ▶ (Tuulegeneraator - 15-20 aastat. Vajab enam hooldust - mehhaanika!)
- ▶ Inverter - 20-25aastat. Kas peaks seadme eluea jooksul koguma inverteri vahetuseks?
- ▶ Muud materjalid - kaablid ja kontaktid UV kindlad

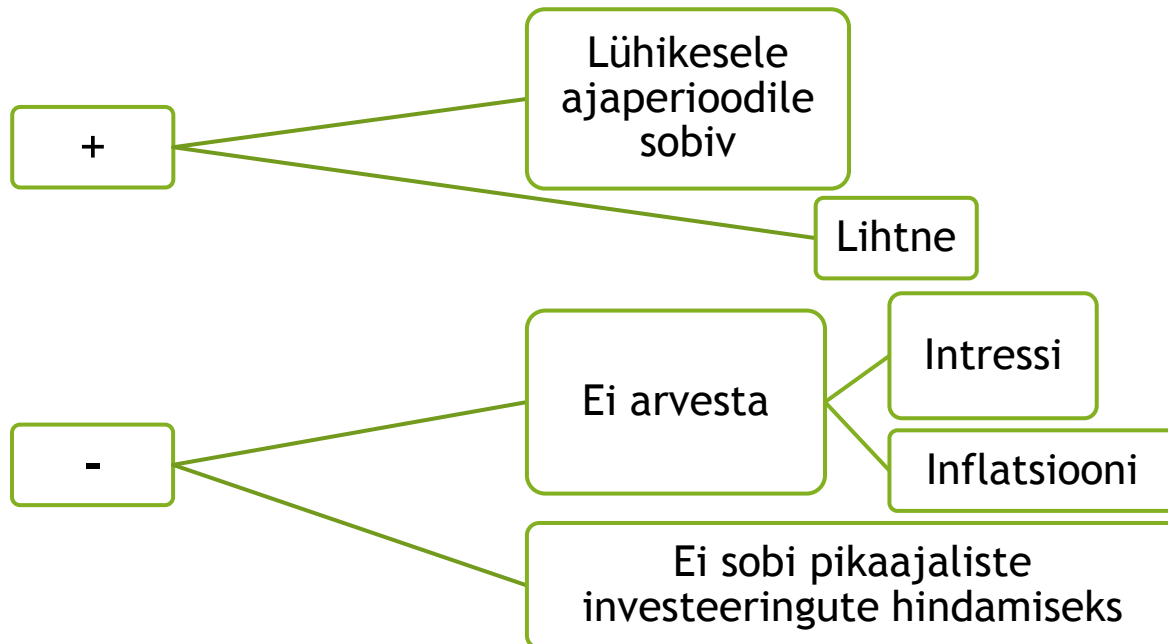
▶ MUUD:

- ▶ **KAS KATUSE ELUIGA ON VEEL 30 AASTAT?**
- ▶ **KUI PIKK ON OOTUSLIK TASUVUS? KAS MA ELAN VEEL SELLES MAJAS 30 AASTAT?**

Tasuvusaja leidmine

Lihhtasuvusaeg

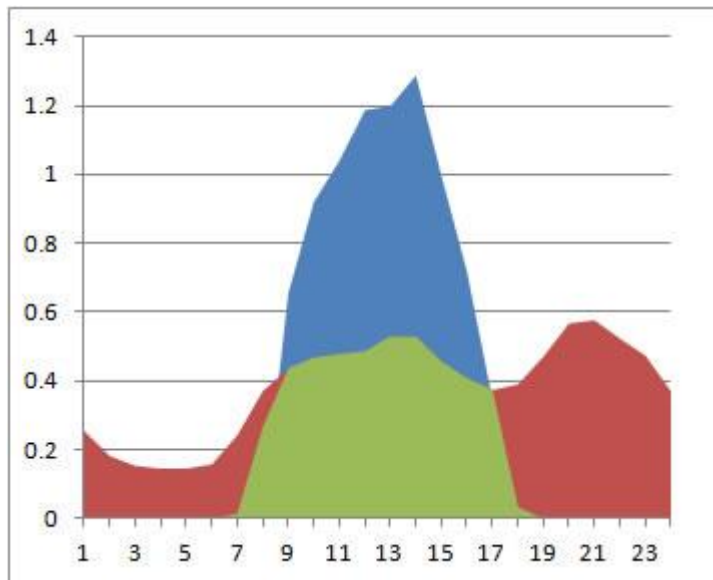
$$\text{TASUVUSAEG} = \frac{\text{INVESTEERINGUKULU}}{\text{AASTANE TULU}}$$



Tasuvusaja leidmine

Lihttasuvusaeg - näide

Kas lihttasuvusaeg on sobiv meetod?

