

SATAKUNNAN AMMATTIKORKEAKOULU



Tommi Poussu

VESIVOIMATUOTANNON OPTIMOINTI- OHJELMA

Tekniikan Porin yksikkö
Sähkötekniikan koulutusohjelma
2006

TIIVISTELMÄ

Vesivoimatuotannon optimointi- ohjelma

Tommi Poussu

SATAKUNNAN AMMATTIKORKEAKOULU

Tekniikan Porin yksikkö

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Sähkövoima- ja automaatiotekniikan suuntautumisvaihtoehto

Työn teettäjä PVO-Pool Oy

Työn valvoja Ari Lehtio

Marraskuu 2006

48 s.

UDK 621.221, 621.31, 621.311.21

Avainsanat: Vesivoimalat, Sähköenergia, Vesistöt

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää vesivoimalaitosten matemaattisesta mallinuksesta toimiva ja käyttäjäystävällinen ohjelma, jolla suunnitellaan PVO-Pool Oy:n käyttökeskuksesta ohjattavien vesivoimalaitosten tuotannot. Ohjelma sisältää simulointi- ominaisuuden, jolla simuloidaan vesivoimalaitosten yläaltaan pinnankorkeuksien muutosta.

Ohjelman perustana on vesivoimalaitoksen käytettävissä oleva vesimäärä. Juoksutetun veden määrästä riippuvat vesivoimalaitosten antamat tehot ja pinnankorkeudet. Juoksutuksen määrä optimoidaan tuntikohtaisen sähkön hintaennusteen mukaan. Kalleimmilla tunneilla juoksutetaan enemmän kuin halvimmilla tunneilla. Käyttäjällä on mahdollisuus muokata laskennallista suunnitelmaa omien kokemusten ja näkemysten mukaan.

Ohjelman tavoitteena oli saavuttaa pienellä suunnittelun tarkennuksella vuositasolla merkittävä tuoton lisäys. Ohjelman tekemisessä pyrin ottamaan huomioon käyttäjän näkökulman ja tekemään siitä mahdollisimman helppokäyttöisen käyttäjilleen.

ABSTRACT

Optimization of hydropower production software

Tommi Poussu

SATAKUNTA POLYTECHNIC

Unit of Technology in Pori

Degree Programme in Electrical Engineering

Option of Electrical Power Technology and Automation

Commissioned by PVO-Pool Oy

Supervised by Ari Lehtio

November 2006

48 p.

UDC 621.221, 621.31, 621.311.21

Keywords: Hydropower plant, Electrical energy, Water system

The purpose of this final year project was to develop workable and user-friendly software of mathematic modelling of hydropower plants. The software will be used for controlling the output of the hydropower plants operated from the PVO-Pool control room. The software includes a simulation feature. The change of the head-pond water level will be simulated by this software.

The basis of this software is the available amount of water of a hydropower plant. The amount of water run determines the power and the head-pond level. The amount of water run will be optimised using the forecasts of electricity prices. On high-priced hours more water will be run than on low-priced hours. The user has the possibility to edit the calculated plan using his own experience and opinion.

One aim for this software was to reach a significant increase of income annually through minor correction of planning. When making this software I tried to take into account the viewpoint of the user and to make it as user-friendly as possible.

ALKUSANAT

Haluan kiittää PVO-Pool Oy:tä saamastani mielenkiintoisesta ja haastavasta opin-
näytetyöstä sekä kaikkia PVO-Pool Oy:n työntekijöitä, jotka ovat auttaneet minua
tämän työn suorittamisessa. Erityiskiitos isälleni, ins. Olli-Pekka Poussulle, joka
ohjasi ja avusti työn tekemistä PVO-Pool Oy:n puolesta sekä DI Seppo Kattaiselle,
joka mahdollisti tämän työn kehittämällä vesivoimalaitosten matemaattisen mallin.
Suuri kiitos myös työn valvojalle Tkl Ari Lehtiolle työtä koskevista korjausehdotuk-
sista ja kommentteista.

Porissa 28.11.2006

Tommi Poussu

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
2	YRITYSESITTELY	9
2.1	Pohjolan Voima Oy	9
2.2	PVO-Pool Oy	10
2.3	Harjavallan käyttökeskus	10
3	SÄHKÖMARKKINAT	11
4	VESIVOIMA	13
4.1	Vesistöjen kuvaus	14
4.1.1	Kokemäenjoen vesistö	14
4.1.2	Ijoen vesistö	16
4.1.3	Kemijoen vesistö	17
4.1.4	Jumisko	18
4.1.5	Tengeliönjoki	19
4.2	Vesivoimalaitokset	19
4.2.1	Kokemäenjoki	19
4.2.2	Iijoki	21
4.2.3	Kemijoki	23
4.2.4	Jumisko	24
4.2.5	Tengeliönjoki	24
5	VESIVOIMATUOTANNON OPTIMOINTI	25
5.1	Juoksutus	26
5.2	Allaskorkeus	31
5.3	Putouskorkeus	33
5.4	Hyötysuhde	34
5.5	Teho	35
5.5.1	Omakäyttö	36
5.5.2	Ohijuoksutusenergia	37
5.6	Hierarkia	37
5.7	Simulointi	38
5.8	Kirjaussähköt	38
5.8.1	Isohaara	39
5.8.2	Kemijoki	39
5.8.3	Merikoski	39
5.9	Rakenne	40
5.9.1	Massasyöttö- välilehdet	41
5.9.2	NOPO- välilehti	42
5.9.3	Suunnittelu ja simulointi- välilehti	43
5.9.4	Tuntihistoria- välilehti	44
5.9.5	Laskenta- välilehti	45
6	OHJELMAN TESTAUS	45
7	KOULUTUS	46

8	YHTEENVETO	46
	LÄHDELUETTELO.....	47
	LIITTEET	

TERMILUETTELO

kirjaussähkö	Sähköenergia, jonka kirjaaja kirjaa tuntiakohtaisesti sopimuksen mukaan ja laitoksen ohjaaja ajaa voimalaitosta omiin tarpeisiinsa.
Nord Pool	Pohjoismainen sähköpörssi
Elspot- markkinat	Pohjoismaiset sähkömarkkinat, joilla käydään suljettua huutokauppaa seuraavan vuorokauden jokaisen tunnin aikana toimitettavasta sähköstä. Markkinat sulkeutuvat 12 tuntia ennen vuorokaudenvaihdetta Ruotsin aikaa.
Elbas- markkinat	Elspotin jälkimarkkinat, jossa avoin kaupankäynti vuorokauden jokaiselle tunnille on jatkuva-aikaista. Viimeinen kaupantekoaika on tunti ennen toimitusta. Elbas- kauppaa käyvät Suomi, Ruotsi ja Tanska
sähkötase	Sähkön hankinnan ja toimituksen ero
tulovesi	Vesivoimalaitokselle virtaama vesi
välivesi	Kahden vesivoimalaitoksen väliltä jokeen valunut vesi
ylävesi, yläallas	Vesivoimalaitoksen yläpuolisen veden pinnankorkeus
alavesi	Vesivoimalaitoksen alapuolisen veden pinnankorkeus

1 JOHDANTO

Pohjolan Voima Oy (PVO) on yksityinen energia-alan konserni, jonka tehtävänä on tuottaa ja hankkia sähköä ja lämpöä osakkailleen luotettavasti sekä edullisesti. PVO-Pool Oy (PVP) on Pohjolan Voima Oy:n täysin omistama tytäryhtiö, joka vastaa mm. Pohjolan Voima Oy:n sähkön hankintaan ja toimitukseen liittyvästä sähkökaupasta. Tämä opinnäytetyö on toteutettu PVO-Pool Oy:lle.

