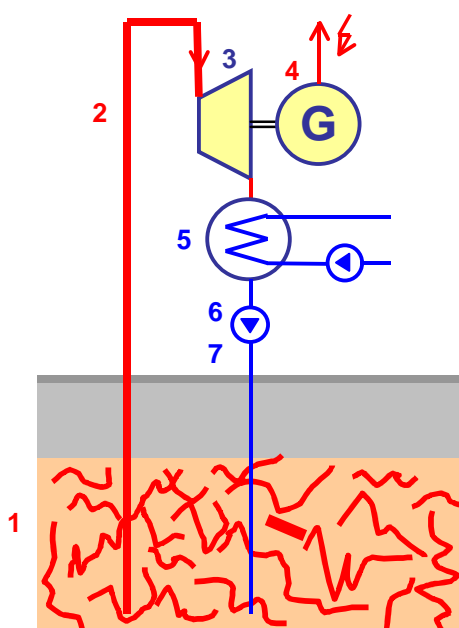


5.6 GEOTERMAALELEKTRIJAAMAD

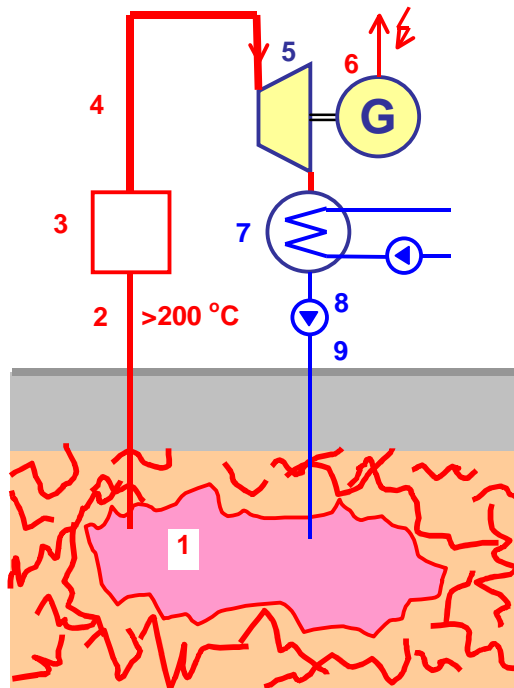
Geotermaalelektrijaamad põhinevad uraani ja tooriumi radioaktiivsel lagunemisel tekkinud maasisese soojuse kasutamisel. Geotermaalsoojusvoo keskmine intensiivsus Maa pinnal on $50,5 \text{ mW/m}^2$ ja temperatuuri tõus Maa sisemuse suunas keskmiselt ligikaudu 30 K/km , mida on praktiliseks kasutamiseks liiga vähe. Maa tektooniliselt aktiivsetes piirkondades (Põhja- ja Lõuna-Ameerika läänerranniku mägestikes, Kamtsatkast Uus-Meremaani ulatuvas seisnilises vööndis, Islandil, Kesk-Itaalias ja paljudes muudes paikades) võib aga soojusvoog olla paiguti mõnisada korda intensiivsem ja temperatuuri tõus võib küündida väärtuseni 200 K/km . Sellistes oludes on Maa sisemise soojuse kasutamine elektrienergia ja soojuse saamiseks tehnilis-majanduslikult sageli täiesti otstarbekas, eriti kui soojus on salvestunud maa-alustes kuumaveekogudes või kuuma auruna. Geotermaalelektrijaamade soojusvõtu vastuvõetavaks sügavuseks loetakse enamasti kuni 3 km .

Nüüdisaja geotermaalelektrijaamad põhinevad auruturbiinidel, mis kasutavad enamasti

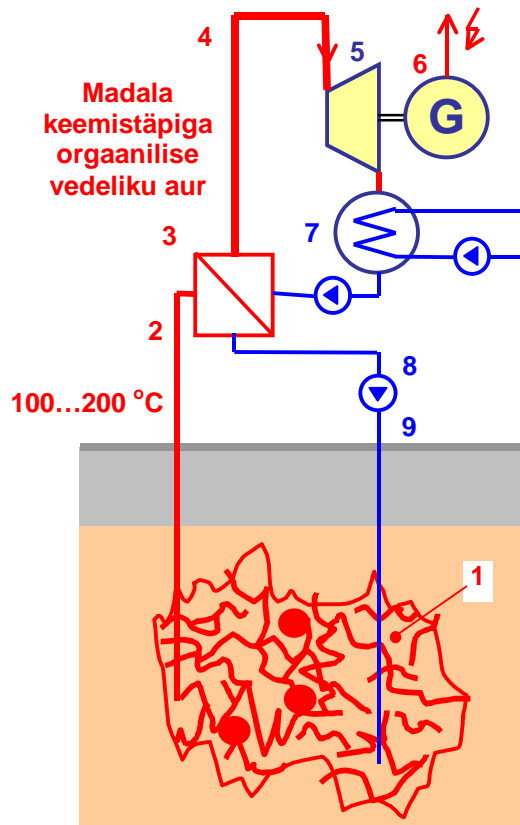
- maasisest kuuma ülekuumenenud auru (joonis 5.6.1),
- maasisese kõrgrõhulise kuuma vee (temperatuuriga tavaliselt üle $200 \text{ }^\circ\text{C}$) aurustamist (joonis 5.6.2),
- maasisese kuuma vee (temperatuuriga tavaliselt $100 \dots 200 \text{ }^\circ\text{C}$) juhtimist aurugeneraatorisse, kus aurustatakse mingit madala keemistäpiga vedelikku (joonis 5.6.3).



Joonis 5.6.1. Maasisest kuuma auru kasutatav geotermaalelektrijaam. 1 auruga täidetud lõhesid ja kaverne sisaldav kaljupinnas, 2 auruvõtutoru(d), 3 auruturbiin, 4 elektrigeneraator, 5 kondensaator, 6 pump, 7 vee tagasi juhtimistoru(d)



Joonis 5.6.2. Maasisest kuuma vett kasutav geotermaalelektrijaam. 1 maalune kuumaveekogu, 2 veevõtutoru(d), 3 aurusti, 4 aurutoru, 5 auruturbiin, 6 elektrigeneraator, 7 kondensaator, 8 pump, 9 vee tagasijuhtimistoru(d)



Joonis 5.6.3. Kuumast kuivast kivimikihist võetaval soojusel põhinev binaar-geotermaalelektrijaam. 1 tehnilikult lõheliseks muudetud kaljuosa, 2 veevõtutoru(d), 3 aurugeneraator, 4 aurutoru, 5 auruturbiin, 6 elektrigeneraator, 7 kondensaator, 8 pump, 9 vee tagasijuhtimistoru(d)

Geotermaalelektrijaamade turbogeneraatoragregaatide nimivõimsus on enamasti 5...100 MW (väga harva rohkem), agregaatide arv jaamas võib olla ühest kuni paarikümneni. Eeltoodud joonistel näidatud kondensatsiooniturbiinide asemel kasutatakse soojustarbijate olemasolul ka vasturõhuturbiine (rajatakse geotermaal-koostootejaamu). Maailma 10 suurimat geotermaalelektrijaama 2005. aasta lõpus on esitatud tabelis **5.6.1**. Kõigis nendes võidakse aga vanu agregaatide demonteerida või uute vastu välja vahetada, samuti aga ka jaamu laiendada, mistõttu nende andmed varem või hiljem võivad muutuda.

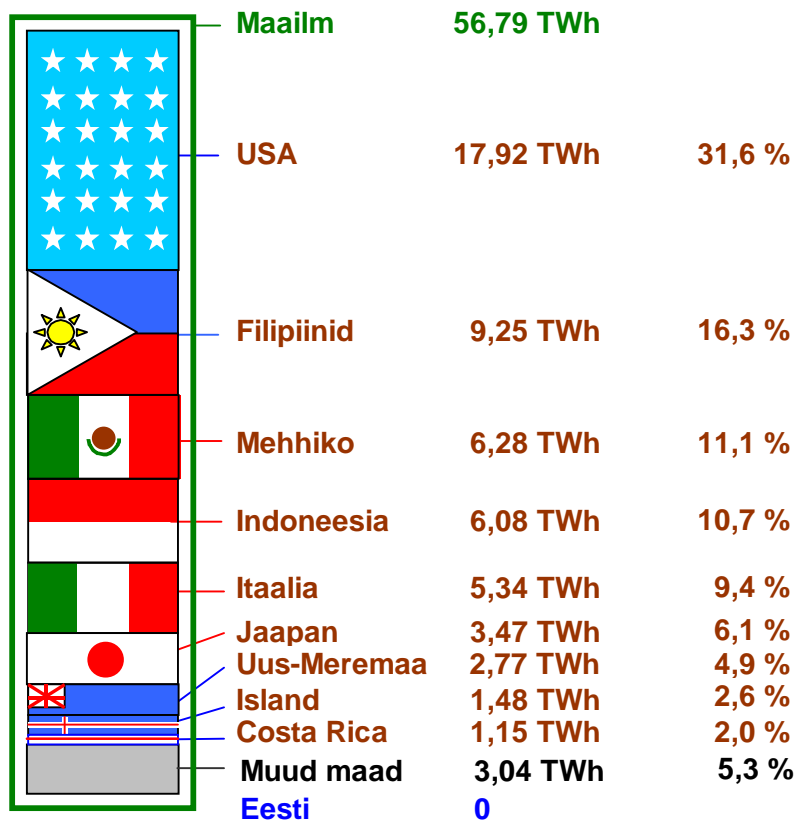
Geotermaalelektrijaamad on oma koosseisult ja ehituselt tunduvat lihtsamad ja seetõttu enamasti ka odavamad kui muud soojuselektrijaamad, eriti kui saab kasutada ülekuumenenud geotermaalist auru. Nad ei eralda atmosfääri süsinikdioksiidi ega muid gaase ja elektrienergia omatarve on neis tunduvat väiksem kui muudes soojuselektrijaamades. Mõnevõrra keerukam ja kallim on soojuse saamine kuivast kuumast kivimikihist, mis enamasti asub ka sügavamal kui kasutatavad auru- ja kuumaveekogud. Seetõttu on seda liiki geotermaalelektrijaamu seni ehitatud suhteliselt vähe (kogu maailmas alla kümne). Geotermaaljaamade võimsust saab lihtsalt ning kiiresti reguleerida, kuid nad võivad talitleda ka kestvalt nimivõimsusega. See annab võimaluse sobitada neid kergesti energiasüsteemi mis tahes talitlusnõuetega. Mõnes geotermaalpiirkonnas võib aga probleeme tekitada auru ja vees sisalduvate soolade väljafiltreerimine.

