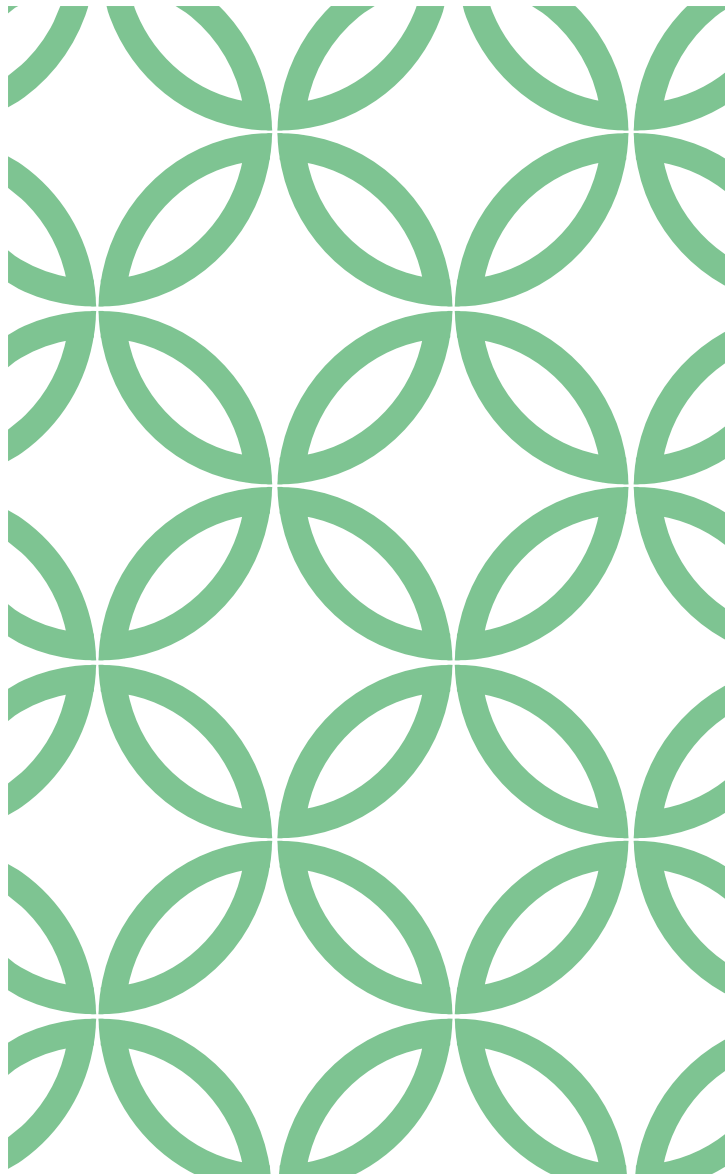




TAASTUVENERGIA PROBLEEMIDEST ©

Rein Oidram
PhD (tehnikakandidaat)
Eesti Elektroenergeetika Seltsi
liige aastast 1992

Millest tuleb järgnevas juttu...

Elektroenergeetikas toimuvatest muutustest võib esile tõsta:

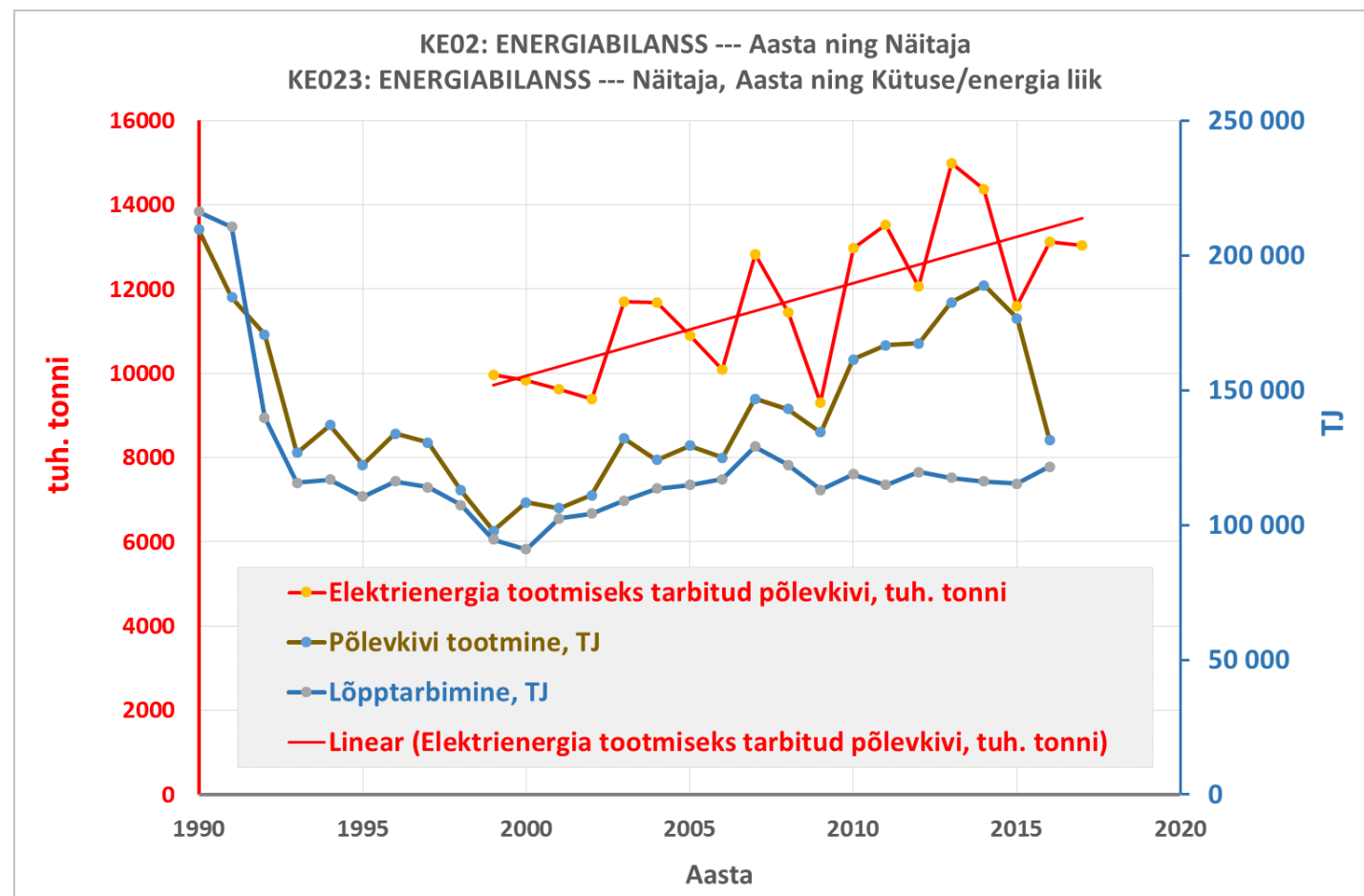
- Elektri tootmisportfelli muutumine viimasel 10...15 aastal.
- Muutused põlevkivi kasutamises elektri tootmiseks ja kütuse erikulu.
- Taastuvenergia esile kerkimine.

Järgnevas esitatav analüüs põhineb Eesti Statistikeskuse veebilehel
<http://pub.stat.ee/px-web.2001/Database/Majandus/databasetree.asp>

alajaotises *Energia tarbimine ja tootmine* avaldatud andmetel. Tüsedam osa andmetest on leitud alajaotisest *Aastastatistika* ja osa materjali on leitud alajaotisest *Lühiajastatistika*.

