

Timo Eerola

VESIVOIMAN TEHORESERVIEN SUUNNITTELU

Energiatekniikan koulutusohjelma
Energiatekniikan suuntautumisvaihtoehto
2011

TIIVISTELMÄ

VESIVOIMAN TEHORESERVIEN SUUNNITTELU

Eerola, Timo
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Energiatekniikan koulutusohjelma
Huhtikuu 2011
Ohjaaja: Zenger, Pekka
Sivumäärä: 43
Liitteitä: 1

Asiasanat: vesivoima, sähköverkko, taajuus

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää vesivoiman tuotannosuunnittelua tarkemmaksi taajuusohjattujen käyttö- ja häiriöreservien ylläpitosopimukseen tulleiden muutosten johdosta. Suunnittelu tehtiin aikaisemmin vesivoimalaitoskohtaisesti, mutta nyt piti siirtyä aikaisempaa tarkempaan suunnitteluun. Tämä tarkoittaa sitä, että tuotannot pitää suunnitella voimalaitoskoneistokohtaisesti. Suunnitteluohjelmaan tehtiin muutoksia, jotta tämä olisi mahdollista.

Muutokset oli melko helppo toteuttaa olemassa olevaan Microsoft Excel-pohjaiseen suunnitteluohjelmaan. Muutokset otettiin käyttöön vuoden 2011 alusta ja tähän mennessä saatujen kokemusten perusteella ne vaikuttavat onnistuneen hyvin.

ABSTRACT

PLANNING OF HYDROPOWER RESERVES

Eerola, Timo
Satakunta University of Applied Sciences
Degree Programme in Energy Technology
April 2011
Supervisor: Zenger, Pekka
Number of pages: 43
Appendices: 1

Keywords: hydropower, power grid, frequency

The purpose of this final year project was to develop the planning of hydropower production more accurate because of the changes that had been made in frequency controlled power reserves. Previously the production plans were made for the whole hydropower plant which can consist of several generators. Now the planning had to be done for every generator separately. Some changes were made to the production planning program to make this possible.

The changes were quite easy to accomplish for the Microsoft Excel based planning program. The changes were introduced in the beginning of 2011 and the experiences so far show that the changes have worked out pretty good.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	YRITYS.....	6
	2.1 Pohjolan Voima Oy	6
	2.2 PVO-Pool Oy	10
	2.2.1 PVO-blokki	10
	2.2.2 PVO-Pool Oy:n Harjavallan käyttökeskus.....	11
3	SÄHKÖMARKKINAT	12
	3.1 Elspot.....	12
	3.2 Elbas.....	13
	3.3 Säätosähkö	13
4	VESIVOIMALAITOS	13
	4.1 Yleistä.....	13
	4.2 Turbiinityyppejä.....	16
	4.2.1 Francis-turbiini	17
	4.2.2 Kaplan-turbiini	18
	4.2.3 Pelton-turbiini.....	20
	4.2.4 Putkiturbiini.....	21
5	VESIVOIMA PVO.....	23
	5.1 Kokemäenjoki	24
	5.2 Iijoki.....	25
	5.3 Kemijoki	27
	5.3.1 Isohaara	27
	5.3.2 Jumisko.....	28
	5.4 Tengeliönjoki	29
6	SÄHKÖVERKON TAAJUUS.....	30
	6.1 Taajuuden ylläpito	30
	6.2 Säättövoima ja statiikka	33
	6.3 Taajuusohjatut käyttö- ja häiriöreservit	36
	6.4 Reservikapasiteetin vaatimukset.....	36
	6.4.1 Taajuusohjattu käyttöreservi	37
	6.4.2 Taajuusohjattu häiriöreservi.....	37
	6.5 Reservisuunnitelmat.....	37
	6.6 Reaaliaikaiset tiedot	38
	6.7 Reservikapasiteetin laskentaperiaatteet	38
	6.8 Kapasiteetikorvaus.....	39
	6.9 Tuntimarkkinat.....	40
7	TOTEUTUS	41
8	YHTEENVETO	42
	LÄHTEET.....	43
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Pohjolan Voima on yksityinen energia-alan konserni, jonka tarkoituksena on hankkia sähköä ja lämpöä osakkailleen luotettavasti omakustannushintaan. PVO-Pool Oy on Pohjolan Voiman täysin omistama tytäryhtiö, jossa hoidetaan Pohjolan Voiman sähkönhankinnan optimointia erilaisilla kaupallisilla toimilla sekä voimalaitosten tuotantoa ohjaamalla. Tämä opinnäytetyö on toteutettu PVO-Pool Oy:lle.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää vesivoiman tuotannosuunnitteluohjelmaa taajuusohjattujen käyttö- ja häiriöreservien ylläpitosopimuksessa tapahtuneiden muutoksien johdosta.

Haluan kiittää PVO-Pool Oy:tä tästä mahdollisuudesta tehdä opinnäytetyö. Erityiskiitokset kuuluvat työni valvojalle Juha Laukamolle sekä ohjaavalle opettajalle Pekka Zengerille. Kiitän myös kaikkia työkavereita, joilta olen saanut apua työn suorittamisessa.

2 YRITYS

2.1 Pohjolan Voima Oy

Pohjolan Voima perustettiin vuonna 1943. Yhtiön perustajat tarvitsivat toiminnassaan sähköä, mutta yksikään osakas ei yksinään pystynyt kattamaan suurten voimalaitosten rakentamisen kustannuksia: energian tuotanto päätettiin keskittää ja kustannukset jakaa. /1/

Aluksi Pohjolan Voima rakensi vesivoimalaitoksia. 1960-luvulla sähkön tarpeen kasvaessa ja vesivoiman rakentamismahdollisuuksien ehtyessä se ryhtyi rakentamaan myös lämpövoimalaitoksia. Ensimmäisten lämpövoimalaitosten polttoaine oli öljy. Kun öljykriisit moninkertaistivat polttoaineen hinnan, Pohjolan Voima rakensi hiilivoimalaitoksia ja oli perustamassa ydinvoimayhtiötä, Teollisuuden Voimaa. /1/

Länsirannikon Voima Oy ja Etelä-Suomen Voima Oy fuusioitiin 1990-luvulla Pohjolan Voimaan, joka osti myös Oy Nokia Ab:n energialiiketoiminnan. /1/

Vuosituhanen vaihteessa Pohjolan Voima aloitti yhdessä osakkaidensa kanssa mittavan biovoimalaitosten rakennusohjelman ja oli edistämässä Teollisuuden Voiman ydinvoimahanketta./1/

Pohjolan Voiman perustajaosakkaat olivat suomalaisia metsäteollisuusyhtiöitä. Myöhemmin yhtiön osakkaiksi on tullut myös kuntien energialaitoksia ja -yhtiöitä sekä muuta teollisuutta. /1/

Pohjolan Voima Oy:n osakkaat 31.12.2010

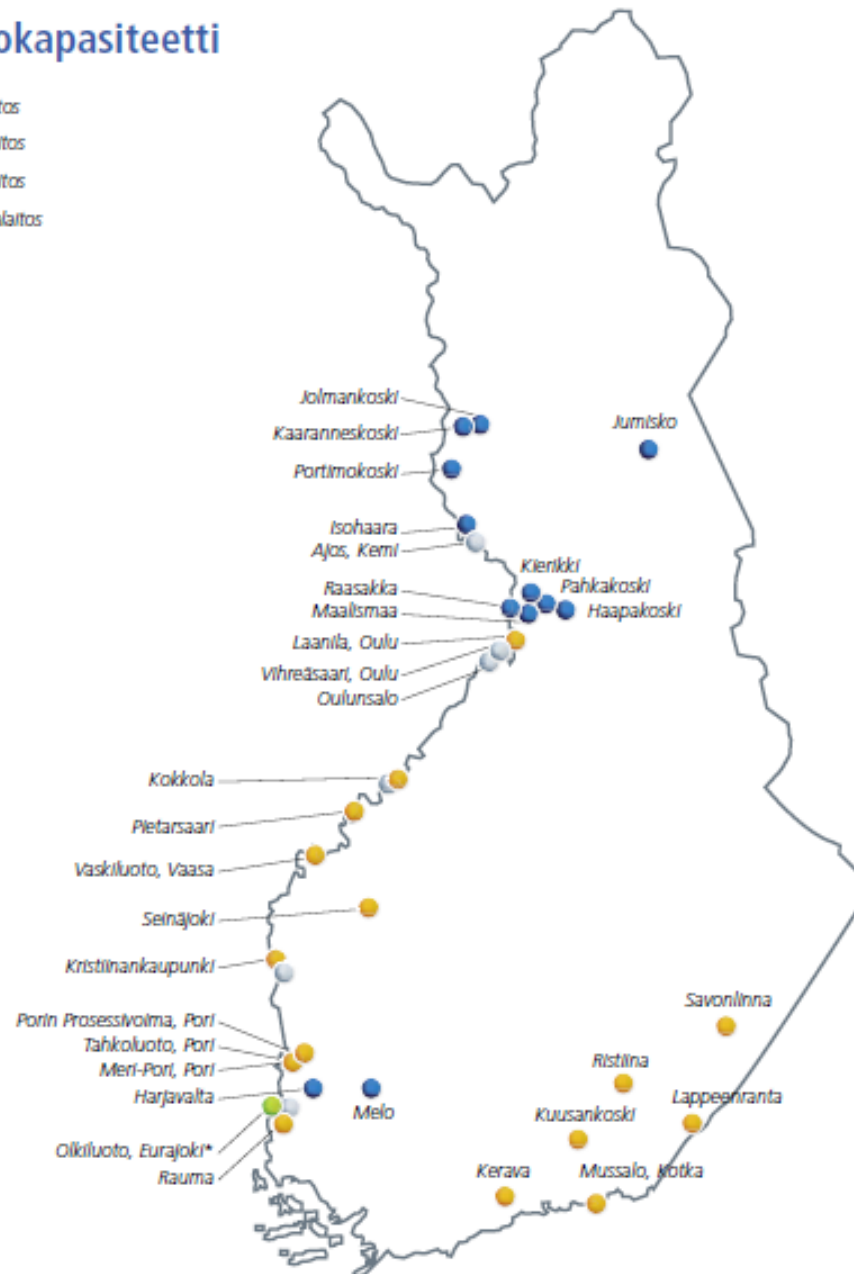
osakas	omistus,%
EPV Energia Oy	7,22
Etelä-Suomen Voima Oy	2,85
Helsingin kaupunki	0,79
Kemira Oyj (ml. eläkesäätiö Neliapila)	3,94
Keskinäinen Eläkevakuutusyhtiö Ilmarinen	4,12
Kokkolan kaupunki	2,48
Kymppivoima Oy	8,73
M-real Oyj	2,52
Myllykoski Oyj	0,83
Oulun kaupunki	1,86
Outokumpu Oyj	0,09
Oy Metsä-Botnia Ab	0,34
Oy Perhonjoki Ab	2,57
Porin kaupunki	1,84
Rautaruukki Oyj	0,02
Stora Enso Oyj	14,77
UPM-Kymmene Oyj	43,09
Vantaan Energia Oy	0,31
Yara Suomi Oy (ml. eläkesäätiö)	1,66
Yhteensä	100 %

Kuva 1. Pohjolan Voima Oy:n osakkaat /2/

Pohjolan Voima tuottaa omakustannushintaista energiaa omistajilleen halliten voimalaitosten koko elinkaaren luotettavasti, kustannustehokkaasti ja ympäristöä säästäen. Pohjolan Voimalla on monen tyyppisiä voimalaitoksia, joilla on erilainen tuotannon kustannusrakenne. Yhtiön tavoitteena on käyttää voimalaitoksia optimaalisesti kulloisenkin kuormitus- ja markkinatilanteen mukaan. Monipuolinen tuotantorakenne tuo sähkön tuotantoon varmuutta vaihtelevissa kulutustilanteissa. Oman tuotannon lisäksi Pohjolan Voima hankkii sähköä täydentämään kokonaishankintaa. Seuraavissa kuvissa on esitetty Pohjolan Voima Oy:n tuotantokapasiteetti. /2/

Tuotantokapasiteetti

- Vesivoimalaitos
- Ydinvoimalaitos
- Tuulivoimalaitos
- Lämpövoimalaitos
- rakentella