Tabel 5.6.1. Maailma 10 suurimat geotermaalelektrijaama 2005. aasta lõpus

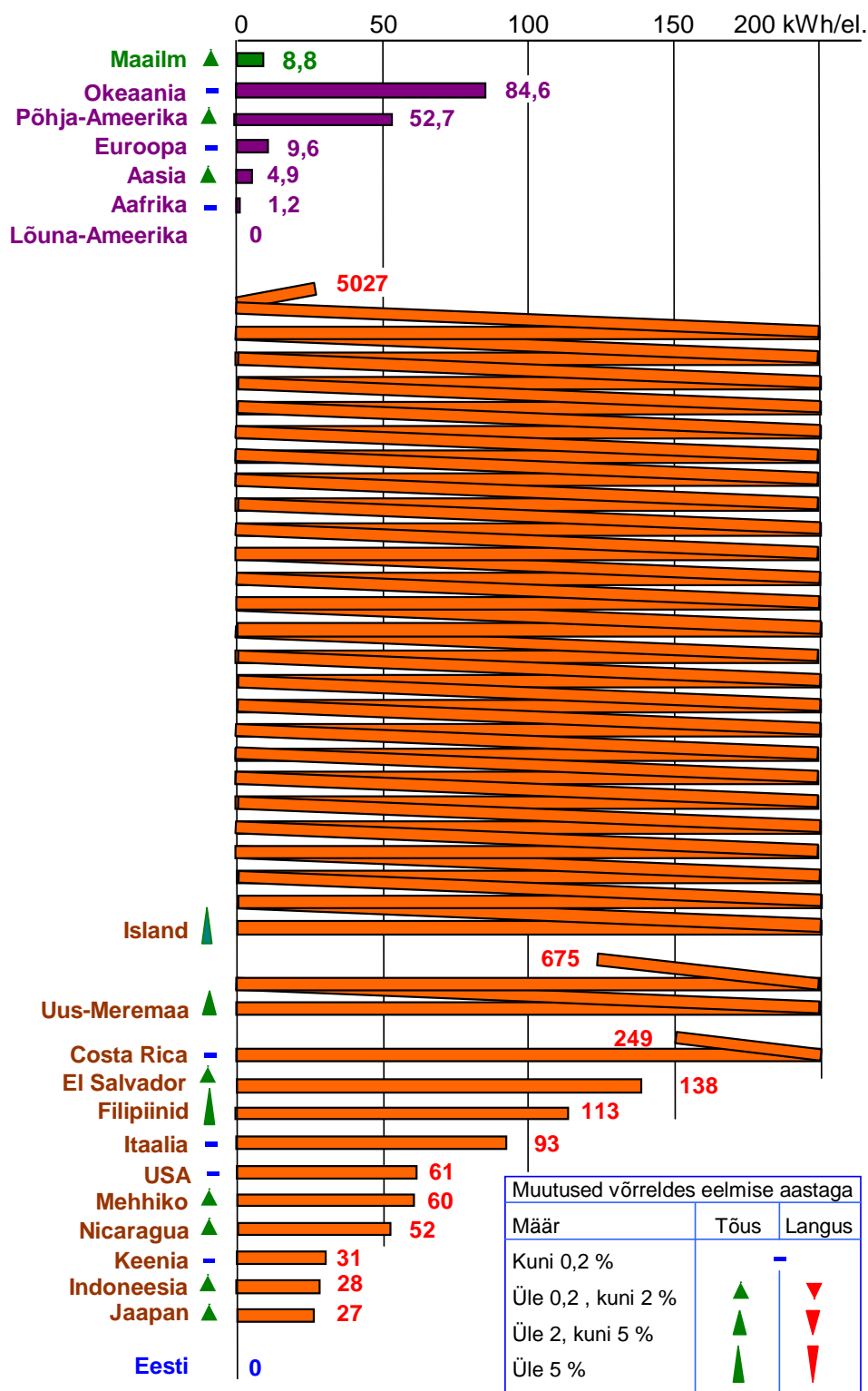
Nimi või asukoht	Asukohariik	Agreagaatide arv ja võimsus MW	Aasta*
Geysers	USA (California)	$6 \times 55 + 2 \times 110 + 113 + 4 \times 118 + 138 = 1273$	1985
Tongonan	Filipiinid	$3 + 6 \times 37,5 + 10 \times 55 = 778$	2004
Cerro Prieto	Mehhiko	$4 \times 25 + 4 \times 37,5 + 30 + 4 \times 110 = 720$	2000
Makiling-Banahao	Filipiinid	$2 \times 47,5 + 6 \times 55 = 425$	1987
Salton Sea	USA (California)	$1,5 + 3,5 + 5 + 9,5 + 10 + 11,5 + 30 + 3 \times 36 + 50 + 51 + 54 = 334$	2000
Gunung Salak	Indoneesia	$6 \times 55 = 330$	2000
Coso	USA (California)	$8 \times 30 + 32 = 272$	1999
Tiwi	Filipiinid	$4 \times 55 + 43 = 263$	2002
Geothermal 1 + 2	USA (California)	$4 \times 55 = 220$	1986
Palinpinon	Filipiinid	$2 \times 1,5 + 5 \times 37,5 = 190,5$	1994

* Valmimis- või viimase renoveerimise aasta

Geotermaal-elektrienergia tootmisest maade kaupa annab rahvusvahelisele geotermaikonverentsile aastal 2005 esitatud analüüsi [5.5] andmeil ettekujutuse joonis 5.6.4, toodangust elaniku kohta geotermaalenergiat intensiivselt kasutavates maades aga joonis 5.6.5.



Joonis 5.6.4. Maailma suurimad geotermaalelektrienergia tootjad aastal 2005



Joonis 5.6.5. Geotermaalelektrienergia tootmine ühe elaniku kohta aastal 2005. Esitatud on riigid, milles see näitaja on vähemalt 2 korda suurem kui maailma keskmine

Balti riikide ainus kasutuskõlbulik geotermaalpiirkond asub Leedus, Klaipeda ja Kretinga ümbruses. Kuni 2,5 km sügavuses paikneva kuuma kuiva liivakivikihi kasutamisel põhinevates binaar-geotermaaljaamades saaks seal toota elektrienergiat kuni 0,8 TWh aastas ja sinna ongi kavas rajada aastaks 2010 kaks suhteliselt väikest geotermaalelektrijaama (Klaipeda ja Vydmantai) koguvõimsusega mõni megavatt.

Geotermaalsoojust saab kasutada ka otse, ilma elektrienergiaks muundamata. Eeskätt rakendatakse seda hoonete kütteks, kusjuures eriti suures ulatuses tehakse seda Islandil; nii näiteks on Reykjavíkis välja ehitatud kogu linna haarav geotermaal-kaugküttesüsteem.

Arheoloogiliste uurimustega on kindlaks tehtud, et maapinnale tulevat termaalvett kasutasid Lipari saarele (Messina lähedal) asunud kreetalased tervistavates kuuma mineraalvee vannides ja basseinides oskuslikult juba 18. – 16. sajandil eKr. Veel varem, ligikaudu 10 000 aastat tagasi, arvatakse olevat geisrite kuuma vett samal otstarbel kasutanud Põhja-Ameerika indiaanlased. Kindlalt on teada, et aastal 215 lasi Rooma keiser Caracalla (186–217) ehitada termaalveel põhinevad kuulsad *termid*, mis mahutasid kuni 1000 inimest. Taolisi supelasutusi ehitati Rooma impeeriumis ka mujale (sealhulgas nt praegusesse Budapesti). Aastal 1818 hakkas prantsuse ettevõtja François Jacques de Larderel (1789–1858) Toscana provintsis (Kesk-Itaalias) eraldama vulkaanilisest veest ja mudast vulkaanilise auru abil boorhapet ja asutas selleks väikese tehase. Sellesse paika tekkis linn, mis sai nime *Larderello*. Suurema boorhappetehase ehitas samasse paika aastal 1904 itaalia keemiategelane vürst Piero Ginori-Conti (1865–1939), kes ühtlasi pani vulkaanilise auruga samal aastal esimesena maailmas käima aurumasina ja elektrigeneraatori (0,7 kW). 10. märtsil 1914 alustas samas talitlust maailma esimene geotermaalelektrijaam *Larderello 1* võimsusega 250 kW. Aastal 1949 saavutas jaam, mille esimene järk oli selleks ajaks suletud, kuid olid välja ehitatud järgud 2 ja 3, võimsuse 185,5 MW. Geotermaalelektrijaamade intensiivsem rajamine algas 1950ndail aastail ja aastal 1960 võeti Californias käitu maailma suurima seda liiki jaama *Geysers* esimene agregaat. Geotermaalenergia kasutamine hoonete kaugkütteks algas Islandil aastal 1928. Aastal 1970 hakkas Jaapani elektrotehnikakontsern *Toshiba* sarjaviisiliselt tootma geotermaal-turbogeneraatoragregaatide võimsusega enamasti 55 või 110 MW, mida rakendatakse nii Jaapani kui ka Filipiinide, Indoneesia ja teiste, eeskätt Aasia riikidesse rajatavates geotermaalelektrijaamades.

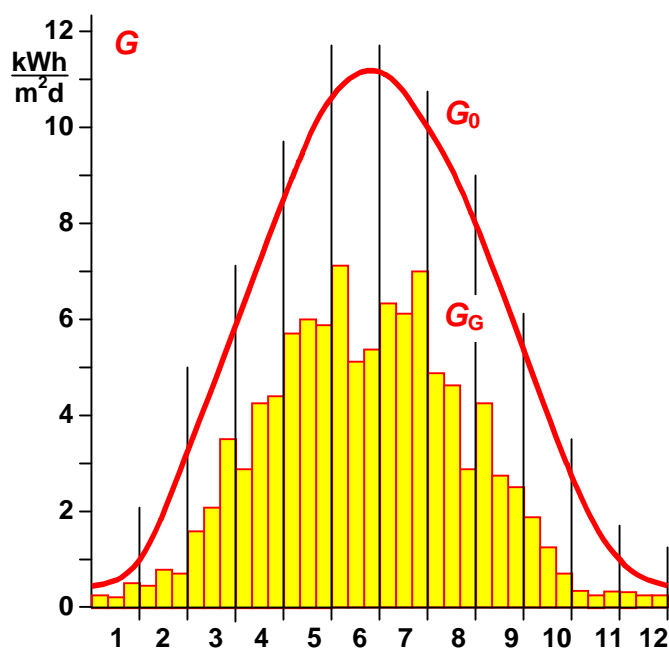
Binaar-geotermaalelektrijaamadega, rohkem aga soojuspumpadega sarnanevad *ookeanivee pinnakihi soojust* kasutavad elektrijaamad, mida alates aastast 1930 on õnnestunud ehitada üksnes katselistena ja võimsusega kuni 1 MW. Ükski nendest jaamadest ei ole talitlenud kauem kui mõni kuu, kuid loodetakse, et aastal 2004 India läänerannikul asuva Tuticorini sadama lähedal käitu võetud, parvel paiknev jaam võimsusega 1 MW osutub töökindlamaks. USA-s, Jaapanis ja mujal on koostatud projekte võimsusega kuni 100 MW, mis on aga seni veel realiseerimata.

5.7 PÄIKESEELEKTRIJAAAMAD

Päikesekiirgust, mille tihedus maapinnal risti päikesekiirtega on ligikaudu 1 kW/m^2 , saab suhteliselt lihtsalt muundada nii soojuseks kui ka elektrienergiaks ning mõlemal kujul nii edastada kui ka salvestada. Energia salvestamist on hakatud lugema isegi mõõdapäasmatuks, sest elektri- või soojustarbimist on vaja katta ka sel ajal, kui päikesekiirguse madalam intensiivsus ei taga jaama normaalse võimsusega talitlust.

