

Aalto-yliopiston teknillinen korkeakoulu

Pumppuvoimalaitosten toiminta

Raportti

Olli Vaittinen

Smart Grids and Energy Markets

WP 3.2

Johdanto

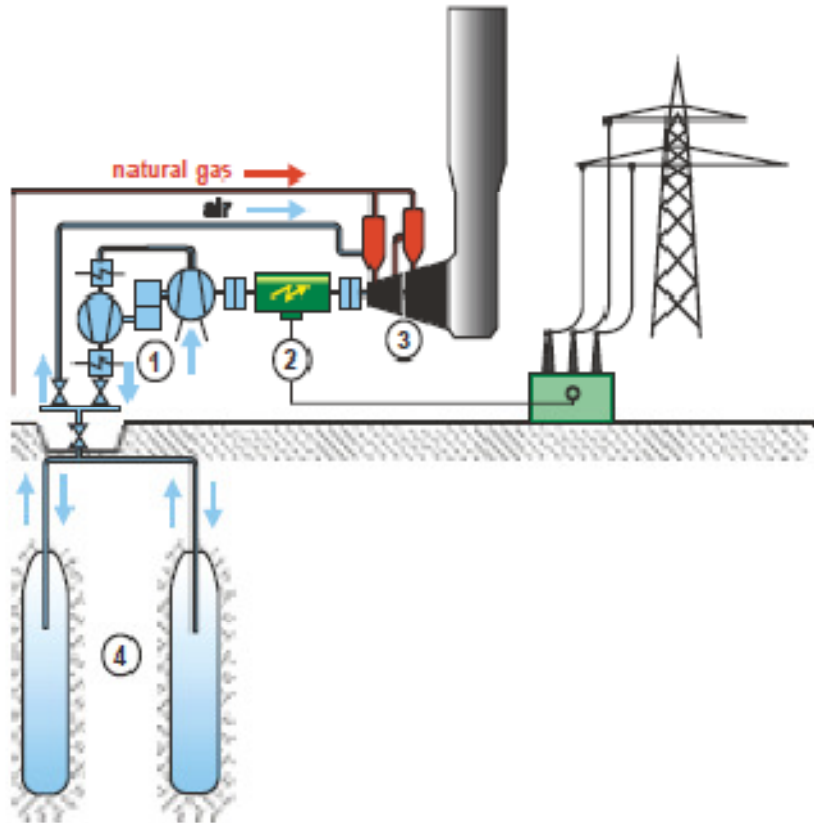
Tämä raportti pohjautuu kirjoittajan pitämään esitykseen SGEM 3.2 palaverissa 23.11.2010. Raportti on lyhyt selostus otsikon aiheesta. Se on oikeastaan kirjoitettu versio pitämästäni esityksestä.

Raportissa esitellään pumppuvoimalaitosten toimintaperiaatteet ja luetellaan, missä kyseisiä laitoksia löytyy ja minkä kokoisia ne ovat. Pumppuvoimalaitoksia on kahta eri tyyppiä: ilmapumppuvoimalaitos ja vesipumppuvoimalaitos. Jälkimmäinen on maailmalla huomattavasti yleisempi. Ilmapumppuvoimalaitokset käyttävät paineilman lisäksi maakaasua, jolloin maakaasuverkon sijainnilla on iso merkitys. Maakaasuverkkoa on käsitelty Suomen osalta. Lopuksi on vertailtu pumppuvoimalaitoksia ja niiden ominaisuuksia.

Liitteessä A on erillisenä asiana taulukko öljylämmittäjien potentiaalista. Taulukossa on laskettu Suomen öljyllä lämmittäjien joukko, jotka siirtyvät öljystä lämpöpumpputekniikkaan. Laskennassa on oletettu, että kaikki öljylämmittäjät siirtyvät lämpöpumpputekniikkaan. Tilanne ei missään nimessä ole todellinen, mutta kertoo öljylämmittäjien potentiaalin.

