Pumpelektrijaama ehitamine Eestisse

Idee ja esialgne informatsioon

Construction of the Pumped Storage Power Plant in Estonia

An Idea and Preliminary Information

Manivald Kruup

12.07.2006.

© Manivald Kruup

1. Eessõna

Käesolevas dokumendis esitab autor idee ehitada Eestisse, täpsemalt Põhja-Eesti paekaldale, pumpelektrijaam ja analüüsib selle idee rakendamise otstarbekust.

2. Sisukord

1. Eessõna…… 2
2. Sisukord……... 2
3. Kasutatud lühendid, ühikud ja sümbolid…… 2
4. PEJ teistes keeltes…… 2
5. PEJ-a mõiste ja otstarve...…….. 2
6. PEJ-de ajalugu, olevik ja tulevik……. 2
7. Mõned näited PEJ-de kohta…… 4
8. Põhja-Eesti paekalda sobivus PEJ-a ehitamiseks...12
9. PEJ-a ehitamiseks sobivad kohad Põhja-Eesti paekaldal……13
10. Põhja-Eesti paekaldale ehitatava PEJ-a kirjeldus. 13
11. PEJ-a tööreziimid…… 15
12. PEJ-a manööverdamisvõime …… 15
13. PEJ-a tegutsemine elektriturul…….. 16
14. Prognoos olukorra kohta elektriturul 2016.a……..16
15. PEJ-a võrdlus GTEJ-ga ja KTGTEJ-ga…… 16
16. PEJ-a koostöö tuuleelektrijaamadega…… 17
17. PEJ-a koostöö TEJ-ga……... 17
18. PEJ-a ehitamiseks vajaliku investeeringu suurus. 17
19. Olulised andmed PEJ-de kohta…… 18
20. Muud huvitavat PEJ-de kohta……18
21. Eesti elektrisüsteemi praegused hädad……... 19
22. Kasu PEJ-a ehitamisest…… 19
23. Kokkuvõte…….. 20
24. Summary…… 20
25. Andmed autori kohta……..21

3. Kasutatud lühendid, ühikud ja sümbolid

PEJ	pumpelektrijaam
HEJ	hüdroelektrijaam
SEJ	soojuselektrijaam
TEJ	tuumaelektrijaam
TTEJ	termotuumaelektrijaam
GTEJ	gaasiturbiinelektrijaam
KTGTEJ	kombineeritud tsükliga gaasiturbiinelektrijaam

EEK	Eesti kroon
MEEK	miljon Eesti krooni
EUR	euro, Euroopa ühisraha 1 EUR = 15,6 EEK
MEUR	miljon eurot
MUSD	miljon USA dollarit
ROI	return on investment, investeeringu tasuvuse mõõdik
EL	Euroopa Liit

GW	gigavatt, võimsuse ühik, 10^3 MW, 10^6 kW
MW	megavatt, võimsuse ühik, 10^3 kW, 10^6 W
MWh	megavatttund, energia ühik, 10^3 kWh
TWh	teravatttund, energia ühik, 10^9 kWh
kV	kilovolt, pinge ühik, 10^3 V

‰	promill, tuhandik osa

4. PEJ teistes keeltes

pumped storage power plant	(inglise)
Pumpspeicherkraftwerk	(saksa)
station de transfert d`energie par pompage	(prantsuse)
pumppuvoimalaitos	(soome)
揚水発電所	(jaapani)
抽水蓄能电站	(hiina)

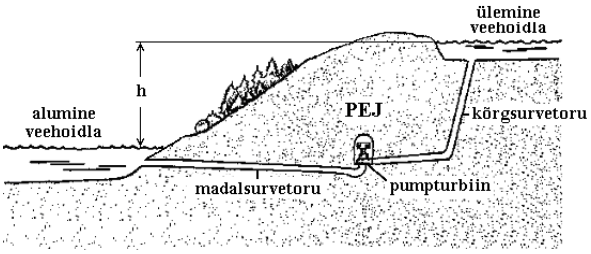
5. PEJ-a mõiste ja otstarve

PEJ-a definitsioon
PEJ on HEJ, mis kasutades ülemist ja alumist veehoidlat tsükliliselt pumpab vett ja genereerib elektrienergiat.

PEJ-a majanduslik mõte
PEJ on ettevõte, mis ostab elektriturult elektrienergiat, kui see on odav (tavaliselt öösiti ja puhkepäevadel) ning müüb, kui hind on kõrge (tavaliselt tööpäevadel, koormustippude ajal). PEJ müüb elektriturul lisaks veel süsteemiteenuseid:

- kuum (pöörlev) avariireserv
- külm (seisev) avariireserv
- reguleerimisreserv
- asendusreserv
- sageduse reguleerimine
- reaktiivenergia tootmine ja pinge reguleerimine
- elektrisüsteemi taaskäivitamine peale täielikku kustumist (black start)

PEJ-a tööpõhimõte
PEJ koosneb alumisest veehoidlast, ülemisest veehoidlast ja veetorust nende vahel, mis kulgeb läbi pumpturbiini.
PEJ pumpab öösel odavat elektrienergiat kasutades vett alumisest veehoidlast ülemisse veehoidlasse. Päeval, koormustippude ajal, kui elektrienergia hind on kõrge, töötab PEJ nagu tavaline HEJ. Vesi voolab ülemisest veehoidlast läbi turbiini alumisse veehoidlasse ja toodab elektrienergiat. Tsükli kasutegur on ca 80 %, s.t. pumpamiseks kasutatud ühest kWh saab genereerimisel tagasi 0,8 kWh



Joonis 1. PEJ-a tööd selgitav skeem

Maailmas töötab praegu üle 300 PEJ-a, nende võimsus kokku on ligi 100 GW ehk 3 % kõigi maailma elektrijaamade koguvõimsusest. Võrdluseks: Eesti kõigi elektrijaamade võimsus on kokku 2,4 GW. PEJ on praegu ainus laialt levinud tehnoloogia elektrienergia salvestamiseks suurtes, elektrisüsteemi tööd ja elektriturgu mõjutavates kogustes.

Praegu maailmas töötavate mitmesuguste PEJ-de võimsused on vahemikus mõni MW kuni 2400 MW, nende surukõrgus (alumise ja ülemise veehoidla veetasemete vahe) vahemikus mõnekümmend meetrit kuni 900 m ja ülemise veehoidla energiamahtuvus mõnikümmend MWh kuni 35000 MWh.

6. PEJ-de ajalugu, olevik ja tulevik

PEJ-de ajalugu
PEJ-de ajalugu algas veidi üle 100 aasta tagasi, kui 1904.a. valmis Shveitsis maailma esimene PEJ. Sel ajal toodeti peaaegu kogu elektrienergia hästireguleeritavates HEJ-des ja PEJ-de ehitamiseks tekkis vajadus vaid üksikutel erijuhtudel.

20. sajandi alguses hakkas elektrienergia tootmine kiiresti kasvama ja veel kiiremini kasvas reguleerimise seisukohalt oluliselt tuimemate SEJ-de osa elektrienergia tootmises. Tekkis nõudmine tipuenergia ja kiireltkäivituvate reservvõimsuste järele. Siis algas PEJ-de kiire areng.

Esimesed pikemad sammud olid: 1929.a. Rocky River PEJ (30 MW) USA-s, 1930.a. Koepchenwerk PEJ (132 MW) Saksamaal, 1934.a. Lac Noir PEJ (100 MW) Prantsusmaal. Enne Teist maailmasõda oli PEJ-de ehitamises juhtpositsioonil Saksamaa.

PEJ-de veel kiirem areng algas möödunud sajandi 60-ndatel aastatel, samal ajal TEJ-de arenguga. Viimaste võimsus on väga raskelt reguleeritav ja nende kõrval on elektrisüsteemides hädavajalikud elektrijaamad, mille võimsust saab kiiresti ja suures ulatuses reguleerida. PEJ-d sobivad suurepäraselt selleks otstarbeks.

Sel ajal täiustus oluliselt PEJ-de tehnoloogia ja paranes kasutegur. Nelja põhiagregaadi (pump, turbiin, mootor, generaator) asemel piisas edaspidi kahest (pumpturbiin ja mootorgeneraator).

Peale Tshernobõli tuumakatastroofi (1986.a) TEJ-mu enam endise hooga juurde ei ehitatud ja vajadus PEJ-de järele hakkas vähenema. Siiski reageerisid erinevad riigid uuele olukorrale erinevalt.

USA-s käivitati viimane suurem PEJ 1995.a. (Rocky Mountain PEJ, 850 MW) ja peale seda pole uusi juurde ehitatud. Jaapan jätkas endise tugeva tempoga ca 800 MW aastas, vaatamata sellele, et riik on tihedalt asustatud, maa on kallis, paremad kohad PEJ-de jaoks juba kasutatud ja maavärinate ohuga arvestamine muudab PEJ-de ehitamise kalliks. Hiina alustas PEJ-de ehitamisega eelmise sajandi viimastel aastakümnetel ja on tänaseks jõudnud selles valdkonnas kolmandale kohale maailma riikide seas.

Euroopa kõige uuemad PEJ-d on Goldisthal PEJ (1,06 GW) Saksamaal, mis alustas tööd 2003.a. ja Venda Nova PEJ (0,19 GW) Portugalis, mis alustas tööd 2005.a.

PEJ-de olevik
Praegu töötab maailmas üle 300 PEJ-a koguvõimsusega ligi 100 GW ehk 3 % kõikide elektrijaamade koguvõimsusest.

Ligikaudne jaotus piirkondade vahel on selline:

- EL ca 33 GW
- Jaapan ca 27 GW
- USA ca 19 GW
- ülejäänud ca 21 GW

Jaapanis moodustab PEJ-de võimsus 10 % riigi elektrijaamade koguvõimsusest, EL-s 5 %, USA-s 2,5 %.

PEJ-de jaotus riikide lõikes on toodud Tabel 1.

Riik	PEJ-de võimsus GW	PEJ-de arv
Jaapan	27	44
USA	19	40
Hiina + Taiwan	8	15
Itaalia	7	18
Saksamaa	6,6	33
Prantsusmaa	4,3	7
Hispaania	4	5
Austria	3,6	14
Suurbritannia	2,8	4
Korea Vabariik	2,3	4
Ülejäänud kokku	ca 15	ca 115
Kõik kokku	ca 100	ca 300

Tabel 1. PEJ-de jaotus riikide lõikes

Eestile lähemad PEJ-d asuvad Leedus, Rootsis ja Poolas.

Praegu on maailmas ehitusjärgus mitukümmend suurt PEJ-a koguvõimsusega üle 25 GW: Jaapanis 5 tk. kokku 6,9 GW s.h. maailma võimsaim Kannagawa PEJ (2,8 GW), Hiinas 4 tk. kokku 7,0 GW, Euroopas 7 tk. kokku 5,6 GW, lisaks neile veel Indias Purulia PEJ (0,9 GW), Tais Lam Ta Khong PEJ (1 GW), Korea Vabariigis Yangyang PEJ (1 GW), Iraanis Siah Bishe PEJ (1 GW), Indoneesias Upper Cisocan PEJ (1 GW) jne.