Päikesekiirguse kiiritustihedus maapinnal koosneb otsesest päikesekiirgusest ja hajutatud taevakiirgusest. Enamik päikeseelektrijaamu kasutab üksnes otsest päikesekiirgust ja annab energiat seega ainult päikesepaistelisel ajal. Nende

rajamine on otstarbekas Maa sellistes piirkondades, kus taevas on enamuse päevaajast pilvitu, seega eeskätt kõrbealadel, kuid ka mõnel pool mujal, enamasti Maa ekvatoriaal- ja troopikavöötmes asuvatel väheste sademetega aladel. On aga ka jaamu (nt fotoelektrilisi), mis võivad peale otsese päikese kiirguse kasutada ka hajukiirgust ning leida rakendamist Maa parasvöötmeski, sealhulgas nt Baltimaades. Parasvöötmes tuleb aga arvestada taolisest jaamast saadava energia suurt aastaajalist kõikumist. Näitena on joonisel 5.7.1 esitatud rõhttasandi keskmise kümnepäevase kiiritustiheduse muutumine aasta jooksul Tallinnas.



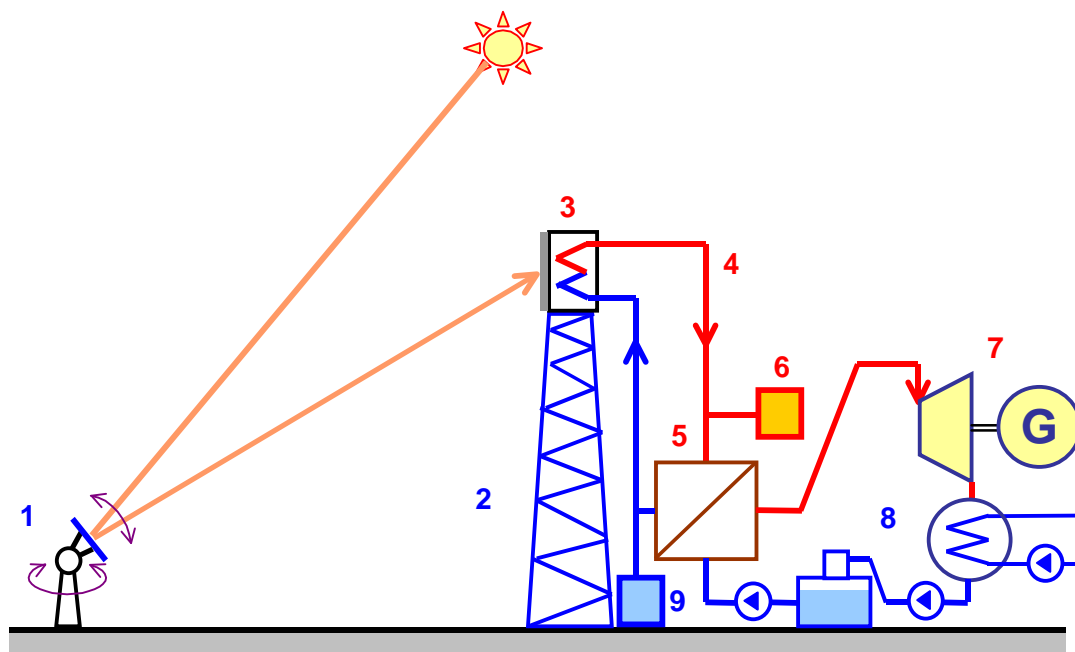
Joonis 5.7.1. Keskmise kümnepäevane kiiritustihedus rõhttasandil Tallinnas näitena võetud aastal. G_0 atmosfääri ülapiiril, G_G maapinnal

Joonis näitab, et rõhtne (ega ka muu) liikumatu tasand ei sobi kuigi hästi päikese kiirguse vastuvõtuks. Kui võtta aga kiirgust vastu reguleeritaval, päikese kiirte suuna järgi orienteeritaval tasandil, saab kiiritustiheduse nii aastast kui ka päevast kõikumist tugevasti vähendada.

Päikeseelektrijaamad ja muud päikese kiirgust kasutavad paigaldised võib jagada kahte rühma:

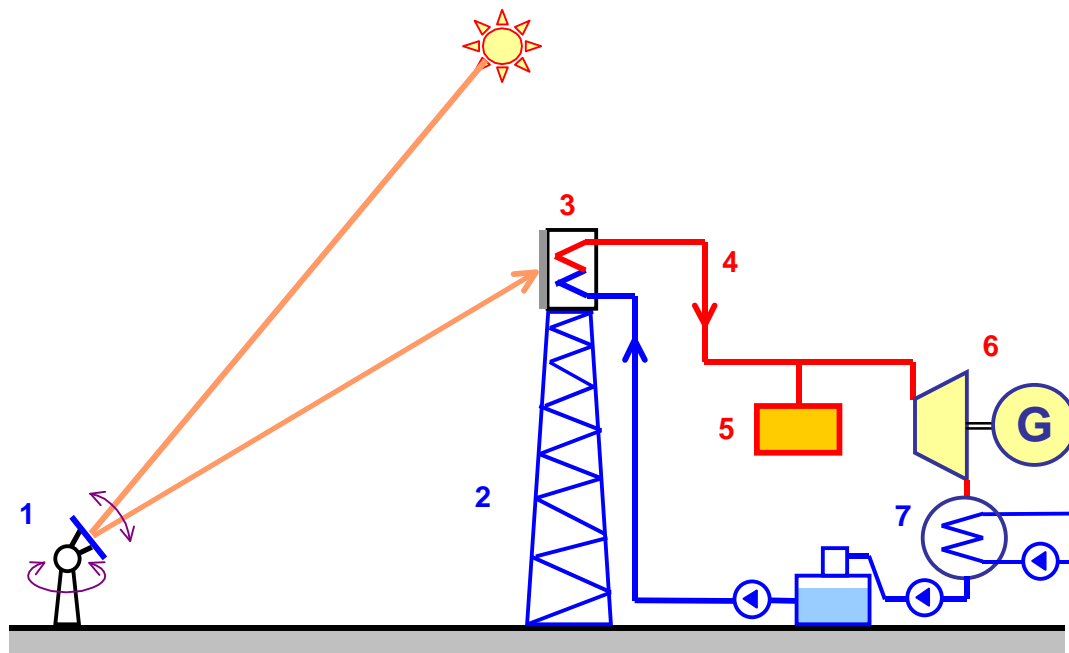
- kiirguse kontsentreerimisega peegel- või läätssüsteemide abil (nt paraboloidpeegel- ja torntüüpi päikeseelektrijaamad),
- kiirguse kontsentreerimiseta (nt õhuturbiin- ja tiiktüüpi päikeseelektrijaamad ja enamik fotoelektrilisi elektrijaamu).

Torn-päikeseelektrijaamades kasutatakse päikese kiirguse kontsentreerimiseks automaatselt, järgiv- või programmjuhtimisega elektriajami abil pööratavaid tasapeegleid (*heliostaate*), mis suunavad kiirguse väiksemapinnalisele, suure neeldumisteguriga (nt 0,95 või enam) vastuvõtuseadisele (joonis 5.7.2).



**Joonis 5.7.2. Torn-päikeseelektrijaama ehituspõhimõte (skemaatiliselt).
 1 päikese suunda järgiva ajamiga peegel, 2 torn, 3 kiirguse vastuvõtuseadis,
 4 kõrge keemistäpiga vedel soojuskandja, 5 aurugeneraator,
 6 soojussalvesti, 7 auruturbiin-generaator-agregaat, 8 kondensaator,
 9 soojuskandja varu**

Seni ehitatud torn-päikeseelektrijaamades on ühe heliostaadi pindala kuni ligikaudu 100 m^2 ja heliostaatide arv kuni 2500. Kiirgusvastuvõtja vastuvõtupinnal saavutatakse tavaliselt kiiritustihedus kuni 600 kW/m^2 , mis võimaldab kuumutada soojuskandjat (nt sünteetilist õlitaolist vedelikku või leelismetallinitraati) temperatuurini kuni ligikaudu $1000 \text{ }^\circ\text{C}$. Enamasti kasutatakse siiski madalamat temperatuuri (500 ,, $600 \text{ }^\circ\text{C}$). Joonisel **5.7.2** kujutatud kahekontuurilise skeemi asemel võidakse kasutada ka ühekontuurilist, mille puhul torni tipus paikneb päikesekiirgusega köetav aurugeneraator (joonis **5.7.3**).

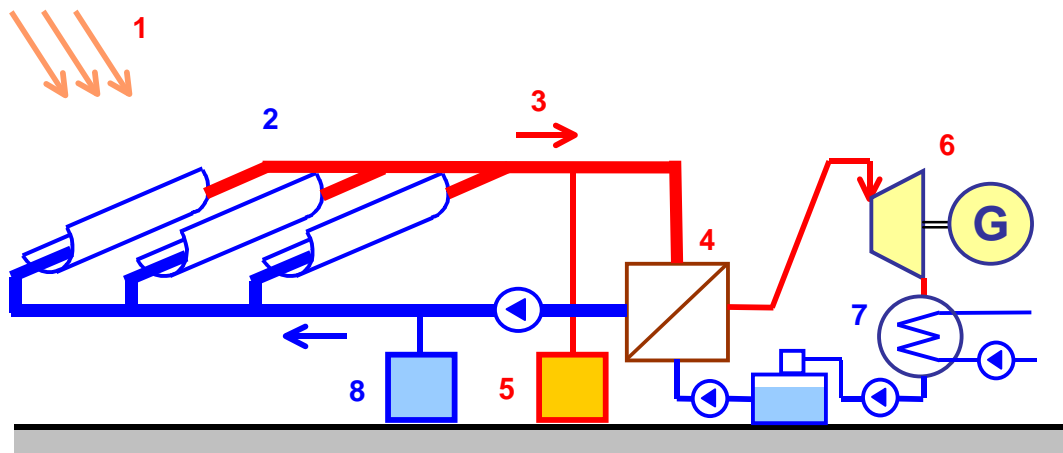


Joonis 5.7.3. Ühekontuurilise torn-päikeseelektrijaama ehituspõhimõte (skemaatiliselt). 1 päikese suunda järgiva ajamiga peegel, 2 torn, 3 aurugeneraator, 4 aur, 5 aurusalvesti, 6 auruturbiin-generaator-agregaat, 7 kondensaator

Esimene torntüüpi päikeseelektrijaam (võimsusega 64 kW), mille ehitus vastas ligikaudu joonisele 5.7.3, kuid milles heliostaatide asemel kasutati 2500 m² suurust parabolpeeglit, lülitati pidulikult talitlusse 25. jaanuaril 1977 Odeillos (Prantsusmaa Püreneeses). Aastal 1981 valmis Mojave kõrbes Daggettis (California, USA) joonisele 5.7.2 vastava skeemiga päikeseelektrijaam *Solar One* väljundvõimsusega 10 MW. Selles jaamas oli 1818 heliostaati kogupindalaga 72 500 m² ja see oli käidus aastani 1986. Seejärel jaam renoveeriti, lisades veel 108 heliostaati kogupindalaga 10 260 m² ja võttes soojuskandjana kasutusele naatrium- ja kaaliumnitraadi segu (60 % NaNO₃ ja 40 % KNO₃). Jaama (*Solar Two*) väljundvõimsuseks jäi 10 MW. Ehitamisel on sama tüüpi elektrijaam *Solar Tres* võimsusega 15 MW, peeglite üldpindalaga 240 000 m² ja soojussalvestusvõimega 600 MWh, mis tagab jaama ühtlase väljundvõimsuse kogu suve jooksul ja nimivõimsuse aastase kasutusteguri 65 %. Lõuna Aafrika Vabariigis algasid aastal 1998 uurimused taolist tüüpi jaama *Northern Cape* ehitamiseks väljundvõimsusega 100 MW (4000...5000 heliostaati à 140 m²).