PVO-Pool Oy:n käyttökeskuksesta ohjataan Kokemäenjoen, Iijoen sekä Jumiskon ja Portimokosken voimalaitoksia ja suunnitellaan niiden vuorokautiset tuotannot. Isohaaran vesivoimalaitoksen tuotanto ohjataan PVP:n käyttökeskuksesta, mutta se suunnitellaan muualla. Harjavallan käyttökeskuksessa tilataan Isohaaran kirjaussähkö kuten myös Nordic Energy Oy:n (NE) ja Oulun Energian (OE) Kemijoki osuudet sekä Oulun Energian Merikosken vesivoimalaitoksen kirjaussähkö.

Työn tarkoituksena on ollut kehittää vesistöjen matemaattisesta mallinnuksesta toimiva ja käyttäjäystävällinen ohjelma, jolla suunnitellaan ohjattavien vesivoimalaitosten seuraavan päivän tuotanto. Lisäksi sillä simuloidaan mahdollisten vuorokausiohjelmasta poikkeavien säätöjen vaikutusta vesistön seuraavan järven tai voimalaitoksen altaan pinnankorkeuteen sekä ennalta arvaamattomien tapahtumien vaikutusta pintojen korkeuteen.

Edellinen, pelkästään suunnitteluun tarkoitettu, ohjelma on ollut käytössä vuodesta 2002. Uuden ohjelman tarkoituksena on tarkentaa sekä helpottaa suunnittelijan jokapäiväistä työtä sekä painottaa tuotantoa hintaennusteen mukaisille kalliimmille tunneille vähentäen tuotantoa ennusteen mukaisilta edullisemmilta tunneilta, saaden näin aikaan tuottavin suunnitelma. Pienellä suunnitelman tarkennuksella saadaan vuositasolla merkittävä tuoton lisäys.

Suunnitelman perustana on käytettävän veden määrä. Siitä kuinka paljon vettä juoksetetaan, riippuvat vesivoimalaitosten antamat tehot sekä pinnankorkeudet. Suunnittelijaa tämä ohjelma ei korvaa, vaan suunnittelijalle jää suunnitelman

hienosäätö omien kokemustensa ja näkemystensä perusteella, sekä ennalta suunniteltujen vesivoimaloiden huolto- ja kunnossapitotöiden huomioon ottaminen.

2 YRITYSESITTELY

2.1 Pohjolan Voima Oy

Pohjolan Voima Oy perustettiin vuonna 1943 metsäteollisuus yritysten toimesta. Toimintansa se aloitti rakentamalla vesivoimalaitoksia. Alun perin Pohjolan Voima Oy perustettiin juuri vesivoimayhtiöksi. Tuotantorakennettaan ja -kykyään se kasvatti rakentamalla lämpövoimaa 1970-luvulta lähtien sekä yksin että yhteistyökumppaneiden kanssa. Nykyään se tuottaa energiaa monella eri energialähteellä. Ensin PVO rakensi öljyvoimaloita. Niitä seurasivat hiili-, uraani- ja kaasuvoimalat. Viimeisinä energialähteinä on otettu käyttöön uusiutuvat energialähteet kuten turve ja biopolttoaineet sekä tuulivoima. /1/

Pohjolan Voima Oy on viime vuosina suunnannut toimintaansa kansainvälisen ilmastopolitiikan ja kestävä kehityksen viitoittamalle tielle. Se panostaa ja investoi jatkuvasti uusiutuviin energialähteisiin sekä vesivoimatuotannon parantamiseen. /2/

Pohjolan Voima Oy on yksityinen energia-alan konserni. Sen tehtävänä on tuottaa ja hankkia sähköä ja lämpöä osakkailleen Suomessa luotettavasti ja edullisesti. PVO:n yhteenlaskettu tuotantokapasiteetti on noin 3300 MW. Vuonna 2005 Pohjolan Voima Oy:n sähkön hankinta oli noin 18 TWh. Vesivoiman osuus sähkön hankinnasta oli noin 10 prosenttia, ydinvoiman lähes puolet ja muun lämpövoiman noin viidennes. Sähkön oston osuus hankinnasta oli noin neljännes. Tuulivoiman osuus sähkön vuotuisesta tuotannosta on kasvussa. /2/

Ydinvoimalla tyydytetään ennen kaikkea teollisuuden keskeytymätöntä energian perustarvetta. Muun lämpövoiman tuotannossa energialähteenä käytetään puuta, hiiltä, maakaasua, turvetta ja biopolttoainetta sekä hieman öljyä. Sähköä ja lämpöä

tuottavien laitosten kokonaishyötysuhde on korkea, jonka vuoksi niitä käytetään paljon ja niillä on lämmöntoimitussopimuksia. Vesivoiman keskeinen tehtävä on kuormituksen nopeiden vaihtelujen vaatima tuotantotehon säätö sekä kaupalliset lyhytaikaiset säädöt. Öljyä käytetään vara- ja huippuvoimalaitosten polttoaineena.

Pohjolan Voima Oy:n vesivoimaa tuotetaan Kokemäenjoella, Iijoella, Kemijoella ja Tengeliönjoella sijaitsevilla vesivoimalaitoksissa. Niiden yhteenlaskettu tuotantokapasiteetti on noin 400 MW. Ydinvoimaosuutensa PVO saa Olkiluodon kahdesta voimalaitoksesta. Vuosikymmenen vaihteessa Olkiluotoon valmistuva kolmas laitos lisää ydinvoiman osuutta PVO:n sähkön hankinnassa. Muut lämpövoimalaitokset sijaitsevat länsirannikolla sekä maamme koillisosassa. Perämeren rannikolla sijaitsevat Pohjolan Voima Oy:n tuulivoimalat. /2, 3/

2.2 PVO-Pool Oy

PVO-Pool Oy vastaa Pohjolan Voima Oy:n ja sen osakkaiden omistamien tuotantolaitosten käytön suunnittelusta sekä ohjauksesta, sähkön hankinnasta ja toimitukseen liittyvästä kaupasta. PVP hoitaa PVO:n sähkötoimitukseen liittyvän säätö- ja tasesähkökaupan ja toimii sähkömarkkinalain edellyttämänä tasevastaavaosapuolena Pohjolan Voima Oy:n asiakkaille. PVP välittää lisäksi PVO:n sähkönhankinnan optimointiin liittyvät kahdenkeskeiset sähkökaupat sekä Nord Poolin kanssa käytävät Elspot- ja Elbas-kaupat.