Viimase aastakümne jooksul on PEJ-de tehnoloogia täiustunud. Uut tüüpi, reguleeritava pöörlemiskiirusega (adjustable speed), mootorgeneraatoritel on endiste, sünkroonkiirusel töötavate mootorgeneraatoritega võrreldes järgmised eelised:

- võimaldab muuta mootorgeneraatori võimsust pumpamisreziimis
- reageerib kiiremini elektrisüsteemi koormuse muutumisele
- käivitamine on lihtsam ja mõjutab vähem elektrisüsteemi tööd
- kasutegur on suurem ja sõltub vähem surukõrguse muutumisest

PEJ-de tulevik
Viimastel aastatel on vajadus PEJ-de järele ja huvi nende ehitamiseks järsult kasvanud. Põhjused on järgmised:

- Elektriturud avanevad ja avatud elektriturul on PEJ oodatud ja heas positsioonis osaleja, sest silub järske hinna muutusi.

- Tehnoloogia muutub keerulisemaks, majandus digitaliseerub ja muutub järjest tundlikumaks elektrivarustuse häirete suhtes. PEJ pakub elektrisüsteemile parima võimaliku komplekti süsteemiteenuseid (mitmesugused reservid, koormuse reguleerimine, sageduse reguleerimine, reaktiivvõimsuse tootmine, pinge reguleerimine jne.).
- Tuuleelektrijaamade osa elektrienergia tootmises kasvab kiiresti. PEJ sobib suurepäraselt koostööks tuuleelektrijaamadega, salvestab nende muutliku toodangu ja genereerib selle tagasi elektrisüsteemile vajalikul ajal.
- Kasvuhoonegaaside piiramine muutub järjest olulisemaks. PEJ võimaldab fossiilkütusel töötavatel SEJ-del töötada ühtlases reziimis, siis saastavad need vähem keskkonda.
- Elektrisüsteemide tipukoormused kasvavad kiiremini, kui elektritarbimine üldiselt. PEJ on parim võimalik tehnoloogia elektrisüsteemi tipukoormuse katmiseks.
- Gaasi hind maailmaturul kasvab kiiresti ja varustuskindlus väheneb. GTEJ on PEJ-ma alternatiiviks elektrisüsteemi tipukoormuse katmisel ja süsteemiteenuste tagamisel. Valides GTEJ-ma asemel PEJ-a saab vältida gaasi hinna- ja varustuskindluse riske.

Nende arengute tõttu on elektrienergia salvestamine muutumas sama tähtsaks, kui elektrivarustuse muud lülid (kütuse hankimine, genereerimine, ülekanne, jaotamine, müük). PEJ on ainus laialt levinud tehnoloogia elektrienergia salvestamiseks suurtes, elektrisüsteemi tööd ja elektriturgu mõjutavates kogustes.

Jaapanis on elektrisüsteemi arendajad seisukohal, et elektrisüsteem on piisavalt töökindel, kui salvestusseadmetest saadav võimsus on vähemalt 15% elektrijaamade koguvõimsusest. Jaapan kavatseb lähema paari aastakümne jooksul saavutada oma PEJ-de koguvõimsuseks 50 GW.

Hiinal on eesmärk saavutada PEJ-de koguvõimsuseks 2010.a. 15 GW ja 2020.a. 25 GW.

USA elektrisüsteemide arendajad on seisukohal, et PEJ-de ehitamine muudaks riigi elektrisüsteemi oluliselt töökindlamaks ja aitaks vältida suuri avariisid, nagu neid seal viimase aastakümne jooksul on korduvalt toimunud.

Euroopas on samuti kasvav huvi ja vajadus PEJ-de järele. Austrias ja Shveitsis on ehitamisel mitu suurt PEJ-a, Sloveenias Avce PEJ (0,25 GW), Ukrainas Dniester PEJ (2,3 GW) ja Tashlytska PEJ (1,8 GW), Leedu kavatseb ehitada projekteeritud võimsuseni (1,6 GW) Kruonis PEJ-a (praegu 0,8 GW). Rumeenia kavatseb ehitada Tarnita PEJ-a (1,0 GW) koostööks oma uue tuumareaktoriga. Norra kavatseb ehitada Tonstad PEJ-a (1,0 GW), et optimeerida oma kasvavat elektrienergia vahetust Lääne-Euroopaga.

Praegu on maailmas planeerimise staadiumis (teostatavuse uuringud, tasuvusuuringud, keskkonnauuringud, projekteerimine, raha hankimine) ca 500 PEJ-a. PEJ-del on tuleviku elektrisüsteemides tähtis koht. Silmapiiril ei ole näha tehnoloogiat, mis suudaks neid asendada.

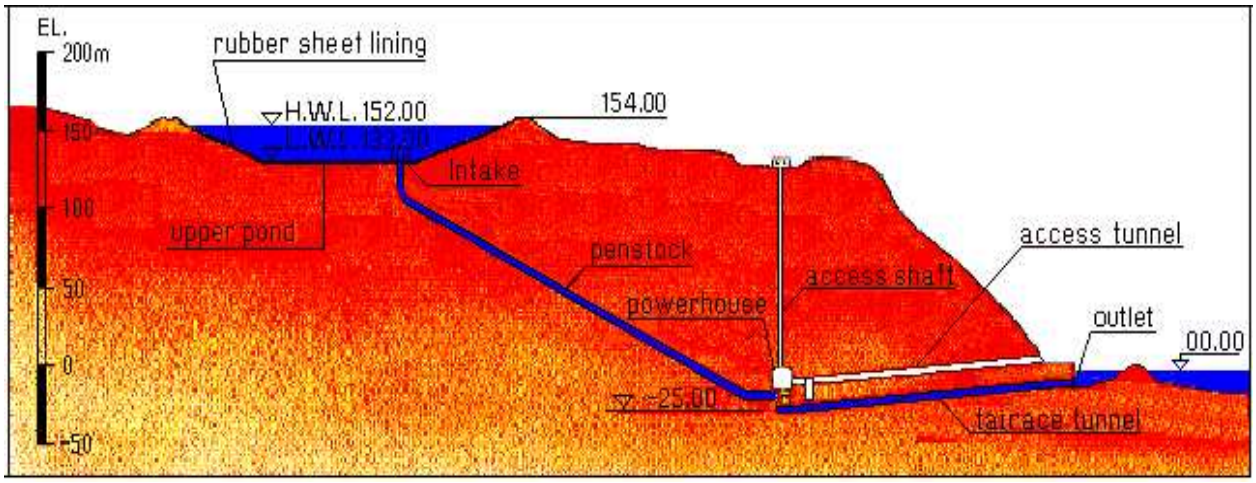
7. Mõned näited PEJ-de kohta

Joonis 2. Okinawa Yanbaru PEJ (Jaapan)

30 MW, 136 m, 200 MWh*, töös alates 1999.a. Ülemise veehoidla pindala on 0,03 km^2 ja maht 0,6 miljonit m^3. Asub Okinawa saarel. Esimene ja seni ainus mereveega töötav PEJ maailmas. See on pilootprojekt, et saada kogemusi selliste PEJ-de rajamiseks (merevee mõju seadmetele, samuti keskonnale PEJ-ma mõjupiirkonnas).

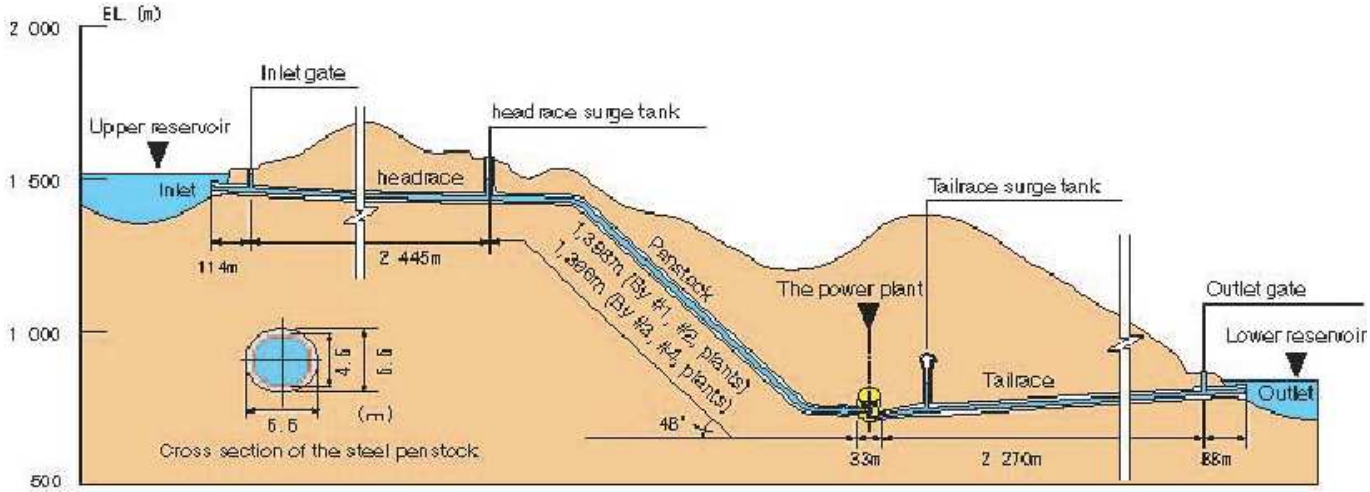
* Siin ja edaspidi tähendavad need arvud:
- võimsus genereerimisreziimis
- surukõrgus (ülemise ja alumise veehoidla veetasemete vahe)
- ülemise veehoidla energiamahtuvus

Joonis 3. Okinawa Yanbaru PEJ-a lõige



Joonis 4. Kannagawa PEJ (Jaapan)

2820 MW, 653 m, 23000 MWh, ülemise veehoidla maht 13 miljonit m^3. Ehitusjärgus olev PEJ. Ehitus algas 1997.a. Esimene agregaat (470 MW) alustas tööd 2005.a. Peale lõplikku valmimist on maailma kõige võimsam PEJ.