Torntüüpi päikeseelektrijaamade kasutegur on vahemikus 12...20 %. Ühelsamal väljundvõimsusel on sellised päikeseelektrijaamad 2,5...3 korda kallimad kui klassikalised põletuskütus-elektrijaamad, kuid seda puudust kompenseerib nende põhieelis – süsinikdioksiidi ja muude heitmete täielik puudumine.

Mõnevõrra lihtsama ehitusega on parabol-silinderpinnal põhinevate **rennpeeglitega** päikeseelektrijaamad, mille ehituspõhimõte on esitatud joonisel 5.7.4.



**Joonis 5.7.4. Rennpeegel-päikeseelektrijaama ehituspõhimõte (skemaatiliselt).
1 päikesekiirgus, 2 rennpeeglite väli, 3 kõrge keemistäpiga vedel soojuskandja, 4 aurugeneraator, 5 soojussalvesti, 6 auruturbiin-generaator-agregaat, 7 kondensaator, 8 soojuskandja varu**

Kõrge keemistäpiga vedel soojuskandja kulgeb mustapinnalistes suure neeldumisteguriga terastorudes, mis on paigutatud rennpeeglite fookusesse, ja kuumeneb enamasti temperatuurini 300...400 °C; aurugeneraatoris jahtub see tavaliselt temperatuurini 120...130 °C. Soojuskadude vähendamiseks on eelnimetatud terastorud ümbritsetud veel klaastorudega. Rennpeegli laius on tavaliselt 2...5 m ja pikkus kuni 150 m. Erinevalt heliostaatidest saab paraboloidrennidel muuta päikese järgimisel üksnes kaldenurka, mitte aga rõhstat suunanurka. Seetõttu on päikesekiirguse kasutustegur selles süsteemis väiksem (tavaliselt 10...12 %), kuid kogu süsteem on lihtsam ja odavam ning seda on kergem ehitada suhteliselt suure nimivõimsusega.

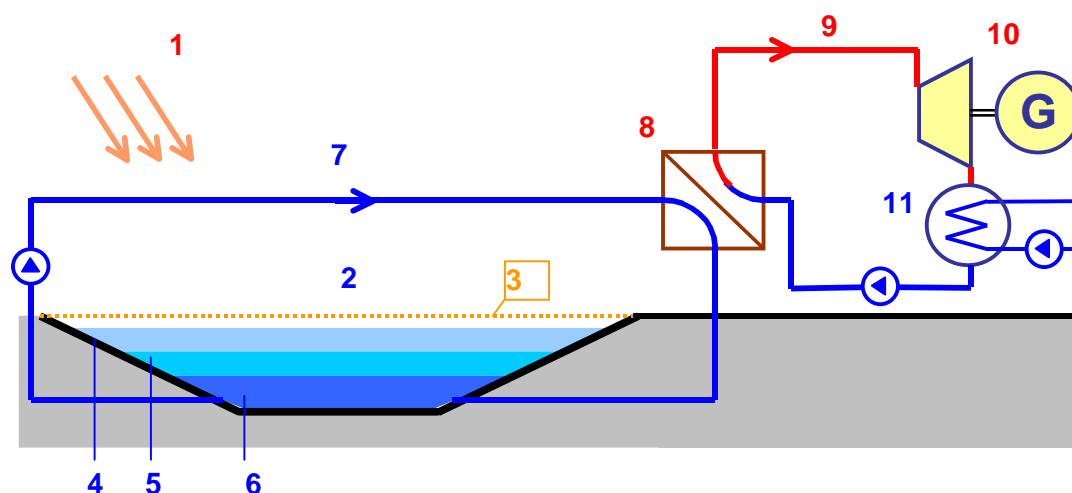
Rennpeeglite kasutamine väikese võimsusega elektrijaamades algas juba 1930ndail aastail. Aastail 1984...1986 valmis aga eelmainitud tornjaama *Solar One* kõrval maailma esimene suure võimsusega rennpeegeljaam, mis koosnes kahest järgust *SEGS-I* ja *SEGS-II* väljundvõimsusega vastavalt 13,8 ja 30 MW (*SEGS* = *Solar Energy Generating System*). Aastail 1987...1989 valmis samas Mojave kõrbes, 30 km nimetatust eemal, paigas nimega Kramer Junction 5 järgust (*SEGS-III* kuni *SEGS-VII*) koosnev päikeseelektrijaam väljundvõimsusega 5 x 30 = 150 MW, aastail 1989...1990 aga paigas nimega Harper Lake maailma seni võimsaim päikeseelektrijaam 92 + 108 (*SEGS VIII* ja *SEGS-IX*). Sama tüüpi, kuid mõnevõrra väiksema võimsusega elektrijaamu on mujalgi ja näiteks aastail 2007...2008 peaks Hispaanias Granada provintsis valmima selline elektrijaam võimsusega 100 MW, mille rennpeeglid võtavad enda alla pindala 1,3 km x 1,5 km.

Pöördparaboloidpeegleid on päikesekiirguse kontsentreerimiseks kasutatud seni peamiselt väikese võimsusega (kuni 10 kW) pisielektrijaamades ja kuumutus- või keeduseadmes (sealhulgas toiduvalmistamiseks). Aastal 2005 sõlmis USA firma *Stirling Energy Systems Inc.* aga Lõuna-California energiasüsteemiga (*Southern California Edison*) lepingu sellistel kontsentraatoritel põhineva 500 MW võimsusega elektrijaama ehitamiseks. Jaamas on ette nähtud 20 000 paraboloidpeeglit läbimõõduga 12 m (tegelikult koosnevad need 89 osapeeglist), mis järgivad päikese suunda ja kontsentreerivad päikesekiirguse stirlingmootorile võimsusega 25 kW. Jaam peaks tõenäoliselt valmima aastaks 2010 ja seda kavatakse hiljem laiendada võimsuseni 850 MW. Californias on kavandatud ka teisi samasuguseid elektrijaamu.

Päikesekiirguse kontsentreerimisel põhinevate (peamiselt rennpeegel- ja torntüüpi) soojuselektrijaamade koguvõimsus maailmas oli 2005. aasta lõpus ligi 400 MW. Päikeseelektrijaamu saab kujundada ka ilma päikesekiirguse kontsentreerimiseta. On olemas kolme liiki selliseid jaamu:

- päikesetiigil põhinevad jaamad,
- päikesekiirguse toimel kuumenenud õhu ülesvoolul põhinevad jaamad,
- fotoelementidel põhinevad jaamad.

Päikesetiik kujutab endast madalat (tavaliselt sügavusega ligikaudu 3 m) veega täidetud basseini, mille põhjakihi vee tihedus on mingi soola lahustamise teel muudetud suuremaks kui ülemiste kihtide oma. Pinnakihi läbipaistvuse ja põhja tumeda pinnakatte tõttu neeldub päikesekiirgus vee põhjakihis, mistõttu selle temperatuur tõuseb väärtuseni 90 °C või isegi kõrgemale, pinnakihi temperatuur jääb aga tavaliselt tasemele ligikaudu 30 °C. Konvektiivset soojusülekannet põhjakihist pinnakihti takistab põhjakihi suurem tihedus. Kuumenenud soolalahust saab kasutada madala keemistäpiga soojuskandja aurustamiseks, kusjuures aur suunatakse sellekohase eriehitusega auruturbiini (joonis 5.7.5).

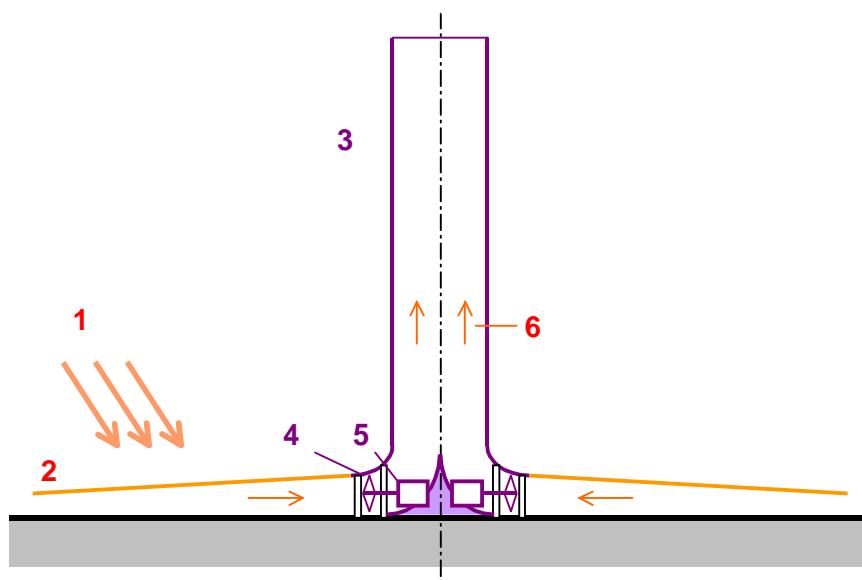


Joonis 5.7.5. Tiik-päikeseelektrijaama ehituspõhimõte (skemaatiliselt).
1 päikesekiirgus, **2** päikesetiik, **3** lainetusvastane võrk, **4** vee lahja pinnakiht, **5** vee keskkiht (põhja suunas suureneva soolsusega), **6** vee suure soolsusega põhjakiht, **7** kuum soolalahus, **8** aurusti, **9** madala keemistäpiga vedeliku aur, **10** auruturbiin-generaator-agregaat, **11** kondensaator

Turbiini juurde kuuluva kondensaatori jahutusvett võib võtta sama tiigi pinnakihist ja suunata samasse tagasi. Jaama kasutegur on vahemikus 4...8 % ja ühesugusel võimsusel on selle üldpindala sama suur nagu rennpeegelektrijaamadel. Jaama eelis teiste päikeseelektrijaamade ees seisneb pideva, päikesepaistest sõltumatu talitluse võimaluses, sest soojussalvesti ülesannet täidab tiik ise.

Maailma esimene seda liiki elektrijaam (tiigi pindalaga 7000 m² ja generaatori talitlusvõimsusega 150 kW) valmis aastal 1979 Iisraelis, Surnumere lähedal. Aastast 1986 talitleb teine selline jaam (tiigi pindalaga 3350 m² ja generaatori võimsusega 100 kW) El Paso linnas (Texas, USA) ja kuulub Texase ülikoolile. Aastal 1993 võeti talitlusse sama liiki ning ligikaudu samasuguse võimsuse jaam Indias, Gujarati provintsis asuva Bhuj linna lähedal. Suuremaid jaamu seni ehitatud ei ole.