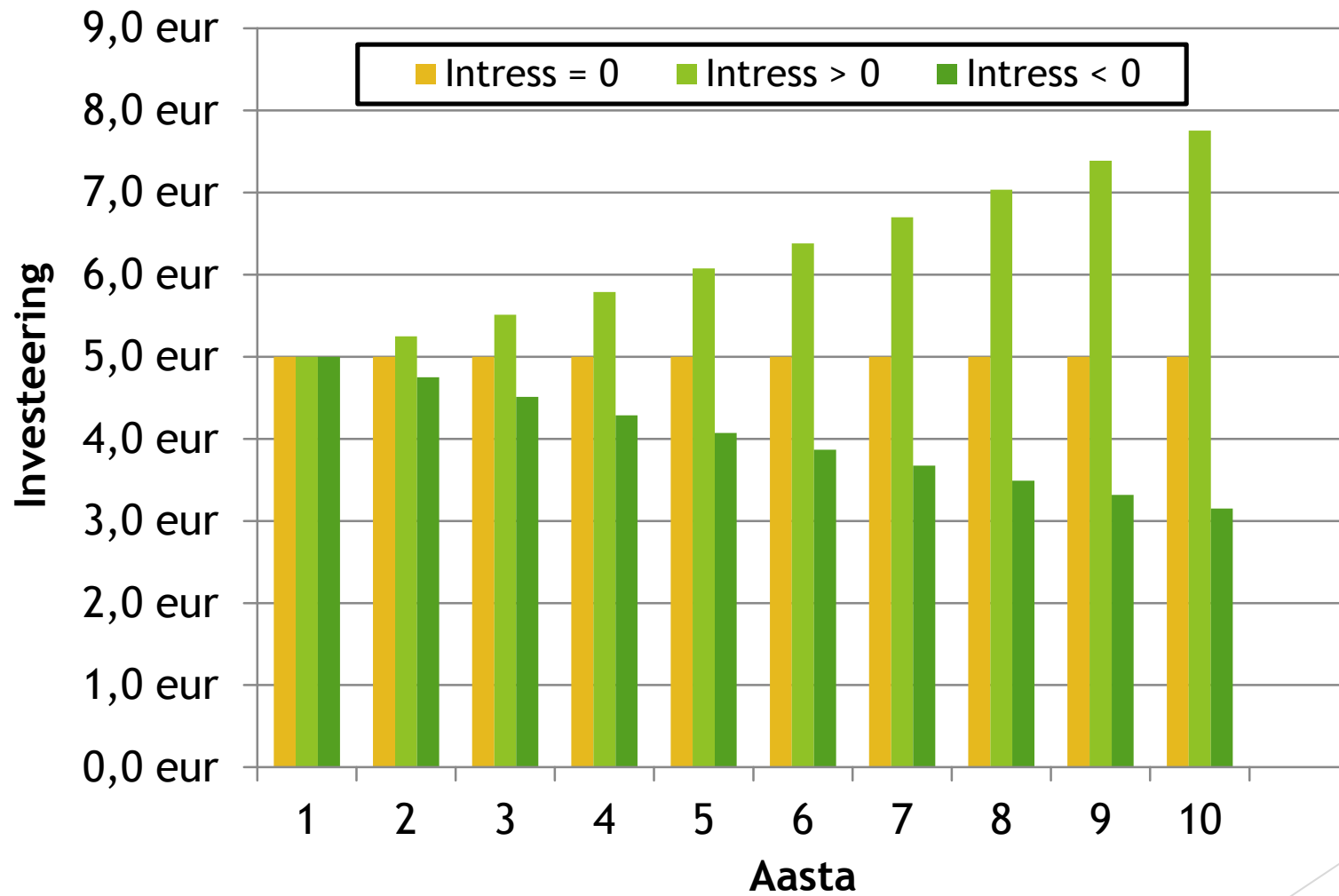


Investeering - 15 500€
Aastane tulu - 1540€

10,06 aastat

Tasuvuse üldised parameetrid

Intr_{ess}(i)