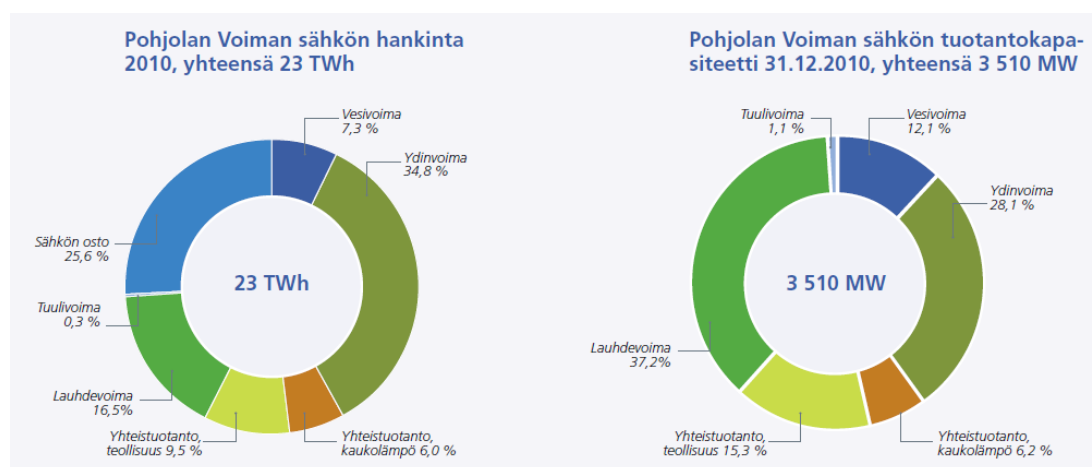


Kuva 2. Pohjolan Voima Oy:n tuotantokapasiteetti /2/

Taulukko 1. Pohjolan Voima Oy:n tuotantokapasiteetti taulukkona /2/

Pohjolan Voiman tuotantokapasiteetti 31.12.2010

Laitos	Sijainti	Energialähde	Valmistumisvuosi	Sähkäteho (MW)	Pohjolan Voiman osuus (MW)	Lämpöteho (MW)	Tuottajayhtiö
VESIVOIMA							
Isohaara	Kemijoki	vesi	1949	106,0	106		PVO-Vesivoima Oy
Jumisko	Kemijoki	vesi	1954	30,0	30		PVO-Vesivoima Oy
Raasakka	Iijoki	vesi	1971	58,0	58		PVO-Vesivoima Oy
Maalismaa	Iijoki	vesi	1967	36,0	36		PVO-Vesivoima Oy
Kierikki	Iijoki	vesi	1965	38,0	38		PVO-Vesivoima Oy
Pahkakoski	Iijoki	vesi	1961	34,0	34		PVO-Vesivoima Oy
Haapakoski	Iijoki	vesi	1963	32,0	32		PVO-Vesivoima Oy
Melo	Kokemaenjoki	vesi	1971	67,0	67		PVO-Vesivoima Oy
Harjavälta	Kokemaenjoki	vesi	1939	73,0	15		Länsi-Suomen Voima Oy
Kaaranneskoski	Tengeliönjoki	vesi	1954	3,0	2		Tornionlaakson Voima Oy
Jolmankoski	Tengeliönjoki	vesi	1955	0,5	0		Tornionlaakson Voima Oy
Portimokoski	Tengeliönjoki	vesi	1987	10,5	5		Tornionlaakson Voima Oy
Yhteensä				488	423		
YDINVOIMA							
Olkiluoto 1	Eurajoki	uraani	1978	880	500		Teollisuuden Voima Oy
Olkiluoto 2	Eurajoki	uraani	1980	860	488		Teollisuuden Voima Oy
Yhteensä				1740	988		
TUULIVOIMA							
Kokkola: T1-T2	Kokkola	tuuli	2003	2	2		PVO-Innpower Oy
Riutunkari: T1-T6	Oulunsalo	tuuli	1999,2003,2008	10	9		PVO-Innpower Oy
Kristiina: T1-T3	Kristiinankaupunki	tuuli	2004	3	2		PVO-Innpower Oy
Vihreäsaari: T1-T2	Oulu	tuuli	2001,2005	4	3		PVO-Innpower Oy
Ajos: T2-T11	Kemi	tuuli	2008,2009	30	22		PVO-Innpower Oy
Olkiluoto	Eurajoki	tuuli	2005	1	1		Teollisuuden Voima Oy
Yhteensä				50	38		
LÄMPÖVOIMA							
Kristiina 2	Kristiinankaupunki	kivihiili	1989	242	242		PVO-Lämpövoima Oy
Tahkoluoto	Pori	kivihiili	1976	235	235		PVO-Lämpövoima Oy
Vaskiluoto 2	Vaasa	kivihiili	1998	230	115	175	Vaskiluodon Voima Oy
Meri-Pori	Pori	kivihiili	1994	565	146		Fortum Power and Heat Oy
Mussalo 1	Kotka	kivihiili, maakaasu	1966	75	75	80	Mussalon Kaukolämpö Oy
Mussalo 2	Kotka	maakaasu	1973	238	238	33	Nokian Lämpövoima Oy
Kristiina 1	Kristiinankaupunki	öljy	1974	210	210		PVO-Lämpövoima Oy
Vaskiluoto 3	Vaasa	öljy	1972	160	160		PVO-Huippuvoima Oy
Seinäjoki	Seinäjoki	turve, puu	1990	125	63	125	Vaskiluodon Voima Oy
Alholmens Kraft 1	Pietarsaari	puu	1991	25	12	85	Oy Alholmens Kraft Ab
Alholmens Kraft 2	Pietarsaari	turve, puu, hiili	2001	240	120	160	Oy Alholmens Kraft Ab
Kokkolan Voima	Kokkola	turve, puu	2001,2009	20	20	65	Kokkolan Voima Oy
Ristiina	Ristiina	puu	2002	8	8	65	Järvi-Suomen Voima Oy
Savonlinna	Savonlinna	puu	2003	17	0	53	Järvi-Suomen Voima Oy
Kymin Voima	Kuusankoski	puu, turve	2002	76	58	180	Kymin Voima Oy
Wisapower	Pietarsaari	mustalipeä	2004	140	140	400	Wisapower Oy
Laanilan Voima	Oulu	turve, puu	1982	19	19	136	Laanilan Voima Oy
Porin Prosessivoima	Pori	turve, puu, hiili, REF, öljy	1987,2008	65	65	212	Porin Prosessivoima Oy
Rauman Voima	Rauma	puu	2006	65	47	190	Rauman Voima Oy
Kaukaan Voima	Lappeenranta	turve,puu	2009	125	68	262	Kaukaan Voima Oy
Keravan Lämpövoima	Kerava	turve,puu	2009	21	21	58	Keravan Lämpövoima Oy
Yhteensä				2901	2061	2279	
KAPASITEETTI YHTEENSÄ				5179	3510		



Kuva 3. Pohjolan Voima Oy:n sähkön hankinta ja tuotantokapasiteetti /2/

2.2 PVO-Pool Oy

PVO-Pool Oy on lokakuussa 2000 perustettu PVO:n sataprosenttisesti omistama tytäryhtiö. PVO-Pool Oy vastaa Pohjolan Voima Oy:n ja sen osakkaiden omistamien tuotantolaitosten käytön suunnittelusta sekä ohjauksesta, sähkön hankinnasta ja toimitukseen liittyvästä kaupasta. PVO-Pool Oy hoitaa Pohjolan Voima Oy:n sähkön-toimitukseen liittyvän säätö- ja tasesähkökaupan ja toimii sähkömarkkinalain edellyttämänä tasevastaavana osapuolena Pohjolan Voima Oy:n asiakkaille. Lisäksi PVO-Pool välittää Pohjolan Voima Oy:n sähkönhankinnan optimointiin liittyvät kahdenkeskiset sähkökaupat sekä Nord Poolissa käytävät Elspot- ja Elbas -kaupat.

2.2.1 PVO-blokki

PVO-blokki on Pohjolan Voima Oy:n, Pohjolan Voiman osakkaiden ja erikseen sovitujen osapuolien yhteisesti tai erikseen omistamien sähkönhankintaresurssien yhteistoimintajärjestely. Tavoitteena PVO-blokilla on minimoida sen osapuolille hankitun sähköenergian kustannukset yhteistoimintaan liittyneiden osapuolien resursseja ja sähkömarkkinoiden tarjoamia mahdollisuuksia käyttäen. /3/

PVO-Pool Oy huolehtii PVO-blokin operatiivisesta toiminnasta. Se ylläpitää ja hoitaa PVO-blokin käyttötoimintaa ja siihen liittyvää osapuolten tasehallintaa. /3/

PVO-blokin osapuolien yhteistoimintajärjestelystä sovitaan käytösäännöllä. Siinä tuotantokoneiston ja muiden sähkönhankintaresurssien haltijat tai omistajat ovat luovuttaneet sähkönhankintakapasiteettiaan yhteisen sähkönhankinnan suunnittelun eli käytösäännössä määritellyn yhteisajon ja sähkönhankinnan optimointiin liittyvän sähkökaupan piiriin. /3/

2.2.2 PVO-Pool Oy:n Harjavallan käyttökeskus

Harjavallan käyttökeskuksesta hoidetaan PVO-Pool Oy:n reaaliaikainen sähkötaseen ajo, lämpövoimalaitosten tuotannon ohjaus, vesivoimalaitosten tuotannon suunnittelu ja reaaliaikainen ohjaus/valvonta. Jokien ja vesivoimalaitosten valvontaan kuuluu laitosaltaiden ja säännöstelyjärvien vedenpintojen seuranta sekä vesiviranomaisten antamien lupaehtojen mukaisten juoksutusten sekä säännöstelymääraysten toteutus.

Sähkötaseen hoito vaatii jatkuvaa PVO-blokin voimalaitosten tuotannon ohjausta, kaupankäyntiä Elbas-sähköpörssissä sekä tilapäiskauppaa eri markkinaosapuolten kanssa.

Käyttökeskuksessa on jatkuva kolmivuorotyö, joka huolehtii PVO-Pool Oy:n sähkötaseen ajosta. Lisäksi tehtäviin kuuluu ilta- ja yöaikaan vesivoimalaitosten tuotannon ohjaus sekä vesipintojen valvonta. Joka päivä on aamuvuorossa lisäksi toinen henkilö, joka hoitaa vesivoimalaitosten tuotannon reaaliaikaisen ohjauksen sekä vesivoimalaitosten tuotannon suunnittelun seuraavalle päivälle. Viikonloppuisin ja arkipyhinä pelkästään aamuvuorossa olevan käyttömestarin tehtäviin kuuluu lisäksi koko PVO-blokin tuotannon hankinnan suunnittelu ja optimointi.

3 SÄHKÖMARKKINAT

Suomi, Ruotsi, Norja ja Tanska muodostavat yhdessä yhteiset sähkömarkkinat. Pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla markkinahinta sähkölle muodostuu sähköpörssissä. Nämä Pohjoismaat käyvät kauppaa sähköllä yhteisessä pohjoismaisessa sähköpörssissä, Nord Poolissa, joka perustettiin vuonna 1993. Suomi liittyi Nord Pooliin vuonna 1998. Nord Poolissa käydään fyysisten sähköntoimitusten tuntitason kauppaa spot-markkinoilla sekä johdannaiskauppaa hintariskien hallitsemiseksi. Vapaan kilpailun ja yhteisen markkina-alueen tarkoituksena on tehostaa markkinoiden toimintaa. /4, 5/

3.1 Elspot

Elspot on markkinapaikka seuraavan vuorokauden fyysisille sähkökaupoille. Sähkön fyysistä pörssikauppaa käydään päivittäin huutokauppana seuraavan vuorokauden tunneille 00–23 CET (01–24 Suomen aikaa). Toimijat lähettävät tarjoukset seuraavan vuorokauden tunneittaisista myynti- ja ostohinnoista sekä määristä sähköpörssiin klo 13 (Suomen aikaa) mennessä, missä tarjousten perusteella muodostetaan sähkön systeemihinta ja aluehinnat tunneittain. Kaupankäynnissä ostajat ja myyjät toimivat anonyymisti, eivätkä tiedä missään vaiheessa toistensa tarjouksia tai kaupankäynnin tuloksia. Siirtorajoituksista johtuen syntyy alueita, joiden hinta poikkeaa systeemihinnasta. /5/

3.2 Elbas

Elbas on markkinapaikka Elspotin jälkeiselle fyysisille sähkökaupoille. Fyysisiin sähkömarkkinoihin kuuluu Suomen, Ruotsin, Tanskan, Norjan ja Saksan alueella olennaisena osana myös Elbas-pörssimarkkina, jossa kaupankäynti jatkuu jopa käyttötuntia edeltävälle tunnille, esim. klo 18 alkavalle tunnille voidaan käydä kauppaa klo 17 saakka. Elbas-markkinat on kehitetty täydentämään Elspot-markkinoita. /5/

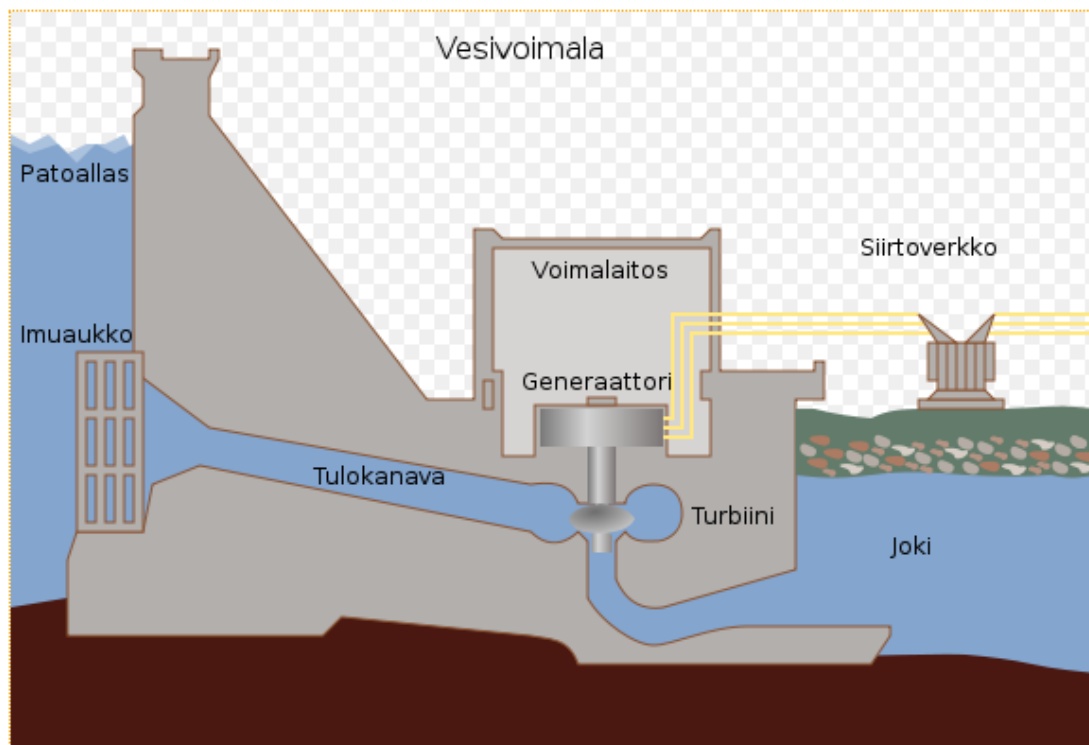
3.3 Säätosähkö

Fyysisten markkinoiden viimeisessä kaupankäynnissä järjestelmävastaava kantaverkkoyritys, Suomessa Fingrid Oyj, tasapainottaa käyttötunnin aikaisen tuotannon ja kulutuksen. Tehotasapainon ylläpitämiseksi säätökykyisen kapasiteetin haltijat voivat jättää säätötarjouksia vapaasta säätökapasiteetistaan. Suomen säätösähkömarkkinat ovat osa pohjoismaisia säätösähkömarkkinoita. /4/

4 VESIVOIMALAITOS

4.1 Yleistä

Vesivoima on merkittävin uusiutuva sähköntuotantomuoto Suomessa. Vesivoimalaitoksen putouksessa virtaavan veden liike-energia otetaan talteen, kun vesi virtaa turbiinin läpi. Liike-energia muutetaan sähköksi generaattoreissa ja johdetaan edelleen muuntajan kautta sähköverkkoon kuluttajien käytettäväksi. Vesivoimalan toiminta perustuu voimalan ylä- ja ala-altaan väliseen korkeuseroon. /6/



Kuva 4. Vesivoimala /7/

Vesivoimalaitoksen teho watteina voidaan laskea kaavasta $P = QH\rho g\eta$, jossa

Q = putouksessa virtaavan veden määrä [m³/s]

ρ = veden tiheys [1000 kg/m³]

g = painovoiman kiihtyvyys [9,81 m/s²]