2.3 Harjavallan käyttökeskus

Harjavallan käyttökeskuksesta hoidetaan PVO-Pool Oy:n sähkötaseen ajo, lämpövoimalaitosten tuotannon säädättäminen, Kokemäenjoen, Ijoen, Isohaaran, Jumiskon sekä Portimokosken vesivoimalaitosten tuotannon suunnittelu, säätäminen ja reaaliaikainen valvonta sekä Isohaaran, NE:n ja OE:n Kemijoki osuuskien ja OE:n Merikosken vesivoimalaitoksen kirjaussähköjen tilaus. Jokien ja vesivoimalaitosten valvontaan kuuluu laitosaltaiden ja säännöstelyjärvien vedenpintojen seuranta sekä vesiviranomaisten antamien lupaehtojen mukaisten juoksutusten sekä säännöstelymääräysten toteutus.

PVP:n sähkötasetta ajetaan reaaliaikaisesti Harjavallan käyttökeskuksesta. Sähkötaseen hoito vaatii jatkuvaa PVO:n voimalaitosten tuotannon ohjausta, kaupankäyntiä Elbas-sähköpörssissä sekä tilapäiskauppaa eri markkinaosapuolten kanssa.

Käyttökeskuksessa on jatkuva kolmivuorotyö, joka hoitaa PVO-Pool Oy:n sähkötaseen ajon ja ilta- ja yöaikaan vesivoimalaitosten tuotannon ohjauksen sekä vesipintojen valvonnan. Vuoden jokaisena päivänä on aamuvuorossa toinen henkilö, jonka tehtävänä on vesivoimalaitosten tuotannon ohjaus sekä vesivoimalaitosten tuotannon suunnittelu seuraavalle päivälle. Viikonloppuina ja arkipyhäpäivinä tehtäviin kuuluu lisäksi koko Pohjolan Voima Oy konsernin koko tuotannon hankinnan suunnittelu ja optimointi.

3 SÄHKÖMARKKINAT

Suomi, Ruotsi, Norja ja Tanska muodostavat pohjoismaisen sähkömarkkina-alueen. Vuonna 1963 perustettiin maiden kantaverkkoja hoitaneiden yhtiöiden yhteistyöorganisaatio Nordel. Nämä Pohjoismaat käyvät kauppaa sähköllä yhteisessä pohjoismaisessa sähköpörssissä, Nord Poolissa, joka perustettiin vuonna 1993. Suomi liittyi Nord Pooliin vuonna 1998. /4/

Nord Poolissa käydään fyysisten sähköntoimitusten tuntitason kauppaa spotmarkkinoilla sekä johdannaiskauppaa hintariskien hallitsemiseksi. Vapaan kilpailun ja yhteisen markkina-alueen tarkoituksena on tehostaa markkinoiden toimintaa. Maat kuluttivat sähköä yhteensä noin 395 TWh vuonna 2005, josta Suomen osuus 85 TWh. Noin puolet koko tuotannosta on vesivoimaa, neljännes ydinvoimaa, viidennes muuta lämpövoimaa ja pieni osa tuulivoimaa. /3, 4/

Maiden sähkötuotannon rakenteet ovat hyvin erilaiset, jonka ansiosta yhteisellä sähkömarkkina-alueella voidaan sähköä tuottaa aina edullisimmalla mahdollisella tavalla tilanteen mukaan. Vuotuinen vesivoimalla tuotetun sähkön määrä vaihtelee hyvin paljon sääolojen mukaan. Vuosi 2005 oli vesivoiman kannalta keskimääräinen.

Vesivoimalla sähköä tuotettiin noin 222 TWh, joka vastaa noin 55 prosenttia Pohjoismaiden sähköntuotannosta. /3, 4/

Suomen sähkön kulutus katetaan omalla tuotannolla sekä sähkön tuonnilla. Suomessa sähköä tuotettiin vuonna 2005 noin 68 TWh. Tuonnin osuus sähkön hankinnasta oli noin 20 prosenttia. Suomen sähköntuotannosta vesivoiman osuus kyseisenä vuonna oli noin 20 prosenttia. /3, 4/

Sähkön hinnan vuosittaiset vaihtelut aiheutuvat vesivoimalaitosten vesialtaiden käyttöasteen ja vesivoimalla tuotetun sähkön määrän vaihteluista. Hyvinä vesivuosi-
na tuotetaan sähköä paljon Norjan ja Ruotsin vesivoimaloissa. Suomessa tuotetun sähkön vesivoiman osuus vaihtelee samalla tavalla, mutta määrät eivät ole yhtä merkittäviä. Vähävetisinä vuosina kasvaa Suomen, Ruotsin ja Tanskan lauhdevoimatuotanto. Mahdollisuus vaihdella eri tuotantomuotojen osuuksia laajemmassa verkossa tuottaa suuria säästöjä verrattuna tilanteeseen, jossa kukin maa huolehtisi yksin tuotannostaan. Sähköverkossa tuotanto ja kulutus ovat hetkellisesti aina tasapainossa. Jos kulutus äkillisesti kasvaa tai tuotanto pienenee esimerkiksi suuren voimalaitoksen vikaantuessa, pitää vastaava teho tuottaa jossain. Yhdistetyssä verkossa tarvitaan varasähkökapasiteettia suhteessa vähemmän kuin erillisissä maakohtaisissa verkoissa tarvittaisiin. /4/

Elsport-markkinoilla käydään kauppaa seuraavan vuorokauden tunneittaisista sähköntoimituksista. Tämä tarkoittaa, että kaupankäynnin kohteena ovat 24 eri tunnin sähköntoimitukset yhtä aikaa. Kerran vuorokaudessa markkinaosapuolet jättävät tarjoukset seuraavan vuorokauden tunneittaisista myynti- ja ostohinnoista sekä määristä. Kunkin tunnin kaikki osto- ja myyntitarjoukset yhdistetään ostajien ja myyjien käyriksi. Ns. systeemihinnan sekä energiamäärän määrää näiden käyrien leikkauspiste. Siirtorajoituksista johtuen syntyvät alueita, joiden hinta poikkeaa systeemihinnasta. Seuraavan vuorokauden sähköntoimituksia koskevat spot-markkinat suljetaan keskipäivällä Ruotsin ja Norjan aikaa. Tästä hetkestä varsinaisiin sähköntoimituksiin on aikaa 12–36 tuntia. /4/