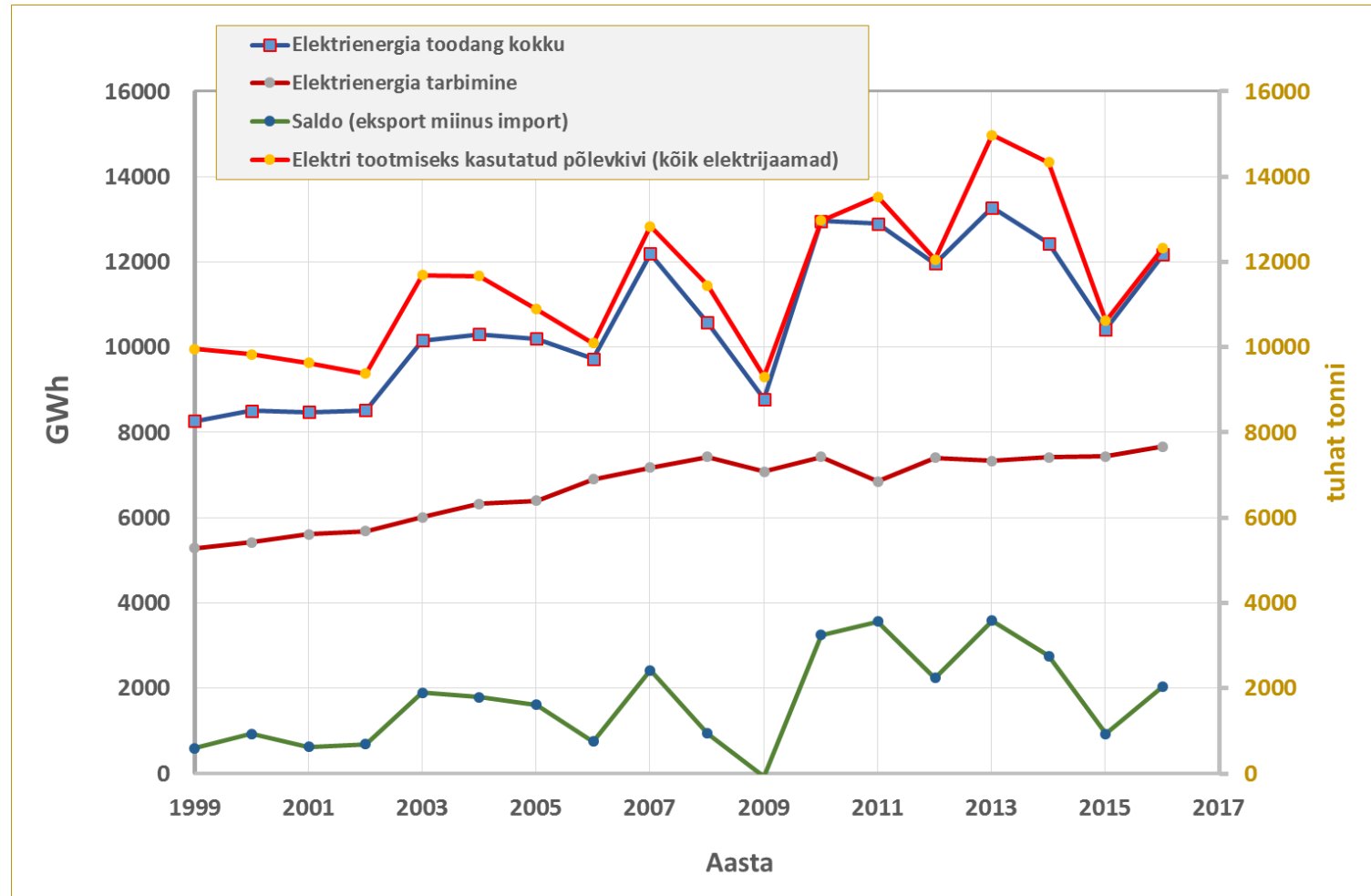
1. Põlevkivi

- Eesti taasiseseisvumise esimestel aastatel vähenesid põlevkivi tootmine ja lõpptarbimine oluliselt. Tootmise maksimum oli veelgi varem, 1980. aastal – umbes 300000 TJ. Vähenemine lõppes uue aastatuhande alguses.
- Lõpptarbimise hilisemad muutused on tagasihoidlikumad, kuid pole ka vähenenud.
- Põlevkivi kasutamise kohta elektrienergia tootmiseks avaldab Statistikaamet andmeid alates 1999. aastast.

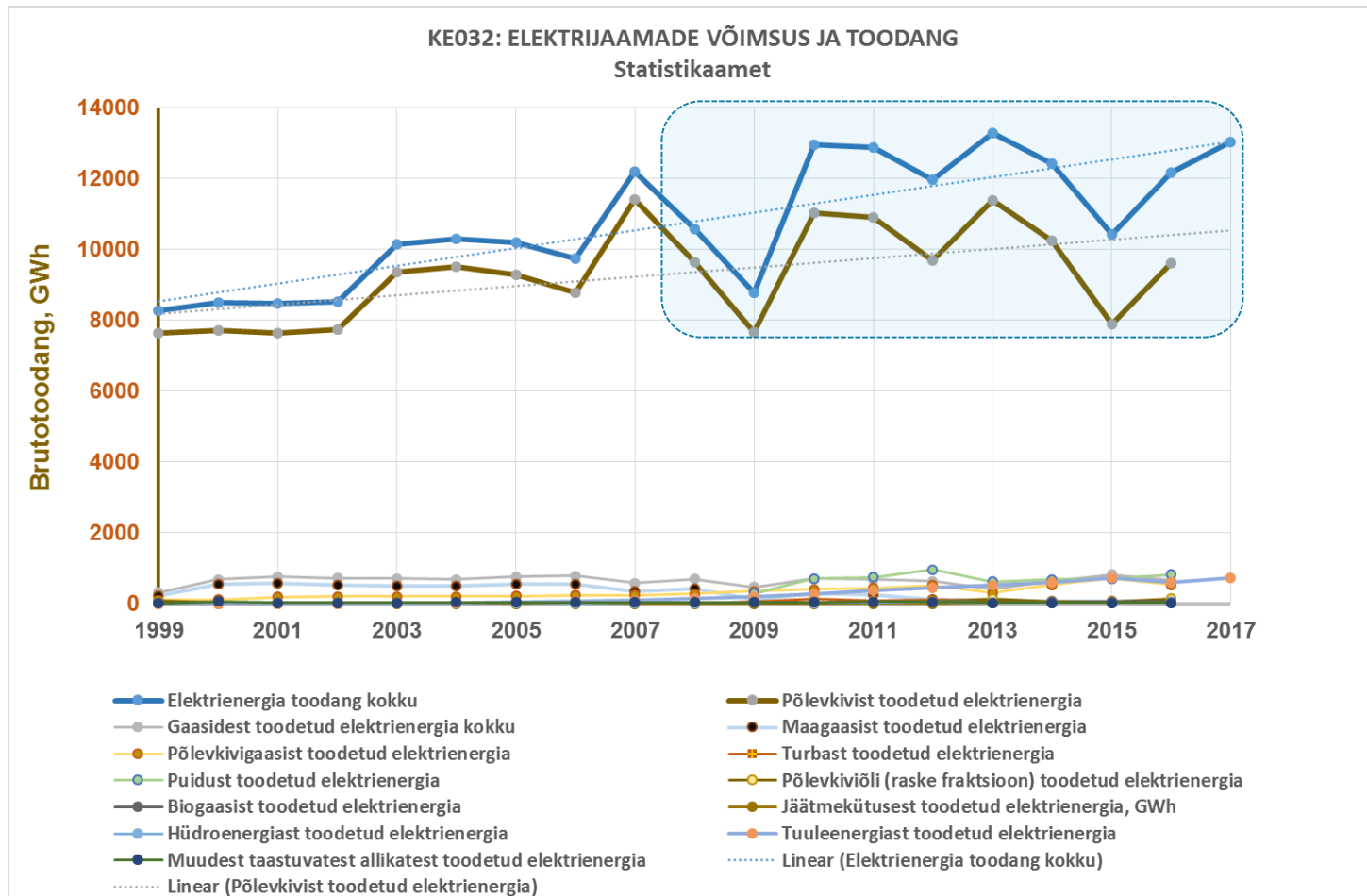


1. Põlevkivi

- Tähelepanu väärib, et elektri tootmiseks kasutatud põlevkivi kogustes on selgelt täheldatav kasvu trend.
- Elektrienergia riigisisene tarbimine on seotud majanduse elavnemisega sajandivahetusest alates kuni umbes aastani 2007. Hiljem on tarbimine stabiliseerunud.
- Põlevkivi kasutamise muutused on otseselt seotud ekspordi-impordi saldogaga.