Diskonteeritud tasuvus IRR ja NPV

IRR - Internal Rate of Return = Investeeringu sisemine tulumäär %
NPV - Net Present Value = Puhasnüüdisväärtus

Puhasnüüdisväärtuse arvutamise tulemuseks on rahasumma, mis on teenitud ($NPV > 0$) või kaotatud ($NPV < 0$) pärast seda, kui kõik asjassepuutuvad rahakäibed on tasuvusmääraga diskonteeritud.

IRR - on maksimaalne diskontomäär, mille puhul investeeringu puhasnüüdisväärtus $NPV = 0$

Tasuvuse üldised parameetrid

Diskonteeritud tasuvus IRR ja NPV

tootmisaastad	1	5	10	15	20	25	30	
toodang aastas MWh	5,7	5,64	5,50	5,37	5,24	5,11	4,98	
rahavoog €/a	491	523	566	613	663	717	775	
Invest tasuvus	-9000	-8509	-6464	-3719	-750	2462	5937	9694
IRR:	5,05%							
	-9000	491	523	566	613	663	717	775

EXCELI FUNKTSIOONID

=IRR(-investeering;aastate rahavood)

=NPV(diskontomäär;-investeering;aastate rahavood)

PV OPEX



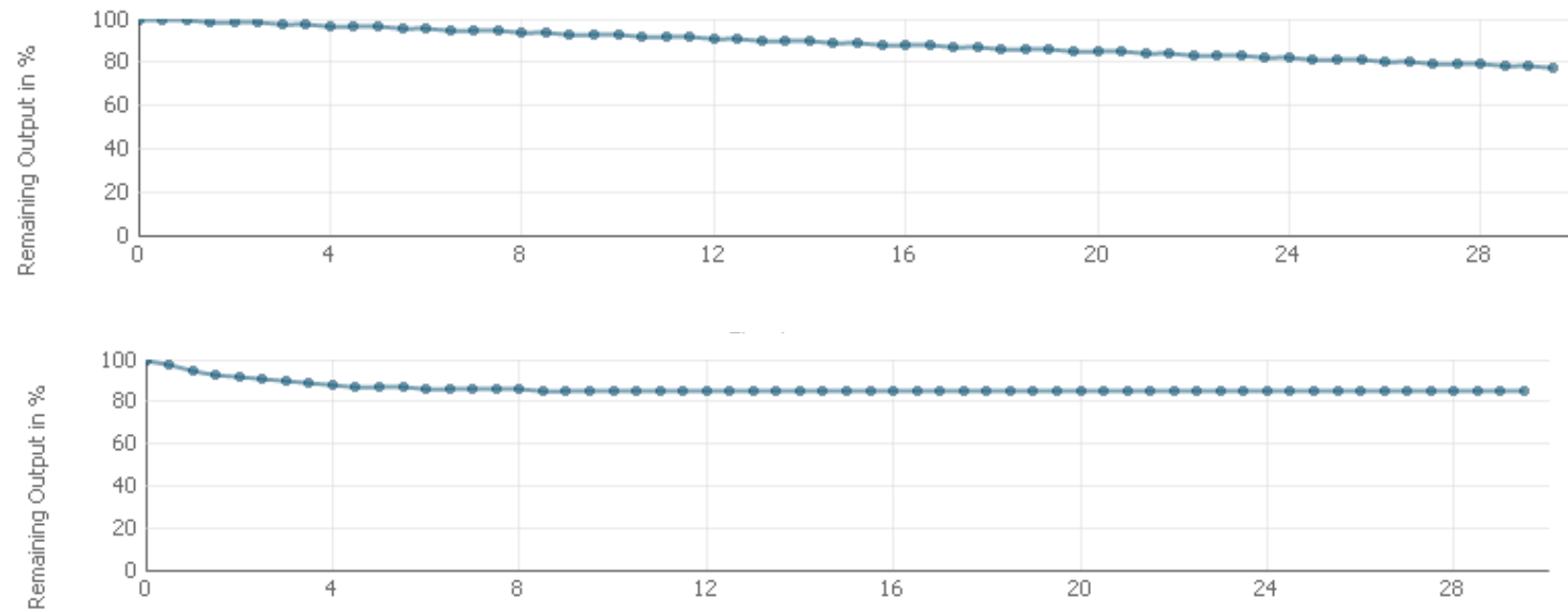
**PV-paneeli pinna 2% varjamine
või kinnikatmine võib vähendada
paneeli (ja kogu ahela)
tootmisvõimsust kuni 70%**