Tõusval õhuvoolul põhineva päikeseelektrijaama ehituspõhimõte on kujutatud joonisel 5.7.6. Jaam koosneb maapinna lähedal paiknevast lamedast, läbipaistva (nt polümeerkile-) kattega õhukollektorist, milles õhk päikesekiirguse toimel kuumeneb, ja kollektori keskel asuvast korstnast, mis tekitab tugeva loomuliku tõmbe. Korstna jalamil paiknevad rõhtsa teljega õhuturbiinid. Väiksemate jaamade korral võib kasutada aga ka ühtainust, korstnas paiknevat püstse võlliga turbiini. Õhukollektorist võib jaama talitluse ühtlustamiseks olla ette nähtud vesi- või muu soojussalvesti.



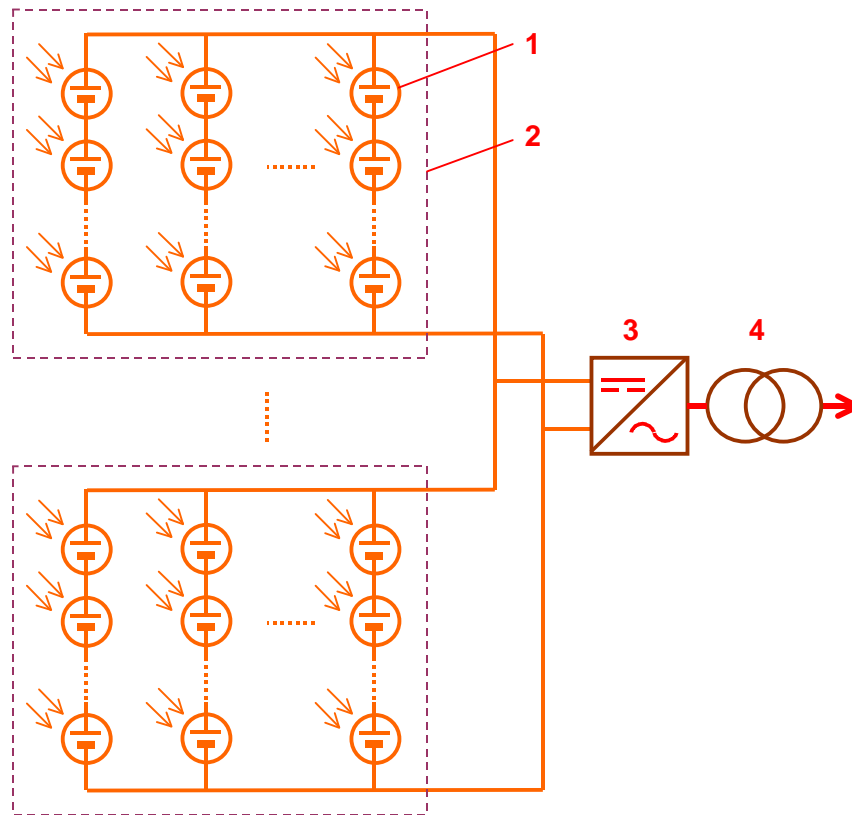
Joonis 5.7.6. Õhuvoolu-päikeseelektrijaama ehituspõhimõte.
1 päikesekiirgus, **2** õhukollektori läbipaistev kate, **3** korstna, **4** õhuturbiin, **5** generaator, **6** õhuvool

Sellise elektrijaama idee pärineb juba aastast 1903, kuid esimene ning seni ainus jaam võimsusega 50 kW ehitati aastal 1982 Manzaraneses (Hispaanias, 150 km Madridist lõuna pool). Kollektori läbimõõt oli 244 m, korstna läbimõõt 10 m ja kõrgus 195 m. Jaam sai tormi tõttu kahjustada ja lammutati aastal 1989. Austraalias, Victoria osariigis on kavatsusel rajada mitu sellist liiki jaama võimsusega à 200 MW, mille kollektori läbimõõt oleks ligi 6 km, korstna läbimõõt 130 m ja korstna kõrgus 1000 m. Ümber korstna jalami tuleks paigutada 32 turbiin-generaator-agregaati ja jaama erimaksumuseks arvatakse kujunevat 1500...2000 \$/kW.

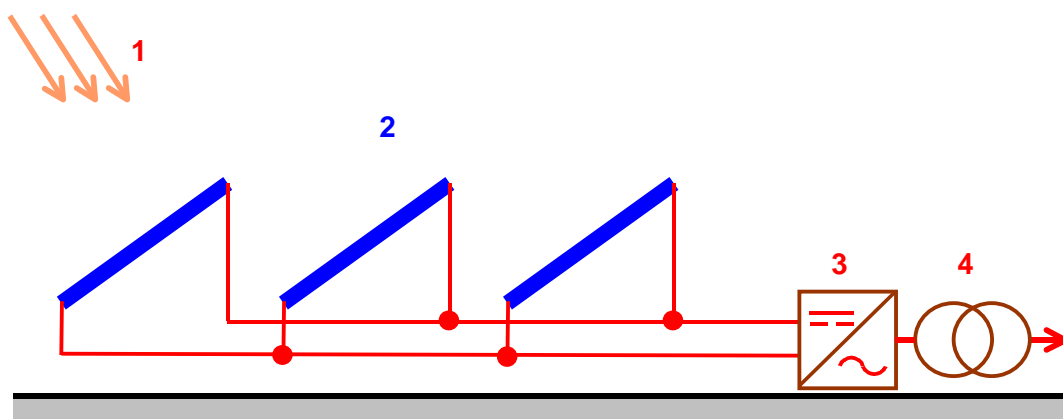
Fotoelement- ehk fotogalvaanilistes elektrijaamades muundatakse päikesekiirgus otseselt alalisvoolu-elektrienergiaks ventiifotoelementide abil (vt jaotis 2.11). Selleks moodustatakse fotoelementidest lamedad, tavaliselt mõne ruutmeetri suurused paneelid (moodulid), mis ühendatakse sobiva pinge saamiseks jadamisi. Moodulijadadest moodustatakse rööpühendamise teel sektsioonid, mis omakorda ühendatakse vastavalt soovitavale võimsusele rööbiti. Sektsioonid või nende rühmad varustatakse vahelditega, mis lülitatakse toidetavasse elektrivõrku. Lihtsustatult on taoline skeem esitatud joonisel 5.7.7, päikeseelektrijaama ehitusliku kujunduse põhimõte aga joonisel 5.7.8.

Ühe fotoelektrilise mooduli (päikesepaneeli) võimsus on tavaliselt 50...1000 W, moodulite arv võib aga suurtes päikeseelektrijaamades olla kuni mõnisada tuhat. Moodulid võivad olla paigaldatud mingis kindlas asendis, mis vastab päikese keskmisele kõrgusele ja suunale, kuid võivad olla ka automaatselt, päikest järgivalt

kallutatavad ja pööratavad. Olenevalt fotoelementide liigist on sellise päikeseelektrijaama kasutegur käesoleval ajal vahemikus 10...20 % ja erimaksumus 4000...5000 eurot kilovati kohta.



Joonis 5.7.7. Fotoelement-päikeseelektrijaama põhimõtteskeem.
 1 fotoelektriline moodul, 2 fotoelektriline sektsioon, 3 vaheldi, 4 trafo.
 Lülitus- ja kaitseaparaadid ning muud abiseadmed on näitamata



Joonis 5.7.8. Fotoelement-päikeseelektrijaama ehituspõhimõte (skemaatiliselt). 1 päikesekiirgus, 2 fotoelektriliste paneelide väli, 3 alaldi, 4 trafo

Maailma esimene katseline fotoelektriline päikeseelektrijaam ehitati aastal 1977 Massachusettsi tehnikaülikoolis (*Massachusetts Institute of Technology*, USA). Aastail 1995...2000 odavnesid fotoelementid sel määral, et selliste elektrijaamade rajamine, arvestades seejuures nende keskkonnasõbralikkust, esialgu võimsusega kuni 1 MW, muutus majanduslikult otstarbekohaseks. Aastal 2006 valmis Pockingis (Saksamaal, Bayeri liidumaal) jaam võimsusega 10 MW ja aastal 2009 peaks Portugalis Moura linna lähedal valmima jaam võimsusega 62 MW. On hakatud uurima ka võimalusi suurte fotoelektriliste päikeseelektrijaamade rajamiseks Põhja-Aafriasse ja toodetava elektrienergia edastamiseks Euroopasse.

Väga palju on üle kogu maailma ehitatud väiksema võimsusega fotoelement-päikeseelektrijaamu (võimsusega 10...1000 kW) üksikhoonete ja hoonerühmade elektrivarustuseks. Taolised energiapaigaldised võivad osutada otstarbekaiks isegi Eesti päikeseoludes. Üldse oli maailmas 2005. aasta lõpus fotoelektrilisi päikeseelektrijaamu koguvõimsusega 5,4 GW, millest elektrivõrku oli lülitatud 3,1 GW.

Aastal 1968 esitas USA füüsik Peter E. Glaser idee paigaldada päikesepaneelid Maa tehiskaaslastele, mis tiirleb 36 000 km kõrgusel (asudes, nagu paljud side-tehiskaaslased, Maa mingi kindla punkti kohal), muundada saadav alalisvool ülikõrgsagedus-vahelduvvooluks (sagedusega 2,5 GHz ehk lainepikkusega 12 cm) ja edastada see parabolooid-suundantenni abil Maale. Võimsuse 5...10 GW korral oleks päikeseplatari pindala ligikaudu 50...100 km², saateantenni läbimõõt 1...1,5 km, vastuvõtuantenni läbimõõt 10...14 km ja elektrienergia edastuse kasutegur ligikaudu 70 %. Seniajani ei ole aga veel teada, millal selle idee realiseerimine tehnilis-majanduslikult võimalikuks võib osutada.

5.8 ALAJAAMAD

Alajaamad on elektrivõrkudes ette nähtud enamasti pinget muundamiseks, kuid neis võidakse muundada ka voolu liiki. Ühtlasi toimub alajaamades ka muundatud elektrienergia jaotamine. Vastavalt muundusviisile eristatakse

- trafoalajaamu, mis pinget enamasti madaldavad, kuid on ka pinget kõrgendavaid trafoalajaamu;
- alaldusalajaamu;
- inverteralajaamu;
- sagedusmuunduralajaamu.

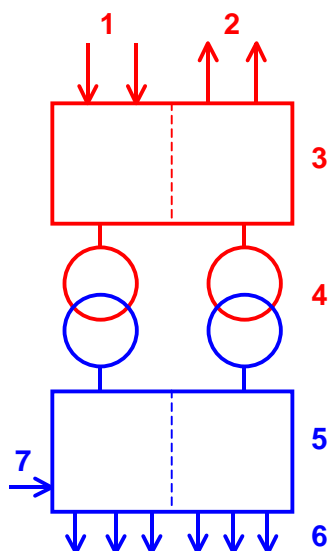
Alljärgnevalt vaadeldakse lühidalt trafoalajaamade seadmestikku ja ehitust.

Enamasti koosneb pinget madaldav trafoalajaam kolmest selgelt piiritletud seadmekompleksist (vt joonis **5.8.1**):

- ülempingejaotla,
- trafod,
- alampingejaotla.

Töökindluse tagamise huvides on trafosid alajaamas enamasti kaks. Lihtsamatel juhtudel, kui tarbijad taluvad alajaamaseadmete remonditöödest või riketest tingitud elektrikatkestusi, võib alajaamas olla ka üksainus trafo. Selliseid, enamasti linnade ja maapiirkondade madalpingevõrkusid toitvaid alajaamu nimetatakse *trafopunktideks*. Selliseid alajaamu võib aga ka omavahel vastastikku reserveerida, nähes selleks ette vastava ühendusliini (nagu nt liin 7 joonisel **5.8.1**).