CAES, Huntfort Saksa

Ilmapumppuvoimalaitos Saksassa, joka on ollut käytössä vuodesta 1978. Kyseessä on ensimmäinen laitos laatuaan.



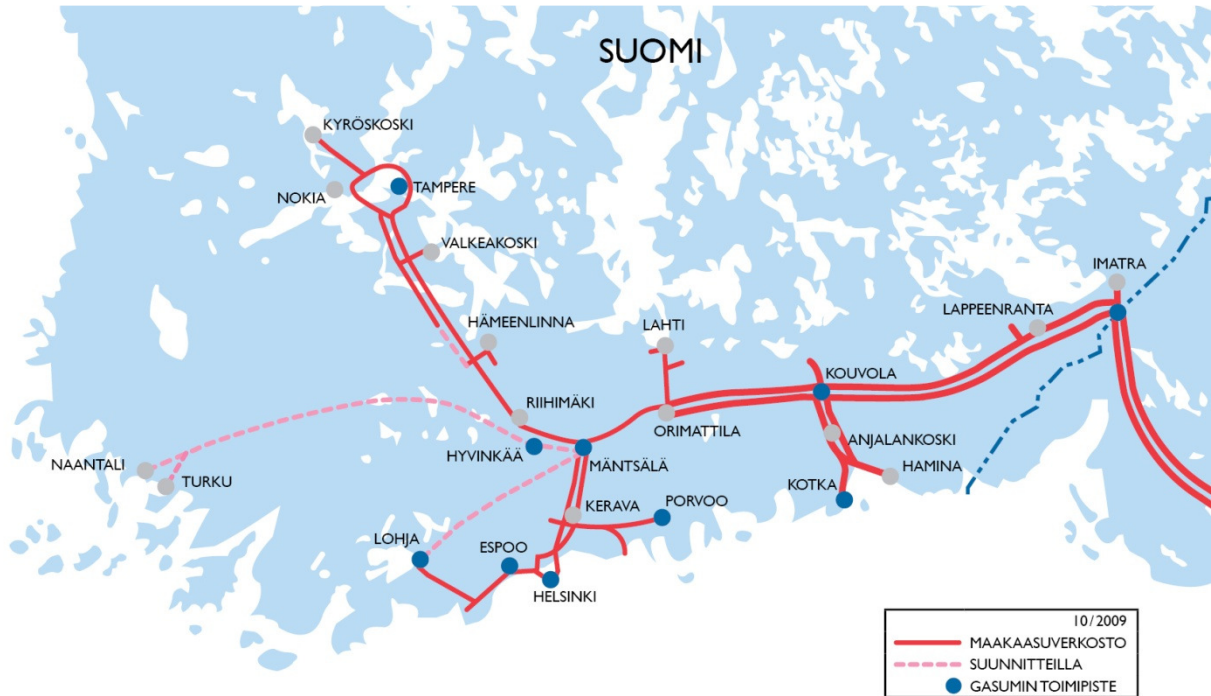
Kuva 1 Ilmapumppuvoimalaitoksen periaatekuva

Kuvassa näkyy laitoksen komponentit:

1. Kompessori
2. Moottori-generaattori yksikkö
3. Kaasuturbiini
4. Maanalainen paineilmavarasto

Ilmaa pumpataan maanalaiseen varastoon silloin, kun verkossa on ylimääräistä sähköä tarjolla tai, kun sähkö on edullista. Energia sidotaan paineistettuun ilmaan. Sähköä tuotetaan purkamalla painetta varastosta. Maakaasua poltetaan paineistetun ilman kanssa ja savukaasut johdetaan kaasuturbiiniin, jonka akseli pyörittää generaattoria. Maakaasua poltetaan sen takia, että laitoksesta saadaan enemmän tehoa ulos.