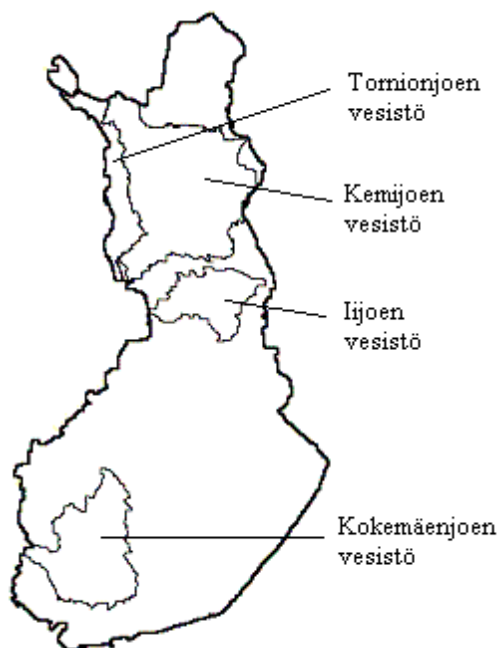
Markkinoiden sulkemisen jälkeen sähkön tarve saattaa muuttua tai sähkön tuotannolle voi aiheutua häiriötä esimerkiksi suuren voimalaitoksen vikaantuessa. Elbas-

markkinat on kehitetty täydentämään Elspot-markkinoita. Elbas-markkinoilla voidaan käydä kauppaa fyysisistä sähköntoimituksista vielä tuntia ennen varsinaista toimitustuntia. Elbas-markkinoilla kaupat syntyvät heti, kun osto- ja myyntitarjoukset kohtaavat. /4/

Sähköntarvetta ei koskaan voida tarkoin ennakoida. Tästä syystä eri maiden järjestelmävastaavat, Suomessa Fingrid Oy (FG), joutuvat toteuttamaan tuotannon ja kuorman tasapainottavia kauppoja. Nämä kaupat toteutetaan säätösähkömarkkinoilla, joilla osapuolina ovat järjestelmävastaava ja säädettävissä olevan voimalaitoksen tai kuorman haltija. Tuottajat ja kuluttajat, jotka osallistuvat säätöön, valitaan tuntikohtaisten tarjousten perusteella. Säädetyin kapasiteetin käytöstä ne saavat korvauksen. Kallein FG:n säätösähkön ostohinta määrittää FG:n toimittaman tasesähkön hinnan ja halvin FG:n säätösähkön myyntihinta määrittää FG:n ostaman tasesähkön hinnan. /4/

4 VESIVOIMA

PVO-Pool Oy:n Harjavallan käyttökeskuksessa ohjattavat vesivoimalaitokset sijaitsevat Länsi-Suomessa, Pohjois-Pohjanmaalla sekä Lapin läänin alueella. Länsi-Suomessa sijaitsee Kokemäenjoen vesistö. Sen alueella Pyhäjärven alapuolisella osalla Harjavallan käyttökeskuksen hallinnassa on viisi vesivoimalaitosta. Iijoki halkaisee Pohjois-Pohjanmaan, jonka alaosassa sijaitsee viisi vesivoimalaitosta. Vähän pohjoisempana Kemijoen suulla sijaitsee Isohaaran vesivoimalaitos. Kemijärven laskee puolestaan vetensä tunnelivoimalaitos Jumisko. Tornionjokeen laskevalla Tengeliönjoella sijaitsee Portimokosken, Kaaranneskosken ja Jolmankosken vesivoimalaitokset. Kuvassa 1 on esitetty vesistöt, joissa sijaitsee Harjavallan käyttökeskuksen ohjauksessa olevia vesivoimalaitoksia.



Kuva 1. Vesistöt, joissa sijaitsee Harjavallan käyttökeskuksen ohjauksessa olevia vesivoimalaitoksia /5/

4.1 Vesistöjen kuvaus

4.1.1 Kokemäenjoen vesistö

Kokemäenjoen vesistö on valuma-alaltaan Suomen neljänneksi suurin vesistö. Sen valuma-alueen pinta-ala on noin 27 000 km². Kokemäenjoen jokiosuuden pituus on noin 120 km. Joen keskivirtaama Harjavallassa on noin 240 m³/s. Kokemäenjoen vesistö ulottuu pohjoisessa Ähtäriin ja etelässä Hämeenlinnan eteläpuolelle. Pohjoisessa ja luoteessa se rajoittuu Etelä-Pohjanmaan pieniin jokivesistöihin, idässä Kymijoen vesistöön ja etelässä ja lounaassa Länsi-Uudenmaan ja lounaisrannikon pieniin jokivesistöihin. Kuvassa 2 on esitetty Kokemäenjoen valuma-alue, suurimmat järvet sekä vesivoimalaitokset. /5/

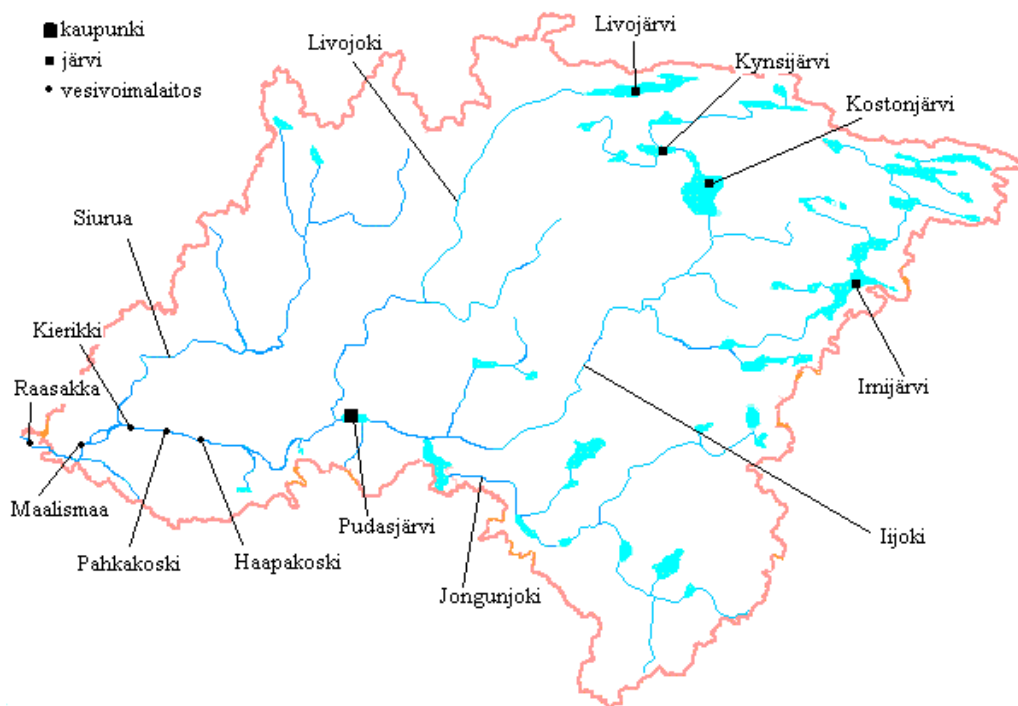


Kuva 2. Kokemäenjoen vesistön valuma-alue, suurimmat järvet sekä vesivoimalaitokset /5/