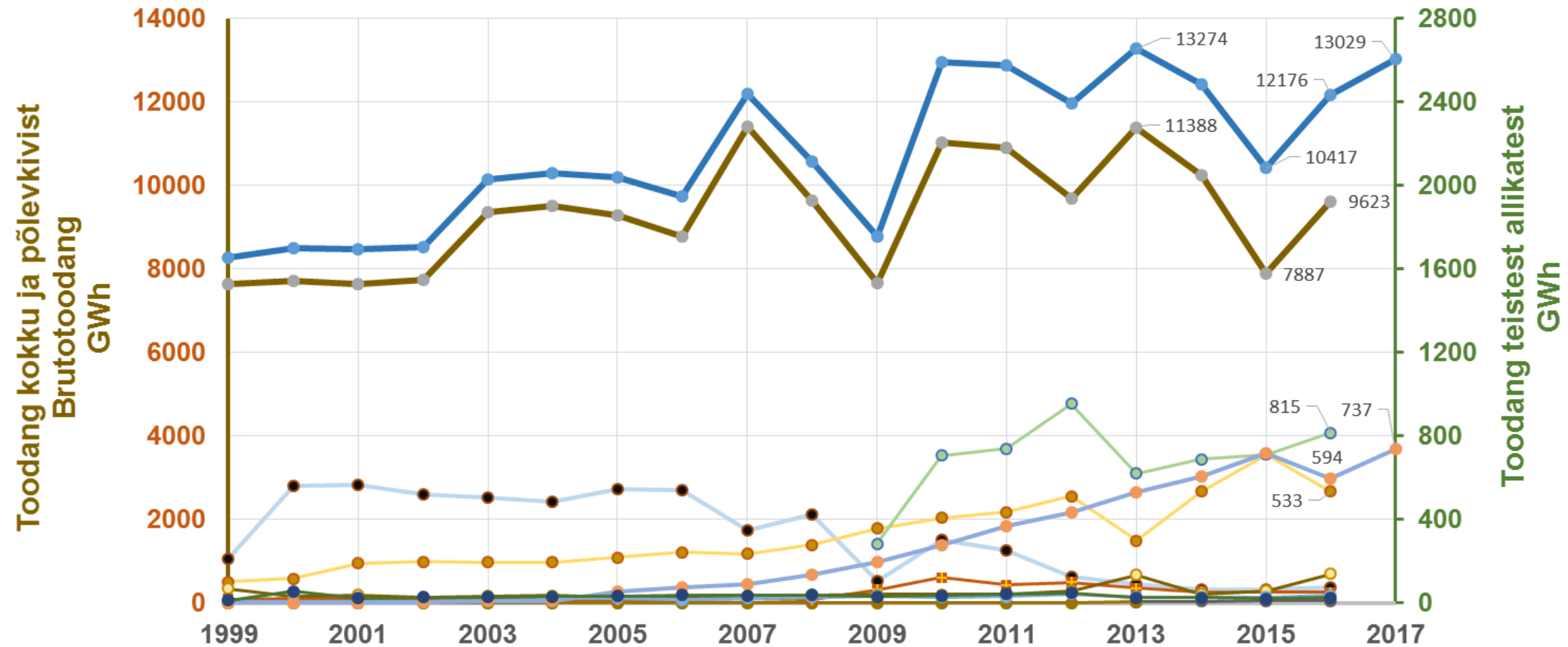


- Elektri tootmine on 2000. a. alates suurenenud, seejuures põlevkivi osa juurdekasvus on olnud mõnevõrra aeglasem.
- Teiste energiaallikate osa on üksikult võttes suhteliselt marginaalne, kuid koos on nende mõju märgatav.
- Olulisemad primaarenergia liigid on neist puit, tuul ja põlevkivigaas. Nende osa selgub täpsemalt järgmisel slaidil.