Joonis 5. Numappara PEJ (Jaapan)

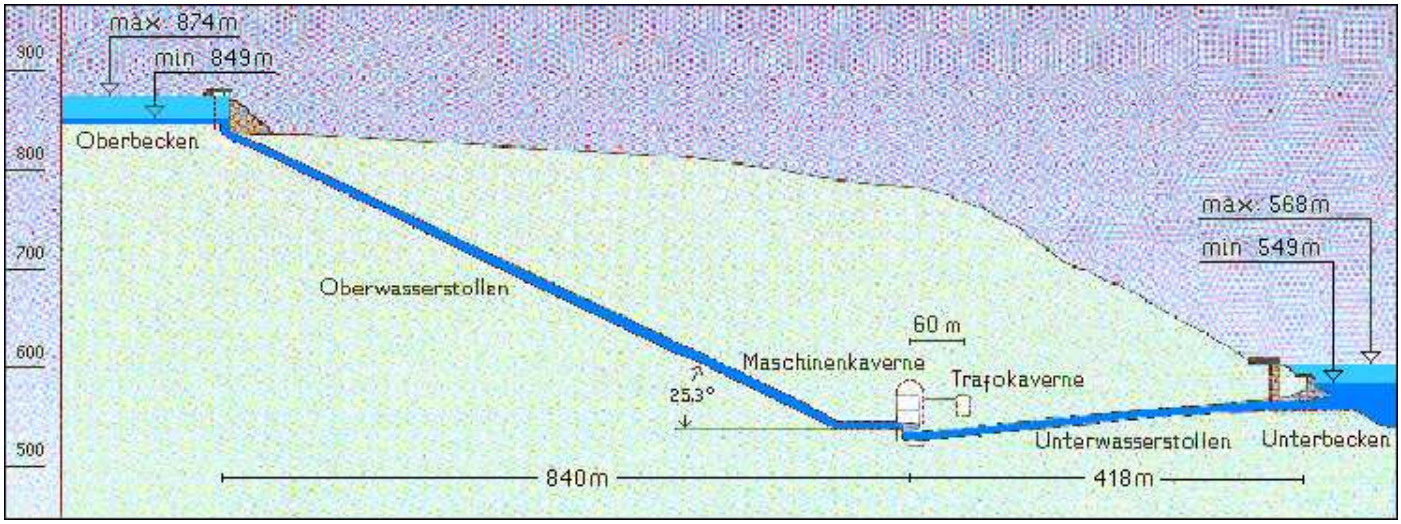
675 MW, 478 m, 5500 MWh, töös alates 1973.a. Ülemise veehoidla pindala on 0,12 km^2 ja maht 4,2 miljonit m^3. Tüüpiline Jaapani PEJ: suur surukõrgus (tänu sellele on ülemise veehoidla maht väike), veetorustikud ja seadmed on paigutatud mäe sisemusse, alumiseks veehoidlaks on ülespaisutatud jõgi, maavärinaohtlik piirkond.

Jaapan on saareriik. Nende elektrisüsteemil puuduvad ühendused naaberriikide elektrisüsteemidega. PEJ-d hoiavad elektrisüsteemi tasakaalus ja tagavad maailmas USA järel teisel kohal oleva majandusega riigile töökindla elektri-varustuse.

Joonis 6. Goldisthal PEJ (Saksamaa)

1060 MW, 300 m, 8500 MWh, kasutegur 79,8 %, töös alates 2003.a. Ülemise veehoidla pindala on 0,55 km^2 ja maht 12 miljonit m^3. See on Saksamaa kõige võimsam ja moodsam PEJ. Asub Saksamaa lõunaosas, Tüüringis. Omapärane selle poolest, et ideest kuni töösseviimiseni kulus mitmesugustel põhjustel ca 40 aastat.

Joonis 7. Goldisthal PEJ-a lõige



Joonis 8. Geesthacht PEJ (Saksamaa)

120 MW, 78 m, 600 MWh, töös alates 1958.a.
Asub Saksamaa põhjaosas, Hamburgi lähedal, Elbe jõe kaldal. Ülemise veehoidla pindala 0,2 km^2 ja maht 3,3 miljonit m^3. Tüüpiline näide PEJ-a pikaealisusest. 1998.a., peale 40 aastast tööperioodi, PEJ seadmestik renoveeriti ja algas järgmine 40 aastane tööperiood.

Joonis 9. Herdecke PEJ (Saksamaa)

150 MW, 150 m, 650 MWh, kasutegur 75 %, töös alates 1930.a. Ülemise veehoidla pindala on 0,1 km^2 ja maht 1,6 miljonit m^3.

See on maailma üks vanem PEJ. Renoveeriti põhjalikult 1989.a. ja sellest ajast jätkab edukalt tööd.

Joonis 10. Vianden PEJ (Luksemburg)

1100 MW, 280 m, 7600 MWh, kasutegur 74 %, töös alates 1976.a. Ülemise veehoidla pindala on 1,0 km^2 ja maht 10 miljonit m^3.

Luksemburgil on omapärane elektrisüsteem. Elektrienergiat tarbitakse sama palju kui Eestis, ca 6 TWh, kusjuures 60 % elektrienergiast imporditakse naaberriikidest. Vienden PEJ on ühendatud otse Saksamaa elektrisüsteemiga. Saksamaa elektrisüsteemist tuleb pumpamiseks vajalik elektrienergia ja sinna läheb ka kogu toodang.

Joonis 11. Guangzhou PEJ (Hiina)

2400 MW, 535 m, 20 400 MWh, kasutegur 76 %, esimene osa (1200 MW) on töös alates 1994.a., teine osa (1200 MW) on töös alates 2000.a. Asub Guangdongi provintsis Hong - kongi lähedal. Praegu maailma kõige võimsam PEJ. Omapärane veel selle poolest, et mitmesuguste tunnelite kogupikkus on ca 30 km. Fotol on teise osa masinasaal, mis asub 350 m sügavusel maa all.

Guangdongi provints, Hongkongi naabruses, on Hiina täht - saim majanduspiirkond. Selle töökindel elektrivarustus on Hiina jaoks eriti tähtis. Praegu on seal ehitusjärgus veel kaks võimsat PEJ-a, Huizhou PEJ (2400 MW) ja Yangjiang PEJ (2400 MW).

Joonis 12. Shisanling PEJ (Hiina)

800 MW, 480 m, 5000 MWh, kasutegur 74 %, töös alates 1997.a. Ülemise veehoidla pindala on 0.2 km^2 ja maht 4 miljonit m^3. Asub Pekingist 40 km kaugusel.

Joonis 13. Tianhuangping PEJ (Hiina)

1800 MW, 590 m, 12 000 MWh, kasutegur 74 %, töös alates 2000.a. Ülemise veehoidla pindala on 0,3 km^2 ja maht 8,6 miljonit m^3.
Hiina majandus kasvab väga kiiresti ja elektrisüsteem areneb muu maailmaga võrreldes lausa uskumatu tempoga. Hiina energiaresurss (hüdroenergia, kivisüsi jne.) asub riigi lääne-osas, aga elanikkond ja majandustegevus peamiselt idas, mere ääres. PEJ-d katavad elektrisüsteemi tipukoormuse ja võimaldavad maksimaalselt ära kasutada lääne-ida suunaliste pikkade elektriülekandeliinide läbilaskevõime.

Joonis 14. Kruonis PEJ (Leedu)

800 MW, 100 m, 4000 MWh, kasutegur 72 %, töös alates 1992.a. Ülemise veehoidla pindala on 3,03 km^2 ja maht 25 miljonit m^3. Alumiseks veehoidlaks on Kaunase HEJ-a veehoidla. Ehitati koostööks Ignalina TEJ-ga. Projekteeritud võimsus on 1600 MW ja valmis on ehitatud sellest pool. Ka fotolt on näha, et neli toru on puudu. Praegu otsib Leedu investorit, kes ehitaks PEJ-a projekteeritud võimsuseni.

Joonis 15. Porabka Zar PEJ (Poola)

500 MW, 432 m, 2300 MWh, töös alates 1979.a. Ülemise veehoidla pindala on 0,1 km^2 ja maht 2 miljonit m^3. Asub Poola lõunaosas Karpaatide eelmäestikus.

.

Joonis 16. Zarnowiec PEJ (Poola)

716 MW, 120 m, 4500 MWh, töös alates 1983.a. Ülemise veehoidla pindala on 1,4 km^2 ja maht 14 miljonit m^3. Asub Poola põhjaosas Gdanski lähedal.

Ehitati koostööks Zarnowiec TEJ-ga. Poolast tuumariiki siiski ei saanud. Poolakad muutsid meelt ja lammutasid oma ehitusjärgus oleva TEJ-a 1991.a. PEJ töötab tänaseni.

PEJ-a asukohaks valiti halb koht. Ülemine veehoidla rajati ebastabiilse geoloogiaga pinnasele. Sellepärast on algusest peale probleemid ülemise veehoidla piirdetammi stabiilsuse tagamisega.

Poolas on neli PEJ-a, kokku 1430 MW.

Poolas toodetakase peaaegu kogu elektrienergia kivisöega ja pruunsöega köetavates suurtes SEJ-des. PEJ-d katavad seal elektrisüsteemi tipukoormuse ning tagavad süsteemiteenused.

Joonis 17. Turlough Hill PEJ (Iirimaa)

292 MW, 286 m, 1800 MWh, töös alates 1973.a. Ülemise veehoidla pindala on 0,1 km^2 ja maht 2,3 miljonit m^3.

Iirimaa elektrisüsteem on saarel asuv isoleeritud süsteem, mis on ainult nõrgalt (300 MW) ühendatud Suurbritannia elektrisüsteemiga. Iirimaa tuuleressurss on parim Euroopas. Tuuleelektrijaamu on töös juba ligi 500 MW ehk ca 10% elektrijaamade koguvõimsusest. PEJ hoiab elektrisüsteemi tasakaalus, salvestab tuuleelektrijaamade muutliku toodangu ja genereerib selle tagasi elektrisüsteemile vajalikul ajal.

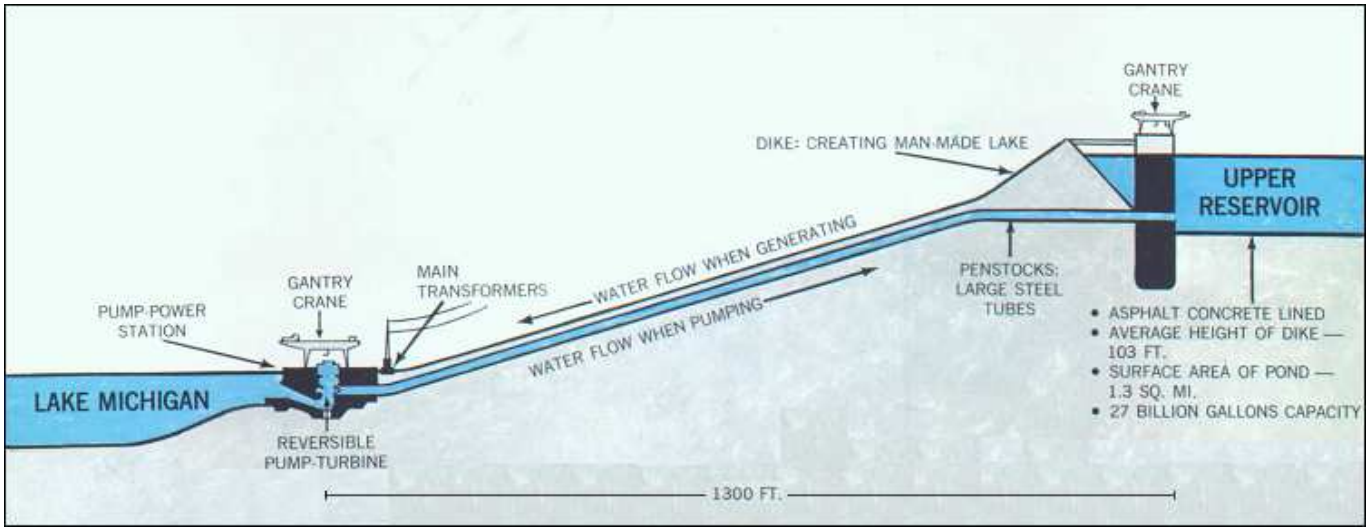
Joonis 18. Ludington PEJ (USA)

1872 MW, 85 m, 16 000 MWh, töös alates 1973.a., kasutegur 70 %, asub Michigani järve idakaldal. Ülemise veehoidla pindala on 3,4 km^2 ja maht 100 miljonit m^3. Alumiseks veehoidlaks on Michigani järv. Vasakul on sateliitfoto kogu sellest ehitusest.