Vesistön rungon muodostavat etelästä ja pohjoisesta Pyhäjärveen laskevat vesireitit, Iso-Kuloveden alue, johon kuuluvat Lieko-, Rauta- ja Kulovesi, sekä Selkämereen Porin kohdalta laskeva jokiosuus. Kokemäenjoen vesistössä on kolme suurempaa säännösteltyä järveä. Ne ovat Näsijärvi, Pyhäjärvi ja Vanajavesi. Pohjoisesta Pyhäjärveen laskevan vesireitin suurin järvi on Näsijärvi. Näsijärveen laskevat Ruoveden kautta Ähtärin- ja Keuruun reitit. Etelästä Pyhäjärveen laskevan reitin suurin järvi on Vanavesi. Längelmäveden ja Hauhon reitit laskevat Vanajaveteen. Pyhäjärven suulta, Melon vesivoimalaitokselta alkaa Iso-Kuloveden alue, joka loppuu Iso-Kuloveden alaosassa olevaan Tyrvään vesivoimalaitokseen, josta taas varsinainen jokiosuus alkaa. Iso-Kuloveden alueeseen laskee pohjoisesta Ikaalisten reitti, jonka suurin järvi on Kyrösjärvi. Välillä Iso-Kulovesi – Selkämeri jokeen valuu paljon vettä maastosta ja muutamasta joesta. Suurin näistä joista on vesimäärältään nopeasti vaihteleva Loimijoki, joka yhtyy Kokemäenjokeen hieman Kolsin vesivoimalaitoksen yläpuolelle etelästä. /5/

4.1.2 Ijoen vesistö

Pohjois-Pohjanmaan halki kulkee Iijoki, jolla on pituutta 310 km. Joen keskivirtaama on noin $130 \text{ m}^3/\text{s}$ alimman laitoksen kohdalla. Kuvassa 3 on esitetty Ijoen valuma-alue, suurimmat järvet sekä voimalaitokset.

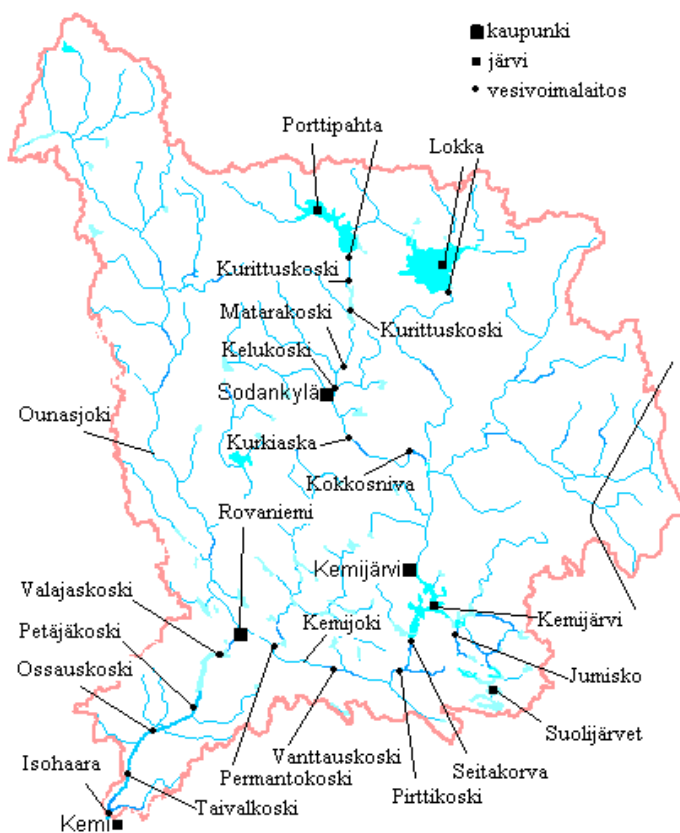


Kuva 3. Ijoen valuma-alue, suurimmat järvet sekä vesivoimalaitokset /5/

Joen latvoilla, lähellä Venäjän rajaa, on kaksi säännösteltyä järveä Irnijärvi ja Kostonjärvi. Sieltä se virtaa Taivalkosken ja Pudasjärven kautta Iihin, josta se laskee Raasakan vesivoimalaitoksen jälkeen Perämereen. Ijoen merkittävimmät sivujoet ovat Siuruanjoki, Jongunjoki sekä Livojoki. Siuruanjoen valuma-alueella ei ole suuria järviä, joten se reagoi hyvin voimakkaasti sulaneeseen lumeen tai sataneeseen veteen. Ijoen ominaispiirteisiin kuuluvat myös suuret kevättulvat, koska joen valuma-alue on laaja ja runsasluminen. Lähellä itärajaa sijaitsevat Irni- ja Kostonjärvi ovat vesistön ainoat suuret järvet. Tämä puolestaan lisää tulvaherkkyyttä entisestään, koska säännösteltyjen järvien alapuolella olevat sulamis- ja sadevedet laskevat suoraan jokeen eivätkä varastoidu järvien altaisiin. /5/

4.1.3 Kemijoen vesistö

Kemijoen valuma-alue on maamme toiseksi suurin. Sen pinta-ala on noin 51 000 km², joka on yli puolet Lapin läänin pinta-alasta. Joen keskivirtaama joen alimmalla vesivoimalaitoksella on noin 570 m³/s. Pohjoisessa Kemijoen valuma-alue rajoittuu Paatsjoen ja Tenojoen vesistöihin, idässä melko tarkasti itärajalles, etelässä Simojoen ja Koutajoen vesistöihin ja lännessä Tornionjoen vesistöön. Kuvassa 4 on esitetty Kemijoen valuma-alue, suurimmat järvet sekä voimalaitokset. /5/



Kuva 4. Kemijoen valuma-alue, suurimmat järvet sekä vesivoimalaitokset /5/

Kemijoki on Suomen pisin joki pituudeltaan 550 km, joka alkaa suurten tekojävien, Lokka ja Porttipahta, korkeudelta läheltä itärajaa. Porttipahdan tekojärvestä alkava Kitinen ja Lokan tekojärvestä alkunsa saava LUIRO yhtyvät Kemijokeen Kemijärven yläpuolella. Kemijärveen laskevat myös Jumiskon vesivoimalaitoksen kautta Suolijärvien sekä Isojärven valumavedet. Kemijärven suulla on Seitakorvan voimalaitos, josta vesi lähtee virtaamaan kohti Rovaniemeä. Rovaniemellä Kemijokeen yhtyy Ounasjoki, joka saa alkunsa Norjan rajan tuntumasta ja koskiensuojelulain nojalla

virtaa yhä vapaasti. Kemijoki laskee Perämereen Isohaaran vesivoimalaitoksen jälkeen Kemissä. /5, 6/