*** KÄIDUKULUD 0,5 - 1%
investeeringust aastas
(puhastamine, hooldus, kindlustus)**

*** DEGRADEERUMINE: ~ 0,5%
tootlikuse vähenemine**

**PV-paneeli pinna mustumisest
tingitud tootlikuse vähenemine!**

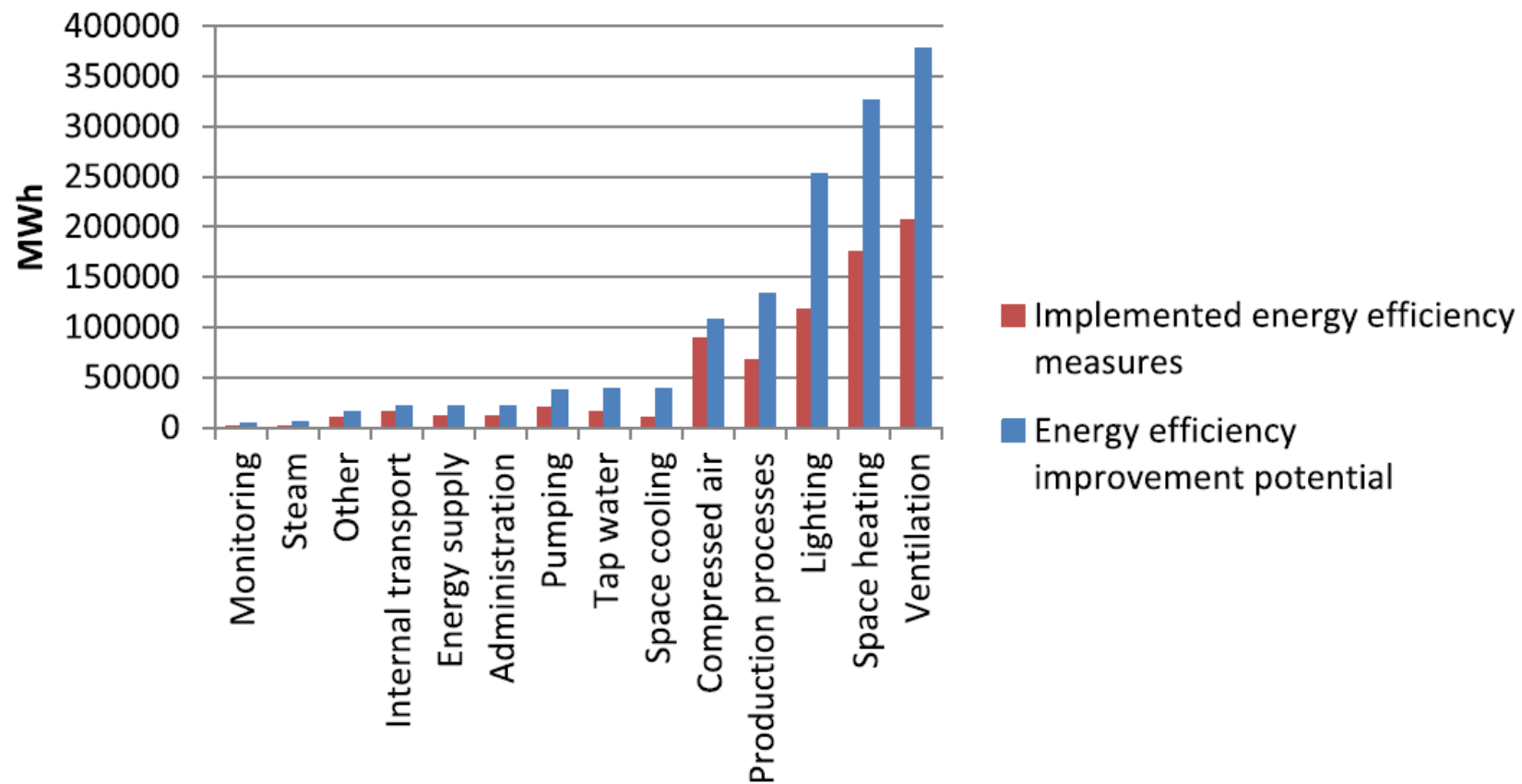
Paigaldise energiatoodang - Toodangu kahanemine (degradeerumine)