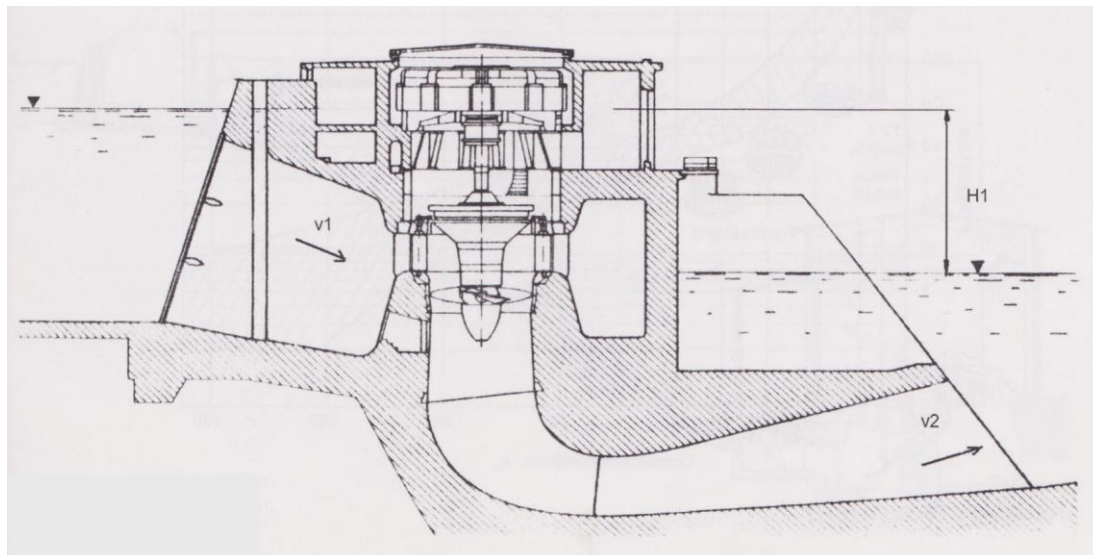
η on turbiinin hyötysuhde [%]

Kokonaisputoukorkeus lasketaan kaavasta $H = H_1 + \frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g}$, jossa

H_1 = ylä- ja alaveden pinnan korkeuden ero [m]

v_1 = turbiiniin virtaavan veden nopeus [m/s]

v_2 = turbiinista poistuvan veden virtausnopeus [m/s]



Kuva 5. Vesivoimalaitoksen toimintaperiaate /8/

Vesiputous voi olla luonnollinen tai patojen ja vesiteiden avulla useista koskijaksoista yhdistetty. Putouskorkeudet vaihtelevat paljon laitoksen tehosta riippuen. Pienvesivoimalaitosten tyypillinen putouskorkeus on vain 2-6 metriä. Suomessa isojenkin voimalaitosten putouskorkeudet ovat tyypillisesti vain joitakin kymmeniä metrejä. Suurin putouskorkeus, 96 m, on Kemijärvellä sijaitsevassa Jumiskon maanalaisessa voimalaitoksessa. Suomessa vesivoimalaitosten tehot vaihtelevat alle yhdestä megawattista 170 megawattiin. Valtaosa Suomen vesivoimalaitoksista on joki- tai säännöstelyvoimalaitoksia. Aalto- ja vuorovesienergiantuotannolle ei Suomessa ole sopivia olosuhteita. Suomessa on yli 200 vesivoimalaitosta, joiden yhteenlaskettu teho on noin 3000 MW. Mahdollisuuksia vesivoiman lisärakentamiseen on Suomessa edelleen olemassa, vaikka suurimmat kohteet onkin jo pääosin rakennettu. Suojelemattomissa vesistöissä vesivoimapotentiaalia on arvioitu olevan jäljellä yli 600 MW, joka vastaa yli kahden terawattitunnin vuosituotantoa. /6/

Edullisinta vesivoimakapasiteetin lisäys on, kun olemassa olevien laitosten tehoa kasvatetaan pääkoneistojen peruskorjauksen yhteydessä. Valtaosa jo rakennettujen vesistöjen lisäpotentiaalista (315 MW) saadaan juuri laitosten tehoa kasvattamalla. Kokonaan uuden vesivoiman merkittävä lisärakentaminen on epätodennäköistä ympäristönsuojelullisista syistä johtuen. Tuotantokustannuksiltaan vesivoimalat ovat edullisia pitkän käyttöikänsä ansiosta. /6/

Vesivoiman etuja:

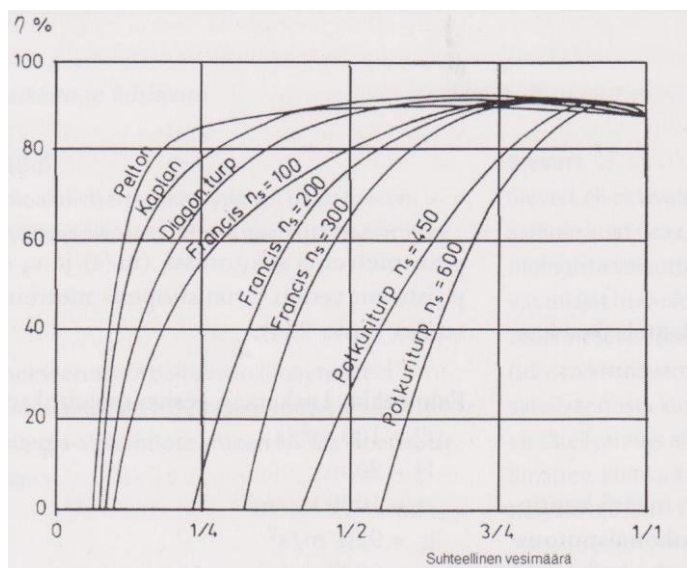
- korkea hyötysuhde
- käyttövarmuus- ja ikä
- uusiutuva luonnonvara
- ei ilmansaasteita
- nopea käynnistys ja kuormitus
- ilmainen polttoaine

Vesivoiman haittoja:

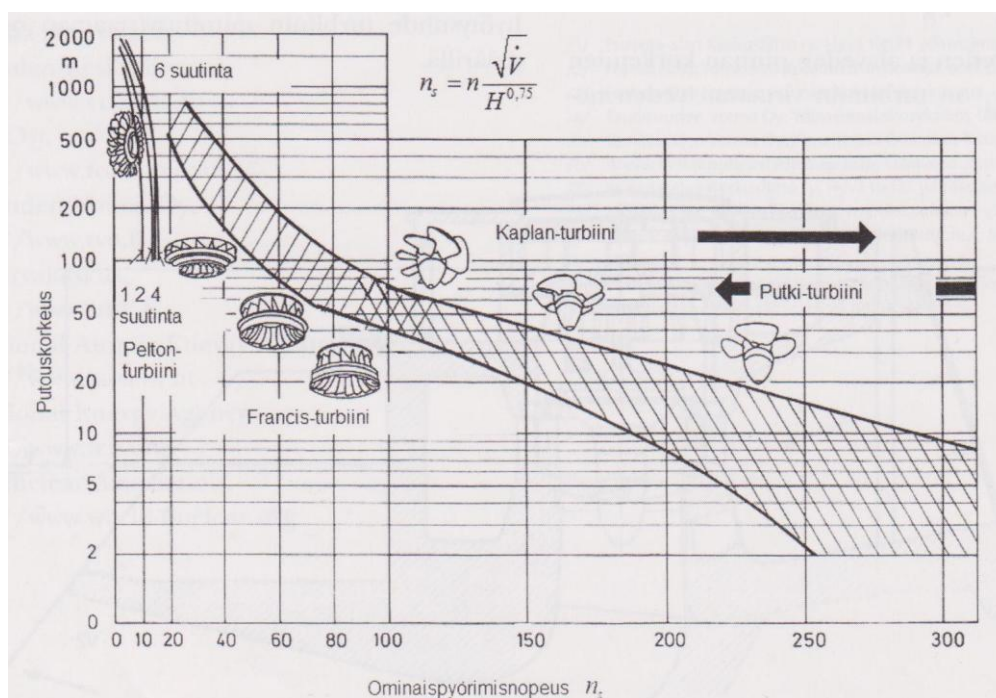
- investointikustannukset
- maisemalliset haitat
- pato-onnettomuuksien uhka
- haitat kaloille ja kalastukselle
- vesipintojen vaihtelut altaissa

4.2 Turbiinityyppejä

Vesivoimalaitosten turbiinityyppejä ovat Francis-, Kaplan-, Pelton- ja putkiturbiinit. Suomessa käytetään yleensä Francis-, Kaplan- ja putkiturbiineja. Seuraavissa kuvissa on esitetty erityyppisten vesiturbiinien hyötysuhteita ja käyttöalueita. /8/



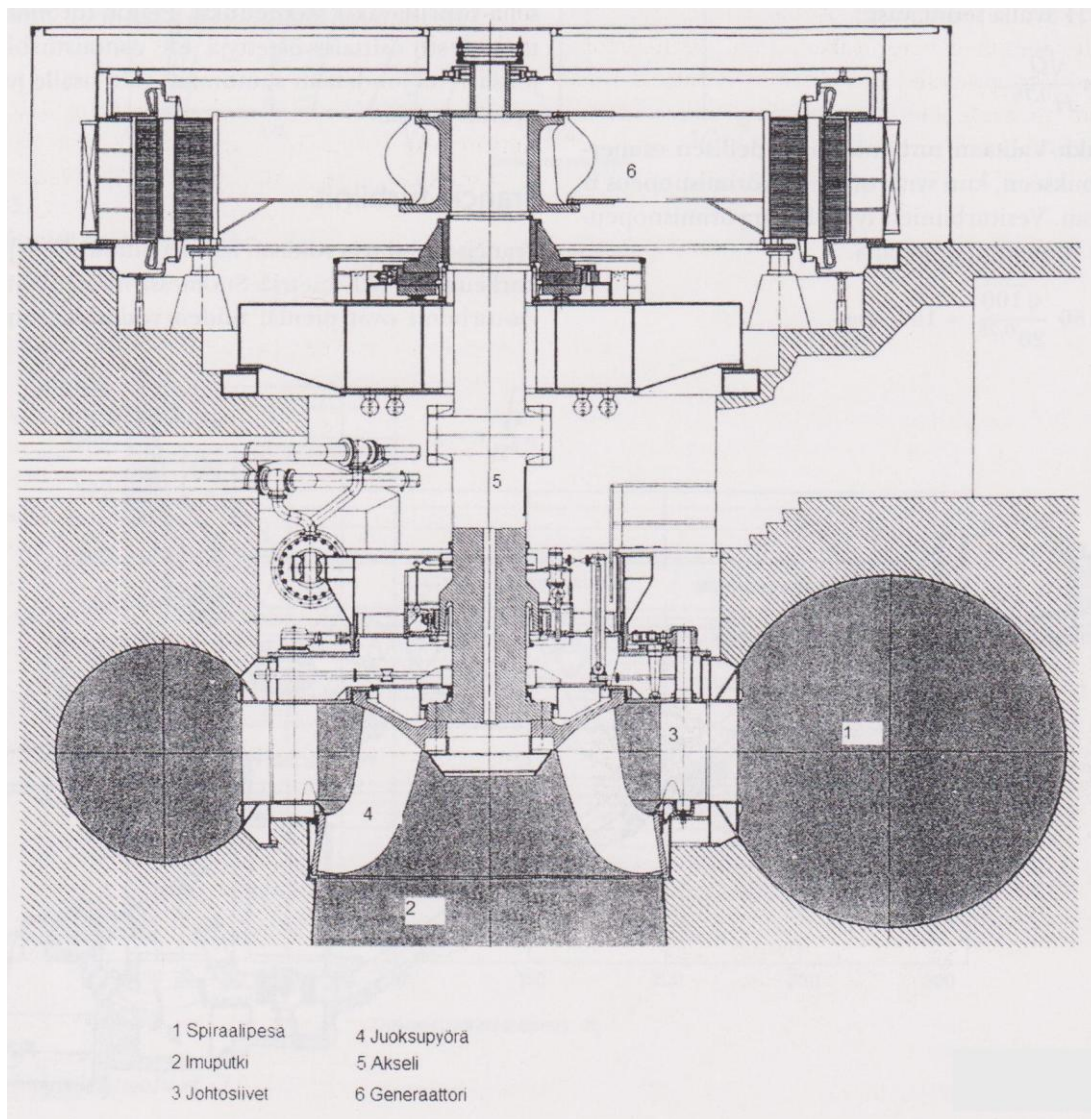
Kuva 6. Vesiturbiinien hyötysuhde /8/



Kuva 7. Vesiturbiinien käyttöalueet /8/

4.2.1 Francis-turbiini

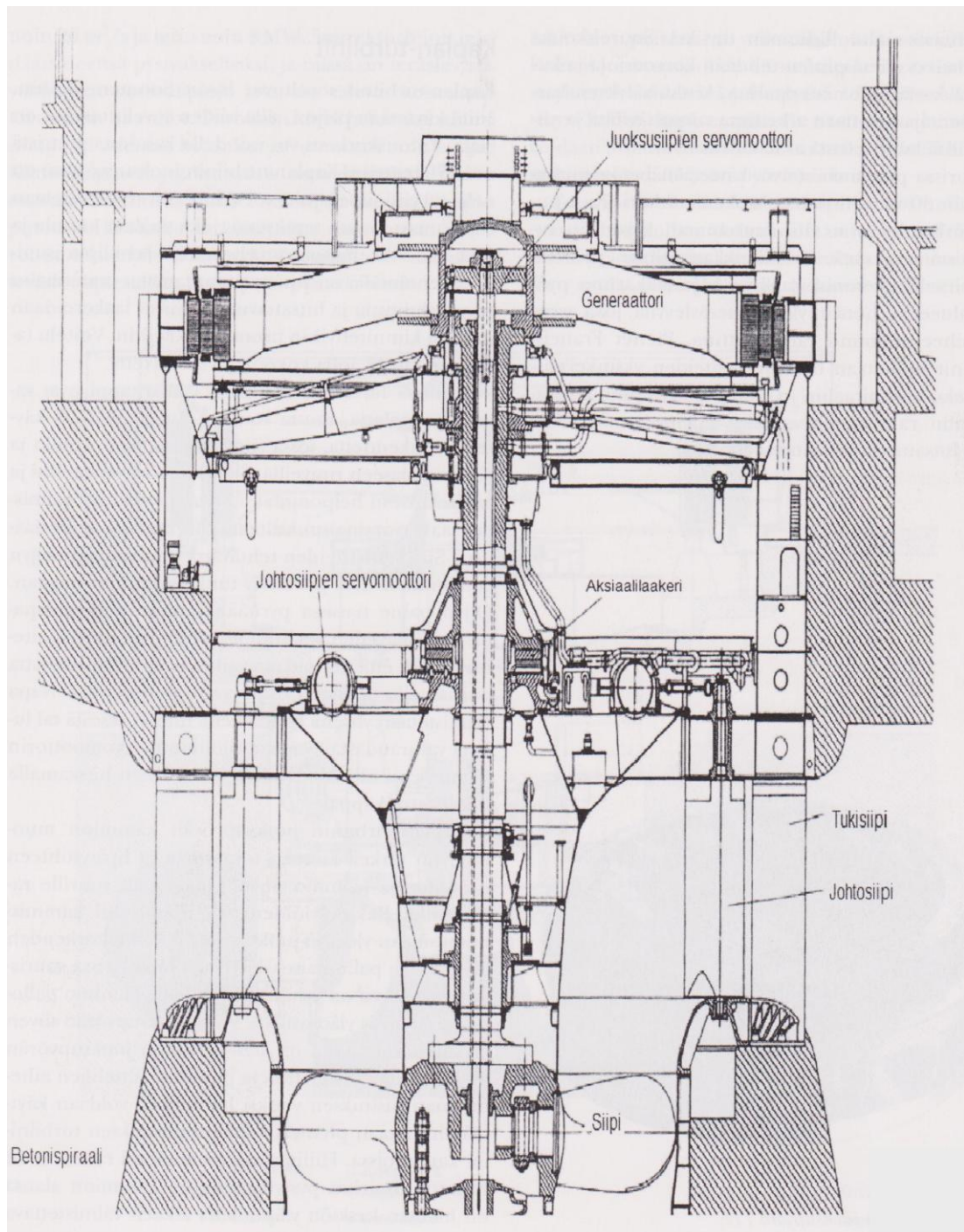
Francis turbiineja voidaan käyttää putouksissa, joiden korkeus on 5-700 metriä. Suomessa uudemmat Francis-turbiinit ovat pieniä: niiden vesimäärä on ollut noin 20 m³/s ja teho noin 8 MW. Suuret turbiinit tehdään yleensä pysty akseliseksi, mutta voidaan rakentaa myös makaaviksi. Koska Francis-juoksupyörä on kiinteäsiipinen, on turbiinissa yleensä säädettävä johtopyörä. Johtosiipien eli solukkeiden liike saadaan aikaan säätörenkaan sekä vipu- ja lenkkimekanismin avulla. Vesimäärä säädetään johtosiivillä generaattorin kuormituksen mukaan. Pienitehoisissa laitoksissa voidaan joskus edullisissa olosuhteissa säästää kustannuksia tekemällä johtopyörä kiinteäksi. /8, 9/