Koska ilmapumppuvoimalaitoksessa poltetaan maakaasua, se myös rajoittaa laitoksen sijaintia. Alla olevassa kuvassa näkyy tämän hetkinen putkiverkko Suomessa sekä suunnitteilla olevat putket katkoviivalla esitettynä. Laitoksen tulisi sijaita putkiverkoston läheisyydessä. Nesteytettynä maakaasua voidaan kuljettaa laivoilla ja rekoilla putkiverkoston ulkopuolellekin, mutta kustannukset voivat muodostua ongelmaksi. Nesteytetty maakaasu on kalliimpaa kuin putkikaasu. Putkikaasu tulee kuitenkin kalliimmaksi, jos putkea tarvitsee rakentaa pitkän matkaa.



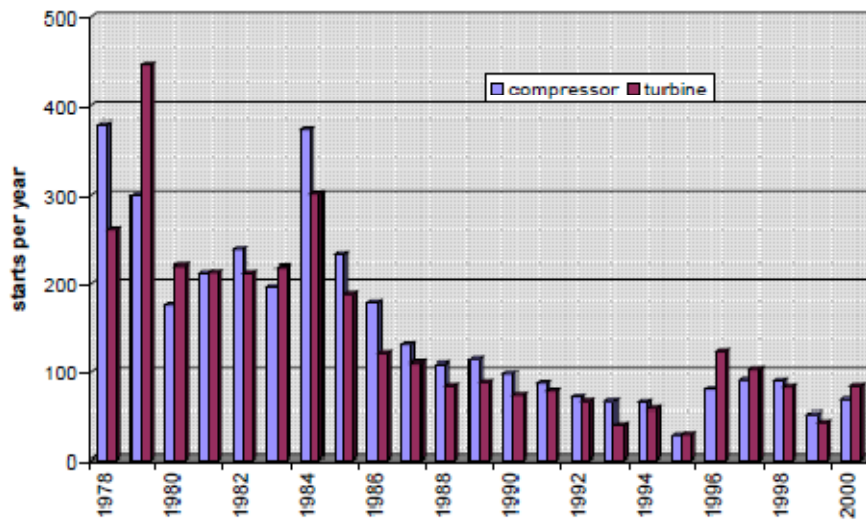
Kuva 2 Maakaasuverkosto Suomessa (www.gasum.fi)

Taulukko 1 Ilmapumppuvoimalaitoksen ominaisuuksia

output	
➤ turbine operation	290 MW (\leq 3 hrs)
➤ compressor operation	60 MW (\leq 12 hrs)
air flow rates	
➤ turbine operation	417 kg/s
➤ compressor operation	108 kg/s
air mass flow ratio in/out	1/4
number of air caverns	2
air cavern volumes (single)	\approx 140 000 m ³
	\approx 170 000 m ³
total cavern volume	\approx 310 000 m ³
cavern location – top	\approx 650 m
- bottom	\approx 800 m
maximum diameter	\approx 60 m
well spacing	220 m
cavern pressures	
➤ minimum permissible	1 bar
➤ minimum operational (exceptional)	20 bar
➤ minimum operational (regular)	43 bar
➤ maximum permissible & operational	70 bar
maximum pressure reduction rate	15 bar/h

Yllä olevassa taulukossa näkyy laitokseen liittyviä teknisiä arvoja. Kiinnostavimpia arvoja sähkötekniisessä mielessä ovat turbiinin tuottama teho 290 MW ja kompressorin kuluttama teho 60 MW. Maakaasun polttaminen tuo suuren lisän ulosantotehoon verrattuna tilanteeseen, jossa pelkästään paineistettua ilmaa käytetään turbiinin pyörittämiseen. Tehojen puolesta laitos on suunniteltu enemmän sähkön tuotantoa silmällä pitäen, koska laitoksen ulosantoteho on enemmän kuin sisäänottoteho. Tällä hetkellä tarve taitaa enemmän ollakin tuotantopuolella, mutta tulevaisuudessa hajautettujen tuotantolaitosten yleistyessä myös kulutusta on tarvetta lisätä tarpeen mukaan.