Kõige odavam elekter on
kokkuhoitud elekter!



Rootsi tööstuste energiaaudit



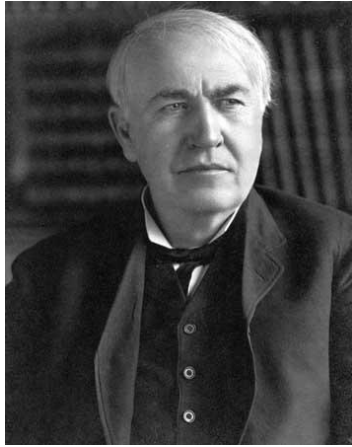
Leia kõigepealt negavatid!

Negavatt – tarbimata jäänud energia tinglik mõõtühik (kWh, MWh)

- ▶ **Küte**
 - ▶ Investeering hoone soojapidavusse
 - ▶ Efektivsem küttesüsteem
- ▶ **Valgustus**
 - ▶ Hõõg- ja luminofoorlampide asemele LED-lambid (kokkuhoid elektrikuludelt kuni 50%)
 - ▶ Valgustuse juhtimine (lisakokkuhoid kuni 30%)
- ▶ **Tehnosüsteemide audit: ega küte, ventilatsioon ja jahutus ilma vajaduseta ega üksteisele vastu ei tööta**
 - ▶ Investeering elementaarsesse hoone automaatikasse
- ▶ **Reaktiivenergia kompenseerimine**
 - ▶ Investeering kompensatoritesse
- ▶ **Ühtlase ja suure tarbimise korral 0,4 kV madalpinge asemel keskpinge**
 - ▶ Investeering oma alajaama

Väljakutsed ja kokkuvõte

- ▶ Mikrotootmine PV-seadmetega muutumas hoonete loomulikuks osaks
- ▶ Tegemist on EELKÕIGE säästuabinõuga
- ▶ Parima ökonoomika saavutamiseks vajalik süsteemi optimaalne dimensioneerimine
- ▶ Kõigi eelduste kohaselt Eesti laiuskraadil PV jääb valdavalt üksiku hoone või hoonekompleksi lokaalset energiavajadust rahuldavaks tehnoloogiaks, mitte ei kujune üheks energia suurtootmise tehnoloogiaks
- ▶ Salvestustehnoloogiate areng soodustab ka lokaalse tootmise laienemist
- ▶ Eesti laiuskraadil on oluline salvestada pigem 6 kuud kui 6 tundi = elektrivõrk kui salvesti
- ▶ Väljakutsed elektrivõrgule – Saksamaal alustab ja lõpetab üheaegselt töö 1,5 miljonit elektrijaama koguvõimsusega 40MW ja tootjad muutuvad tarbijaiks
- ▶ Siiani pole MITTE ÜKSKI pikaajaline prognoos PV võimsuse juurdekasvu ja hindade dünaamika osas paika pidanud, areng on olnud kiirem kui keegi kunagi seda prognoosida oleks osanud!



“I’d put my money on the sun and solar energy. What a source of power! I hope we don’t have to wait until oil and coal run out before we tackle that.”

Thomas A. Edison, 1931

TÄNAN!

andres.meesak@eesti.ee

Ph: +3725014711