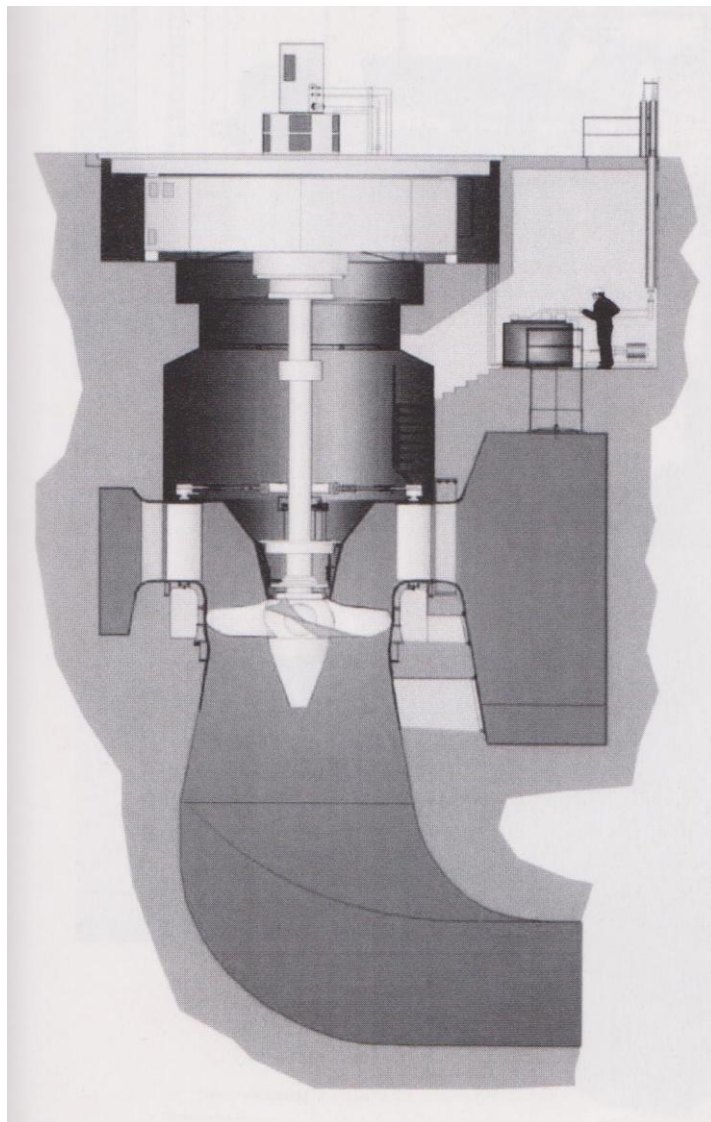
Kuva 8. Francis-turbiini /8/

4.2.2 Kaplan-turbiini

Kaplan-turbiinin korkea ominaiskierto- ja suuri läpäisykyky sekä mukautuminen suuriin vesimäärien vaihteluihin tekevät sen erinomaisen sopivaksi Suomen oloihin. Niitä käytetään paljon, sillä niiden sovellusalue on laaja. Putoukorkuus voi vaihdella kahdesta metristä noin 70 metriin. Kaplan-turbiinin juoksupyörässä on neljä tai viisi siipeä, joita voidaan säätää virtaaman mukaan edullisimpaan asentoon. Kääntyvien juoksupyörän siipien ansiosta Kaplan-turbiini toimii hyvällä hyötysuhteella laajalla vesimäärä- ja putoukorkuusalueella. /8, 9/



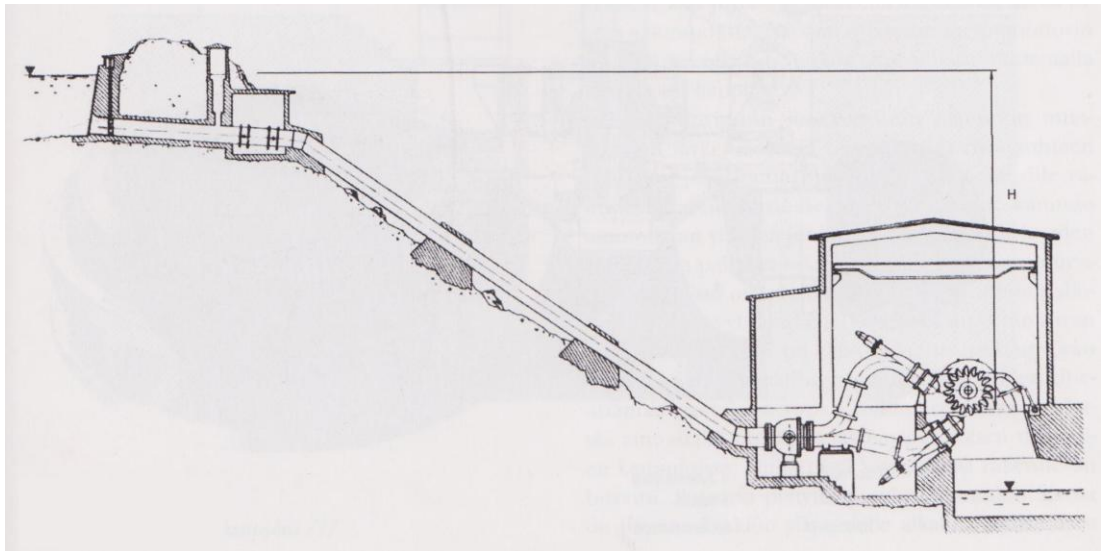
Kuva 9. Kaplan-turbiini /8/



Kuva 10. Pysty akselinen Kaplan-turbiini /8/

4.2.3 Pelton-turbiini

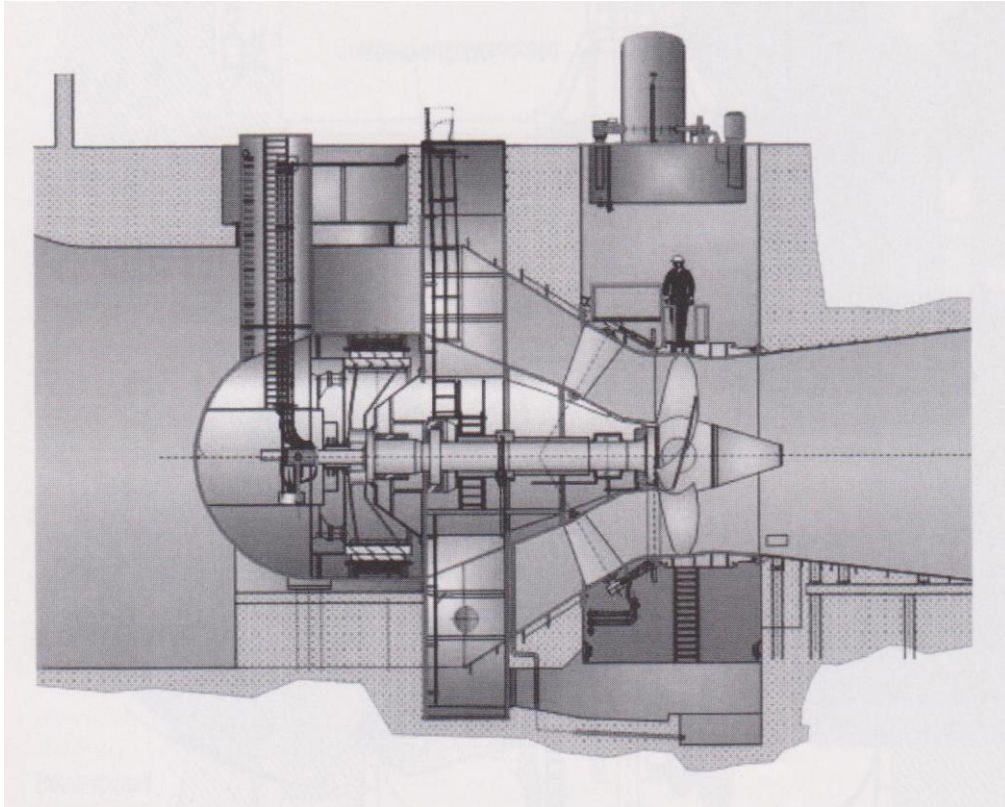
Pelton-turbiinit soveltuvat pienille virtaamille ja suurille putouskorkeuksille. Suomessa ei ole riittävän suuria putouskorkeuksia. Pelton-turbiinit ovat aktio- eli tasa-paineturbiineja, ja ne ovat vaaka-akselisia. Putouskorkeutta vastaava paine-energia muutetaan suuttimen muotoisessa johtolaitteessa kokonaan liike-energiaksi. Suurinopeuksinen vesisuihku kohdistetaan juoksupyörän kauhoihin, joissa veden liike-energia muuttuu akselia pyörittäväksi momentiksi. Pelton-turbiinit ovat tavallisesti osittaissyötettyjä eli osittaisturbiineja, joissa vettä johdetaan suuttimista vain osalle juoksupyörän kehää. /8, 9/



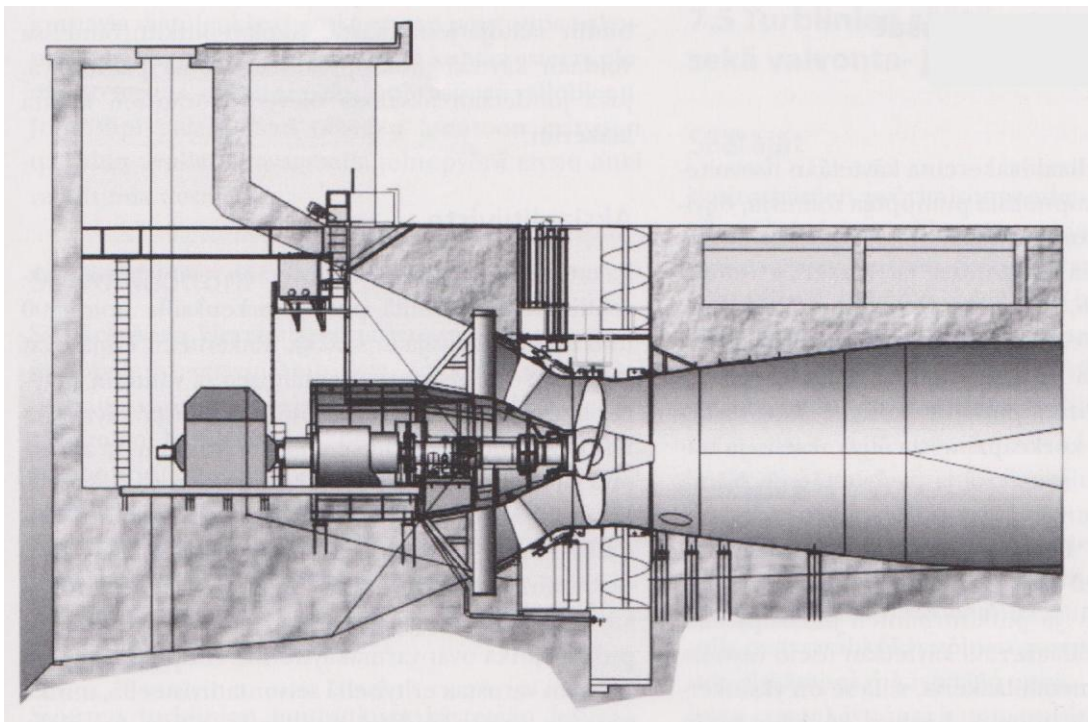
Kuva 11. Pelton-turbiini /8/

4.2.4 Putkiturbiini

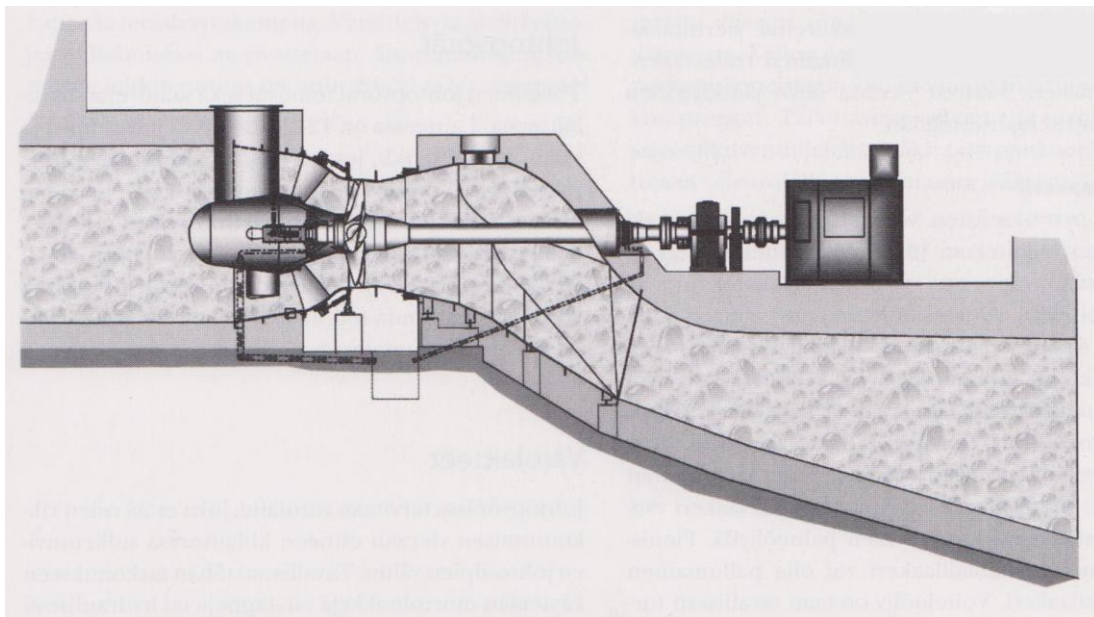
Putkiturbiinit ovat juoksupyörän rakenteeltaan Kaplan- tai potkurityyppisiä. Juoksupyörä sijoitetaan vaakasuoraan putkeen ja kiilamaiset johtosiivet ovat kartiopinnalla. Generaattori voi sijaita putken ulkopuolella tai putken sisällä olevassa kapselissa (bulbissa). Putkiturbiineissa, joiden johtosiivet ovat kiinteitä ja ainoastaan juoksupyörän siivet kääntyvät, kutsutaan puoli-Kaplaneiksi. Potkuriturbiineissa on säädettävät johtosiivet ja kiinteä juoksupyörä. Putkiturbiinit soveltuvat hyvin mataliin putouksiin ja ovat maisemallisesti melko huomaamattomia. Kuvissa on kotelo-, kuilu- ja putkityyppinen putkiturbiini. /8, 9/