Joonis 19. Ludington PEJ (USA)

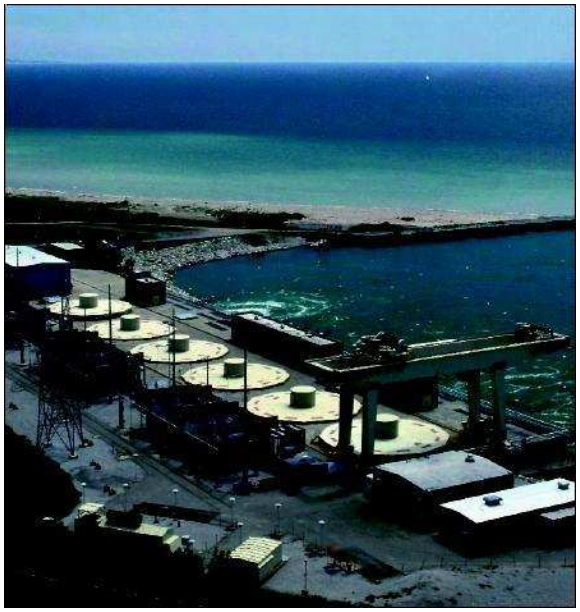
Alumisel fotol on ülemise ja alumise veehoidla vahel olevad rajatised.

Joonis 20. Ludington PEJ-a lõige



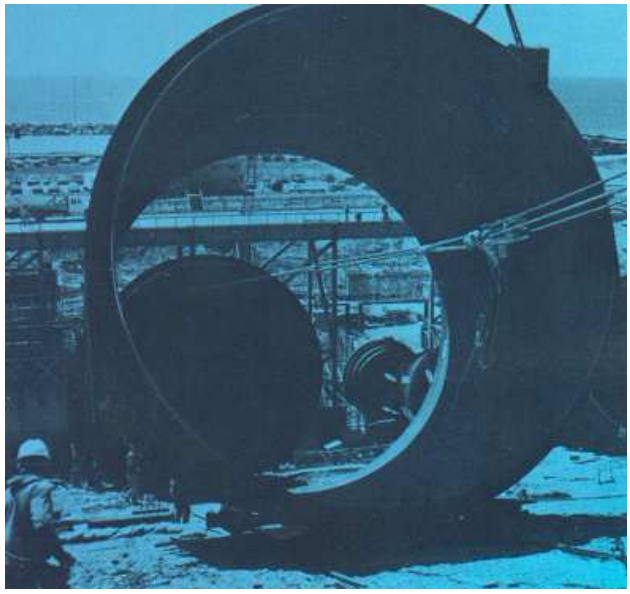
Joonis 21. Ludington PEJ (USA)

Fotol on PEJ-a põhiagregaadid. Ümmarguste katete all on mootor-generaatorid ja pump-turbiinid, nendest vasakul transformaatorid.



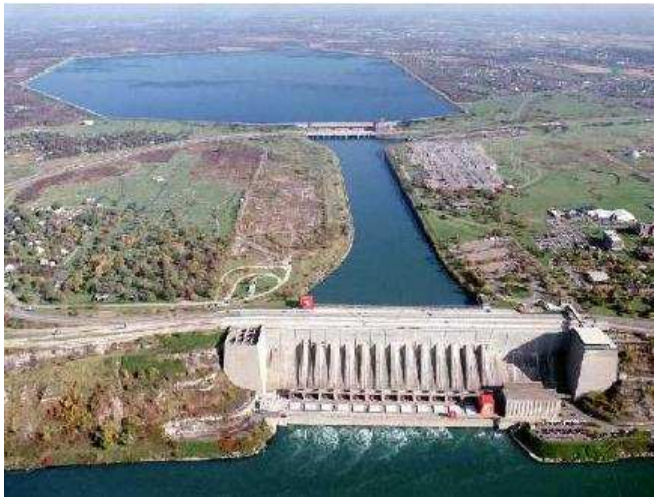
Joonis 22. Ludington PEJ (USA)

PEJ-a ehituse ajal tehtud foto. Paigaldatavate veetorude läbimõõt on 8,4 m.



Joonis 23. Salina PEJ (USA)

260 MW, 70 m. 4900 MWh, töös alates 1971.a. Asub Oklahoma osariigis. Ülemise veehoidla pindala on 1,4 km^2 ja maht 26 miljonit m^3.

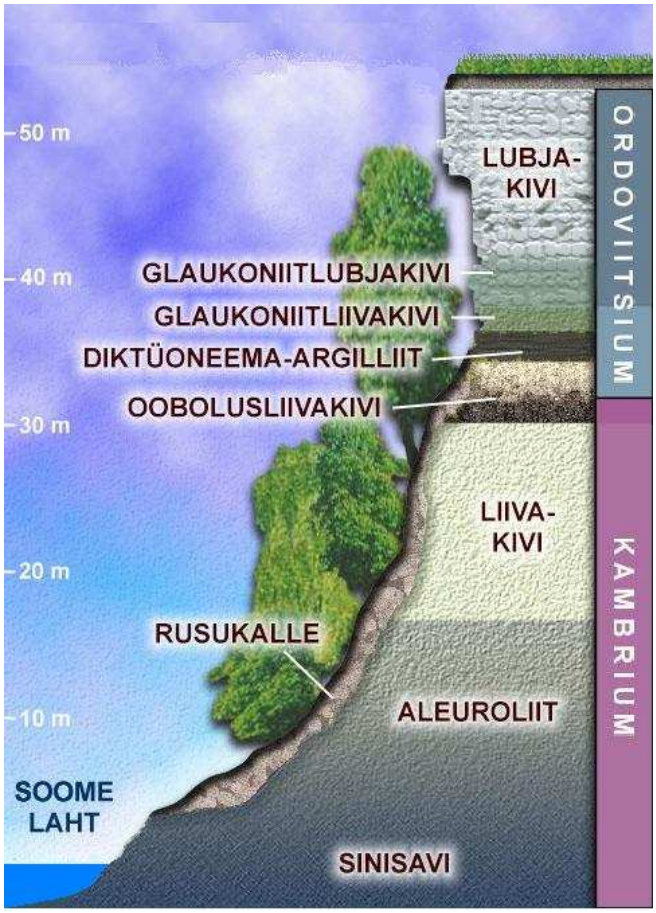


Joonis 24. Lewiston PEJ (USA)

300 MW, 33 m, 7000 MWh, töös alates 1961.a. Asub Niagara jõe ääres, kuulsast kosest 7 km allavoolu. Lewiston PEJ on fotol tagaplaanil. Esiplaanil on tavalist tüüpi Robert Moses HEJ (2275 MW). Nende vahelisse kanalisse suubuvad paremalt poolt kaks tunnelit, mis toovad sinna vee ülaltpoolt Niagaara koske. Tagaplaanil oleva PEJ-a veehoidla pindala on 7,6 km^2 ja maht 80 miljonit m^3. Praegu renoveeritakse mõlema elektrijaama seadmestikku ja valmistutakse järgmiseks 40 aasta pikkuseks tööperioodiks. Paikkonna geoloogia on väga sarnane Põhja-Eesti paekalda geoloogiaga (täpsemalt vt. ptk. 8, lk. 13).

8. Põhja-Eesti paekalda sobivus PEJ-a ehitamiseks

Eestis on PEJ-a ehitamiseks vajalik astang Põhja-Eesti paekaldal.



Joonis 25. Põhja-Eesti paekalda geoloogiline läbilõige

Põhja-Eesti paekallas on osa Balti klindist. Balti klint on omapärane, 1200 km pikkune looduslik piir tardkivimitest koosneva Balti kilbi ning settekivimitest koosneva Ida-Euroopa platvormi vahel. Aastatuhandete jooksul on Läänemere veetase tugevasti kõikunud ja maapind tasapisi kerkinud. Põhiliselt nende tegurite mõjul on see omapärane astang tekkinud.

Joonisel 25. on näha kivimikihtide asetus Põhja-Eesti paekaldas. Kõige all on savi, selle peal liivakivid ja nende peal lubjakivid. Kõrgemal asetsevad kivimid on kõvemad, alumised pehmemad. Sellest tingituna on astang järsk.

Põhja-Eesti paekallas sobib hästi PEJ-a rajamiseks, sest:

- PEJ-a alumise veehoidlana saab kasutada Soome lahte.
- PEJ-a ülemise veehoidla tulevane põhi on harukordselt tasane ja geoloogiliselt väga stabiilne platoo kõrgusega 52±2 m merepinnast, kümnete km^2 ulatuses.
- Astang on järsk ja asub mere lähedal. PEJ-a veetorustikud on tänu sellele lühikesed ja nende rajamine odav.
- PEJ-a elektrisüsteemiga ühendamiseks vajalik 330-220 kV elektriliinide koridor asub lähedal, ca 7 km kaugusel.
- PEJ-a toodangu realiseerimise seisukohalt on asukoht hea, nii riigisisese tarbimise kui ekspordi seisukohalt.
- Juurdepääs tulevase PEJ-a asukohale on hea, sest Tallinn-Narva maantee läbib seda piirkonda ja Tallinn-Narva raudtee asub ca 7 km kaugusel. Uusi teid on vaja rajada ainult PEJ-a vahetus läheduses.
- Soome lahe vee soolasus on madal (4-6 ‰) võrreldes maailmamerega (37 ‰). Pumpturbiinide ja torustike kaitseks korrosiooni vastu ei pea tegema suuri kulutusi.
- Ümbruskonnas, 50-60 km raadiuses, on külluses PEJ-a ülemise veehoidla tammi ehitamiseks sobivaid materjale: elektrijaamade tuhk, põlevkivikaevanduste aheraine, liiv, savi jne.
- Piirkond on hõreda inimasustusega. PEJ-a ehitusele jäävad ette vaid mõned majapidamised.