Alajaama jaotlad ja trafod võivad paikneda omaette hoones, mingi muu hoone sellekohastes ruumides (mõlemal juhul nimetatakse sellist alajaama *sisealajaamaks*) või väljas (*välis- ehk vabaõhualajaam*). On ka alajaamu, mille osa seadmeid (nt ülempingejaotla ja trafod) paiknevad vabas õhus, osa aga (nt alampingejaotla) siseruumides.



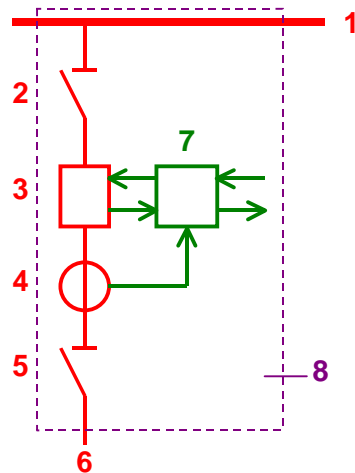
Joonis 5.8.1. Pinget madaldava alajaama struktuur (näide). 1 sisenevad ülepingeliinid, 2 väljuvad ülepingeliinid (võivad ka puududa), 3 ülempingejaotla, 4 trafod, 5 alampingejaotla, 6 väljuvad alampingeliinid, 7 sisenev(ad) alampingeliin(id) (ei pruugi olla ette nähtud)

Nii kõrge- kui ka madalpingejaotla on jagatud vastavalt trafode arvule **seksioonideks**, mis võivad olla pidevalt kokku ühendatud, kuid võivad olla ka eraldatud ja lülitatakse kokku ainult vajaduse korral (nt ühe trafo väljalülitamisel). Joonisel **5.8.1** on seksioonide piirid tähistatud mõttelise punktiirjoonega. Seksiooni iga liini ja trafo ahelas nähakse ette lülitus- ja kaitseaparaadid, mis koondatakse teistest ahelatest eraldatult nn *lahtrisse*. Lahtrid ühendatakse omavahel kogumislattidega (joonis **5.8.2**).

Kõrgepingega lahtri koosseisu kuuluvate lülitus- ja kaitseadmete hulgas on tähtsaimal kohal **võimsuslülitid**, mille abil peab saama liini või trafot sisse ja välja lülitada ja mis peab olema võimeline ka rikete korral tekkida võivat lühisvoolu töökindlalt katkestama. Väljalülitamisel tekkivat elektrikaart kustutatakse võimsuslülitis, olenevalt selle ehitusest,

- õlis,
- suruõhujoas,
- vaakumis,
- elegaasis (väävelheksafluoriidis SF₆).

Vastavalt sellele eristatakse õli-, õhk-, vaakum ja elegaas-võimsuslülitid. On ka mõningaid muid, harvemini esinevaid lülitite ehitusviise. Võimsuslülitid juhitakse nüüdisajal enamasti mikroprotsessorsüsteemi abil, mille kaudu saab edastada tahtlikke käsklusi ja mis töötleb elektri ahelaist saadavat informatsiooni ning käivitab tarbe korral vastava automaatse lülitustoimingu. Ühtlasi annab see juhtimiskeskusele infot lüliti seisundi ning sooritatud lülitustoimingute kohta koos vajalike mõõteandmetega.



Joonis 5.8.2. Kõrgepingejaotla lahtri skeem (näide). 1 kogumislattid, 2 latilahklüliti, 3 võimsuslüliti, 4 voolutrafo, 5 liinilahklüliti, 6 ühendus liini või trafoga, 7 juhtimis-, kaitse-, mööte- ja signalisatsioonisüsteem, 8 lahter

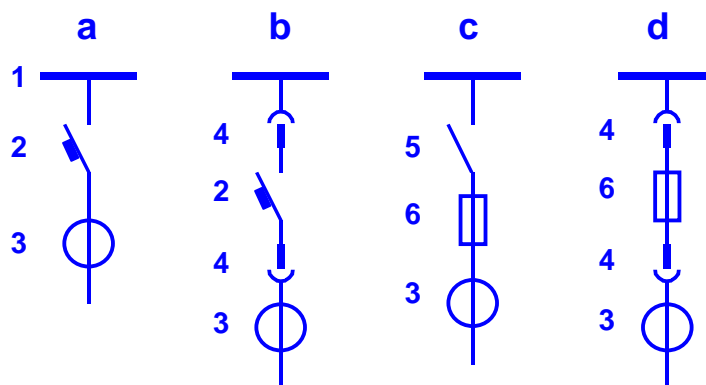
Varem põhines võimsuslülitite automaatjuhtimine mitmesugustel elektromagnetilistel ja muudel *releedel*. Olemasolevates vanemates paigaldistes on neid praegugi kasutusel.

Võimsuslüliti ülevaatuseks või remondiks on seda vaja lahtri muudest, pinge all olevatest osadest töökindlalt lahutada. Selleks kasutatakse **lahklüliteid**, mille sisse- ja väljalülitamine tohib toimuda üksnes vooluvabas olekus (võimsuslüliti väljalülitatud seisundis). Ühtlasi peavad nad tagama inimeste ohutuse (*kaitselahutuse*), mistõttu lahküliti ajam on väljalülitatud seisundis enamasti lukustatav. Kogumislattidepoolset lahkülitit nimetatakse *latilahklülitiks*, liinipoolset aga *liinilahklülitiks*. Kui liini pingestumine muudest allikatest on täiesti välistatud, võib liinilahklüliti ära jääda.

Pingel kuni umbes 20 kV võib lahtri ehitus olla selline, et võimsuslüliti paikneb väljatõmmataval *vankril*. Sel juhtumil asendavad lahküliteid kõrgepingelised pistikühendused, mille üks pool paikneb vankril, teine pool aga lahtri kohtkindlal osal.

Mõnes lihtsamas paigaldises saab lühisvoolude lahutamiseks kasutada võimsuslüliti asemel kõrgepingelisi sulavkaitsmeid. Sel juhul toimuvad lülitustoimingud *koormuslülitite* abil, mille kaarekustutusseadis on lihtsam ja väiksema lahutusvõimega kui võimsuslülitel.

Madalpingejaotlate lahtrites nähakse lühisvoolude katkestamiseks ette **kaitselülitid** või **sulavkaitsmed**, mis võivad olla paigutatud kohtkindlalt või väljatõmmatavatel tarinditel (joonis 5.8.3). Kui madalpingelist kaitse-, vinnak- vm lüliti saab kasutada kaitselahutuseks (*turvalülitina*), nähakse väljalülitatud seisundis tavaliselt ette selle käepideme lukustamise võimalus.



Joonis 5.8.3. Madalpingejaotla lahtrite skeeme (näited). a kohtkindla, b väljatõmmatava kaitselülitiga, c kohtkindla, d väljatõmmatava sulavkaitsmekomplektiga. 1 kogumislaid, 2 kaitselüliti, 3 voolutrafo (kui see on mõõtmisteks vajalik), 4 pistikühendus, 5 vinnaküliti, 6 sulavkaitsse

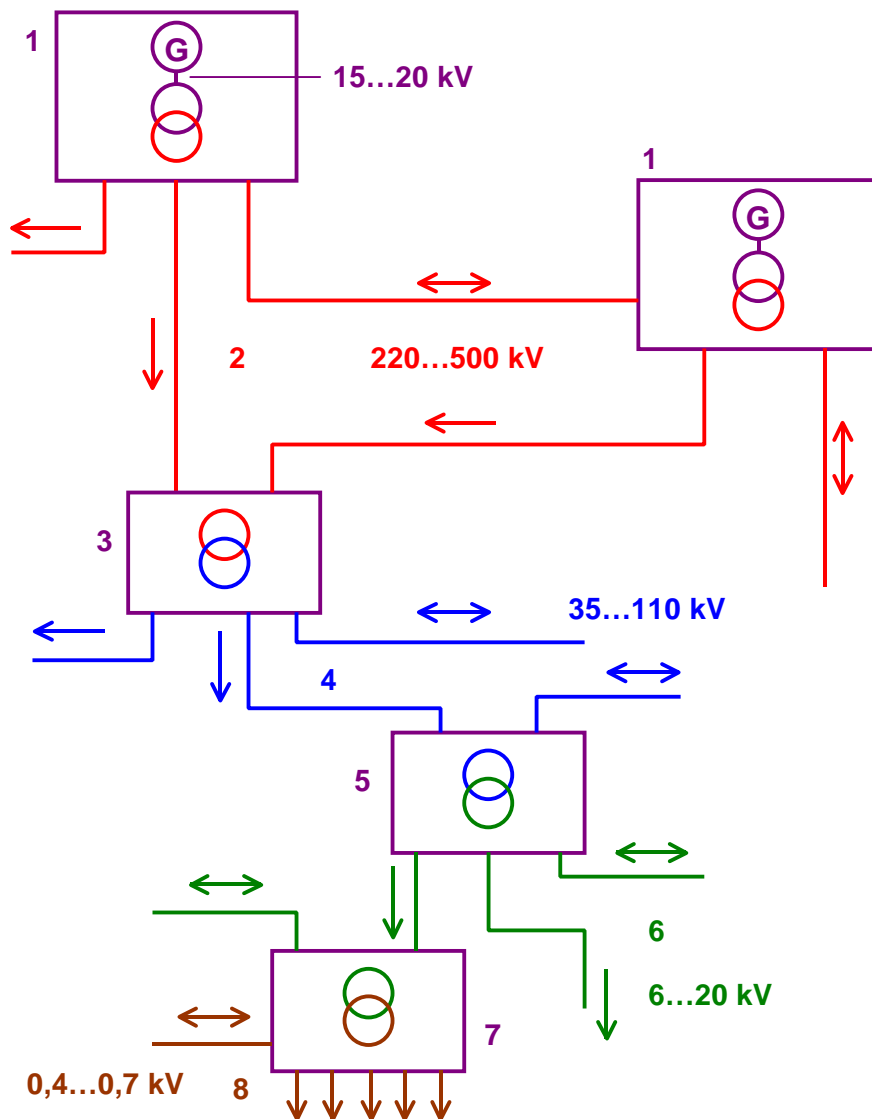
Välispaigalduseks ettenähtavad trafod on enamasti õlitäitega. Et trafo lekke korral vältida pinnase saastumist õliga, nähakse trafo all ette õlikogumisvann või õli juhtimine alajaama ühtsesse õlikogumissüsteemi. Sama kehtib ka õlitäitega trafode paigaldamisel siseruumidesse. Sisepaigaldusel võidakse aga kasutada õlivabu (*kuivi*) trafosid, mis selliseid meetmeid ei nõua ja mida seetõttu saab vajaduse korral paigutada ka nt tootmisruumidesse ja hoonete ülemistele korrustele.

Alajaamade ehitust ja projekteerimist vaadeldakse põhjalikult õppeaines *Elektrivarustus*.