4.1.4 Jumisko

Jumiskon alue on hyvin pitkälle ihmisen muokkaama. Ennen ihmisen käden jälkeä, tämän alueen vedet virtasivat vapaasti Jumiskonjokea pitkin Kemijärveen. 1950-luvulla alueelle rakennettiin Jumiskon vesivoimalaitos, jonka vuoksi tehtiin mittavia maansiirtotöitä. Tällöin veden virtaussuuntaa muutettiin ja alueelle rakennettiin useampia patoja, kanavia ja tunneleita, jonka jälkeen vesi saatiin virtaamaan Jumiskon vesivoimalaitoksen kautta. Kuvassa 5 on esitetty Jumiskon alueen suurimmat järvet sekä voimalaitos ja pumppuasema. /5/



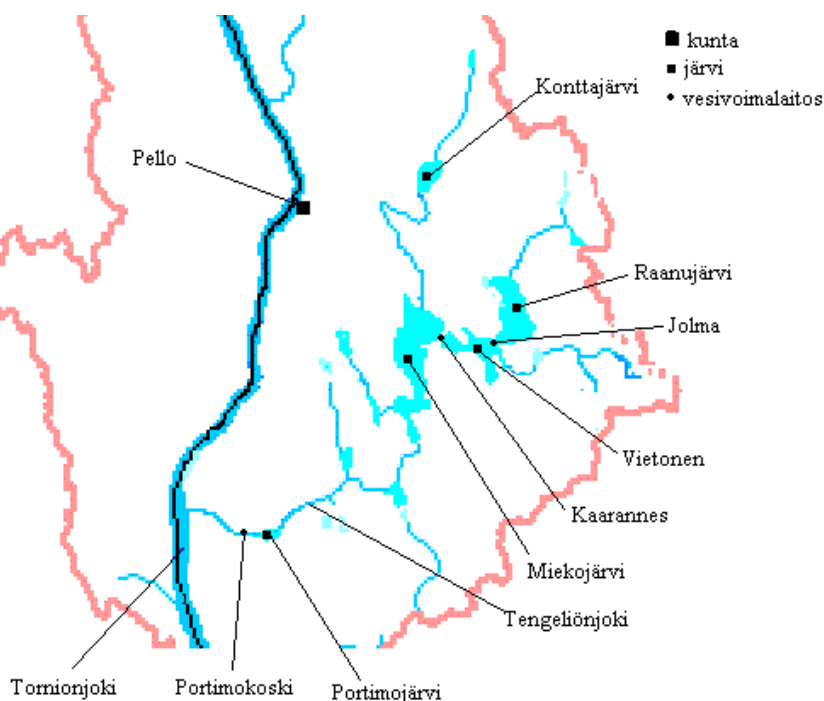
Kuva 5. Jumiskon alue, suurimmat järvet sekä vesivoimalaitokset /5/

Isojärven valumavedet ohjataan kanavaa pitkin pumppuasemalle. Pumppuasemalla on kolme pumppua, jotka pumppaavat vettä 23 metriä ylöspäin Ala-Suolijärveen. Kanavan varressa on Köykenön pato, josta tulvavesi voidaan ohjata vanhaan Jumiskonjokeen ja sitä kautta Kemijärveen. Jumiskonjoessa ei tätä nykyä vesi virtaa kuin hyvin harvoin. Ala-Suolijärveen laskee pumppauksen lisäksi padolla säännösteltävä Ylä-Suolijärvi. Ala-Suolijärvestä vesi virtaa kanavien, tunneleiden, Niemijärven, Vierusjärven, Irnijärven ja Askanjärven kautta Jumiskon vesivoimalaitokselle, josta

on 96 m putous Kemijärveen. Isojärvi sekä Suolijärvet ovat hyvin voimakkaassa säännöstelyssä. /5/

4.1.5 Tengeliönjoki

Tengeliönjoki alkaa Pellon Konttajärveltä ja Raanujärveltä, josta se virtaa Vietosen ja Miekojärven kautta Portimojärvelle. Portimojärven suulla on Portimokosken vesivoimalaitos, jonka jälkeen Tengeliönjoki laskee Aavasaksan kunnan kohdalla Tornionjokeen tuoden vettä lisää vapaana virtaavaan koskiseen jokeen. Kuvassa 6 on esitetty Tengeliönjoen alueen suurimmat järvet sekä voimalaitokset. /5/



Kuva 6. Tengeliönjoen valuma-alue, suurimmat järvet sekä vesivoimalaitokset /5/

4.2 Vesivoimalaitokset

4.2.1 Kokemäenjoki

Kokemäenjoessa on viisi vesivoimalaitosta, joiden tuotanto suunnitellaan ja joita ohjataan PVO-Pool Oy:n käyttökeskuksesta. Pyhäjärven suulla Nokialla on Melon vesivoimalaitos. PVO-Vesivoima Oy omistaa sen kokonaisuudessaan. Sitä on erityisen hyvä käyttää säättöön, koska se sijaitsee kahden järven, Pyhäjärven ja Iso-

Kuloveden, välissä. Melo valmistui vuonna 1971. Turbiinikoneistojen peruskorjaus suoritettiin vuosina 1998 ja -99, jolla saatiin 10 %:n tehon lisäys.