Oluline puudus on väike surukõrgus (ülemise ja alumise veehoidla veetasemete vahe). Põhja- Eesti paekaldal on võimalik PEJ-a keskmiseks surukõrguseks saavutada vaid ainult ca 60 m.

Selgitus: Mida väiksem on PEJ-a surukõrgus, seda suurem peab sama energiamahtuvuse saavutamiseks olema PEJ-a ülemise veehoidla maht ja seda suurem peab sama võimsuse saavutamiseks olema turbiinist läbijooksva vee hulk ajaühikus. Enamiku suurte (üle 500 MW) PEJ-de surukõrgus on üle 100 m. Väga hea surukõrgus on 300 m ja enam. Siis on ülemine veehoidla väiksem ja veetorustikud peenemad.

Siiski töötab praegu maailmas edukalt palju PEJ-mu, mille surukõrgus on ainult kuni 100 m. Tabelis 2. on andmed selliste kohta, mille võimsus on üle 100 MW.

PEJ-a nimetus	Võimsus MW	Surukõrgus m	Valmimise aasta
Ludington (USA)	1872	85	1973.
Zagorsk (Venemaa)	1200	100	1999.
Kruonis (Leedu)	800	100	1992.
Dalečice (Tshehhi)	450	80	1978.
San Luis (USA)	424	87	1968.
Shin-Nariwagawa (Jaapan)	303	85	1969.
Lewiston (USA)	300	33	1961.
Salina (USA)	260	70	1971.
Midano (Jaapan)	245	80	1970.
Yagisawa (Jaapan)	240	94	1967.
Kiev (Ukraina)	235	70	1975.
Nagano (Jaapan)	220	98	1968.
Zydowo (Poola)	156	80	1971.
Sir Adam Beck (Kanada)	174	27	1962.
Geesthacht (Saksamaa)	120	78	1958.

Tabel 2. PEJ-d surukõrgusega kuni 100 m ning võimsusega üle 100 MW

Lisaks nendele on veel mitukümmend kuni 100 m surukõrgusega PEJ-a, mille võimsus on alla 100 MW.

Põhja-Eesti paekalda geoloogia sobib hästi PEJ-a ülemise veehoidla ehitamiseks. Selle tõestuseks on kaks PEJ-a, mis on ehitatud täpselt samasuguse geoloogiaga maa-alale. Need asuvad Niagara jõe ääres, kuulsast kosest 7 km allavoolu. Jõe USA poolsel kaldal asub Lewiston PEJ (300 MW,ülemise veehoidla pindala 7,6 km^2 ja maht 80 miljonit m^3). Jõe Kanada poolsel kaldal asub Sir Adam Beck PEJ (174 MW , ülemise veehoidla pindala 3,0 km^2 ja maht 30 miljonit m^3). Mõlemad PEJ-d kasutavad oma tööks Niagara astangut.

Niagara astang (Niagara Escarpment) ja Põhja-Eesti paekallas on väga sarnased geoloogilised vormid. Väide, et Niagara astang on Põhja-Eesti paekalda pikendus, on tõele väga lähedal. Mõlema koostiseks olevad ühesugused settekivimid tekkisid ca 450 miljonit aastat tagasi. Siis olid praegune Põhja-Euroopa ja Põhja-Ameerika ühendatud ning asusid ekvaatori kohal. Nende peal oli madal ja soe meri, mis kasvatas kohati kuni 100 m paksuse kihi saviseid, liivaseid ja lubjaseid setteid. Hiljem murdus see mitme tuhande kilomeetri ulatusega ala keskelt pooleks ja eri osad triivisid koos oma setetega sadade miljonite aastate jooksul tasapisi oma praegustesse asukohtadesse. Erosioon kujundas settekivimite ja tardkivimite piirile astangu.

Mälestuseks nendest aegadest on Euroopas 1200 km pikkune Balti klint Laadoga järvest läbi Eesti kuni Rootsi idarannikuni ja Põhja-Ameerikas 1100 km pikkune Niagara astang Ontario järve lõunakaldast kuni Michigani järve läänekaldani.

Lewistoni PEJ on edukalt töötanud alates töösseviimisest 1961.a. Praegu uuendatakse seadmestikku ja valmistutakse järgmiseks 40 aastaseks tööperioodiks. Sir Adam Beck PEJ on edukalt töötanud alates töösseviimisest 1962.a.

Selles peatükis toodud informatsioon kinnitab, et Põhja-Eesti paekallas sobib päris hästi PEJ-a ehitamiseks.

9. PEJ-a ehitamiseks sobivad kohad Põhja-Eesti paekaldal

PEJ-a ehituseks sobivad kohad on Põhja-Eesti paekalda ligi 50 km pikkusel lõigul Toilast kuni Kalvini. Seal on astangu kõrgus vähemalt 50 m üle merepinna, astangu kaugus merest 50–300 m ja astangust sisemaa poole on tasane platoo.

Paekalda lõigul Toilast kuni Sakani on mitu head kohta PEJ-a ehitamiseks, aga seal on maastikukaitseala ja suhteliselt tihe inimasustus. Sellepärast on mõistlik jätta need kohad puutumata.

Saka ja Purtse jõe suudme vahelises lõigus on paekallas ebaühtlane ja seepärast PEJ-a ülemise veehoidla ehitamine keerukas.

Kõiki asjaolusid arvestades on kõige sobivamad kohad PEJ-a ehitamiseks paekalda lõigul Purtse jõest kuni Kalvini. Joonis 26. kaardil on need kohad näidatud. Aseri ja Kalvi vaheline lõik sobib hästi 200 MW võimsusega ja 3000 MWh energiamahtuvusega PEJ-ma ehitamiseks (vt. Variant 1). Purtse jõe ja Aseri vahele on võimalik paekaldale ehitada PEJ võimsusega 1000 MW ja energiamahtuvusega 15 000 MWh (vt. Variant 2). Mõlema variandi jaoks on ülemise veehoidla tulevane põhi sobivalt tasane ja veehoidla ehitamisele jäävad ette vaid mõned majapidamised.

10. Põhja-Eesti paekaldale ehitatava PEJ-a kirjeldus

Variant 1 (200 MW, 62 m, 3000 MWh**)**
Ülemise veehoidla pindala on 1 km^2, sügavus 20 m ja maht 20miljonit m^3. Veehoidla alla jääv maa-ala on Joonis 26. kaardil tähistatud sinise kontuurjoonega. Veehoidla tammi kõrgus on 21 m, pikkus 4 km ja tammikeha maht 4 miljonit m^3. Veehoidla põhi ja küljed on vooderdatud vettpidavast ainest materjaliga, et vältida soolase merevee lekkimist pinnasesse.

Ülemise veehoidla veepinna tase on 72 m üle merepinna, kui veehoidla on täis ja 52 m, kui veehoidla on tühi. PEJ-a keskmine surukõrgus on 62 m.

Alumiseks veehoidlaks on meri, kuhu on süvendatud sobivate mõõtmetega juurdevoolukanal.

Paekalda all, mere kaldal, on rajatised, kuhu on paigutatud pumpturbiinid, mootorgeneraatorid ja nende abiseadmed. Pumpturbiinid on paigaldatud shahtidesse mõnikümmend meetrit allapoole merepinda, et kindlustada nende sujuv töö pumpamisreziimis. Mootorgeneraatorite võimsus genereerimisreziimis on kokku 200 MW.

Ülemise veehoidla ja pumpturbiinide vahel on kõrgsurvetorud ning pumpturbiinide ja juurdevoolukanali vahel madalsurvetorud. Nende kaudu liigub vesi läbi pumpturbiinide ülemise ja alumise veehoidla vahel.

PEJ kõrval on 330 kV jaotla. PEJ ühendamiseks elektrisüsteemiga on ehitatud uued elektriliinid kuni Tallinn – Narva vahelise 330 kV ja 220 kV liinide koridorini. Liinikoridori kaugus PEJ-st on 7 km. Lisaks sellele on PEJ-s kontorihoone, juhtimiskeskus, töökoda, laohoone, garaaz , külastuskeskus, juurdepääsuteed paekalda all olevate rajatisteni jne.

Variant 1 üldpilt on enam-vähem samasugune, kui Geesthacht PEJ (vt. Joonis 8), Zarnoviec PEJ (vt. Joonis 16) või Salina PEJ (vt. Joonis 23).

Variant 2 (1000 MW, 62 m, 15 000 MWh)
Üldpilt ja tehnilised lahendused on sarnased esimese variandiga, kuid kõik on suurem ja võimsam.

Ülemise veehoidla pindala on 5 km^2, sügavus 20 m ja maht 100 miljonit m^3. Veehoidla alla jääv maa-ala on Joonis 26. kaardil tähistatud sinise kontuurjoonega. Veehoidla tammi kõrgus on 21 m, pikkus 9 km ja tammikeha maht 10 milj. m^3

Joonis 26. PEJ-a võimalikud asukohad

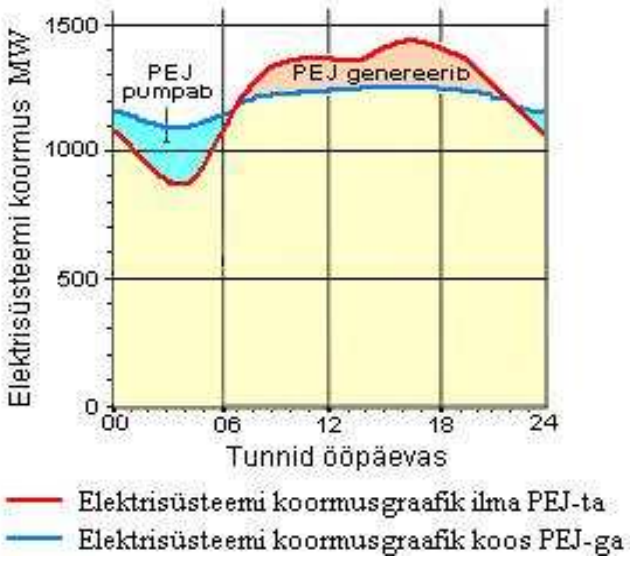
PEJ-a keskmine surukõrgus on 62 m ja mootorgeneraatorite võimsus genereerimisreziimis kokku 1000 MW.

Ka selle variandi korral on PEJ-a ühendamiseks elektrisüsteemiga ehitatud uued elektriliinid kuni Tallinn – Narva vahelise 330 kV ja 220 kV liinikoridorini. Lisaks sellele on merealune elektrikaabel, mis ühendab PEJ-a Soome elektrisüsteemiga.

Variant 2 üldpilt on enam-vähem samasugune, kui Ludington PEJ (vt. Joonised 18 – 22).