KE032: ELEKTRIAAMADE VÕIMSUS JA TOODANG

Statistikaamet



Elektrienergia toodang kokku

Biogaasist toodetud elektrienergia

Maagaasist toodetud elektrienergia

Turbast toodetud elektrienergia

Põlevkiviõli (raske fraktsioon) toodetud elektrienergia

Tuuleenergiast toodetud elektrienergia

Põlevkivist toodetud elektrienergia

Jäätmekütusest toodetud elektrienergia, GWh

Põlevkivigaasist toodetud elektrienergia

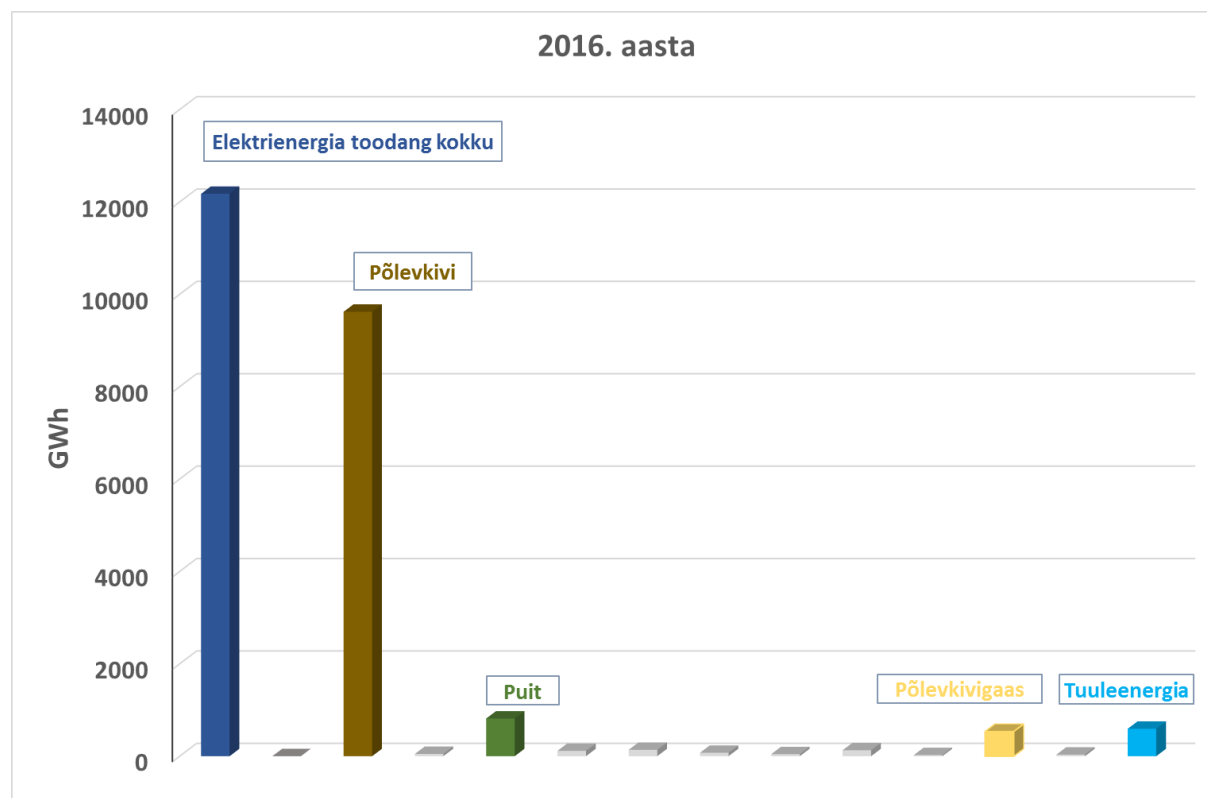
Puidust toodetud elektrienergia

Hüdroenergiast toodetud elektrienergia

Muudest taastuvatest allikatest toodetud elektrienergia

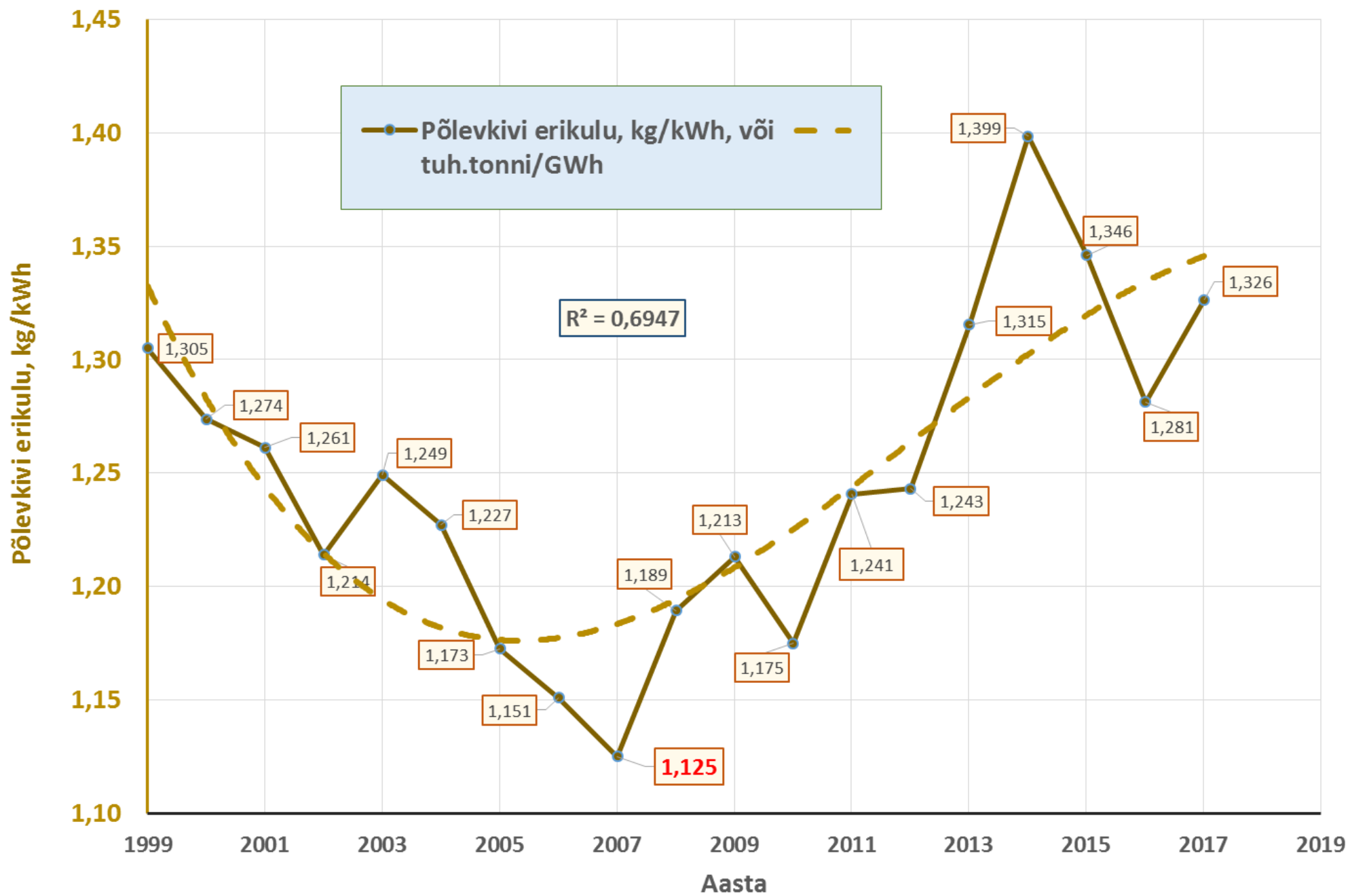
2. Elektri tootmisportfelli muutumine

- Taastuvate puit ja tuul, ning mittetaastuva põlevkivigaasi osa on põlevkiviga võrreldes visuaalselt paremini tajutav tulpdiagrammilt.
- Taastuvate energiaallikatega toodeti 2016. aastal kokku 1693 GWh elektrit, sellest puidu osa oli 815 GWh ja tuulel 594 GWh. Kokku oli nende osa kõikide taastuvate energiaallikate hulgas 83 %.
- Elektri kogutoodangusse andsid taastuvad energiaallikad 13,9 %, tuule osaks langes 4,6 %.



2. Elektri tootmisportfelli muutumine

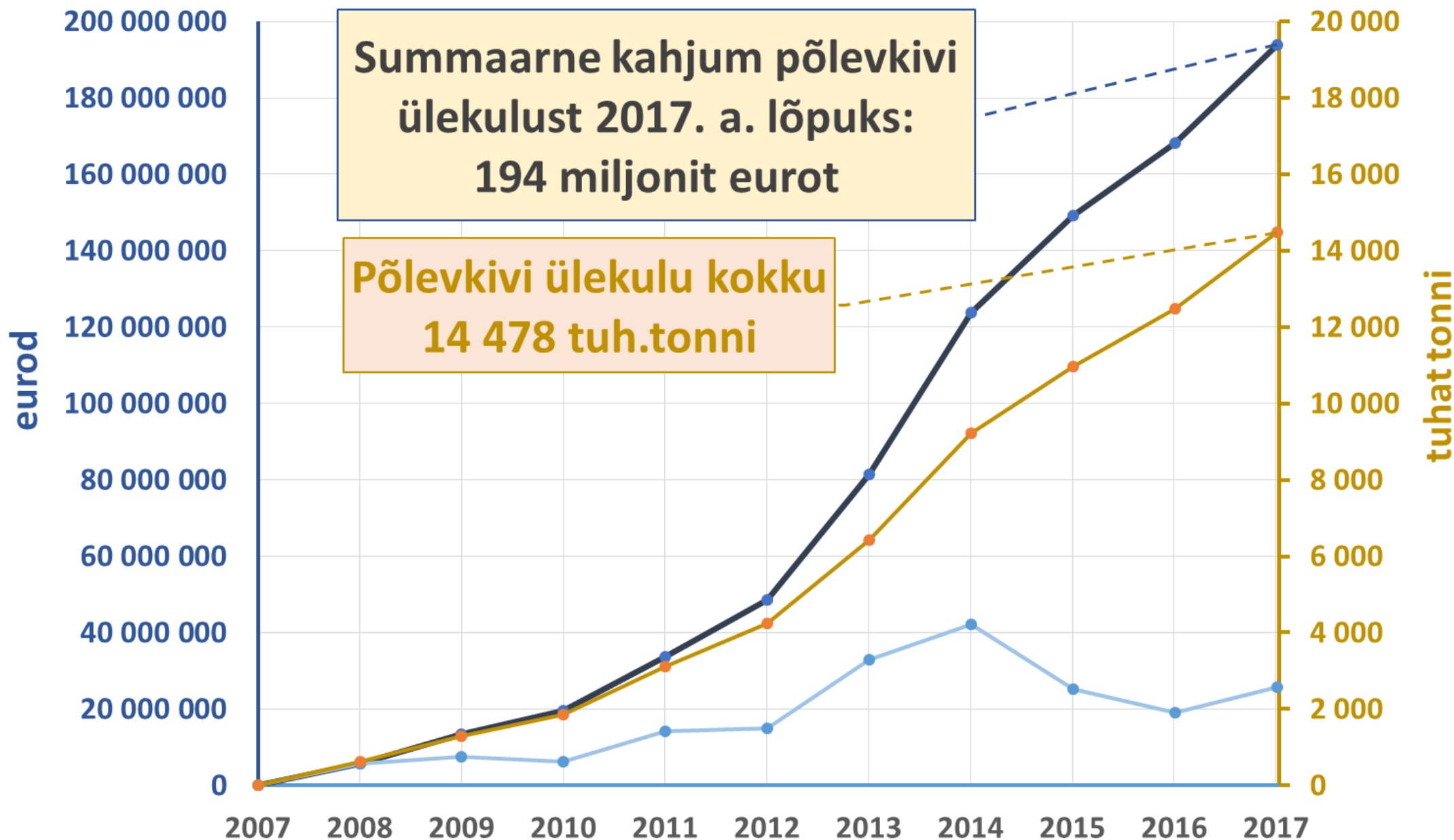
- Põlevkivikütuse suurenev kasutamine elektri tootmiseks taastuvate energiaallikate suureneva kasutamise taustal sunnib otsima selle nähtuse põhjusi.
- Esiteks selgus eespool, et alates 2008. aastast ei ole Eesti elektritarbimises toimunud suuremaid langusi või suurenemisi. Teiseks sai selgeks, et muutused põlevkivi tarbimises samal ajaperioodil on heas korrelatsioonis elektri ekspordi-impordi saldoga. Seega ei saa elektritarbimises ja piiriüleses kaubanduses toimunud muutustega selgitada põlevkivi kasutamise ekstensiivse kasvu tagamaid.
- Jäab üle selgitada põlevkivi kasutamise kasvu põhjusi kas toimunud muudatustega Narva elektrijaamades, või muudatustega nende kasutusrežiimis.
- Muudatuste ulatus selgub, kui Narva jaamades põletatud põlevkivi kogus jagada samas toodetud elektri kogusega – saame põlevkivi erikulu.