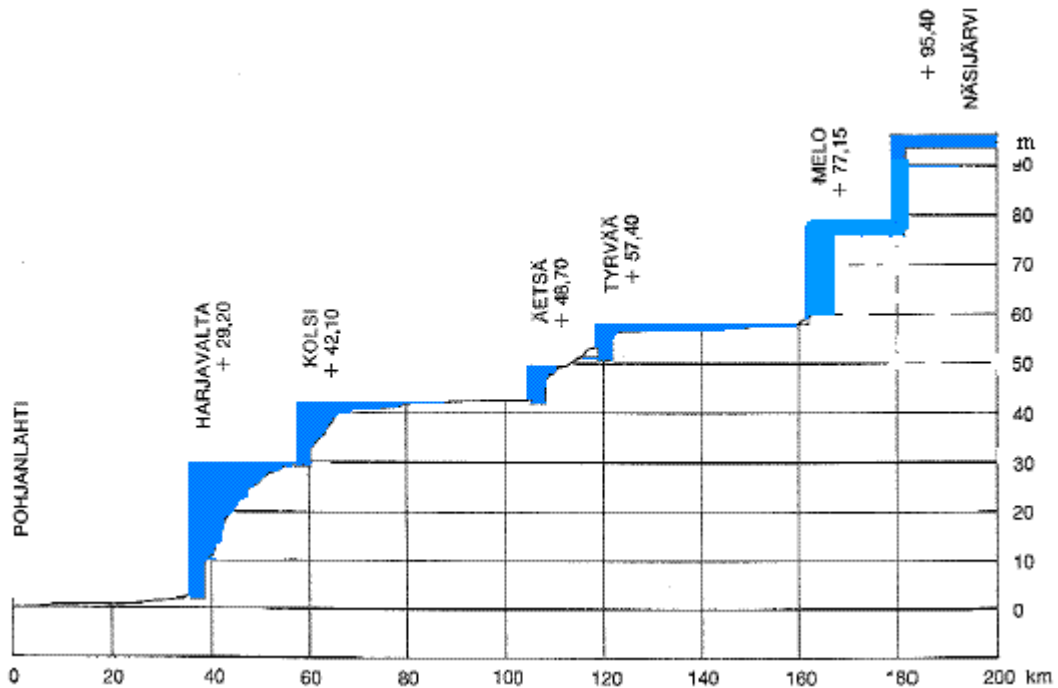
Iso-Kuloveden suulla sijaitsee Tyrvään voimalaitos, jossa on kaksi generaattoria. Laitoksen omistaa UPM-Kymmene Oyj. Vesivoimalaitos valmistui vuonna 1950. Koneistot ja sähkölaitteistot siihen uusittiin vuosina 2002-2003.

Äetsän voimalaitos sijaitsee pienen matkan päässä Tyrvään vesivoimalaitokselta alajuoksulle. Sen omistus on niin ikään UPM-Kymmene Oyj:llä. Äetsässä on kaksi vesivoimalaitosta. Niin sanotun vanhan puolen koneet, joita on seitsemän, rakennettiin 1920- ja 30-luvuilla, joista osa on edelleen tuotantokäytössä. Vuonna 1996 valmistui niin sanottu uuden puolen laitos, jossa on kaksi generaattoria. Tyrvään ja Äetsän vesivoimalaitoksia säädetään melko samaan tahtiin, koska niiden välissä ei ole erillistä allasta. Äetsän uuden puolen koneet säätävät tavallisesti automaattisesti, pintasäädöllä.

Äetsän alapuolella Kokemäenjokeen yhtyy Loimijoki, jonka jälkeen sijaitsee Kolsin vesivoimalaitos Kokemäellä. Kolsin omistaa Norjalainen Statkraft. Kolsin rakennvirtaama on koko joen suurin. Siellä on kolme generaattoria, jotka valmistuivat vuosina 1945, -49 ja -77.

Alimpana joessa sijaitsee vuonna 1939 valmistunut Harjavallan vesivoimalaitos kaksine generaattoreineen. Harjavallan vesivoimalaitoksella on Kokemäenjoen suurin putouskorkeus ja suurin teho.

Harjavallan voimalaitoksella on sovittu 50 m³/s minimi juoksutus vuorokauden jokaisena tuntina, jonka voi kuitenkin alittaa kuivana kautena. Tyrvään ja Äetsän voimalaitoksilla minimivelvoitejuoksutus vuorokauden jokaisena tuntina on 30 m³/s. Kuvassa 7 on esitetty Kokemäenjoen poikkileikkaus ja taulukossa 1 vesivoimalaitosten tärkeimpiä tietoja. /7, 8/



Kuva 8. Kokemäenjoen poikkileikkaus Näsijärvestä Pohjanlahteen/7/

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

Taulukko 1. Kokemäenjosten vesivoimalaitosten tärkeimpiä tietoja /7/

4.2.2 Iijoki

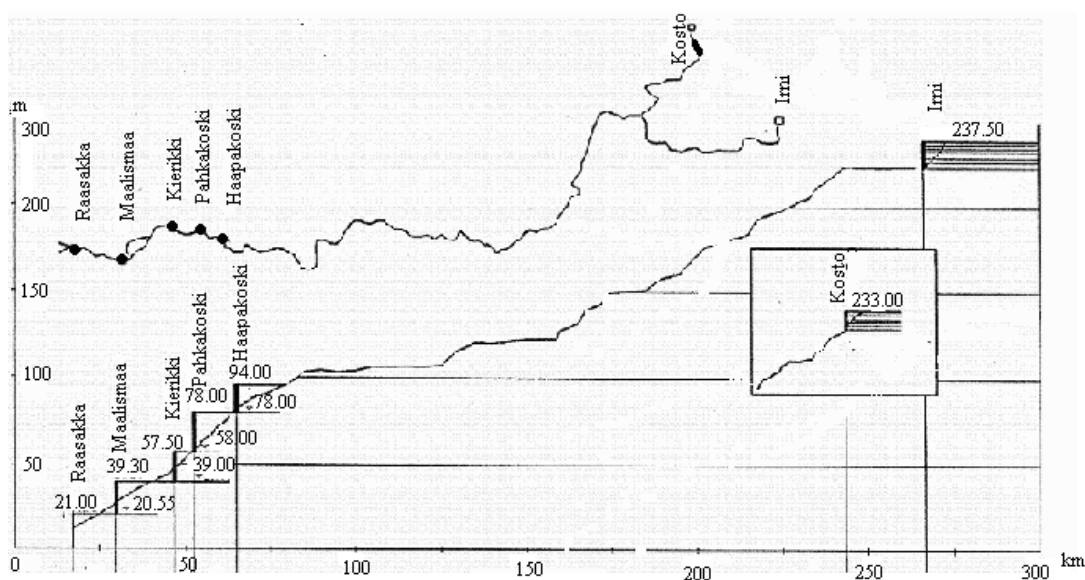
Iijokea säännöstellään kahdella säännöstelyjärvellä, Irni- ja Kostonjärvellä. Ne sijaitsevat pitkän matkan päässä joen ylimmältä vesivoimalaitokselta Haapakoskelta. Veden virtaus kestää säännöstelyjärviltä virtauksen voimakkuudesta riippuen noin viikon. Iijoessa on viisi vesivoimalaitosta, joiden tuotannot suunnitellaan ja ohjataan PVO-Pool Oy:n Harjavallan käyttökeskuksesta ja joiden omistus on PVO-Vesivoima Oy:llä.

1960-luvulla valmistui neljä ylintä laitosta, joissa jokaisessa on kaksi generaattoria. Ylimpänä sijaitsee Haapakosken vesivoimalaitos. Sitä seuraavat Pahkakosken, Kierikin ja Maalimaan vesivoimalaitokset. Alin vesivoimalaitos Raasakka, joka

sijaitsee lähellä merta, valmistui kahdella generaattorilla vuonna 1971. Kolmas kone valmistui vuonna 1997.