11. PEJ-a tööreziimid

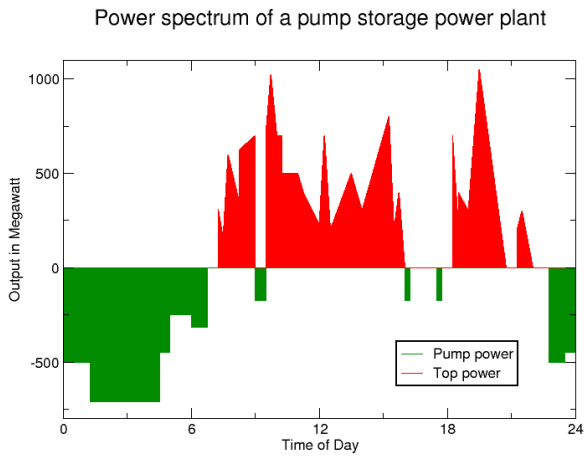
Joonisel 27. on Eesti elektrisüsteemi koormusgraafik talvisel tööpäeval detsembrikuus 2005.a. Samas on näidatud PEJ-a tüüpiline tööreziim ööpäevas. PEJ töötab genereerimisreziimis ja müüb elektrienergiat tööpäevadel, koormustippude ajal, kui elektrienergia hind on kõrge. PEJ ostab elektrienergiat ning töötab pumpamisreziimis öösiti ja puhkepäevadel, kui teised elektrijaamad töötavad alakoormusega ja elektrienergia hind on odav. Pumpamisreziimis töötades täidab PEJ uuesti ülemise veehoidla ja on valmis töötama genereerimisreziimis järgmise koormustipu ajal.



Joonis 27. Tulevase PEJ-ma tüüpiline tööreziim Eesti elektrisüsteemis

PEJ-a tegeliku tööreziimi määrab olukord elektrisüsteemis ja elektriturul. PEJ tagab elektrisüsteemile süsteemiteenused (mitmesugused reservid, sageduse reguleerimine, reaktiivenergia tootmine jne.). Selle tõttu erineb PEJ-a tegelik tööreziim mõnevõrra tüüpilisest tööreziimist. Olenevalt olukor - rast elektrisüsteemis ja elektriturul, muudab PEJ oma tööreziimi mitukümmend korda ööpäevas. Kaasaegne PEJ on täielikult automatiseeritud ning elektrisüsteemi juhtimiskeskusest kaugjuhitav ja kontrollitav.

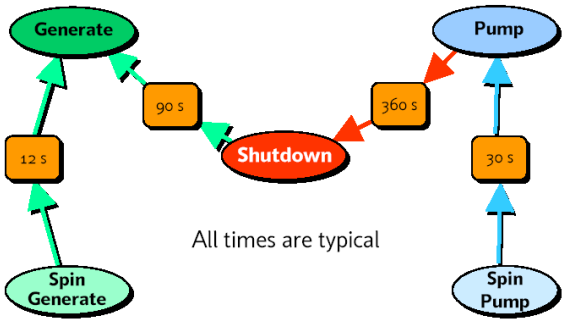
Joonisel 28. on näiteks toodud Goldisthal PEJ-a (1060 MW) tegelik tööreziim ühel tööpäeval.



Joonis 28. Näide PEJ-a tegeliku tööreziimi kohta

12. PEJ-a manööverdamisvõime

PEJ saab oma tööreziimi kiiresti ja paindlikult muuta. Joonisel 29. on näide Dinorwig PEJ-a manööverdamisvõime kohta. Dinorwig PEJ (1728 MW, 620 m, 9100 MWh, kasutegur 75%, töös alates 1983.a.) asub Suurbritannias, Walesis. PEJ-s on 6 agregaati, igaüks võimsusega 288 MW genereerimisreziimis ja 275 MW pumpamisreziimis.



Joonis 29. PEJ-a manööverdamisvõime

Selgituseks:

- Seisuasendist kuni töötamiseni täiskoormusel genereerimisreziimis kulub 90 sek.
- Tühijooksul pöörlevast seisundist (spinning in air) töötamiseni täiskoormusel genereerimisreziimis kulub 12 sek.
- Tühijooksul pöörlevast seisundist kuni töötamiseni täiskoormusel pumpamisreziimis kulub 30 sek.
- Täiskoormusel pumpamisreziimist üleminekuks täiskoormusel genereerimisreziimi kulub 7,5 min.

Võrdluseks:

- GTEJ kulutab seisuasendist täiskoormuse saavutamiseks 30 min ja SEJ vähemalt 5 tundi.
- SEJ-ma 200 MW võimsusega energiaplokil kulub võimsuse suurendamiseks (vähendamiseks) 50 MW võrra ca 7 min, PEJ-a 200 MW agregaatil kulub selleks kümmekond sekundit.

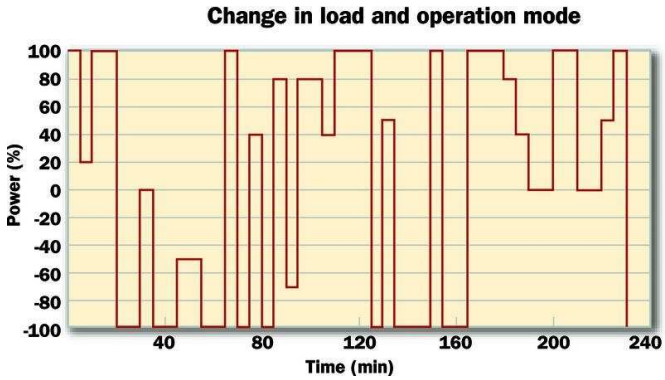
13. PEJ-a tegutsemine elektriturul

Mõned näited PEJ-a tegutsemise kohta elektriturul:

- *PEJ seisab ja on tööks valmis*. Selles asendis müüb PEJ minutireservi, sest vajaduse korral käivitub ja saavutab täiskoormuse 1,5 minutiga. Selles asendis müüb PEJ ka elektrisüsteemi taaskäivitamise (black start) teenust. Elektrisüsteemi täieliku kustumise korral käivitub PEJ ilma välise abita ja aitab tagasi töösse kogu elektrisüsteemi.
- *PEJ töötab genereerimisreziimis.* Selles asendis müüb PEJ tipuenergiat, reguleerimisreservi, sageduse reguleerimise teenust, pinge reguleerimise teenust ja black start teenust.
- *PEJ töötab pumpamisreziimis.* Selles asendis ostab PEJ odavat tipuvälist elektrienergiat (tavaliselt öösiti ja puhkepäevadel). Samal ajal müüb reguleerimisreservi, sageduse reguleerimise teenust, pinge reguleerimise teenust, black start teenust, samuti sekundireservi, sest võib vajaduse korral momentaalselt pumpamise lõpetada ja sellevõrra elektrisüsteemi koormust vähendada.
- *PEJ töötab tühijooksul geneerimisreziimis (spinning in air).* Selles asendis müüb PEJ sekundireservi ja black start teenust, sest vajaduse korral saavutab täiskoormuse mõnekümne sekundiga.

Kui PEJ-s on mitu agregaati, saab PEJ tegutseda eriti paindlikult, sest eri agregaadid võivad töötada erinevates reziimides.

Tänu väga heale manööverdamisvõimele saab PEJ elektriturul teiste osalistega võrreldes palju edukamalt tegutseda. Joonisel 30. on näide ühe PEJ-a tegutsemise kohta elektriturul nelja tunni jooksul.



Joonis 30. Näide ühe PEJ-ma tegutsemise kohta elektriturul nelja tunni jooksul

14. Prognoos olukorra kohta elektriturul 2016.a.

2016.a. ei ole elektriturud nii avatud, kui praegu üldiselt arvatakse. Selleks ajaks on valdavaks saanud arusaam, et elektrivarustus on riigi infrastruktuuri ülitähtis osa ja seda ei tohi jätta täielikult turustiihia meelevalda. Elektriturg Eestis ja Eesti ümber siiski toimib ja olukord on seal tõenäoliselt selline:

- Turg ei ole tasakaalus. Nõudmine ületab pakkumise, seda eriti elektrisüsteemi talvise maksimaalkoormuse ajal ja tipuenergia osas. Selle tõttu hinnad kõiguvad väga tugevalt.
- Fossiilkütustest toodetud elektrienergia on praegusega võrreldes oluliselt kallim, sest suurenenud on nii kütuste hinnad kui saastemaksud.
- Fosiilkütustest on kõige rohkem tõusnud maagaasi hind ja lisaks sellele on maagaasi varustuskindlus praegusega võrreldes oluliselt vähenenud.
- Tuuleelektrijaamades toodetud elektrienergia konkureerib elektriturul edukalt fossiilkütustest toodetud elektrienergiaga.
- Süsteemiteenuste hinnad on elektriturul oluliselt kõrgemad kui praegu. Elektrisüsteemi töökindlus on muutunud eriti tähtsaks, sest tehnoloogia on arenenud keerulisemaks ja majandus tundlikumaks elektrivarustuse häirete suhtes.

PEJ sobib suurepäraselt sellisele elektriturule.

15. PEJ-a võrdlus GTEJ-ga ja KTGTEJ-ga

PEJ alternatiivideks elektrisüsteemi tipukoormuse katmisel ja süsteemiteenuste tagamisel on GTEJ ja KTGTEJ. Tabelis 3. on võrdlevad andmed ca 200 MW-ste elektrijaamade kohta.

	GTEJ	KTGTEJ	PEJ
Ehitamiseks vajaliku investeeringu suurus (EUR/kW)	500	600	950
Ehitamiseks kuluv aeg (aasta)	3	4	6
Eluiga (aasta)	25-30	25-30	100+
Käivitumisaeg	10-60 min	1-4 tundi	15 sek
Reguleerimise ulatus (% nimivõimsusest)	50 %	30 %	200 %
Reguleerimise kiirus (MW/min)	20	10	200
Kasutegur	30 %	50 %	80 %
Kütuse hinna ja varustuskindluse riskid	jah	jah	ei
Võime absorbeerida elektrisüsteemist ülearust võimsust näiteks tuuleelektrijaamade ületoodangut	ei	ei	jah, pumpamis reziimis
Töötamisel saastab keskkonda (CO_2 , CO, SO_2 , NO_x jne)	jah	jah	ei

Tabel 3. PEJ-a võrdlus GTEJ-ga ja KTGTEJ-ga

Eesti elektrisüsteemi jaoks on PEJ selgelt parem valik, võrreldes GTEJ-ga ja KTGTEJ-ga. Manööverdamisvõime on

mitukümmend korda parem, suudab absorbeerida teiste elektrijaamade (s.h. tuuleelektrijaamade) ületoodangut, puuduvad kütuse hinna- ja varustusriskid, ei saasta loodust põletusgaasidega. Mõnevõrra suuremad ehituskulud ja pikema ehituse kestvuse kompenseerib kuhjaga 3-4 korda pikem eluiga.

16. PEJ-a koostöö tuuleelektrijaamadega

Eesti tuuleressurss on üks paremaid Euroopas. Eestis on mitu tuhat km^2 tuulist rannaäärset maad ja madalat merd, mis sobib suurepäraselt tuuleelektrijaamade rajamiseks. Praegune Eesti elektrisüsteem tuuleelektrijaamadele ei sobi. Põlevkivielektrijaamade suured, raskesti reguleeritavad energiaplokid ei suuda tasakaalustada tuuleelektrijaamade muutlikku toodangut.