Kuva 12. Kotelotyypinen putkiturbiini /8/



Kuva 13. Kuilyttypinen putkiturbiini /8/



Kuva 14. Putkityyppinen putkiturbiini /8/

5 VESIVOIMA PVO

Pohjolan Voimalla on yhteensä 12 omaa tai osakkuuslaitosta Iijoella, Kemijoella, Kokemäenjoella ja Tengeliönjoella. Laitosten sähköteho on yhteensä 483 megawattia, josta Pohjolan Voiman osuus on 417 megawattia. /2/

Vesivoimalaitoksia voidaan käynnistää, säätää ja pysäyttää muita voimalaitoksia nopeammin. Vesivoiman käyttömahdollisuuksiin vaikuttavat jokien virtaamat ja varastoaltaiden vesimäärät. Altaiden vedenkorkeudelle on lupaehdoissa määrätty ylä- ja alarajat. Vesivoimalaitosten investointikustannukset ovat korkeat, mutta käyttökustannukset alhaiset. Laitosten toimiluvat edellyttävät, että kalakannoista ja muusta vesiympäristöstä huolehditaan. /10/

5.1 Kokemäenjoki

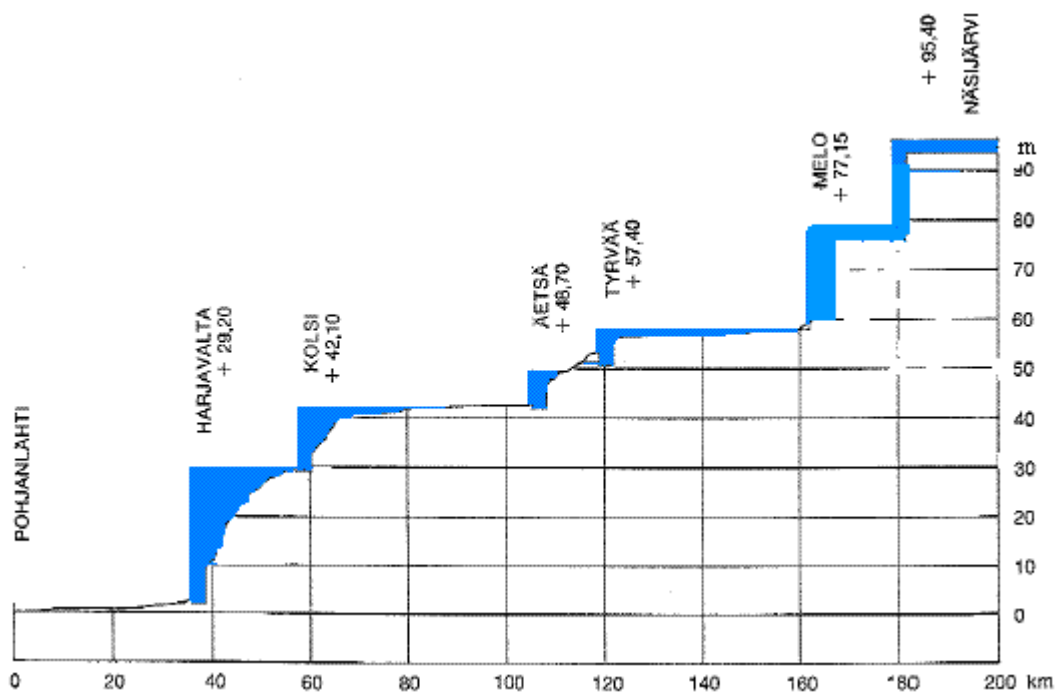
PVO-Pool Oy hoitaa viiden Kokemäenjoessa sijaitsevan vesivoimalaitoksen tuotannon suunnittelun ja –ohjauksen. Pyhäjärven suulla Nokialla on Melon vesivoimalaitos, jonka Pohjolan Voima Oy:n tytäryhtiö PVO-Vesivoima Oy omistaa kokonaisuudessaan. Voimalaitos valmistui vuonna 1971.

Iso-Kuloveden suulla sijaitsee Tyrvään voimalaitos, jossa on kaksi generaattoria. Laitoksen omistaa UPM-Kymmene Oyj. Vesivoimalaitos valmistui vuonna 1950.

Äetsän voimalaitos sijaitsee vähän matkan päässä Tyrvään vesivoimalaitokselta alajuoksulle. Se on myös UPM-Kymmene Oyj:n omistuksessa. Äetsässä on kaksi vesivoimalaitosta. Ns. vanhan puolen koneet, joita on seitsemän, rakennettiin 1920- ja 30-luvuilla, joista osa on edelleen tuotantokäytössä. Vuonna 1996 valmistui uuden puolen laitos, jossa on kaksi generaattoria.

Äetsän alapuolella Kokemäenjokeen yhtyy Loimijoki, jonka jälkeen sijaitsee Kolsin vesivoimalaitos Kokemäellä. Kolsin omistaa Norjalainen Statkraft. Kolsissa on kolme generaattoria, joista kaksi valmistui 1940-luvulla ja kolmas vuonna 1977.

Alimpana joessa sijaitsee vuonna 1939 valmistunut Länsi-Suomen Voima Oy:n omistama Harjavallan vesivoimalaitos. Pohjolan Voima Oy:n tytäryhtiö PVO-Vesivoima Oy omistaa Länsi-Suomen Voimasta 19,9 prosenttia. /11/



Kuva 15. Kokemäenjoen poikkileikkaus /11/

Taulukko 2. Kokemäenjoen vesivoimalaitosten teknisiä tietoja /11/

Voimalaitos	Putous-	Rakennus-	Koneistoja	Maksimi	Vuosi-
	korkeus	virtaama		teho	energia
	m	m ³ /s	kpl	MW	GWh
Melo	19,7	420	2	67	204
Tyrvää	6,8	320	2	14	70
Äetsä	5,9	240	2 / 7	13	60
Kolsi	12,5	450	3	45	173
Harjavalta	26,4	360	2	73	400

5.2 Iijoki

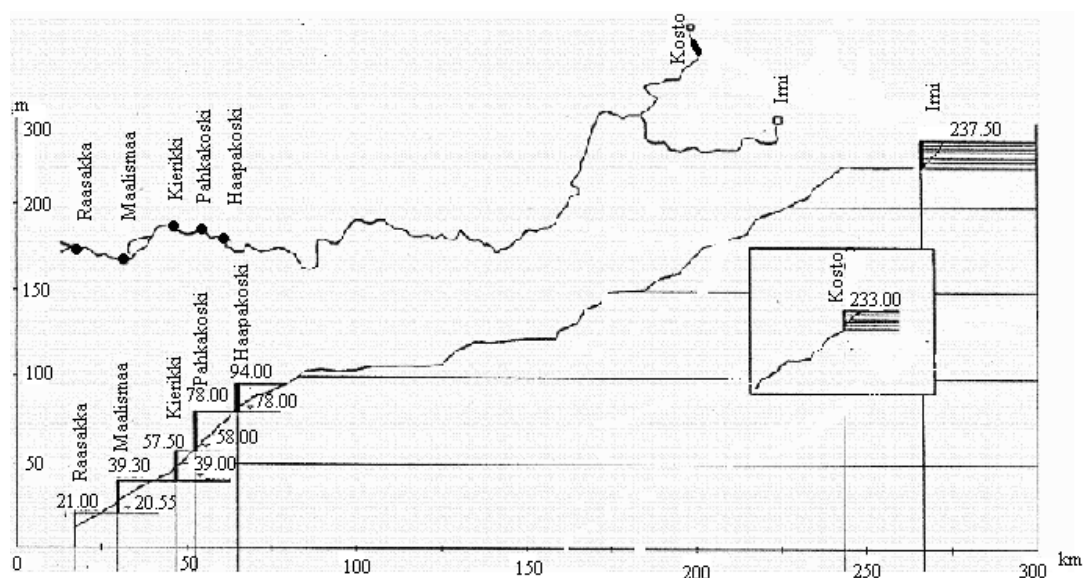
Iijoessa on viisi vesivoimalaitosta, jotka omistaa PVO-Vesivoima Oy. PVO-Pool Oy:n Harjavallan käyttökeskuksesta käsin hoidetaan laitosten tuotannosuunnittelu ja -ohjaus.

Neljä ylintä laitosta valmistuivat 1960-luvulla ja niistä jokaisessa on kaksi generaattoria. Ylimpänä sijaitsee Haapakosken vesivoimalaitos. Sen jälkeen ovat järjestyk-

sessä Pahkakosken, Kierikin ja Maalismaan vesivoimalaitokset. Alin vesivoimalaitos, meren läheisyydessä sijaitseva Raasakka, valmistui vuonna 1971. Raasakassa oli alun perin kaksi generaattoria. Kolmas kone valmistui vuonna 1997.

Kaikki vesivoimalaitokset ovat jokivoimalaitoksia. Laitosten välissä ei ole erillisiä altaita vaan ainoastaan pieniä padottuja laitosaltaita. Tämän johdosta vettä ei voida varastoida laitosten välillä vaan Haapakoskelta juoksutettu vesi virtaa jonkin ajan kuluttua Raasakan voimalaitoksen läpi.

Kierikin ja Maalismaan välille laskee Siuruanjoki, joka lisää omalta osaltaan Maalismaan ja Raasakan virtaamia. /11/



Kuva 16. Iijoen poikkileikkaus /11/

Taulukko 3. Iijoen vesivoimalaitosten teknisiä tietoja /11/

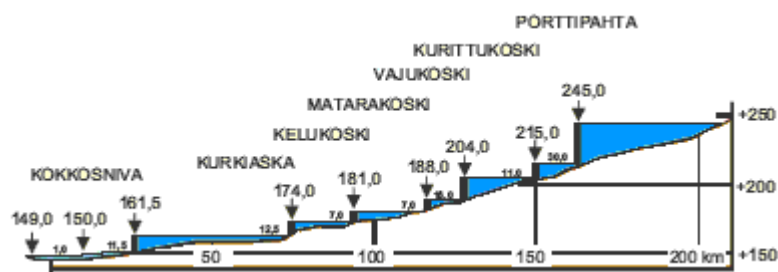
Voimalaitos	Putous-	Rakennus-	Koneistoja	Maksimi	Vuosi-
	korkeus	virtaama		teho	energia
	m	m ³ /s	kpl	MW	GWh
Haapakoski	16	250	2	36	130
Pahkakoski	20,5	200	2	34	170
Kierikki	18,2	250	2	38	151
Maalismaa	18,3	250	2	39	173
Raasakka	21	275	3	58	225

5.3 Kemijoki

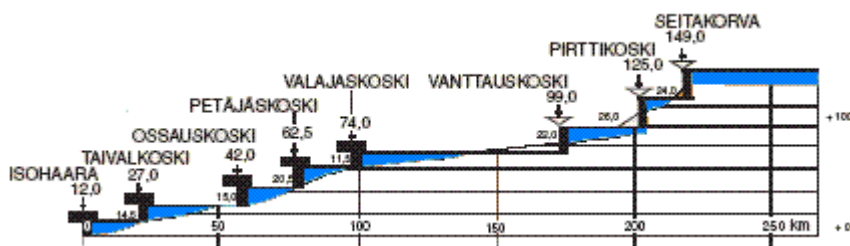
Kemijoen valuma-alueella on yhteensä 18 vesivoimalaitosta, joista PVO-Vesivoima Oy omistaa Jumiskon ja Kemijoen alimman laitoksen Isohaaran. Loput laitokset ovat Kemijoki Oy:n omistuksessa. PVO-Pool Oy suunnittelee ja ohjaa Jumiskon ja Isohaaran tuotannot. Isohaaran suunnittelussa käytetään ns. kirjausmenettelyä jotta koko Kemijoen ajo sujuisi järkevästi. Näin ollen Isohaaran fyysisen tuotannosuunnittelun hoitaa Kemijoki Oy. /11, 12/

5.3.1 Isohaara

Isohaara on ensimmäinen Kemijokeen rakennettu vesivoimalaitos. Sen kaksi ensimmäistä konetta valmistui vuonna 1949 ja kaksi uusinta vuonna 1993. Isohaara on teholtaan PVO-Vesivoima Oy:n suurin vesivoimalaitos. /11/



Kuva 17. Kemijoen poikkileikkaus Kemijärven yläpuolelta /12/



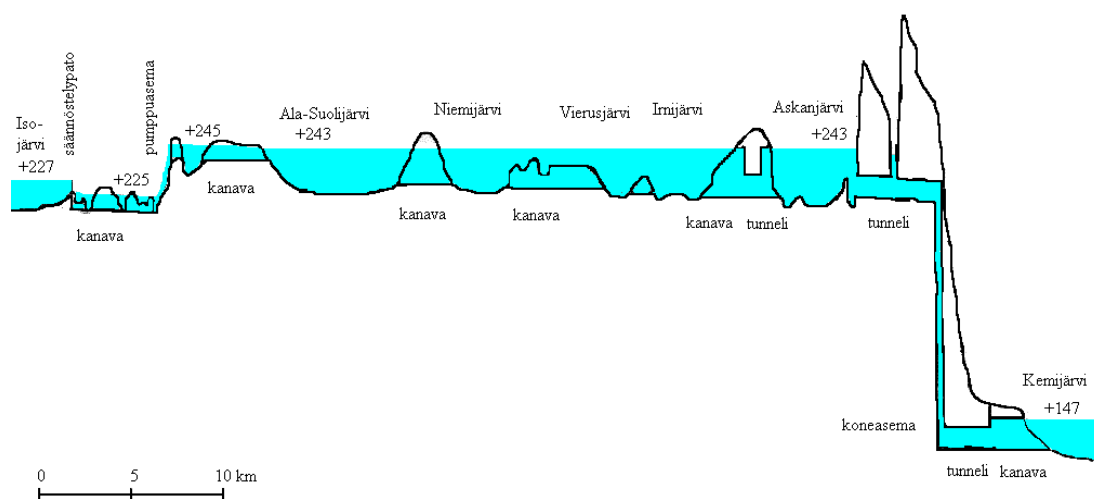
Kuva 18. Kemijoen poikkileikkaus Kemijärven alapuolelta /12/