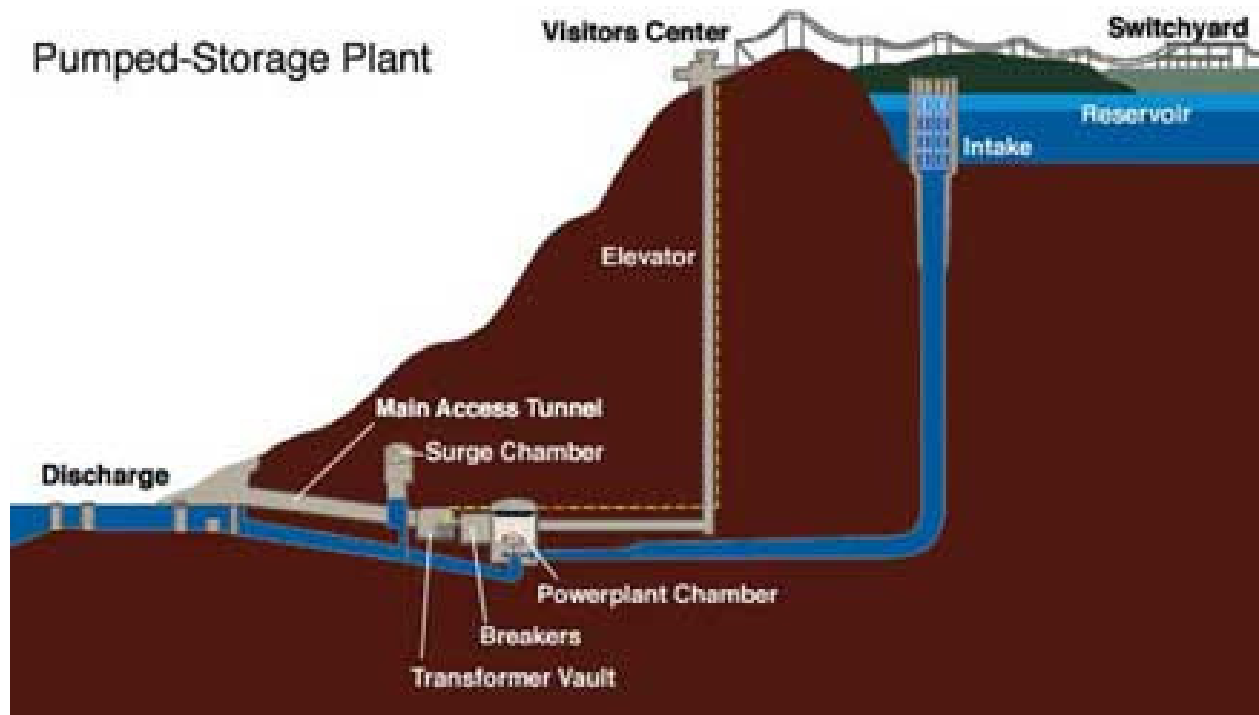
Alla olevassa kuvassa on graafin muodossa laitoksen kompressorin ja turbiinin vuosittaiset käynnistyskerrat. Laitoksen käyttöönottamisen jälkeen käynnistyskertoja on ollut huomattavasti enemmän kuin 90-luvulla. Trendi on ollut laskeva ja käynnistyskerrat ovat asettuneet vajaaseen sataan käynnistyskertaan vuodessa. Alkupäässä käynnistyskertoja on voinut kertyä testaamisista. Joitakin materiaaliongelmia oli ollut alussa, mutta ne on ratkaistu.