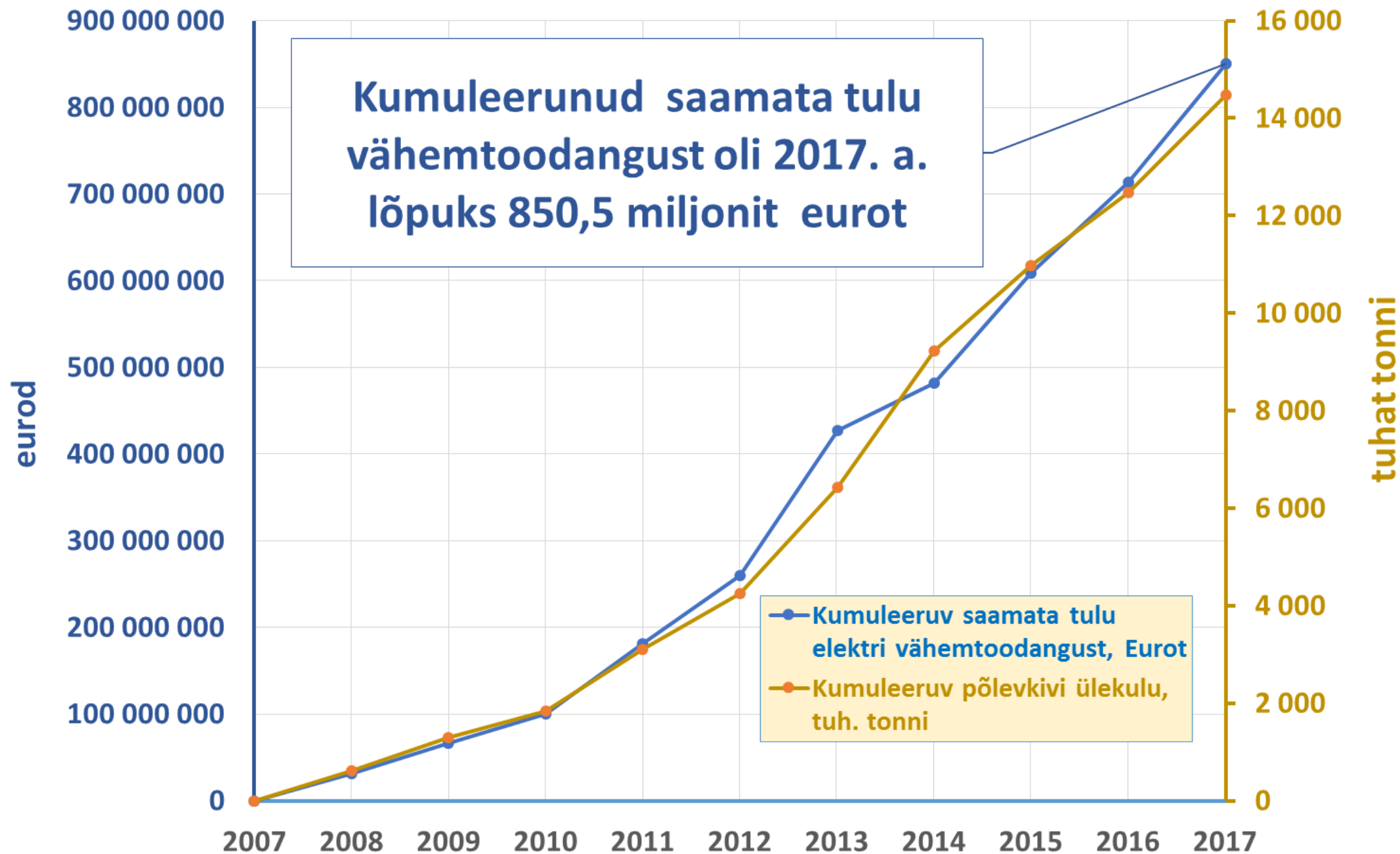


2. Elektri tootmisportfelli muutumine

- Kuni aastani 2007 toimunud erikulu kahanemine on otseselt seotud vananenud plokkide demonteerimisega Narva elektrijaamades ja töös olevates plokkides tolmpõletamise asendamisega keevkihtpõletamisega.
- Erikulu suurenemine alates 2007. aastast on oluliselt suurendanud kasutatud põlevkivi koguseid.
- Kui oleks säilitatud aastal 2007 saavutatud vähim kütuse erikulu **1,125 kg/kWh**, oleks 2017. aasta lõpuks suudetud säästa kokku ligi **15 miljonit tonni põlevkivi** ja vältida lisakulutusi umbes **200 miljonit eurot**. Õhku oleks jäänud paiskamata üle **15 miljoni tonni CO₂**.
- Säästetud põlevkivi koguse kasutamisel elektri tootmiseks 2017. aasta tehnoloogia tasemel oleks võinud saada lisatulu kuni **850 miljonit eurot**.
- Jäab vaid nentida, et käest on lastud unikaalne keskkonnasäästu võimalus.

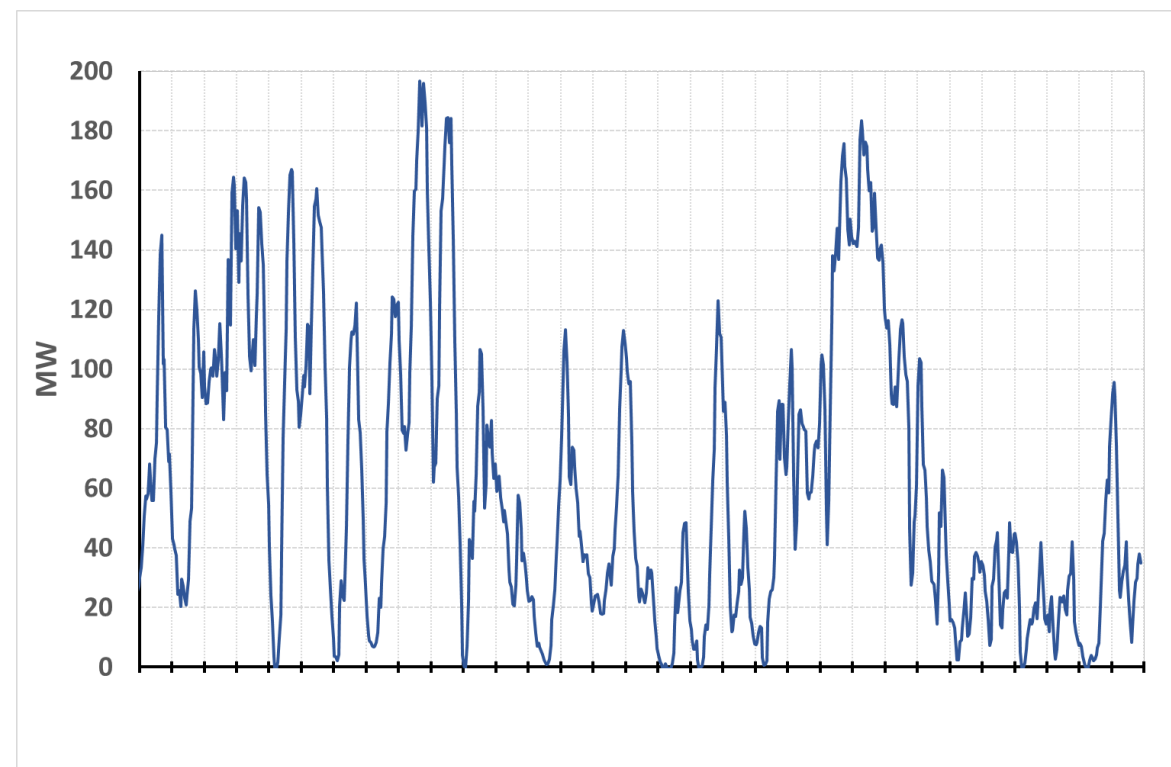
—●— Kumuleeruv kahjum põlevkivi ülekulust, eurot —●— Aastane kahjum põlevkivi ülekulust, eurot —●— Kumuleeruv põlevkivi ülekulu, tuh. tonni