5.9 ENERGIASÜSTEEMID

Energiasüsteemid, nagu juba mainitud jaotises **5.1**, koosnevad elektrijaamadest, mitmesuguse pingega elektrivõrkudest ja alajaamadest. Energiasüsteemi koostisse võivad kuuluda ka kaugkütte-soojusvõrgud. Energiasüsteemi ülesehituspõhimõte (ilma soojusvõrkudeta) on esitatud joonisel **5.9.1**.

Energiasüsteemi elektrijaamad on ühendatud süsteemi **põhivõrku**, mis tavaliselt talitleb pingel 220...500 kV (Eestis 110...330 kV, kusjuures sellesse kuuluvad ka 35-kV merekaabelliinid mandri ja Saaremaa vahel). Põhivõrgu alajaamad toidavad regioonide jaotusvõrke, mis talitlevad tavaliselt pingel 35...110 kV (Eestis 15, 20 või 35 kV). Regioonivõrgu alajaamadest saavad toidet linnade, ettevõtete ja maakohtade kõrgepingelised jaotusvõrgud, mis tavaliselt talitlevad pingel 6...20 kV (Eestis 6 või 10 kV). Kohaliku jaotusvõrgu alajaamad toidavad kohalikke alajaamu, mille sekundaarpinge on tavaliselt 400...690 V (Eestis 230 või 400 V). Tarbijate elektrivarustuse suurema töökindluse saavutamiseks on kõrgepingeliinid tavaliselt dubleeritud ja/või moodustavad kinniseid kontuure (*suletud võrgu*), mistõttu võrgu mingi ühe liini väljalangemine ei too endaga tavaliselt kaasa võrgu alajaamade väljalülitumist ega tarbijate elektrivarustuse katkemist.



Joonis 5.9.1. Energiasüsteemi ülesehituspõhimõte. 1 elektrijaam, **2** energiasüsteemi põhivõrk, **3** põhivõrgu alajaam, **4** regiooni jaotusvõrk, **5** regioonivõrgu alajaam, **6** linna, maakoha või ettevõtte kohalik jaotusvõrk, **7** kohaliku võrgu alajaam, **8** madalpingevõrk

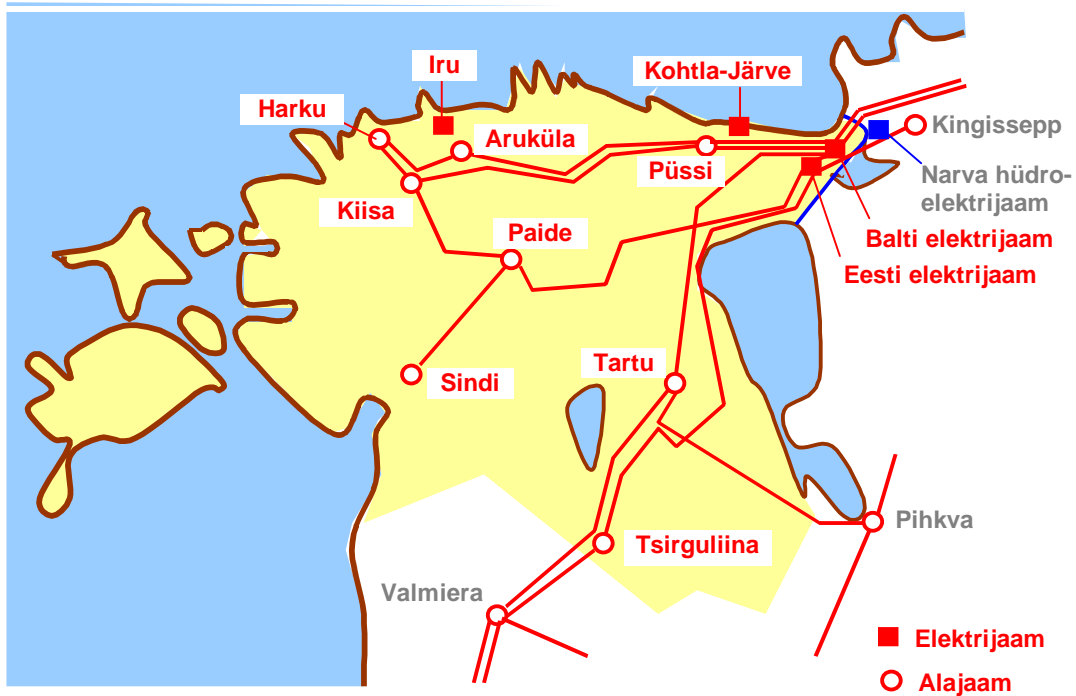
Energiasüsteemiga rööbiti võivad talitleda ettevõtete ja linnade oma elektrijaamad, mis suurendavad tarbijate elektrivarustuse töökindlust ja hajutavad elektrienergia tootmist.

Eesti energiasüsteemi suurimad elektrijaamad on esitatud tabelis **5.9.1**, elektrijaamade paigutus, põhivõrgu liinid pingega 330 kV ja nendega ühendatud alajaamad on aga näidatud joonisel **5.9.2**. Süsteemi omapärasuseks võib lugeda seda, et selle suurimad elektrijaamad paiknevad riigi kirdepiiri lähedal, suurimad tarbijad (sealhulgas Tallinn) aga riigi lääneosas, mistõttu elektrienergiat tuleb edastada suhteliselt kaugele (ligikaudu 200 km).

Tabel 5.9.1. Eesti suurimad elektrijaamad 2007. aasta alguses

Nimi või asukoht	Agregaatide arv ja võimsus MW	Aasta*
Eesti Elektriijaam	$6 \times 200 + 210 + 215 = 1625$	2004
Balti Elektriijaam	$3 \times 200 + 2 \times 12 = 215 = 839$	2005
Iru	$100 + 90 = 190$	1982
Kohtla-Järve	$2 \times 12 + 8 + 7 = 39$	1978

* Valmimis- või viimase renoveerimise aasta



Joonis 5.9.2. Eesti energiasüsteemi suurimad elektrijaamad ja põhivõrgu liinid pingega 330 kV

Eesti energiasüsteem on 330-kV liinide kaudu ühendatud Läti, Leedu ja Venemaa energiasüsteemiga. Venemaa, muud SRÜ riigid ja Balti riigid moodustavad omavahel sünkronismis talitleva energiasüsteemide kompleksi. Euroopas on veel kolm erisuguse sagedusreguleerimisviisiga energiasüsteemide ühendust:

- Euroopa mandriosa (väljaarvatult Skandinaavia maad), millega on sünkroonselt ühendatud ka Türgi ja Marokko energiasüsteemid,
- Skandinaavia (Soome, Rootsi, Norra ja Själlandi saar Taanis),
- Suurbritannia ja Iirimaa.

Euroopa ja SRÜ energialiitude sagedusreguleerimissüsteemi erinevus üksteisest seisneb selles, et

- Euroopa energialiitudes hoitakse sagedus täpselt stabiilsena tasemel 50 Hz; koormuse kõikumised ei avalda sagedusele peaaegu mingisugust mõju;
- Venemaa ühtses energiasüsteemis ja sellega ühendatud teistes riikides mõjutavad koormuse kõikumised sagedust sel määral, et sageduse vähenemist

energiasüsteemide ülekoormusel saab kasutada vähem vastutusrikaste tarbijate automaatseks väljalülitamiseks ja seega süsteemi ülekoormuse vähendamiseks stabiilset talitlust tagava tasemeni (süsteemi *koormuse automaatne vähendamine sageduse järgi* ehk *alasageduskaitse*).

Sageduse kõikumised kummaski energiasüsteemide kompleksis on seega erisugused ja seetõttu ei saa need talitleda omavahel sünkronismis. Eri sagedusreguleerimisviisiga energiasüsteeme saab omavahel ühendada üksnes kõrgepingeliste alalisvooluliinide või alalisvoolu-vahelülga muundusjaamade kaudu.

Mandri-Euroopa riikide (väljaarvatult Skandinaavia, Baltimaade ja SRÜ) energiasüsteemid on ühendatud Euroopa Elektrienergia Koordineerimise Liitu (*Union pour la Coordination du Transport de l'Électricité, UCTE*), mille elektrijaamade koguvõimsus 2006. aasta lõpus oli ligikaudu 630 GW ja mis koordineerib riikidevahelist elektrienergiaedastust vastavalt Euroopa elektrituru ning elektrivarustuse töökindluse nõuetele. Liit asutati Euroopa Majandusühenduse algatusel aastal 1951 ja kuni aastani 1999 koordineeris see ka elektrienergia tootmist (*Union pour la Coordination de la Production et du Transport de l'Électricité, UCPT*), nähes muuseas ette, et iga liikmesriik peab hoidma 2,5 % oma võimsusest sellises reservis, mis võimaldab seda koheselt (1 sekundi jooksul) kasutusele võtta. Koordineerimiskeskus asub Viinis.

Teine taoline liit – *NORDEL* – koordineerib alates aastast 1963 elektroenergeetika arengut Soomes, Rootsis, Norras, Taanis ja Islandil.

Aastal 1998 asutasid ka Läänemere ääres või lähedal asuvate riikide energiasüsteemid oma koostööorganisatsiooni *BALTREL*, kuhu kuuluvad Eesti, Läti, Leedu, Valgevene ja Venemaa energiasüsteemid ning osa Soome, Rootsi, Norra, Taani, Poola ja Saksamaa energiasüsteemidest. Organisatsioon on seadnud oma ülesandeks elektrituru ja rahvusvaheliste energiasidemete arendamise.

Nii riigisisese kui ka rahvusvahelise vaba **elektrituru** loomist peetakse vajalikuks eri energiasüsteemide konkurentsi tugevdamiseks, nende monopoolse seisundi kaotamiseks ja lõpptulemusena tarbijatele antava elektrienergia hinna vähendamiseks. Kui elektriturg on vaba, saavad tarbijad osta elektrienergia vabalt valitavatelt elektrivarustusorganisatsioonidelt, kusjuures aga juhul, kui elektrienergia tarnija asub tarbijast kaugel, tuleb tariifis arvesse võtta ka elektrienergia edastuskuludid (*transiidikulused*) läbi teiste elektrivarustusorganisatsioonide võrkude.