Kuva 3 Ilmapumppuvoimalaitoksen käynnistyskerrat vuosittain

Vesipumppuvoimalaitos

Vesipumppuvoimalaitos toimii samalla periaatteella kuin tavallinen vesivoimalaitos sillä erotuksella, että vettä voidaan pumpata myös toiseen suuntaan. Alla olevassa kuvassa näkyy pumppuvoimalaitoksen rakenne. Ylhäällä on vesiallas, johon varastoidaan vesi. Energia on potentiaalienergiana vedessä. Alhaalla on turbiini, josta vesi kulkee läpi. Generaattori-moottori-yhdistelmä on yhdistetty turbiiniin. Kun sähköä tuotetaan, vettä lasketaan altaasta turbiiniin. Turbiinin pyöriessä generaattori tuottaa sähköä. Kun sähköä halutaan kuluttaa eli tässä tapauksessa varastoida, turbiinia pyöritetään, jolloin se pumpkaa vettä ylös altaaseen. Francis-tyyppinen turbiini toimii parhaiten kun turbiinin pitää sekä vastaanottaa energiaa vedestä että pumpata vettä ylöspäin. Muut turbiinityypit toimivat tehokkaasti ainoastaan toiseen suuntaan.



Kuva 4 Vesipumppuvoimalaitoksen periaatekuva

Taulukko 2 Yli 1000 MW vesipumppuvoimalaitoksia maailmalla

Location	Plant Name	On-Line Date	Hydraulic Head (m)	Max Total Rating (MW)	Hours of Discharge	Plant Cost
Australia	Tumut 3	1973		1690		
China	Tianhuangping	2001	590	1800		\$1080 M
	Guangzhu	2000	554	2400		
France	Grand Maison	1987	955	1800		
Germany	Markersbach	1981		1050		
	Goldisthal	2002		1060		\$ 700 M
Iran	Siah Bisheh	1996		1140		
Italy	Piastra Edolo	1982	1260	1020		
	Chiotas	1981	1070	1184		
	Presezano	1992		1000		
	Lago Delio	1971		1040		
Japan	Imaichi	1991	524	1050	7.2	
	Okuyoshino	1978	505	1240		
	Kazunogowa	2001	714	1600	8.2	\$3200 M
	Matanogawa	1999	489	1200		
	Ohkawachi	1995	411	1280	6	
	Okukiyotsu	1982	470	1040		
	Okumino	1995	485	1036		
	Okutataragi	1998	367	1240		
	Shimogo	1991	367	1040		
	Shin Takesagawa	1981	229	1280	7	
	Shin Toyne	1973	203	1150		
	Tamahara	1986	518	1200	13	
Luxembourg	Vianden	1964	287	1096		
Russia	Zagorsk	1994	539	1200		
	Kaishador	1993		1600		
	Dneister	1996		2268		
South Africa	Drakensbergs	1983	473	1200		
Taiwan	Minghu	1985	310	1008		\$ 866 M
	Minotan	1994	360	1620		\$ 1338 M
U.K./Wales	Dinorwig	1984	545	1890	5	\$ 310 M
USA / CA	Castaic	1978	350	1566	10	
USA / CA	Helms	1984	520	1212	153	\$ 416 M
USA / MA	Northfield Mt	1973	240	1080	10	\$ 685 M
USA / MI	Ludington	1973	110	1980	9	\$ 327 M
USA / NY	Blenheim-Gilboa	1973	340	1200	12	\$ 212 M
USA / NY	Lewiston (Niagara)	1961	33	2880	20	
USA / SC	Bad Creek	1991	370	1065	24	\$ 652 M
USA / TN	Raccoon Mt	1979	310	1900	21	\$ 288 M
USA / VA	Bath County	1985	380	2700	11	\$1650 M

Pumppuvoimalaitosten vertailua

Pumppuvoimalaitoksia on kahta eri tyyppiä, ilma- ja vesipumppuvoimalaitos.

Ilmapumppuvoimalaitoksia on tällä hetkellä ainoastaan 2 kappaletta maailmassa. Useita hankkeita on kylläkin menossa ympäri maailmaa, joten ne ovat hitaasti yleistymään päin. Vesipumppuvoimalaitoksia vastaavasti on huomattavasti enemmän, yli 90 GW eli noin 3 % maailman sähköntuotantokapasiteetista. Maailmalla on kymmeniä yli 1000 megawatin vesipumppuvoimalaitoksia. Olemassa olevat ja suunnitteilla olevat ilmapumppuvoimalaitokset ovat reilusti alle 1000 MW laitoksia, tyypillisesti 300- 400 MW.