Taulukko 4. Isohaaran vesivoimalaitoksen teknisiä tietoja /11/

Voimalaitos	Putous-	Rakennus-	Koneistoja	Maksimi	Vuosi-
	korkeus	virtaama		teho	energia
	m	m ³ /s	kpl	MW	GWh
Isohaara	12,2	1100	4	106	434

5.3.2 Jumisko

Jumiskon tunnelivoimalaitos valmistui vuonna 1954 ja sen putouskorkeus on ylivoimaisesti Suomen suurin, 96m. Vesivoimalaitoksen vesireitteihin sisältyy 12 km avokanavia ja 7,5 km tunnelia. /11/



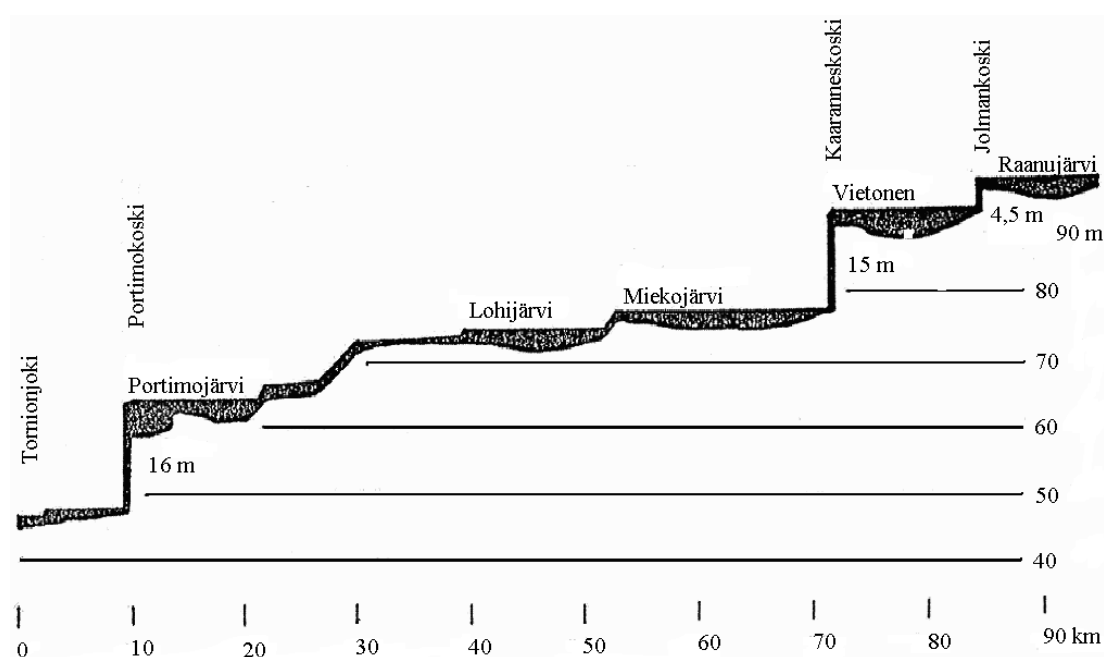
Kuva 19. Jumiskon alueen poikkileikkaus /11/

Taulukko 5. Jumiskon vesivoimalaitoksen teknisiä tietoja /11/

Voimalaitos	Putous-	Rakennus-	Koneistoja	Maksimi	Vuosi-
	korkeus	virtaama		teho	energia
	m	m ³ /s	kpl	MW	GWh
Jumisko	96	36	1	30	93

5.4 Tengeliönjoki

Tengeliönjoen vesistöissä sijaitsee kolme Tornionlaakson Voima Oy:n omistamaa vesivoimalaitosta: Jolmankoski, Kaaranneskoski ja Portimokoski. PVO-Vesivoima Oy omistaa puolet Tornionlaakson Voima Oy:stä. /11/



Kuva 20. Tengeliönjoen poikkileikkaus /11/

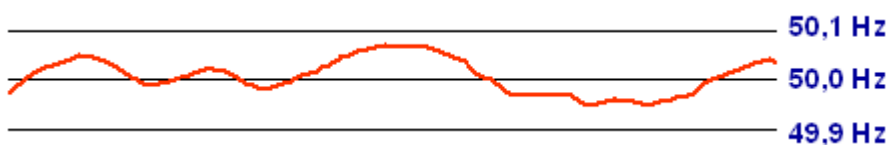
Taulukko 6. Tengeliönjoen vesivoimalaitosten teknisiä tietoja /11/

Voimalaitos	Putous-	Rakennus-	Koneistoja	Maksimi	Vuosi-
	korkeus	virtaama		teho	energia
	m	m ³ /s	kpl	MW	GWh
Jolma	5	13	1	0,5	1
Kaarannes	16	21	1	2,5	10
Portimokoski	16,5	30	1	10,5	33

6 SÄHKÖVERKON TAAJUUS

Sähköjärjestelmän taajuus kuvaa sähkön tuotannon ja kulutuksen välistä tasapainoa. Mitä paremmin tasapaino säilyy, sitä vähemmän verkon taajuus vaihtelee ja sitä parempi on sähkön laatu. Pohjoismainen sähköverkko (Suomi, Ruotsi, Norja ja Itä-Tanska) on synkronisesti yhteen kytketty, joten koko verkolla on sama taajuus. Taajuuden sallitaan vaihdella 49,9 ja 50,1 Hz välillä. Mikäli verkon taajuus on alle nimellisarvon 50 Hz, on kulutus tuotantoa suurempi. Vastaavasti tuotanto on kulutusta suurempi verkon taajuuden ylittäessä sen nimellisarvon.

Sähkö ei voi varastoida laajassa mittakaavassa, ja siksi sähköverkon taajuutta tulee säätää jatkuvasti. Taajuus on suoraan kytköksissä verkon kuormitukseen: jos sähkön kulutus ylittää tuotannon, taajuus alkaa laskea. Vastaavasti ylituotannossa taajuus kasvaa. /4/



Kuva 21. Sähköverkon taajuuskäyrä /4/

6.1 Taajuuden ylläpito

Tehotasapaino ylläpidetään taajuusohjatuilla reserveilla sekä säätösähkömarkkinoilla manuaalisesti toteutettavilla säädöillä. Taajuuden ylläpitoa varten sähköjärjestelmässä on ylläpidettävä riittävä määrä ns. pyörivää reserviä. Taajuusohjattu käyttöreservi ja taajuusohjattu häiriöreservi ovat taajuudenmuutoksista automaattisesti aktivoituvia pätötehoreservejä. Mikäli taajuutta ei kyetä pelkästään taajuusohjattujen reservien avulla pitämään sallituissa rajoissa, täytyy ylös- tai alassäätöjä tehdä manuaalisesti säätösähkömarkkinoilla.

Taajuusohjattujen reservien ylläpitovelvoitteet on sovittu Pohjoismaiden järjestelmä-vastaavien välisellä käyttösopimuksella. Pohjoismaisessa yhteiskäyttöjärjestelmässä (Suomi, Ruotsi, Norja ja Itä-Tanska) ylläpidetään joka hetki yhteensä 600 MW taajuusohjattua käyttöreserviä normaalitilan taajuudensäätöä varten. Yhteisesti ylläpidettävä reservi jaetaan vuosittain pohjoismaiden kantaverkkoyhtiöiden kesken maiden käyttämien vuosienergioiden suhteessa.

Pohjoismaisessa yhteiskäyttöjärjestelmässä ylläpidetään taajuusohjattua häiriöreserviä niin paljon, että voimajärjestelmä kestää esim. suuren tuotantoyksikön irtoamisen verkosta ilman, että pysyvä taajuuspoikkeama on suurempi kuin 0,5 Hz. Koko järjestelmässä vaadittava reservi määritellään viikoittain vastaamaan järjestelmän suurimman yksittäisen vian yhteydessä irtoavaa tuotantoa vähennettynä järjestelmän luonnollisella säätökyvyllä. Normaalisissa käyttötilanteissa pohjoismaisessa yhteiskäyttöjärjestelmässä vaadittava hetkellinen häiriöreserviteho on noin 1000 MW, josta Suomen velvoite on noin 240 MW.

Kunkin maan kantaverkkoyhtiö hankkii reserviosuutensa parhaaksi katsomallaan tavalla. Fingrid hankkii osan velvoitteesta vuosimarkkinoilla Suomessa sijaitsevista voimalaitoksista. Vuosimarkkinoiden lisäksi Fingrid hankkii reserviä Venäjän- ja Viron tasasähköyhteyksiltä sekä päivittäisellä hankinnalla tuntimarkkinoilta kotimaasta ja muista Pohjoismaista. Taajuusohjattuna häiriöreservinä voivat toimia myös irtikytkettävät kuormat.

Reservinhaltijoiden osallistuminen reservin ylläpitoon on täysin vapaaehtoista toimintaa. Resurssinhaltija voi voimalaitoskapasiteetillaan osallistua taajuusohjattujen reservien ylläpitoon joko vuosi- ja/tai tuntimarkkinoiden kautta. Fingrid järjestää avoimen tarjouskilpailun voimalaitoskapasiteetin osallistumisesta vuosimarkkinoille. Tarjouskilpailu järjestetään kerran vuodessa ja kesken sopimuskauden ei ole mahdollista osallistua reservien ylläpitoon vuosimarkkinoilla.

Tuntimarkkinoita käytetään tarvittaessa täydentävään hankintaan kerran vuorokaudessa. Tuntimarkkinoille voi osallistua tekemällä siitä erillisen sopimuksen eikä se edellytä vuosisopimuksen tekemistä. Tekniset vaatimukset ovat samat kuin vuosimarkkinoilla.

Fingridin maksamaa korvausta vastaan resurssin haltijat pitävät voimalaitoksillaan mitatut säätöominaisuudet sovitulla ehdoilla. Taajuusohjatun käyttö- ja häiriöreservin ylläpitosopimuksissa kaikkien osapuolten kanssa solmitut sopimukset ovat ehdoiltaan, sisällöltään ja korvauksiltaan samanlaiset.

Taajuusohjattuna ja nopeana häiriöreservinä toimivista irtikytkettävistä kuormista on sovittu puunjalostus-, kemian- ja metalliteollisuusyritysten kanssa. Sopimukset ovat voimassa vuosina 2005-2015. /4/

Reservi	Käytettävissä oleva kapasiteetti	Tarve
Taajuusohjattu käyttöreservi (50,1-49,9 Hz)	- Vuosihankinta, voimalaitokset 71 MW - Tuntimarkkinat, voimalaitokset 50 MW - Viipurin DC-linkki 100 MW - Viron DC-linkki 50 MW	136 MW *)
Taajuusohjattu häiriöreservi (49,9-49,5 Hz)	- Vuosihankinta, voimalaitokset 244 MW - Tuntimarkkinat, voimalaitokset 298 MW - Irtikytkettävät kuormat 40 MW	220-240 MW **)
Nopea häiriöreservi (manuaalisesti aktivoitava)	- Fingridin omat varavoimalaitokset 615 MW - Käyttösopimuslaitokset 203 MW - Irtikytkettävät kuormat 395 MW	880 MW ***)

*) Pohjoismaissa yhteensä 600 MW, mikä jaetaan Pohjoismaiden kesken vuosittain vuosienergioiden suhteessa

***) Pohjoismaiden suurinta mitoittavaa vikaa vastaava määrä jaetaan Pohjoismaiden kesken viikoittain mitoittavien vikojen suhteessa

****) Mitoittavaa vikaa vastaava määrä

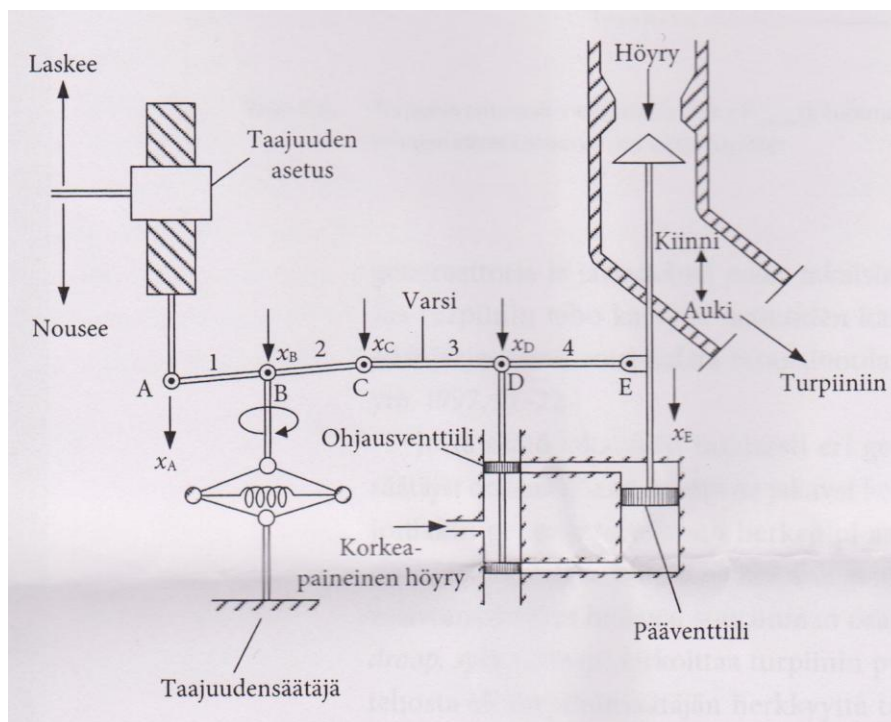
Kuva 22. Reservien ylläpito Suomessa /4/

6.2 Säätoivoima ja statiikka

Normaalitilan automaattista taajuudensäätöä hoidetaan automaattisilla taajuudesta säätyvillä reserveilla (pyörivillä reserveilla) ja nopeilla käsin käynnistettävillä reserveilla. Kantaverkkoyhtiö (Suomessa Fingrid Oyj) ostaa käsin käynnistettävää reserviä säätösähkömarkkinoilta. Näiden lisäksi järjestelmällä on niin sanottua luonnollista säätoivoimaa, koska osa verkon kuormasta on taajuudesta riippuvaista ja pienenee taajuuden pienentyessä.