Energiasüsteemi peaülesanne on tarbijate töökindla, võimalikult katkematu elektrivarustuse tagamine. Selleks nähakse energiasüsteemides ette

- võimsusvaru (nt suurima elektrienergia tootva agregaaadi võimsuse asendamiseks selle väljalangemise korral),
- suletud võrkude kasutamine, milles ühe liini väljalangemisel jätkub elektrienergia katkematu edastamine talitlusse jäänud liinide kaudu,
- töökindlate energiamuundurite, liinide ja lülitusaparaatide kasutamine ning nende dubleerimine,
- loodustoimetele (tormile, jäitele, pakasele jm) vastupidavate liinide ja välisseadmete kasutamine,
- kestva ülekoormuse korral – koormuste ümberjaotamine, reservagregaatide juurdelülitamine jms,
- operatiivne juhtimine,
- seadmete korrasoleku pidev kontroll ning kulunud või vananenud seadmete või seadmeosade ennetav vahetamine,

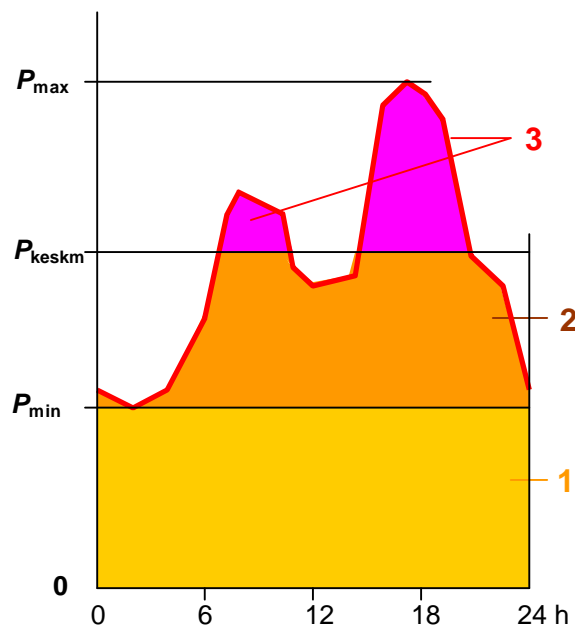
- rikete tekke korral – riknenud elemendi kiire ning selektiivne väljalülitamine töökindla ning täpse kaitseaparatuuri kasutamise teel,
- süsteemi kõigi elementide vastupidavus lühisvoolude lühiajalisele soojuslikule ja elektrodünaamilisele toimele,
- õhuliinide (ja mõnikord ka muude elementide) automaatne ühe- või mitmekordne taaslülitamine, kui on tõenäoline, et rike pärast väljalülitamist kaob,
- reservtoiteallikate ja rervühenduste automaatne sisselülitamine põhitoiteallika väljalangemisel,
- süsteemi talitlust ja seisundit iseloomustava informatsiooni automaatne, edastamine, töötlemine ja salvestamine,
- universaalsete, mikroprotsessoritel ja arvutitel põhinevate seire-, mõõte-, juhtimis-, signalisatsiooni- ja kaitse-süsteemide kasutamine.

Universaalseid arvutitel ja mikroprotsessorseadmeil põhinevaid seire-, mõõte-, andmetöötlus-, juhtimis-, signalisatsiooni- ja kaitse-süsteeme tähistatakse tehnikakirjanduses sageli ingliskeelse lühendiga *SCADA* (*Supervisory Control and Data Acquisition*).

Ülaltoodud loetelu ei ole ammendav. Energiasüsteemid kasutavad kõiki võimalusi, et tagada tarbijatele mitte üksnes katkematu elektrivarustus, vaid ka elektrienergia kvaliteet (pinge ja sageduse stabiilsus, vahelduvpinge ja -voolu siinuselisus jms).

Energiasüsteemi talitluse töökindlust, eriti aga majanduslikkust mõjutab süsteemi elektrilise koormuse ööpäevane ja nädalane (vähemal määral ka aastane) kõikumine. Seetõttu on kõik energiasüsteemid huvitatud oma koormuse ajalisest ühtlustamisest.

Joonisel **5.9.3** on esitatud energiasüsteemi üks tüüpilistest ööpäevastest koormusgraafikutest. Seda iseloomustavad teatav minimaalvõimsus P_{\min} , mis langeb enamasti ööle, teatav maksimaalvõimsus P_{\max} , mis võib, olenevalt elektritarbijate koosseisust ja tarbimisviisist, langeda hommikule või õhtule, ja keskmine võimsus P_{keskm} , mis võrdub ööpäeva kestel tarbitud energia ja ööpäeva kestuse jagatisega.



Joonis 5.9.3. Energiasüsteemi ööpäevane koormusgraafik (näide).
1 baaskoormus (põhikoormus), 2 pooltippkoormus, 3 tippkoormus

Koormust, mis ulatub nullist kuni ööpäeva minimaalkoormuseni ja mis on kogu ööpäeva jooksul järelkult konstantne, nimetatakse baas- ehk põhikoormuseks. Seda koormust katavad jaamad, mille elektrilise võimsuse muutmine on raske või ebasoovitav (nt tuumaelektrijaamad), mille reguleerimine toimub soojusvõimsuse järgi (elektri ja soojuse koostootmisjaamad) või mille võimsus oleneb loodusnähtustest (nt tuule- ja päikeseelektrijaamad). Koormust, mis ulatub minimaalsest ööpäeva keskmiseni ja mis muutub ööpäeva jooksul suhteliselt suurtes piirides, nimetatakse pooltippkoormuseks ja seda katavad enamasti kütustpõletavad kondensatsioonielektrijaamad ja hüdroelektrijaamad. Koormust, mis ulatub ööpäeva keskmisest maksimaalkoormuseni ja mis kestab tavaliselt mõni tund kaks korda ööpäevas, nimetatakse tippkoormuseks. Seda koormust katavad kiiresti käivitatavad ning kergesti reguleeritavad elektrijaamad (hüdroelektrijaamad, diisel- ja gaasiturbiinielektrijaamad jms, nende puudumisel aga kütustpõletavad kondensatsioonielektrijaamad).

Koormusgraafikut saab tõhusalt ühtlustada pump-elektrijaamade abil (vt jaotis 4.3), mis öösel salvestavad energiat, suurendades sellega baaskoormust, koormustippude ajal aga katavad energiavajadust, vähendades sellega teiste, tippude katteks vähem sobivate elektrijaamade koormust. Samal otstarbel saab kasutada ka muid energiasalvesteid.

Peale energia salvestamise saab koormusgraafiku ühtlustamiseks kasutada ka muid võtteid. Nende hulgas on levinuim elektrienergia sellise kahe- või mitmeastmelise elektritarbimise tariifi kehtestamine, mis stimuleerib tarbijaid oma ööpäevast või nädalast (mõnikord ka aastast) tarbimisgraafikut ühtlustama. Nii näiteks kasutatakse tööstusettevõtete puhul väga sageli nii tarbitava elektrienergia kui ka ööpäeva tipptarbimise maksustamist vastavalt valemile

$$B = \alpha P_{\max} + \beta W_a$$

B	tasu tarbitud aktiiv-elektrienergia eest
α	tasu ööpäeva maksimaalvõimsuse ühiku eest
P_{\max}	ööpäeva maksimaalne tarbitav võimsus
β	tasu aktiiv-elektrienergia ühiku eest
W_a	aktiiv-elektrienergia tarbimine arveldusajavahemikus (nt kuus)

Ööpäeva maksimaalvõimsus lepitakse elektrivarustusüsteemi ja tarbija vahel kokku ja kui seda peaks ületatama, võidakse võtta vastavat lisatasu. Peale aktiiv-elektrienergia nähakse tööstustarbijate puhul ette ka reaktiivenergia eest tasumine.

Väiketarbijatele (nt elanikele) võidakse kehtestada lihtsam kaheastmeline tariif, mille kohaselt öösel või puhkepäevadel tarbitud energia on odavam ja mis samuti stimuleerib tarbijat reguleerima oma elektritarbimist energiasüsteemile soodsal viisil. Energia eest tasumine toimub sel juhul valemi järgi

$$B = \beta_p W_p + \beta_s W_s$$

B	tasu tarbitud elektrienergia eest
β_p	tasu päevaajal tarbitud elektrienergia ühiku eest
W_p	tööpäevade päevaajal tarbitud elektrienergia
β_s	tasu soodusajal tarbitud elektrienergia ühiku eest
W_s	soodusajal (öösel ja puhkepäevadel) tarbitud elektrienergia

Soodustariif on olenevalt stimuleerimisvajadusest tavaliselt 2 kuni 3 korda madalam kui päevatariif. Reaktiivenergia eest väiketarbijailt tavaliselt tasu ei võeta.

Energiasüsteemid võivad kehtestada erisoodustusi sellistele tarbijatele, kes tarbivad elektrienergiat põhiliselt väljaspool energiasüsteemi tipuaegu (nt kui metallisulatusahjud talitlevad ettevõttes ainult öötundidel).

Eri maades ja eri energiasüsteemides võivad elektrienergia tariifid olla väga erisugused. Nii näiteks on maades, mis saavad kasutada hüdroelektrienergiat, elektrienergia odavam, kui aga elektrijaamades tuleb kasutada kallist importkütust, on ka elektrienergia kallim. Elektritariifide kehtestamisel võetakse arvesse ka tarbijate elektritarbimise ajalist ühtlust. Nii näiteks on tariifid olmetarbijatele (*kodutarbijatele*) tavaliselt 1,5 kuni 2 korda kõrgemad kui tööstustarbijatele, sest nad tarbivad elektrienergiat suuremal määral energiasüsteemi tipuaegadel.

Elektrijaamade ja energiasüsteemide koormusgraafikuid saab ühtlustada ka süsteemidevahelise energiavahetusega (eriti kui süsteemid asuvad eri ajavööndites). Samal eesmärgil on kasutatud ka naaberettevõtete tööaegade nihutamist üksteise suhtes.

Kui koormus on ajaliselt ebaühtlane, ei saa elektrijaamad talitleda kestvalt oma nimi- ehk paigaldatud võimsusega, mille all mõeldakse paigaldatud generaatorite nimivõimsuste summat. Seda asjaolu saab väljendada kahel viisil:

a) nimivõimsuse kasutusteguriga

$$k_k = P_{\text{keskm}} / P_n$$

P_{keskm} aasta keskmine võimsus MW (= $W / 8760$, kus W on aastane elektrienergia toodang MWh ja 8760 on aasta kestus tundides)

P_n jaama nimivõimsus MW

b) nimivõimsuse aastase kasutuskestusega

$$T_k = W / P_n$$

W aastane elektrienergia toodang MWh

P_n jaama nimivõimsus MW

Kui jaam talitleks kogu aasta kestel oma nimivõimsusega, oleks $T_k = 8760$ h/a. Koormuse kõikumise, võimsuse varukshoidmise ja seadmete hoolduseks vajalike talitlusvaheaegade tõttu on see suurus aga väiksem, olenedes jaama liigist ja sellest, kas jaam katab energiasüsteemi baas-, pooltipp- või tippkoormust. Nii näiteks on see

- tuumaelektrijaamadel 7000...8000 h/a,
- kütustpõletavatel soojuselektrijaamadel 4000...6000 h/a,
- tuuleelektrijaamadel 1500...4000 h/a.

Selle näitajaga iseloomustatakse ka energiasüsteemi talitlust tervikuna ja riigi kõigi elektrijaamade talitlust tervikuna. 2003. aastal oli see Eesti avalikes elektrijaamades kokkuvõetult 3964 h/a, maailma avalikes elektrijaamades aga 4383 (sealhulgas kütustpõletavates soojuselektrijaamades 4343, hüdroelektrijaamades 3349, tuumaelektrijaamades 7087 ja geotermaal- nung tuuleelektrijaamades 2350 h/a [1.7]).

Kirjandus

- 5.1 Strange, B. Early electricity supply in Britain: Chesterfield and Godalming // Proceedings of the IEE **126** (1979) No. 9, pp. 863...868.
- 5.2 Wind Force 12. – European Wind Energy Association; Greenpeace. – 2003. – 50 p.
- 5.3 Global wind energy markets continue to boom – 2006 another record year // Global Wind Energy Council, 2007. – 7 p.
- 5.4 Record growth for global wind power in 2002 // www.ewea.org
- 5.5 Bertani, R. World Geothermal Power Generation 2001–2005 // GRC Bulletin 2006, May/June, 89...111.