PEJ lahendab selle probleemi ja Eesti saab hakata oma head tuuleressurssi kasutama väga suures ulatuses.

17. PEJ-a koostöö TEJ-ga

Paljudes riikides on TEJ-de ja PEJ-de edukas koostöö kestnud juba üle neljakümne aasta.

TEJ saab oma tööpõhimõtte järgi töötada ainult ühtlases reziimis ja katta elektrisüsteemi baaskoormust. Elektrisüsteemi koormuse muutuva osa katavad teised elektrijaamad. PEJ katab sel juhul elektrisüsteemi tipukoormuse ja kindlustab süsteemiteenused.

Kui TEJ asub teises riigis, siis võimaldab PEJ kasutada optimaalselt ülekandeliinide läbilaskevõimet ja vältida kulutusi nende tugevdamiseks.

18. PEJ-a ehitamiseks vajaliku investeeringu suurus

Tabelis 4. on andmed PEJ-de maksumuste kohta. Mõned nendest PEJ-dest on juba töös, mõned ehitusjärgus, mõned planeerimisstaadiumis, aga ehituskulud juba eelarvestatud.

PEJ nimetus	Maksumus MUSD	Märkused
Goldisthal PEJ (Saksamaa) 1060 MW, 300 m, 8500 MWh	700	Töös 2003.a.
Kazunogawa PEJ (Jaapan) 1600 MW, 718 m, 13000 MWh	3100	Töös 2001.a.
Rocky Mountain PEJ (USA) 850 MW, 200 m, 6800 MWh	680	Töös 1995.a.
Tianhuangping PEJ (Hiina) 1800 MW, 590 m, 14000 MWh	1080	Töös 2001.a.
Yangyang PEJ (Lõuna-Korea) 1000 MW, 832 m, 6500 MWh	730	Töös 2006.a.
Venda Nova PEJ (Portugal) 192 MW, 410 m,	130	Töös 2005.a.
Afourer PEJ (Maroko) 460 MW, 600 m, 2200 MWh	240	Ehitamisel, töösse 2006.a.
Siah Bishe PEJ (Iraan) 1000 MW, 495 m, 4800 MWh	380	Ehitamisel, töösse 2009.a.
Yixing PEJ (Hiina) 1000 MW, 350 m, 4300 MWh	580	Ehitamisel, töösse 2008.a.
Avce PEJ (Sloveenia) 185 MW, 520 m, 3100 MWh	190	Ehitamisel, töösse 2009.a.
Lake Elsinore PEJ (USA) 500 MW, 490 m, 6000 MWh	650	Planeeritud eelarve
Iowa Hill PEJ (USA) 400 MW, 360 m, 7600 MWh	450	Planeeritud eelarve

Tabel 4. Mõnede uuemate PEJ-de maksumused

PEJ-a ehitamiseks vajaliku investeeringu suurus sõltub tugevasti asukohast. PEJ-a ehitamine on odavam seal, kus alumise veehoidlana saab kasutada olemasolevat veekogu, kus juurdepääsuks saab kasutada olemasolevaid teid, kus PEJ-a elektrisüsteemiga ühendamiseks vajalikud liinikoridorid on lähedal ja kus pole vaja suuri inimhulki ümberasustada.

Sellisesse kohta ehitatud PEJ-a ehituskulud on oluliselt väiksemad, kui sama võimsusega PEJ-a ehituskulud seal, kus tingimused nii head ei ole.

Põhja-Eesti paekaldale rajatava PEJ-a maksumust vähendavad keskmisega võrreldes järgmised asjaolud:

- Kulud alumise veehoidla rajamiseks on väikesed, sest alumise veehoidlana saab kasutada Soome lahte.
- Kulud veetorustike ehitamiseks on väikesed, sest astang on järsk ja asub mere lähedal.
- Kulud PEJ-a ühendamiseks elektrisüsteemiga on väikesed, sest 330 kV ja 220 kVliinide koridor asub ainult 7 km kaugusel
- Kulud juurdepääsuteede rajamiseks on väikesed, sest olemasolevad teed on head.
- Pole vaja teha kulutusi inimeste ümberasustamiseks, sest PEJ-a alla jääv maa-ala on peaaegu inimasustuseta.
- PEJ-a ümbruses, ca 50-60 km raadiuses, on külluses materjale, mida saab kasutada ülemise veehoidla tammi ehitamiseks. Need on: põlevkivituhk elektrijaamade tuhaväljadel, aheraine põlevkivikaevanduste aheraine mägedes, liiv liivakarjäärides ja savi savikarjäärides.

Põhja-Eesti paekaldale rajatava PEJ-a maksumust suurendavad keskmisega võrreldes järgmised asjaolud:

- Kulud ülemise veehoidla rajamiseks on suured, sest PEJ-a surukõrgus on väike. Selle tõttu peab veehoidla maht olema suur, et saavutada sobiv energiamahtuvus.
- Ülemise veehoidla põhja ja kaldad peab hoolikalt isoleerima, et vältida soolase merevee lekkimist pinnasesse.

Nende asjaolude tõttu on Põhja-Eesti paekaldale ehitatava PEJ-a ehituskulud ligikaudu sellised:

Variant 1 PEJ (200 MW, 3000 MWh)
Selle PEJ-a ehitamiseks vajaliku investeeringu suurus on ca 3000 MEEK ehk 190 MEUR. Kulude ligikaudne jaotus on toodud Tabelis 5.

Kulu nimetus	MEEK
Üldehitustööd	1500
Seadmed	900
Teenused	160
Mitmesugused kulud	90
Laenuprotsendid ehituse ajal	350
Kokku ehituseks vajalik raha	**3000**

Tabel 5. Variant 1 PEJ-a ehituskulude jaotus

Variant 2 PEJ (1000 MW, 15 000 MWh)
Selle PEJ-a ehitamiseks vajaliku investeeringu suurus on ca 14 000 MEEK ehk 900 MEUR. Kulude ligikaudne jaotus on toodud Tabelis 6.

Kulu nimetus	MEEK
Üldehitustööd	6400
Seadmed	4300
Teenused	660
Mitmesugused kulud	390
Laenuprotsendid ehituse ajal	2250
Kokku ehituseks vajalik raha	**14 000**

Tabel 6. Variant 2 PEJ-a ehituskulude jaotus

19. Olulised andmed PEJ-de kohta

Tasuvus
PEJ-a tasuvuse määravad:

- Võimalus osta elektriturult soodsa hinnaga vajalikus koguses tipuvälist elektrienergiat.
- Võimalus müüa elektriturul soodsa hinnaga tipuenergiat ja süsteemiteenuseid.
- PEJ-a ehitamiseks tehtud investeeringu suurus.
- PEJ-a käidukulude suurus.

Kui need tingimused on PEJ-a jaoks soodsad, siis on tasuvus hea. Näiteks 2003.a. Saksamaal käivitatud Goldisthal PEJ-a kohta hindab omanik (Vattenfall Europe AG), et ROI on vahemikus 10-15% ehk tasuvusaeg vahemikus 8-12 aastat. Kui jätkuvad praegu nähtavad arengud, siis on Põhja-Eesti paekaldale ehitatava PEJ-a tasuvus enam-vähem samasugune.

Eluiga
PEJ-a eluiga on pikk, tõenäoliselt pikem kui 100 aastat. Saksamaal töötab praegu edukalt mitu PEJ-a, mis ehitati ligi 80 aastat tagasi. Tavaliselt peale iga ca 40 aastast tööperioodi PEJ-a seadmed renoveeritakse või asendatakse uutega ja PEJ jätkab tööd moderniseeritud kujul.

Ehituse kestvus
Variant 1 PEJ (200 MW, 3000 MWh) – **ca 6 aastat.**
Ettevalmistavale tegevusele (teostatavuse uuring, tasuvuse uuring, keskkonnauuring, raha hankimine, töövõtja valik jne.) kulub 2 aastat, ehitamiseks 4 aastat, kokku 6 aastat.
Variant 2 PEJ (1000 MW, 15 000 MWh) – **ca 9 aastat.**
Ettevalmistavale tegevusele kulub 3 aastat, ehitamiseks 6 aastat, kokku 9 aastat.

Tööjõu vajadus ehitamise ajal
Variant 1 PEJ (200 MW, 3000 MWh) tööjõu vajadus ehitamise ajal on keskmiselt 300 inimest.
Variant 2 PEJ (1000 MW, 15 000 MWh) tööjõu vajadus ehitamise ajal on keskmiselt 800 inimest.

Tööjõu vajadus peale ehituse lõppu
Kaasaegne PEJ on täielikult automatiseeritud ja elektrisüsteemi juhtimiskeskusest kaugjuhitav ja kontrollitav. Suuremates PEJ-des on siiski ka kohapealne personal.
Variant 1 PEJ (200 MW, 3000 MWh) ca 10 inimest,
Variant 2 PEJ (1000 MW, 15 000 MWh) ca 30 inimest.

Lisaks sellele pakub PEJ tööd kohalikele ettevõtetele (PEJ-a seadmete ja rajatiste hooldus, turistide teenindamine jne.). Variant 1 PEJ-a korral on sellist tööd ca 30 inimesele ja Variant 2 PEJ-a korral ca 100 inimesele.

20. Muud huvitavat PEJ-de kohta

- Soomes PEJ-sid ei ole, küll on aga viimase paari aastakümne jooksul olnud mitmeid kavatsusi neid rajada. 1980.-ndate aastate lõpus kavatseti koos Venemaa Karelenergoga ehitada 4800 MW PEJ endisesse Soome Karjalasse. Soome oleks vastavalt kokkuleppele saanud sellest kasutada 480 MW (10%). Teine mõte oli ehitada PEJ (540 MW, 120 m, 4000 MWh) Kesk-Soome, Vaarule, Jyväskyläst ca 30 km lõunasse. Need kavatsused teoks ei saanud. Soomes elektrisüsteemis on TEJ-de osatähtsus suur ja kasvab tulevikus veelgi. Koos sellega kasvab vajadus PEJ-de järele.
- Tiibetis, 4440 m kõrgusel merepinnast, asub maailma kõige kõrgemale ehitatud Yamdrok Tso PEJ (90 MW, 816 m, töös alates 1997.a.).
- Taiwanil alustatakse Kuangming PEJ-a (705 MW) ehitamist. Ehitamise käigus tuleb rajada 10,6 km pikkune ja 7,5 m läbimõõduga tunnel kahe veehoidla vahele. See on kulukas ettevõtmine ja näitab, kui oluliseks peavad majanduslikult edukad riigid PEJ-de osa elektrisüsteemi töökindluse tagamisel. Taiwan on varem ehitanud kaks suurt PEJ-a: Mingtan PEJ (1600 MW) ja Minhu PEJ (1000 MW).
- Rusikareegel: 1 kWh elektrienergia salvestamiseks peab pumpama 3,7 m^3 vett 100 m kõrgusele. Kui kõrgus on väiksem, siis peab vee kogus olema sellevõrra suurem. Näiteks kui kõrgus on 50 m, siis 7,4 m^3.
- PEJ-d on väga töökindlad. Nende enam kui 100 aastase ajaloo jooksul on toimunud ainult mõned suuremad avariid PEJ-de ehitiste ja rajatistega, peamiselt veetorude purunemised ja tunnelite varisemised. Ainulaadne avarii toimus 14.dets. 2005.a. USA-s Taum Sauk PEJ-s (450 MW, 240 m, 3600 MWh töös alates 1963.a.). Purunes osa ülemise veehoidla piirdetammist ja 5 miljonit m^3 vett tormas veehoidlast välja. Inimohvreid ei olnud, 5 inimest sai vigastada.