Normaalisti taajuuden ei anneta muuttua liikaa, vaan sitä säädetään generaattorien voimakoneiden eli turpiinien tehoa säätämällä. Osalla generaattoreista on säätäjät, jotka mittaavat taajuutta ja muuttavat voimakoneen ja generaattorin tehoa ja siten korjaavat verkon taajuutta. Säätäjät ovat P-säätäjiä, jotka eivät korjaa taajuutta täysin ennalleen vaan jäljelle jää pieni pysyvä poikkeama. P-säätäjä eli suhdesäätäjä tai vertosäätäjä ohjaa säätösuuretta sitä enemmän mitä suurempi on ero ohjearvon ja mitatun arvon välillä. Se jättää aina pienen virheen, eli säädettävää suuretta, tässä tapauksessa taajuutta, ei saada täsmälleen samaksi kuin ohjearvo on.

Kuormitusmuutoksen ja pysyvän taajuuspoikkeaman suhdetta sanotaan säätovoimaksi. Säätoivoima määräytyy turpiinin säätäjien herkkyydestä ja säätöön liitettyjen koneiden tehosta. Pohjoismaisessa verkossa säätoivoima on tyypillisesti 8000 MW/Hz. Tällä taajuudensäätövoimalla 800 MW:n tehonvajaus tarkoittaa 0,1 Hz:n taajuuspoikkeamaa. Taajuudensäädössä muutetaan taajuuspoikkeaman perusteella automaattisesti generaattorien verkkoon antamaa tehoa. Generaattorien säätäjät tuntevat taajuuserosignaalin paikallisesti. /13/



Kuva 23. Periaate-esitys taajuudensäätiän rakenteesta /13/

Koska taajuus on koko verkolle yhteinen, taajuudensäätiät reagoivat taajuuden muutoksiin riippumatta siitä, missä generaattorit sijaitsevat. Generaattorin stabiili käynti verkon taajuudenmuutoksissa vaatii sen, että generaattorin tehon täytyy kasvaa verkon taajuuden laskiessa. Jotta säätö jakautuisi tasaisesti eri generaattoreiden kesken, niiden säätiät on aseteltu siten, että ne jakavat keskenään kuormitusmuutoksen. Joillakin generaattoreilla on herkempi asettelu (pienempi statiikka) eli isompi säätövoima, jolloin ne hoitavat suurimman osan säädöstä. Yleensä vesivoimakoneet hoitavat suurimman osan säädöstä. Statiikka tarkoittaa turpiinin pyörimisnopeuden riippuvuutta tehosta eli turpiininsäätiän herkkyyttä taajuudenmuutoksiin. Statiikka ilmoitetaan yleensä prosentteina seuraavasti: $s = \frac{\Delta f / f_n}{\Delta P_t / P_R} * 100 \%$, missä

$$s = \frac{\Delta f / f_n}{\Delta P_t / P_R} * 100 \%, \text{ missä}$$

ΔP_t = turpiinin tehon muutos

P_R on turpiinin nimellisteho

f on verkon taajuus

f_n on verkon nimellistaajuus

Statiikka on tavallisesti alle 16 prosenttia. Pohjoismaisen verkon vesivoimakoneen statiikka on tavallisesti 6 %. Jos statiikka on nolla, turpiinin teho ei muutu pyörimis-

nopeuden muutosten vaikutuksesta. Jos koneen statiikka on 6 %, generaattorin teho nousee nolasta nimelliseen, kun taajuus laskee 3 Hz (6 % nimellistaajuudesta). Mitä pienempi statiikka generaattorilla on, sitä isomman suhteellisen tehonmuutoksen sama taajuusmuutos saa aikaan. Käytännön säätötilanteissa turpiini voi lisätä tehoaan vain nimellistehoonsa saakka. Verkossa eri generaattoreilla on erisuuruiset statiikat. Siksi taajuuden muututtua tietyt generaattorit säätävät tehoaan enemmän kuin toiset generaattorit. Näin estetään se, etteivät generaattorit ala säätämään ristiin. Jos koneiden statiikka on nolla, koneiden rinnankäynti vaatii kuorman jakamisen koneiden kesken teho-ohjearvojen mukaisesti. Turpiinin statiikka on säätövoiman K käänteisluku. Statiikka ilmoitetaan yleensä prosentteina, ja se on laskettu suhteellisuusarvojen avulla (taajuuden suhteellinen muutos jaettuna tehon suhteellisella muutoksella). Säätövoima ilmoitetaan yleensä fysikaalisina yksiköinä (tehon muutoksen suhde taajuuden muutokseen, MW/Hz). Jos prosenttilukuna annetun statiikan avulla halutaan laskea turpiinin säätövoima, yksiköt pitää muuttaa keskenään yhteensopiviksi. Lasketaan yhden turpiinin taajuudensäätövoima K (MW/Hz), kun tiedetään, että sen statiikka on s (%). Statiikan yhtälön perusteella voidaan kirjoittaa:

$$\frac{\Delta P_t / P_R}{\Delta f / f_N} = \frac{100\%}{s} \rightarrow K = \frac{\Delta P_t}{\Delta f} = \frac{P_R * 100\%}{s * f_N} = \frac{P_R * 100\%}{s * 50\text{Hz}} = \frac{2P_R}{s} * \frac{\%}{\text{Hz}}$$

Jos turpiinin statiikka on 6 % ja sen nimellisteho on 30 MW, turpiinin säätövoimaksi saadaan 10 MW/Hz. Jos verkon taajuus muuttuu 0,1 Hz, tällainen kone lisää tehoaan 1 MW. /13/

6.3 Taajuusohjatut käyttö- ja häiriöreservit

Taajuusohjattujen reservien ylläpitovelvoitteet on sovittu Pohjoismaiden järjestelmä-vastaavien välisellä käyttösopimuksella. Reservivelvoitteen täyttämiseksi voidaan myös käydä kauppaa maiden välillä. Fingridillä on oikeus myydä reservinhaltijoiden Fingridille myymää reserviä edelleen muille kantaverkkoyhtiöille. Fingrid hankkii osan velvoitteesta vuosimarkkinoilta tarjouskilpailun perusteella Suomessa sijaitsevista voimalaitoksista. Fingrid täydentää näiden vuosimarkkinoiden kautta hankittavaa reserviä lyhyen aikavälin hankinnalla tuntimarkkinoilta, Venäjältä, Virossa ja muista Pohjoismaista. /4/

Taajuusohjattujen käyttö- ja häiriöreservien toimintamalliin on tullut haastavia muutoksia vuodesta 2011 alkaen reservien paremman ennustettavuuden ja optimoinnin parantamiseksi. Aikaisemmin käytössä olleen ylläpitosopimuksen mukaisesti reservinhaltija sai Fingridiltä tietyn suuruisen kiinteän korvauksen (4000 €/MW), mikäli sovittu määrä häiriöreserviä oli ollut kalenterivuoden aikana käytettävissä vähintään 3000 tuntia. Lisäksi reserveistä sai vielä erillisen tuntikorvauksen (0,85 €/MW, h) ajalta, jolloin reservit olivat käytössä. Uusi ylläpitosopimus vaati aikaisempaa tarkempaa reservien suunnittelua. Myös suunnitteluohjelmiin ja tietojärjestelmiin piti tehdä muutoksia.

6.4 Reservikapasiteetin vaatimukset

Seuraavien vaatimusten tulee täyttyä, jotta voimalaitoskoneisto hyväksytään taajuusohjatun käyttö- ja häiriöreservin ylläpitoon. Vaatimukset ovat samat sekä vuosittain tuntimarkkinoilla. /4/

6.4.1 Taajuusohjattu käyttöreservi

Voimalaitoskoneiston tulee säätää statiikkansa mukaisesti portaattomasti taajuusalueella 49,9 – 50,1 Hz niin, että taajuudensäädön kuollut alue on korkeintaan +/- 0,05 Hz. Säädön tulee aktivoitua 0,1 Hz:n taajuusmuutoksen seurauksena täysimääräisesti kolmessa minuutissa. /4/

6.4.2 Taajuusohjattu häiriöreservi

Voimalaitoskoneiston tulee säätää lähes lineaarisesti niin, että aktivoituminen alkaa taajuuden laskiessa alle 49,9 Hz ja reservi on kokonaan aktivoitunut taajuudella 49,5 Hz. Taajuusohjatusta häiriöreservistä täytyy aktivoitua puolet viidessä sekunnissa ja sen tulee aktivoitua kokonaan 30 sekunnissa -0,5 Hz askelmaisella taajuusmuutoksella. /4/

6.5 Reservisuunnitelmat

Vuosisopimuksen tehneen reservinhaltijan tulee toimittaa Fingridille tuntikohtainen reservisuunnitelma seuraavan vuorokauden reservimääristä. Reservisuunnitelma voi olla suuruudeltaan enintään vuosisopimuksessa sovitun reservimäärän mukainen. Suunnitelmat tulee toimittaa Fingridille klo 18:30 mennessä. Tuntimarkkinoilla tehdyistä kaupoista ei toimiteta reservisuunnitelmaa. /4/

6.6 Reaaliaikaiset tiedot

Reservinhaltijan tulee toimittaa seuraavat konekohtaiset tiedot reaaliaikaisesti enintään kolmen minuutin välein Fingridille:

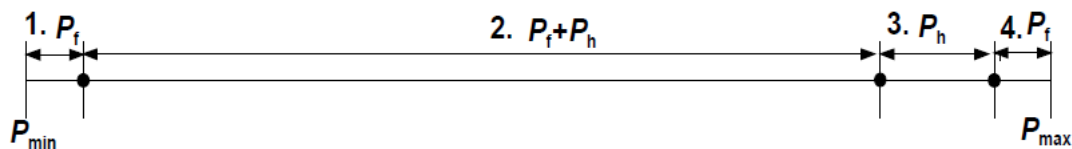
- tilatieto (käy/seis)
- pätöteho (MW)
- maksimiteho (MW)
- taajuusohjatun käyttöreservin määrä (MW)
- taajuusohjatun häiriöreservin määrä (MW)
- statiikka (%), jos koneella on useampi kuin yksi todennettu

6.7 Reservikapasiteetin laskentaperiaatteet

Taajuusohjatun käyttö- ja häiriöreservin konekohtainen reservimäärä lasketaan seuraavien periaatteiden mukaisesti:

1. Voimalaitoskoneistokohtaisen keskitehon ollessa lähellä minimitehoa P_{\min} , lasketaan taajuusohjatun käyttöreservin P_f määrä siltä osin, kun tunnille on säätävää reservitehoa minimitehon puitteissa, kuitenkin korkeintaan säätökokeissa todennettu määrä.
2. Kun voimalaitoskoneistokohtainen keskiteho on suurempi kuin säätökokeissa todennettu taajuusohjattu käyttöreservi, mutta alle maksimitehon P_{\max} niin, että maksimitehon ja keskitehon erotus on suurempi tai yhtä suuri kuin taajuusohjatun käyttö- ja häiriöreservin P_h summa, lasketaan edellä mainittujen reservien osuus täysimääräisenä.
3. Voimalaitoskoneistokohtaisen keskitehon ollessa lähellä maksimitehoa, lasketaan ensiksi taajuusohjattu käyttöreservi ja sen jälkeen taajuusohjattu häiriöreservi siltä osin, kun maksimitehosta vähennetyn taajuusohjatun käyttöreservin jälkeen on säätävää reservitehoa jäljellä, kuitenkin korkeintaan säätökokeissa todennettu taajuusohjatun häiriöreservin määrä.
4. Voimalaitoskoneistokohtaisen keskitehon ollessa lähes maksimiarvossa, lasketaan taajuusohjatun käyttöreservin määrä siltä osin, kun tunnille on säätä-

vää konetehoa maksimitehon puitteissa, kuitenkin korkeintaan säätökokeissa todennettu taajuusohjatun käyttöreservin määrä.



Kuva 24. Taajuusohjatun käyttö- ja häiriöreservin laskenta eri tehoalueilla /4/

6.8 Kapasiteettikorvaus

Mikäli mittauksin todennettu reservikapasiteetti on suunnitelman mukainen, Fingrid maksaa kapasiteettikorvausta. Jos reservikapasiteetti ylittää reservisuunnitelman, ylimenevästä kapasiteetista saa korvausta 30 % kapasiteettikorvauksen hinnasta. Kapasiteetin ollessa pienempi kuin suunnitelma, reservinhaltija joutuu maksamaan toimittamatta jääneestä kapasiteetista Fingridille 30 % korvauksen. /4/

Taajuusohjattu käyttöreservi

Kapasiteettikorvaus 9,97 €/MWh

Yli/alijäämäkorvaus 2,99 €/MWh

Taajuusohjattu häiriöreservi

Kapasiteettikorvaus 1,48 €/MWh

Yli/alijäämäkorvaus 0,44 €/MWh

PVO-Vesivoima osallistuu taajuusohjatun käyttö- ja häiriöreservin vuosimarkkinoille omistamiensa voimalaitosten osalta käsittäen koneita yhteensä X kpl. Vuosimarkkinasopimuksen mukainen käyttöreservin P_f kapasiteetti on X MW ja häiriöreservin P_h X MW. Reservisuunnitelmat vaihtelevat päivittäin ja tunneittain tuotantosuunnitelman mukaan.

6.9 Tuntimarkkinat

Mikäli reservinhaltija on tehnyt vuosisopimuksen reservien toimittamisesta, voi tämä osallistua tuntimarkkinoille vain mikäli vuosisopimuksen määrä on toimitettu täysimääräisenä kyseiselle tunnille. Yhden tarjouksen kapasiteetin tulee olla käyttöreservin osalta välillä 0,1-5 MW ja häiriöreservin osalta 1-10 MW. Tarjouksen tulee sisältää seuraavat tiedot:

- tuote (taajuusohjattu käyttö- tai häiriöreservi)
- kapasiteetti (MW)
- hinta käytettävyydestä (€/MW, h)
- tunti

Seuraavan vuorokauden tuntitarjoukset tulee jättää klo 20:00 mennessä. Jokaista käyttötuntia varten Fingrid asettaa tarjoukset hintajärjestykseen periaatteella halvin tarjous ensin. Tarjoukset käytetään tarvittaessa hintajärjestyksessä erikseen käyttö- ja häiriöreservin osalta. Samanhintaiset tarjoukset käytetään tarjousten saapumisjärjestyksessä. Myös osa tarjouksesta voidaan tarvittaessa käyttää. Fingrid vahvistaa seuraavan vuorokauden kaupat klo 21:00 mennessä. Reservinhaltijalle maksettava korvaus määräytyy kullekin tunnille erikseen kalleimman tilatun tarjouksen mukaan siten, että taajuusohjatulle käyttö- ja häiriöreserville muodostuu oma hintansa. Länsi-Suomen Voima, josta PVO-Vesivoima omistaa osan, osallistuu tuntimarkkinoille Harjavallan voimalaitoksen koneilla, jonka reservitehoista PVO-Pool jättää päivittäin tarjouksen. Tarjottava määrä riippuu tuotantosuunnitelmasta. /4/

7 TOTEUTUS

Ryhdyin kehittämään vesivoiman tuotannosuunnitteluohjelmaa siten, että jokaiselle yksittäiselle vesivoimalaitoksen koneelle saataisiin tuotantosuunnitelma aikaiseksi. Muutokset eivät sinänsä vaikuttaneet vesivoimatuotannon kokonaissuunnitteluun. Nyt piti vain tehdä muutoksia siihen, että monellako vesivoimalaitoksen koneella seuraavan päivän sähköntuotanto tuotettaisiin. Suunnittelussa piti myös huomioida putouskorkeus, jotta saadaan selville koneen maksimiteho kyseisillä ylä- ja alaveden pinnankorkeuksilla. Koneen suunnitellun ja maksimitehon erotuksesta muodostuu käytettävissä oleva reserviteho.