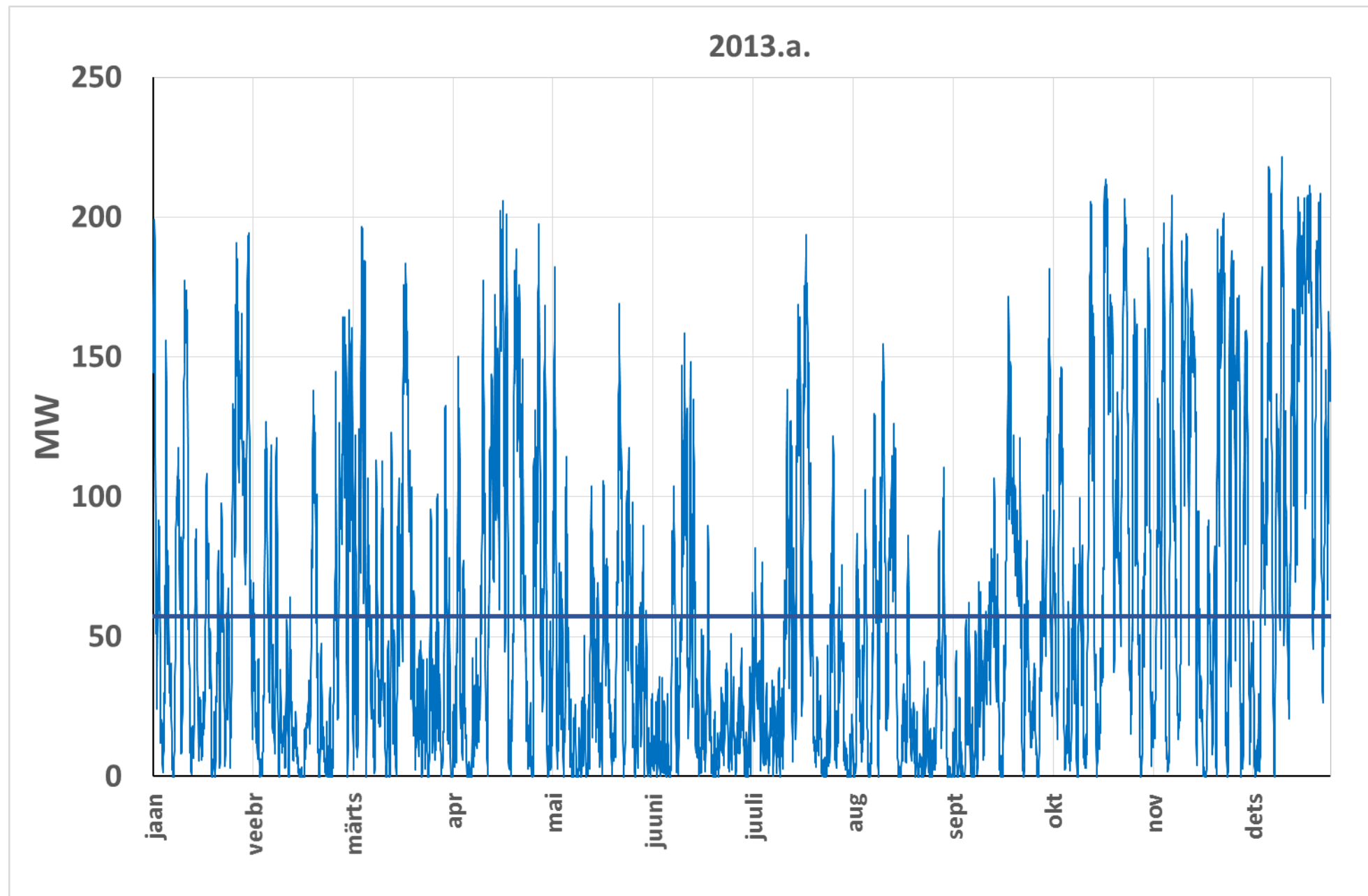




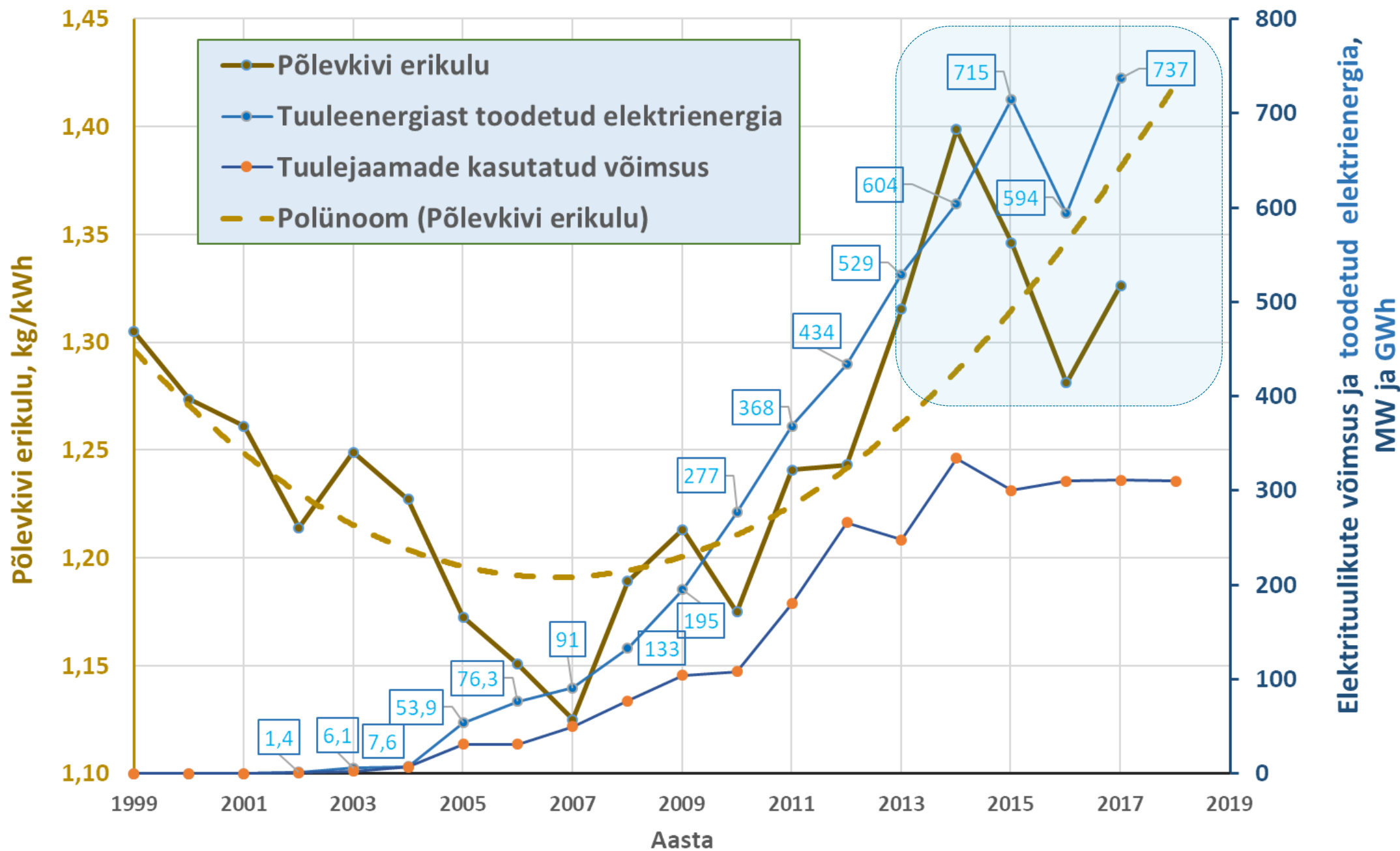
3. Taastuenergia osa põlevkivi ülekulus

- Varasemad uurimistööd on üheselt näidanud põlevkivi erikulu kasvu seost koostöös juhuslikult muutuva võimsusega elektritootjatega. Praegu kasutatavatest tehnoloogiatest kuuluvad selliste tootjate hulka tuuleenergeetika ja päikeseenergeetika seadmed.
- Eesti elektrisüsteemis hakkab erikulu kasv endast märku andma alates tuuleparkide aastatoodangust umbes 100 GWh.
- Järgmiselt slaidilt on näha, et eespool mainitud elektrituulikute kogutoodangu väärtus ja põlevkivi erikulu kasvu algus langevad ajaliselt väga täpselt kokku – 2007. aastasse.





Näitena tuuleparkide võimsuse muutused aastas

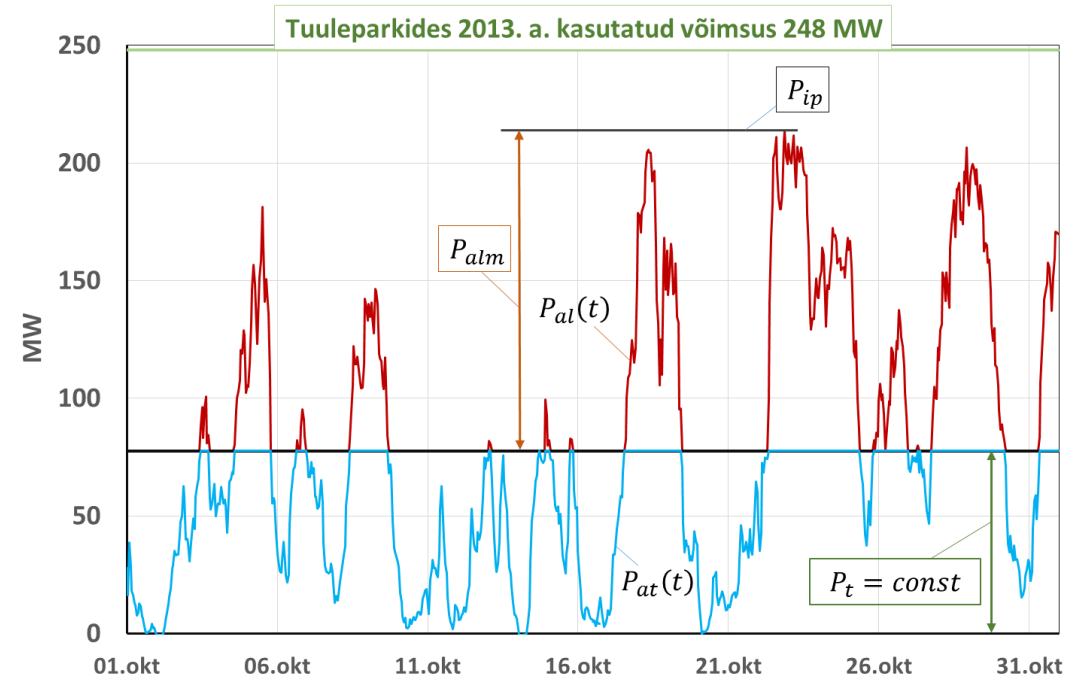
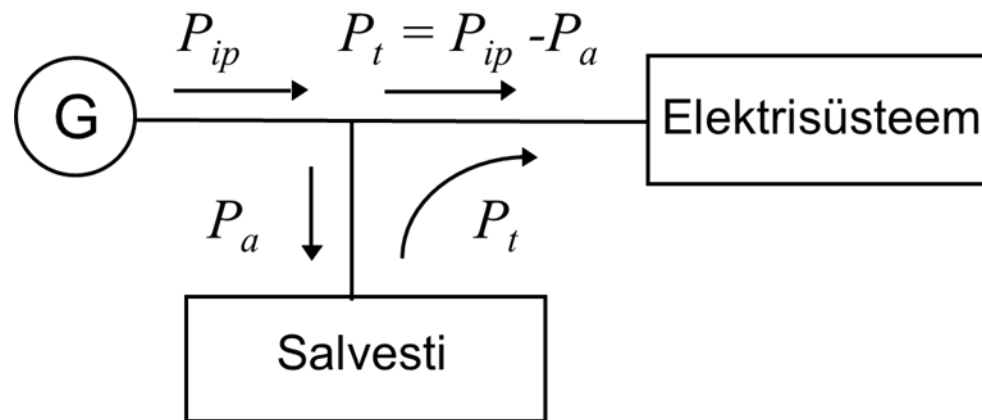