Pumppuvoimalaitoksien ominaisuuksissa on myös eroja. Ilmavarastosta ilma vuotaa hieman, jolloin varastolla on itsepurkautuvuutta. Itsepurkautuvuus on noin 25 %/kk. Veden tapauksessa itsepurkautuvuutta ei ole tai se on erittäin vähäistä. Hyötysuhteissa on myös eroa vesipumppuvoimalaitoksen eduksi 50-85 % verrattuna 40-73 %. Laitoksen käynnistymisnopeuksissa on eroja. Ilmapumppuvoimalaitoksen pystyy tekemään niin, että se käynnistyy tuottamaan sähköä jopa sekunneissa. Käytännössä "normaali" käynnistys kestää noin 10 minuuttia. Kompressorin käynnistys on oletettavasti nopeaa. Vesipumppuvoimalaitos käynnistyy nopeasti, yhtä nopeasti kuin tavallinen vesivoimalaitos ja tehoa on helppo säätää.

Lähteet

http://www.ridgeenergystorage.com/caes_overview.htm

http://www.uni-saarland.de/fak7/fze/AKE_Archiv/AKE2003H/AKE2003H_Vortraege/AKE2003H03c_Crotogino_ea_HuntonrfCAES_CompressedAirEnergyStorage.pdf

http://www.electricitystorage.org/ESA/technologies/pumped_hydro/

<http://bravenewclimate.com/2010/04/05/pumped-hydro-system-cost/>

Liite A

Taulukko 3 Lämpöpumpupotentiaali Suomessa

Pientalot		teho (kW)	=	kW	MW	maalämpöpumpun sähkövastus			ilma-vesilämpöpumpun sähkövastus	
						3kW	6kW	9kW	12kW	15kW
öljy vesikiertoinen	246 000	3	=	738 000	738	1476	2214	2952	3690	
suora sähkö, käyttöveden varaaja	380 000	3	=	1 140 000						
Rivitalot										
öljy vesikiertoinen	16 000	10	=	160 000	48	96	144	192	240	
suora sähkö, rivitalot	21 000									
suorasähkö, asunnot	100 000	3	=	300 000						
				2 338 000						
					2338				6268	

Taulukkoon on kerätty ja laskettu tehoja, joita voi tulla jos öljylämmitteiset talot vaihtavat lämmityksensä lämpöpumpputekniikkaan. Lisäksi on suoran sähkön talouksien käyttöveden varaajat otettu laskuihin mukaan. Suoralla sähkölämmityksellä lämpiävissä taloissa lämmin käyttövesi lämmitetään sähköllä käyttöveden varaajassa. Käyttövesi on myös mahdollista lämmittää lämpöpumpputekniikalla.

Lämpöpumppujärjestelmät ovat tyypillisesti osatehomyönteisiä, joka tarkoittaa sitä, että järjestelmissä on lisänä sähkövastukset. Maalämpöpumppujärjestelmissä on 3/6/9 kW sähkövastukset lisänä kun maalämpö ei riitä. Ilma-vesilämpöpumpuissa vastaavat ovat 3/6/9/12/15 kW. Käytännössä lämpöpumput pienentävät asiakkaan vuosittaista sähkölaskua, mutta huipputeho ei pienene. Lämpöpumppujen ottama teho on suurimmillaan juuri silloin kun muutenkin on suurta kulutusta eli kovien pakkasten aikaan.

Huomioitavaa on, että lämpöpumppujärjestelmiä ei ole suunniteltu ohjattavaksi, esimerkiksi spot-hintojen mukaan. Tavoitteena enemmänkin on kompressorien mahdollisimman vähäiset käynnistyskerrat. Muun muassa sen takia järjestelmät ovat osatehomyönteisiä.