Lisäksi piti tehdä erillinen suunnittelutaulukko turbiinisäätäjän käytölle. Jos turbiinisäätäjän suunnitellaan olevan päällä, kone reagoi sähköverkon taajuudenmuutoksiin. Vastaavasti turbiinisäätäjän ollessa pois käytöstä kone tuottaa aseteltua tehoa reagoimatta taajuuteen. Normaalitylanteessa turbiinisäätäjät ovat päällä, mutta esim. tulva-aikana ne voidaan kytkeä pois.

Tein suunnitteluohjelmaan myös mahdollisuuden asettaa käsin käynnissä olevien koneiden lukumäärän ettei tule koneiden järjettömiä käynnistyksiä ja pysäytyksiä esim. tunnin välein. Tuotantosuunnitelma saattaa olla sellainen, että hyötysuhteen kannalta ei ole juurikaan eroa ajetaanko yhdellä vai kahdella koneella. Vaikka suunniteltaisiin peräkkäisille tunneille ajettavaksi samaa tehoa, niin putouskorkeuden vaihtelu voi johtaa siihen, että toisella tunnilla olisi kannattavampaa ajaa yhdellä koneella ja seuraavalla tunnilla kahdella koneella.

Suunnitelmissa on huomioitu myös koneiden ajojärjestys, jota tulisi vaihdella säännöllisin väliajoin. Pienen virtaaman aikaan vesivoimalaitoksen tuotanto tapahtuisi muuten jatkuvasti yhdellä ja samalla koneella, koska kahden koneen tuotanto olisi epäedullista tai jopa mahdotonta. Mahdolliset huoltorajoitukset voidaan näillä asetuksilla huomioida. Esim. tietylle tunnille tai ajanjaksolle vesivoimalaitoksen suunnitellaan tuottavan tietty teho, joka olisi taloudellisempaa tuottaa kahdella koneella, mutta sama teho on mahdollista tuottaa myös yhdellä koneella. Tiedetään, että toinen

kone on pois käytöstä, joten asetetaan käytettävissä oleva kone ajojärjestyksessä ensimmäiseksi ja suunniteltu teho ajettavan yhdellä koneella.

Joissakin laitoksissa on useampi kuin kaksi konetta, mutta suunnitteluperiaatteet ovat samanlaiset. Liitteessä on esitelty suunnittelutyön tuloksia. Suunnitteluohjelmaan olen tekemässä parannuksia myöhemmin. Tällä hetkellä ohjelmassa on oletuksena, että laitoksen koneiden ajojärjestys pysyy samana koko päivän. Tarkoituksena on kehittää ohjelmaa siten, että ajojärjestyksen voidaan suunnitella muuttuvan päivän aikana.

8 YHTEENVETO

Uusi taajuusohjatun käyttö- ja häiriöreservin ylläpitosopimus toi lisää haasteita reservien suunnitteluun. Vesivoiman suunnittelussa käytettävää Microsoft Excel-pohjaista suunnitteluohjelmaa piti kehittää, koska reservisuunnitelmat vaativat konekohtaisen tuotantosuunnitelman eri vesivoimalaitoksille. Aikaisemmin vesivoima oli suunniteltu laitospohjaisesti, mutta nyt laitoksen tuotantosuunnitelma pitää jakaa koneiden kesken. Lisäksi suunnittelussa pitää huomioida koneiden ajojärjestys sekä ajetaanko esim. yhdellä vai kahdella koneella tiettyä tehoa hyötysuhteen optimoimiseksi. Suunnitelmissa pitää myös ottaa huomioon osallistuuko kyseinen kone seuraavana päivänä taajuudentuentaan vai ei.

Konekohtaiset tuotantosuunnitelmat siirretään Excel-pohjaisesta suunnitteluohjelmasta ABB:n toimittamaan FORE-energianhallintajärjestelmään. FORE laskee tuotantosuunnitelmien avulla seuraavan vuorokauden reservisuunnitelmat, jotka lähetetään Fingridille. Isohaaran voimalaitoksen reservien suunnittelu on hieman poikkeuksellinen, koska Kemijoki Oy lähettää seuraavan päivän ennustetun juoksutusmäärän, josta FORE laskee tuotantosuunnitelman, koneiden lukumäärän ja reservisuunnitelman.

LÄHTEET

- /1/ Kuusela, A., Relander, K. & Ylisaukko-oja, B. 2003. Pohjoisen vesiltä monipuoliseksi energiayhtiöksi (Pohjolan Voima 60 vuotta). Helsinki: Edita Prima Oy. 160 s.
- /2/ Pohjolan Voima Oy:n internet-sivut. Viitattu 25.3.2011. Saatavissa <http://www.pohjolanvoima.fi/>
- /3/ Laaksonen, H. 2009. PVO-blokin käyttösääntö 2009.
- /4/ Fingrid Oyj:n internet-sivut. Viitattu 25.3.2011. Saatavissa <http://www.fingrid.fi/>
- /5/ Kivelä, M. PVO-Pool Oy:n toimintamallin analysointi. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, Sähkötekniikan osasto. 110 s.
- /6/ Motiva Oy:n internet-sivut. Viitattu 25.3.2011. Saatavissa <http://www.motiva.fi/>
- /7/ Wikipedian internet-sivut. Viitattu 25.3.2011. Saatavissa <http://fi.wikipedia.org/wiki/Vesivoima/>
- /8/ Huhtinen, M., Korhonen, R., Pimiä, T. & Urpalainen, S. 2008. Voimalaitostekniikka. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy. 342 s.
- /9/ Perttula, J. 2000. Energiatekniikka. Porvoo: WS Bookwell Oy. 204 s.
- /10/ Energiateollisuus ry:n internet-sivut. Viitattu 25.3.2011. Saatavissa <http://www.energia.fi/>
- /11/ PVO-Vesivoima Oy:n laitosesite
- /12/ Kemijoki Oy:n internet-sivut. Viitattu 25.3.2011. Saatavissa <http://www.kemijoki.fi/>
- /13/ Elovaara, J. & Haarla, L. 2011. Sähköverkot 1 (Järjestelmätekniikka ja sähköverkkojen laskenta). Helsinki: Otatiето. 520 s.

Turbiinisäätäjän päällä/pois-tietoa voidaan vaihtaa myös tunneittain.

pvm	HAAPAKOSKI			PAHKAKOSKI			KIERIKKI			MAALISMAA			RAASAKKA					
	SÄTTÄJÄ	0-POIS	1-PÄILLÄ	SÄTTÄJÄ	0-POIS	1-PÄILLÄ	SÄTTÄJÄ	0-POIS	1-PÄILLÄ	SÄTTÄJÄ	0-POIS	1-PÄILLÄ	SÄTTÄJÄ	0-POIS	1-PÄILLÄ			
kla	G1	S1 ker	G2	S2 ker	G1	S1 ker	G2	S2 ker	G1	S1 ker	G2	S2 ker	G1	S1 ker	G2	S2 ker	G3	S3 ker
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

pvm	MELO			KOLSI			HARJAVALLA			JUMISKO			ISOHAARA											
	SÄTTÄJÄ	0-POIS	1-PÄILLÄ	SÄTTÄJÄ	0-POIS	1-PÄILLÄ	SÄTTÄJÄ	0-POIS	1-PÄILLÄ	SÄTTÄJÄ	0-POIS	1-PÄILLÄ	SÄTTÄJÄ	0-POIS	1-PÄILLÄ	SÄTTÄJÄ	0-POIS	1-PÄILLÄ						
kla	G1	S1 ker	G2	S2 ker	G1	S1 ker	G2	S2 ker	G3	S3 ker	G1	S1 ker	G2	S2 ker	G1	G1 ker	G1	S1 ker	G2	S2 ker	G3	S3 ker	G4	S4 ker
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Iijoen koneistokohtainen tuotantosuunnitelma

Tunnit	Haapakoski			Pahkakoski			Kierikki			Maalismaa			Raasakka				Yhteensä	Tunnit
	G1	G2	YHT	G1	G2	YHT	G1	G2	YHT	G1	G2	YHT	G1	G2	G3	YHT		
01-02	0	4	4,0	6	0	6,0	5	0	5,0	0	6	6,0	0	0	0	0,0	21	01-02
02-03	0	4	4,0	6	0	6,0	5	0	5,0	0	6	6,0	0	0	0	0,0	21	02-03
03-04	0	4	4,0	6	0	6,0	5	0	5,0	0	6	6,0	0	0	0	0,0	21	03-04
04-05	0	4	4,0	6	0	6,0	5	0	5,0	0	6	6,0	0	0	0	0,0	21	04-05
05-06	0	4	4,0	6	0	6,0	5	0	5,0	0	6	6,0	0	0	0	0,0	21	05-06
06-07	0	4	4,0	6	0	6,0	5	0	5,0	0	6	6,0	0	0	0	0,0	21	06-07
07-08	0	7	7,0	7	0	7,0	6	0	6,0	0	7	7,0	5	0	0	5,0	32	07-08
08-09	6,5	6,5	13,0	8,5	8,5	17,0	7,5	7,5	15,0	0	16	16,0	9	9	0	18,0	79	08-09
09-10	6,5	6,5	13,0	8,5	8,5	17,0	7,5	7,5	15,0	0	16	16,0	10,5	10,5	0	21,0	82	09-10
10-11	6,5	6,5	13,0	8,5	8,5	17,0	7,5	7,5	15,0	0	16	16,0	10,5	10,5	0	21,0	82	10-11
11-12	6,5	6,5	13,0	8,5	8,5	17,0	7,5	7,5	15,0	0	16	16,0	10,5	10,5	0	21,0	82	11-12
12-13	6,5	6,5	13,0	8,5	8,5	17,0	7,5	7,5	15,0	0	16	16,0	10,5	10,5	0	21,0	82	12-13
13-14	6,5	6,5	13,0	8,5	8,5	17,0	7,5	7,5	15,0	0	16	16,0	10,5	10,5	0	21,0	82	13-14
14-15	6,5	6,5	13,0	8,5	8,5	17,0	7,5	7,5	15,0	0	16	16,0	8	8	0	16,0	77	14-15
15-16	6,5	6,5	13,0	8,5	8,5	17,0	7,5	7,5	15,0	0	16	16,0	8	8	0	16,0	77	15-16
16-17	6,5	6,5	13,0	8,5	8,5	17,0	7,5	7,5	15,0	0	16	16,0	8	8	0	16,0	77	16-17
17-18	6,5	6,5	13,0	8,5	8,5	17,0	7,5	7,5	15,0	0	16	16,0	10,5	10,5	0	21,0	82	17-18
18-19	6,5	6,5	13,0	8,5	8,5	17,0	7,5	7,5	15,0	0	16	16,0	10,5	10,5	0	21,0	82	18-19
19-20	6,5	6,5	13,0	8,5	8,5	17,0	7,5	7,5	15,0	0	16	16,0	10,5	10,5	0	21,0	82	19-20
20-21	0	8	8,0	11	0	11,0	9	0	9,0	0	10	10,0	10,5	10,5	0	21,0	59	20-21
21-22	0	4	4,0	6	0	6,0	5	0	5,0	0	6	6,0	14	0	0	14,0	35	21-22
22-23	0	4	4,0	6	0	6,0	5	0	5,0	0	6	6,0	5	0	0	5,0	26	22-23
23-24	0	4	4,0	6	0	6,0	5	0	5,0	0	6	6,0	5	0	0	5,0	26	23-24
00-01	0	4	4,0	6	0	6,0	5	0	5,0	0	6	6,0	5	0	0	5,0	26	00-01
Yht.			211,0			282,0			245,0			269,0				289,0	1296,0	Yht.
Ka.			8,8			11,8			10,2			11,2				12,0	54,0	Ka.

Melon, Kolsin ja Harjavallan koneistokohtainen tuotantosuunnitelma

Tunnit	Melo			Kolsi				Harjavalta		
	G1	G2	YHT	G1	G2	G3	YHT	G1	G2	YHT
01-02	0	0	0,0	5	0	0	5,0	0	11	11,0
02-03	0	0	0,0	5	0	0	5,0	0	11	11,0
03-04	0	0	0,0	5	0	0	5,0	0	11	11,0
04-05	0	0	0,0	5	0	0	5,0	0	11	11,0
05-06	0	0	0,0	5	0	0	5,0	0	11	11,0
06-07	0	0	0,0	5	0	0	5,0	0	11	11,0
07-08	0	0	0,0	7	0	0	7,0	0	36	36,0
08-09	0	0	0,0	10	10	0	20,0	0	36	36,0
09-10	0	11	11,0	10	10	0	20,0	0	36	36,0
10-11	21	21	42,0	10	10	0	20,0	0	36	36,0
11-12	21	21	42,0	10	10	0	20,0	0	36	36,0
12-13	21	21	42,0	10	10	0	20,0	0	36	36,0
13-14	13	13	26,0	10	10	0	20,0	0	36	36,0
14-15	13	13	26,0	6	6	0	12,0	0	36	36,0
15-16	13	13	26,0	6	6	0	12,0	0	36	36,0
16-17	23	23	46,0	6	6	0	12,0	0	36	36,0
17-18	23	23	46,0	10	10	0	20,0	0	36	36,0
18-19	23	23	46,0	10	10	0	20,0	0	36	36,0
19-20	23	23	46,0	10	10	0	20,0	0	36	36,0
20-21	0	11	11,0	10	10	0	20,0	0	36	36,0
21-22	0	0	0,0	10	0	0	10,0	0	36	36,0
22-23	0	0	0,0	6	0	0	6,0	0	23	23,0
23-24	0	0	0,0	6	0	0	6,0	0	11	11,0
00-01	0	0	0,0	6	0	0	6,0	0	11	11,0
Yht.			410,0				301,0			651,0
Ka.			17,1				12,5			27,1

FORE-energianhallintajärjestelmään kehitetty seurantanäyttö käyttöreserveistä.

Käyttöreservit R-sähköllä

EMO / ABB Oy Käyttöreservit R-sähköllä 5.3.2011 21:25:25

Käyttöreservit PVOV

Pt-arvot ISH Pt ja Ph

Ph-arvot

KAP

	-1h	KUM	HET	0h	+1h	+2h	+3h	+4h	+5h
toteutunut	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
virallinen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
ero	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
R-sähkö	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>						