- Avarii põhjuseks olid vead piirdetammi renoveerimisel avariile eelneval aastal. Joonisel 31. on foto Taum Sauk PEJ-st enne avariid ja Joonisel 32. on aerofoto Taum Sauk PEJ-a ülemisest veehoidlast peale avariid.

Joonis 31. Taum Sauk PEJ enne avariid

Joonis 32. Taum Sauk PEJ peale avariid 14. dets. 2005.a.

21. Eesti elektrisüsteemi praegused hädad

- Peaaegu kogu elektrienergia toodetakse põlevkiviküttega elektrijaamades. Põlevkivienergeetika osakaal keskkonna saastamisel Eestis on masendavalt suur, sest tekitab 70% õhusaastest, 80% tahketest jäätmetest ja 80% heitveest.
- Peaaegu kogu elektrienergia toodetakse 200 MW-ste energiaplokkidega. Need sobivad töötamiseks ühtlase koormusega, nimireziimis, elektrisüsteemi baaskoormuse katmiseks. Elektrisüsteemi tipukoormuse katmiseks sellised energiaplokid ei sobi, sest on raskesti reguleeritavad (5-7 MW/min.).
- Eelmises punktis nimetatud põhjusel töötavad elektrijaamad reeglina elektrisüsteemi tipukoormuse järgi ja ekspordivad tipuvälisel ajal elektrienergiat hinnaga, mis on oluliselt madalam tootmishinnast.
- Suurema osa süsteemiteenuseid (kiirelt käivitatavad reservvõimsused, sageduse reguleerimine, black start jne.) peab ostma naaberriikide elektrisüsteemidelt, sest oma elektrijaamad pole võimelised neid pakkuma.
- Suurenevad saastemaksud ja CO_2 kvootide tõusev hind maailmaturul ähvardavad muuta põlevkivienergeetika majanduslikult mõttetuks.
- EL liikmena on Eestil kohustus lõpetada 2015.a. elektrienergia tootmine põlevkiviküttega SEJ-des vanade, renoveerimata energiaplokkidega. Lähema paari aasta jooksul peab otsustama, kuhu ja millised elektrijaamad nende asemele ehitada.
- Eestil on suurepärane tuuleressurss, aga Eesti elektrisüsteem ei sobi tuuleelektrijaamadele, sest puuduvad kiirestikäivituvad reservvõimsused ja võimalused elektrienergia salvestamiseks.

PEJ-a ehitamine aitab neid hädasid leevendada väga suurel määral.

22. Kasu PEJ-a ehitamisest

Kasu investorile

- Investeering on tasuv.
- Risk on väike.
- Investeeringu eluiga on pikk, 100+ aastat.
- Suure tõenäosusega on turg toodangule ja tulu omanikule kindlustatud kogu pumpelektrijaama eluea jooksul.

Kasu riigile

- Riigi elektrivarustus muutub töökindlamaks ja see loob head tingimused kõrgtehnoloogilise digitaalmajanduse ja infoühiskonna arenguks.
- Keskkonna saastamine väheneb ja riigil on võimalik täita rahvusvaheliste lepingutega võetud kohustused selles valdkonnas.
- Võimaldab vältida viga, mida teevad need riigid, kes järjest enam hakkavad elektrienergia tootmiseks kasutama maagaasi, hinnates valesti selle maavara hinna- ja varustuskindluse riske.
- Riik saab suures ulatuses kasutada elektrienergia tootmiseks oma tuuleresurssi, mis on üks paremaid Euroopas.
- Ühtlustab riigi arengut, tõmmates mahajäänud Kirde-Eesti järele ülejäänud Eestile.
- Toob riiki uusi teadmisi ja oskusi.
- Kiirendab majanduse arengut ja parandab rahva elujärge.
- Suurendab riigi julgeolekut.
- Parandab riigi mainet teiste riikide ja rahvaste seas.

Kasu Virumaale

- Täiendav raha kohalikku eelarvesse.
- Loob palju uusi töökohti, nii PEJ ehitusel kui ka sellega seotud tegevusaladel.
- Võimaldab põlevkivikaevandustest vabanevat tööjõudu rakendada PEJ-a ehitusel. Põlevkivi kaevandamine ja PEJ-a ehitamine on sarnased tegevused. Mõlema sisuks on pinnase ümberpaigutamine. PEJ-a ülemise veehoidla piirdetammi peab paigaldama 10 miljonit m^3 pinnast.
- Turismitööstus saab kiiremini areneda, sest PEJ on huvitav turismiobjekt.
- Paraneb keskkonna seisukord.

Kasu Eesti elektrisüsteemile

- Võimaldab elektrisüsteemi teistel elektrijaamadel töötada ühtlases reziimis. Siis on nende kasutegur kõige suurem ja saastekogus toodanguühiku kohta kõige väiksem. Seadmete remondikulud on väiksemad ja eluiga pikem.

- Elektrisüsteemi ladusaks tööks vajalikud reservid ja muud süsteemiteenused saab süsteemi seest. Neid pole vaja enam väljastpoolt hankida.
- Pole vaja ehitada teisi elektrijaamu elektrisüsteemi koormustippude katmiseks (gaasiturbiinid jne.).
- Võimaldab ühtlasemalt koormata ülekandevõrku ja vähendada investeeringuid selle tugevdamiseks.
- Tasakaalustab tuuleelektrijaamade muutliku toodangu.
- Muutuvad majanduslikult otstarbekaks Eesti elektrisüsteemi ühendused Soome elektrisüsteemiga.

23. Kokkuvõte

PEJ-a ehitamine sobib Eesti elektrisüsteemi iga võimaliku arengustsenaariumiga.

- Kui jätkame põlevkivienergeetikaga, siis on PEJ vajalik, sest võimaldab põlevkivielektrijaamadel töötada ühtlases reziimis. Siis on nende kütusekulu ja saastekogus toodanguühiku kohta kõige väiksem. PEJ katab siis tipukoormuse ja tagab süsteemiteenused.
- Kui võtame suures ulatuses kasutusse oma väga hea tuuleressursi, siis on PEJ vajalik, sest tasakaalustab tuuleelektrijaamade muutliku toodangu ja hoiab elektrisüsteemi tasakaalus.
- Kui hakkame kasutama tuumaenergiat, siis on PEJ vaja - lik. TEJ saab töötada ainult ühtlases reziimis, PEJ katab siis elektrisüsteemi koormuse muutuva osa ja tagab süsteemiteenused. Kui TEJ on väljaspool Eestit, siis PEJ ühtlustab ülekandeliinide koormust ja ülekandekaod on väiksemad. Võimaldab vältida kulutusi ülekandevõrgu tugevdamiseks.
- Kui inimkond hakkab tulevikus kasutama elektrienergia tootmiseks termotuumaenergiat, siis on PEJ ikka veel vajalik. Oma tööpõhimõtte järgi saab TTEJ olla ainult väga suur (>3 GW) ning töötada ühtlases reziimis. PEJ katab siis elektrisüsteemi koormuse muutuva osa ja tagab süsteemiteenused.

Praegu liigub maailmas, sealhulgas Eestis, palju vaba raha, mis otsib kasvamiseks head ideed. PEJ-a ehitamine Eestisse on väga hea idee. Kasutagem soodsat olukorda ja loogem püsiv väärtus enda jaoks ja järeltulevatele põlvkondadele.

24. Summary

In this paper the author proposes an idea to built pumped storage power plant in Estonia and analyzes is it effective or not to put this idea into practice.

The Republic of Estonia is a country on the eastern coast of the Baltic Sea, area 45 217 km^2, population 1,4 Mio, member of the European Union since 2004.

Installed capacity of Estonia´s power plants is 2,4 GW, peak load 1,5 GW, annual gross power generation 9 TWh and annual domestic final consumption 6 TWh.

About 93 % of electricity comes from oil shale fired power plants. Oil shale is a local solid low calorific fossil fuel.

Producing electricity from oil shale is highly polluting process. Each kWh produced creates 1100 g CO_2 , 580 g solid waste, 8 g SO_2 , 1,3 g NO_x . Oil shale energy sector produces 70 % air pollutin, 80 % solid waste and 80 % waste water in Estonia.

Figure 33. Region around Estonia

Figure 34. Map of Estonia

As a member of the European Union Estonia has an obligation to shut down its old non-renovated oil shale fired power units (total 2 GW) in 2015.

What are Estonia going to fill that hole with? Estonian electricity system is at the crossroad.

One option among others to fill that hole is a wind power. Estonia has an excellent wind resource. The average annual capacity factor existing onshore wind power plants (33 MW) is 30 % and up.

There are about 2000 km^2 land with excellent wind conditions on coastal areas and islands suitable for onshore wind power plants. There are about 1200 km^2 shallow sea around islands of the West Estonian Archipelago (depth <10 m) suitable for offshore wind power plants.

Estonia is the best possible place in Europa to built wind power plants onshore and offshore.

Wind power and grid load is not correlated in time. The rapid expansion of wind power in Estonia requires large amounts of balancing power and reserve capacity for grid stabilisation. Pumped storage power plant is the best option. It can provide all spectrum of ancillary services and reserves.

Estonia is a flat country. However, there are suitable sites for pumped storage power plants in North Estonia, where North Estonian Limestone Plateau abruptly falls into the sea (see photo on front page and Figure 25). The height of the escarpment is 52±2 m above sea level.

Conclusion of this paper is that idea to built pumped storage power plant in Estonia is a good idea and it is effective to put it into practice.

Comments are welcome on address
manivald.kruup@gmail.com

25. Andmed autori kohta

MANIVALD KRUUP sündis 08.10.1942.a. Harjumaal, Riisiperes. Õppis Nissi seitsmeklassilises koolis, Turba Keskkoolis ja Tallinna Polütehnilises Instituudis. Viimase lõpetas 1967.a. elektrijaamade erialal. Alates 1966.a. töötab Eesti elektrisüsteemis.

Autor on tänulik kommentaaride ja hinnangute eest käesoleva dokumendi kohta aadressile manivald.kruup@gmail.com