3. Taastuenergia osa põlevkivi ülekulus

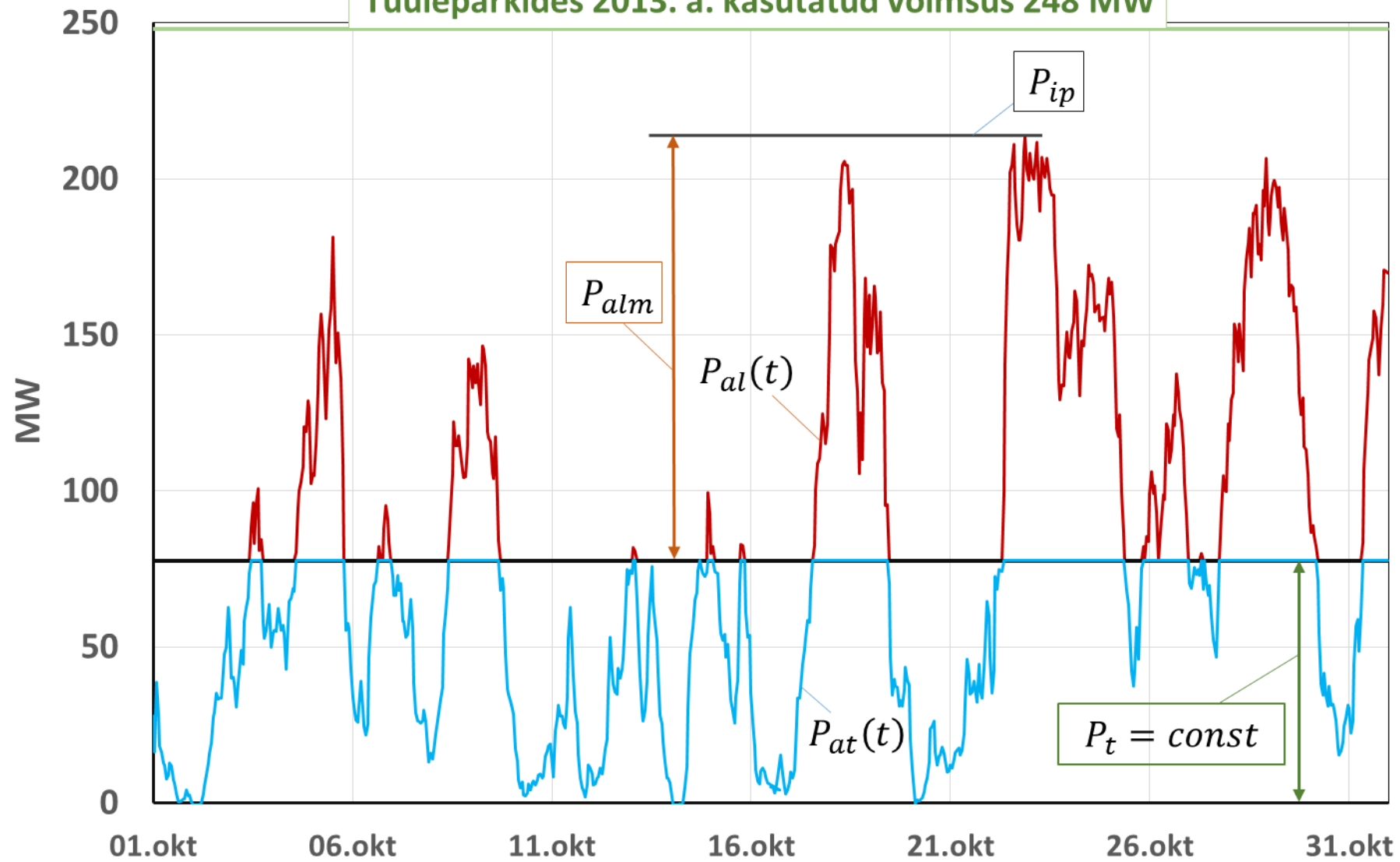
- Suurepärase tõestuse mainitud seose kohta annavad aastad 2013 kuni 2017, s.o aastad, millal tuuleparke juurde ei rajatud. Selgub, et tuulevaesel aastal on põlevkivi erikulu väiksem ja see kasvab uuesti tuulisemal aastal, kui elektrituulikud annavad rohkem toodangut.
- Järeldus saab olla üks – praegu tuuleparke juurde ehitada ei ole lihtsalt otstarbekas, kuna kasvab põlevkivi ebaotstarbekas kulu ja CO₂ emissioon.
- Olukorra parandamiseks tuleb luua energiaallikate ja salvestite komplekssüsteem ja loobuda ühepoolsetest ainult elektrituulikute ehitamise kavadest.
- Kasutada saab elektritoodangu vahepealset osalist või terves ulatuses salvestamist. Neist kahest on soodsam kindlasti esimene, sest võimaldab vähendada salvestite võimsust ja mahutavust. Samuti vähenevad salvestamisega kaasnevad toodetud elektrienergia kaod.

4. Elektrituulikute toodangu salvestamisest

Elektrisüsteemis tulevad salvestitena kõne alla suured **hüdroakumulaator-** (või ka **pump-**) **elektrijaamad** (lüh. **HAEJ**) ja individuaalselt üksikute tootmisseadmetega eeldatavasti hästi kokku sobivad **grafeensalvestid**. Peame meeles, et tegemist on süsteemidega, mis kasutavad elektrienergiat rohkem, kui hiljem sealt tagasi annavad. **Kokkuvõttes - need süsteemid ei tooda elektrit, vaid on võimsuse kõikumiste puhvriks.**



Tuuleparkides 2013. a. kasutatud võimsus 248 MW



4. Elektrituulikute toodangu salvestamisest

Kui soovime juhusliku tootmistsükliga taastuenergiaallikat kasutada mingi koguse elektrienergia W_t saamiseks aja t jooksul koostöös salvestussüsteemiga, siis peab (*siinkohal pikemalt põhjendamata*) salvestussüsteemi vajalik salvestusvõimsus olema

$$P_a = P_t \left(\frac{1 - c_p}{\eta c_p} \right)$$

ja taastuenergiaallikate arendatav võimsus olema

$$P_{ip} = \frac{P_t}{K_{cf}} \left(\frac{1 - c_p}{\eta c_p} + 1 \right)$$

kus P_t on süsteemist tarbitav (väljaantav) võimsus, η on salvestus- ja tagastustsükli kasutegur, c_p on taastuenergiaallika kasutustegur ja K_{cf} on taastuenergiaallika suurima arendatava võimsuse suhe ülesseatud võimsusesse (*mitme allika kooskasutamisel üheaegsustegur*).

4. Elektrituulikute toodangu salvestamisest

Võtame näitena vajaduse toota aasta jooksul tuuleparkidega 25 % Eestis tarbitavast elektrist, mis viimaste aastate keskmisena on umbes 7500 GWh, seega siis $W_t = 1875$ GWh ja aasta 8760 tunni jooksul peame süsteemist saama keskmiselt võimsust

$$P_t = 1875 \cdot 1000 / 8760 = 214 \text{ MW}$$

Kui $c_p = 0,23$, $\eta = 0,8$ ja $K_{cf} = 0,9$, siis suurimad nõutavad väärtused on

$$P_{alm} \approx 895 \text{ MW ja } P_{ipm} \approx 1230 \text{ MW}$$

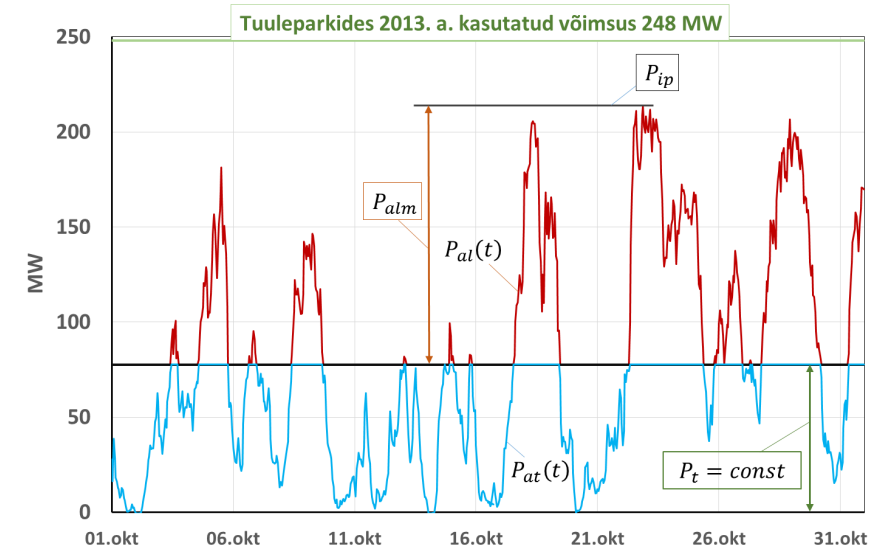
Salvestamisel läheb osa energiat veel ülekandekadudeks.

Näeme, et tuuleparkidesse ja nt. hüdroakumulaator-elektrijaamadesse tuleb ehitada seadmeid kokku võimsusega, mis 10 korda ületab tarbimisvõimsuse (mis vaadeldaval juhul on 214 MW).



4. Elektrituulikute toodangu salvestamisest

- HAEJ salvestussüsteem peab vastavalt tuuleparkide võimsuse muutustele töötama pidevalt muutuv režiimis:
 - **pumbarežiim** tekib siis, kui $P_{al} > P_t$ ja
 - **generaatorirežiim** P_{at} rakendub kohe, kui seda tingimust ei täideta ja on vaja tagada tarbijate toide püsival võimsusel P_t .
- HAEJ nõutav **energiamahutavus** sõltub sellest, kui pikaks perioodiks on vaja tarbijate toidet võimsusel P_t tagada - aastaks, sügiseks, talveks, üheks kuuks jne.
- Võtame näitena salvestus-tühjendustsükli pikkuseks ühe 10päevase perioodi (*mis on ebapiisav!*), s.o 240 tundi ja lähtume aasta keskmisest võimsuse vajadusest. Selle perioodi jooksul peab süsteem otse tuuleparkidest ja läbi HAEJ välja andma elektrienergiat



$$W_t = P_t \cdot t = 214 \cdot 240 = 51360 \text{ MWh}.$$

4. Elektrituulikute toodangu salvestamisest

- HAEJ puhul peab saama salvestada energiat koguses

$$W_{am} = W_t \cdot c_p = P_t \cdot c_p \cdot t \approx 11810 \text{ MWh}$$

Otse suunatakse tarbijatele

$$W_{t \text{ otse}} = P_t \cdot (1 - c_p) \cdot t \approx 39550 \text{ MWh}$$

Märkus: Salvestamisele suunatud energia peab omakorda olema salvestuskadude arvel veel suurem.

- Teeme arvutuse mere lähedusse maa alla 500 m sügavusele paigutatud agregaatidega HAEJ tarbeks. Süsteem toimiks nii, et akumuleerimiseks (salvestamiseks) pumbatakse vesi maa alusest veehoidlast merre ja merest läbi turbiinide-generaatorite maa alusesse veehoidlasse tagasi.
- Põhjalikumad teavet soovijad võiksid lugeda OÜ Energiasalv esitlust:
https://energiatalgud.ee/img_auth.php/3/37/Vali%2C_L._Tuuleenergia_salvestusvajadus._Ettekanne.pdf.

4. Elektrituulikute toodangu salvestamisest

- HAEJ salvesti energiamahutavus peab vastavalt hüdroenergeetiliste seadmete võimsuse arvutamise tingimusele olema

$$W_{am} = 9,81 \cdot 10^{-3} \cdot Q \cdot H \cdot \eta \cdot c_p \cdot t,$$

kus Q on vee vooluhulk (m^3/s), H on ülemise ja alumise basseini veepindade vahe (m) ja η on kasutegur.

- Siit selgub (salvestusrežiimis) nõutav pumpade tootlikkus

$$Q = \frac{W_a}{9,81 \cdot 10^{-3} \cdot H \cdot \eta \cdot t} = \frac{11810}{9,81 \cdot 10^{-3} \cdot 500 \cdot 0,8 \cdot t} \approx \frac{3000}{t}$$

Pumpade tootlikkus sõltub nõutavast salvesti laadimise ajast. Kui selleks on 10 tundi, siis nõutav tootlikkus on

$$Q = 300 \, m^3/s$$

4. Elektrituulikute toodangu salvestamisest

- Juhtumiks, kui Eestis valitseb elektrituulikutele 10päevane tuulevaikus, peab kogu vajalik energia tulema HAEJ salvestist ja selle generaator peab arendama püsivalt võimsust

$$P_t = 9,81 \cdot 10^{-3} \cdot Q \cdot H \cdot \eta = 214 \text{ MW}$$

- Generaatori režiimis turbiine läbiva vee vooluhulk peab sellise võimsuse hoidmiseks olema seega

$$Q = \frac{P_t}{9,81 \cdot 10^{-3} \cdot H \cdot \eta} = \frac{214}{9,81 \cdot 10^{-3} \cdot 500 \cdot 0,8} = 54,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

- See on võimalik, kui HAEJ 500 m sügavusel asuva veehoidla maht on vähemalt

$$V = Q \cdot t = 54,5 \cdot 10 \cdot 24 \cdot 3600 = 47 \cdot 10^6 \text{ m}^3 = 47 \text{ miljonit m}^3$$

(Võrdluseks – Kruonise HAEJ ülemise veehoidla maht Leedus on 48 miljonit m³).

Alumise veehoidla kavandataval mahul 5 miljonit m³ täituks veehoidla 1 päevaga!

4. Elektrituulikute toodangu salvestamisest

- Elektrituulikute ja salvestite süsteem toimiks parimal viisil siis, kui sellelt saaks elektrienergiat vastavalt elektrisüsteemi vajadusele – süsteem peaks olema autonoomne.
- Ülekandevõrgu parimal viisil toimimiseks peaksid tuulepargid ja salvestid asuma lähestikku ja nad peaksid omavahel olema seotud muu elektrivõrguga sidumata süsteemisisesse võrguga. Taolise vajaduse seab tingimus

$$P_t \ll P_{alm} < P_{ipm}$$

- Tingimuse täitmisel kaob kõrgepingelise ülekandevõrgu kuluka tugevdamise vajadus.
- Peaks olema selge, et elektrivarustuse julgeolekut mingi lihtsa skeemiga lahendada pole võimalik.

Viiteid

- Kas tuule abil elektrienergia tootmine Eestis on mõistlik?, „Tehnika ja Tootmine“, nr. 9/10, 1991, lk.29.
- Tuuleelektri salvestamise tingimused, „Põllumajandustehnika, -ehitus ja –energeetika“,204, Eesti Põllumajandusülikool, Tartu, 1999, lk.116 -121.
- Näiteks Leedu Kruonise pumpelektrijaam kasutatava võimsusega 760 MW (Kruonis HPSP) kasutas 2013. aastal laadimiseks 0,77 ja „tootis“ 0,54 TWh elektrienergiat. Kadudeks läks seega 0,23 TWh ja jaama kasutegur η oli 70 % (vt tabel 1.2)-
<http://www.leea.lt/wp-content/uploads/2015/05/Network-development-plan-2015.pdf>
- https://energiatalgud.ee/img_auth.php/3/37/Vali%2C_L._Tuuleenergia_salvestusvajakadus._Ettekanne.pdf.