Kaikki vesivoimalaitokset ovat jokivoimalaitoksia. Niiden välissä ei ole erillisiä altaita vaan ainoastaan pieniä padottuja laitosaltaita. Tämän johdosta laitoksia ajetaan niin sanotusti putkeen eli ylimmän laitoksen juoksuttama vesi virtaa hetken kuluttua viimeisenkin laitoksen läpi.

Kierikin ja Maalismaan välille laskee Siuruanjoki, joka lisää omalta osaltaan Maalismaan ja Raasakan virtaamia. Kierikin ja Maalismaan voimalaitoksilla on $25 \text{ m}^3/\text{s}$ velvoitejuoksutus. Kuvassa 8 on esitetty Iijoen poikkileikkaus ja taulukossa 2 vesivoimalaitosten tärkeimpiä tietoja. /7/



Kuva 8. Iijoen poikkileikkaus /7/

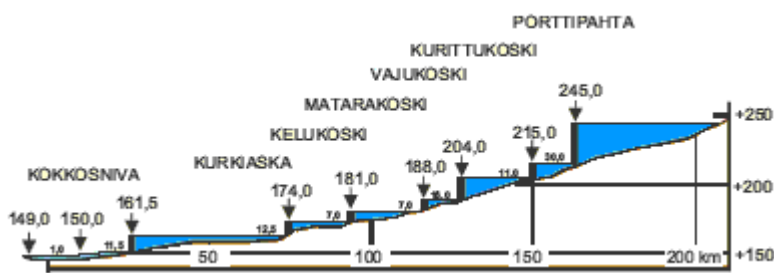
Voimalaitos	Putous-	Rakennus-	Koneistoja	Maksimi	Vuosi-
	korkeus	virtaama		teho	energia
	m	m^3/s	kpl	MW	GWh
Haapakoski	16	200	2	28	130
Pahkakoski	20,5	200	2	34	170
Kierikki	18,2	200	2	32	151
Maalismaa	18,3	200	2	33	173
Raasakka	21	275	3	58	225

Taulukko 2. Iijoen vesivoimalaitosten tärkeimpiä tietoja /7/

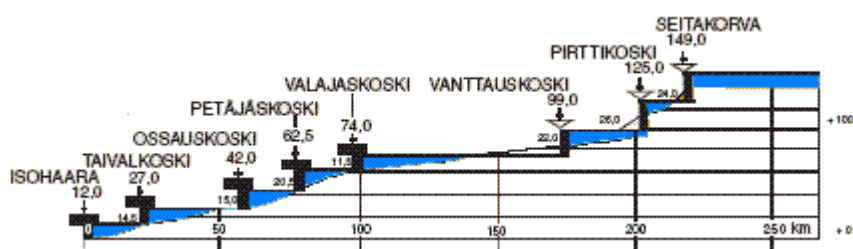
4.2.3 Kemijoki

Kemijoen valuma-alueella on yhteensä 18 vesivoimalaitosta. Niistä 16 omistaa Kemijoki Oy ja kaksi PVO-Vesivoima Oy. PVO-Vesivoima Oy:n omistamat ja Harjavallan käyttökeskuksen ohjaamat ja tuotannon suunnittelemaat vesivoimalaitokset ovat Jumisko ja Kemijoen alin voimalaitos Isohaara, jonka fyysisen tuotannon suunnittelee Kemijoki Oy.

Isohaara on ensimmäinen Kemijokeen rakennettu vesivoimalaitos. Sen kaksi ensimmäistä konetta valmistui vuonna 1949 ja kaksi uusinta vuonna 1993. Isohaara on PVO-Vesivoima Oy:n suuritehoisin vesivoimalaitos. Kuvissa 9 ja 10 on esitetty Kemijoen poikkileikkaus Kemijärven ylä- ja yläpuolelta ja taulukossa 3 Isohaaran vesivoimalaitoksen tärkeimpiä tietoja. /6, 7/



Kuva 9. Kemijoen poikkileikkaus Kemijärven yläpuolelta /9/



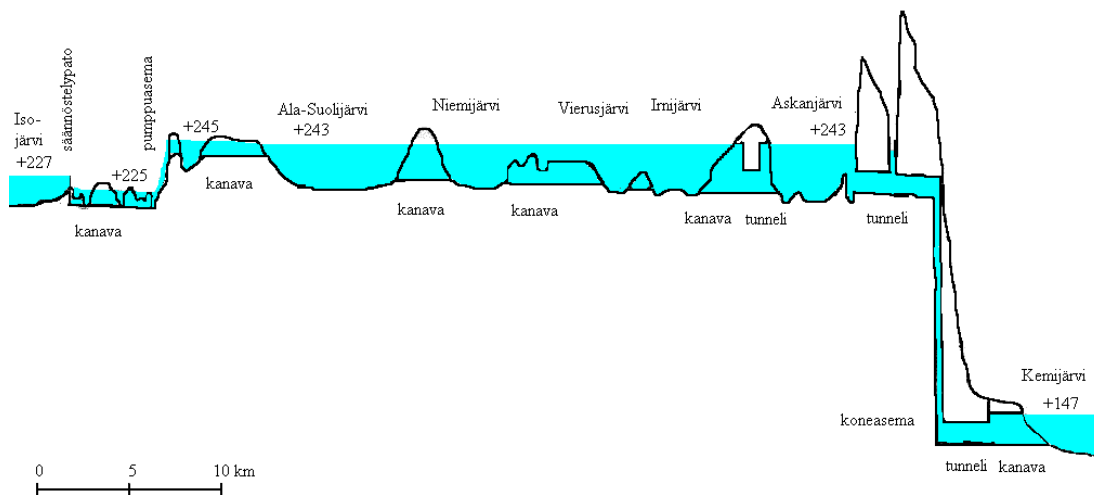
Kuva 10. Kemijoen poikkileikkaus Kemijärven alapuolelta /9/

Voimalaitos	Putouskorkeus	Rakennusvirtaama	Koneistoja	Maksimi teho	Vuosienergia
	m	m ³ /s	kpl	MW	GWh
Isohaara	12,2	1100	4	106	434

Taulukko 3. Isohaaran vesivoimalaitoksen tärkeimpiä tietoja /7/

4.2.4 Jumisko

Jumiskon tunnelivoimalaitos valmistui vuonna 1954 ja sen omistaa PVO-Vesivoima Oy. Sen putouskorkeus on ylivoimaisesti Suomen suurin, 96m. Vesivoimalaitoksen vesireitteihin sisältyy 12 km avokanavia ja 7,5 km tunnelia. Kuvassa 10 on esitetty Jumiskon alueen poikkileikkaus ja taulukossa 4 vesivoimalaitoksen tärkeimpiä tietoja. /7/



Kuva 10. Jumiskon alueen poikkileikkaus /7/

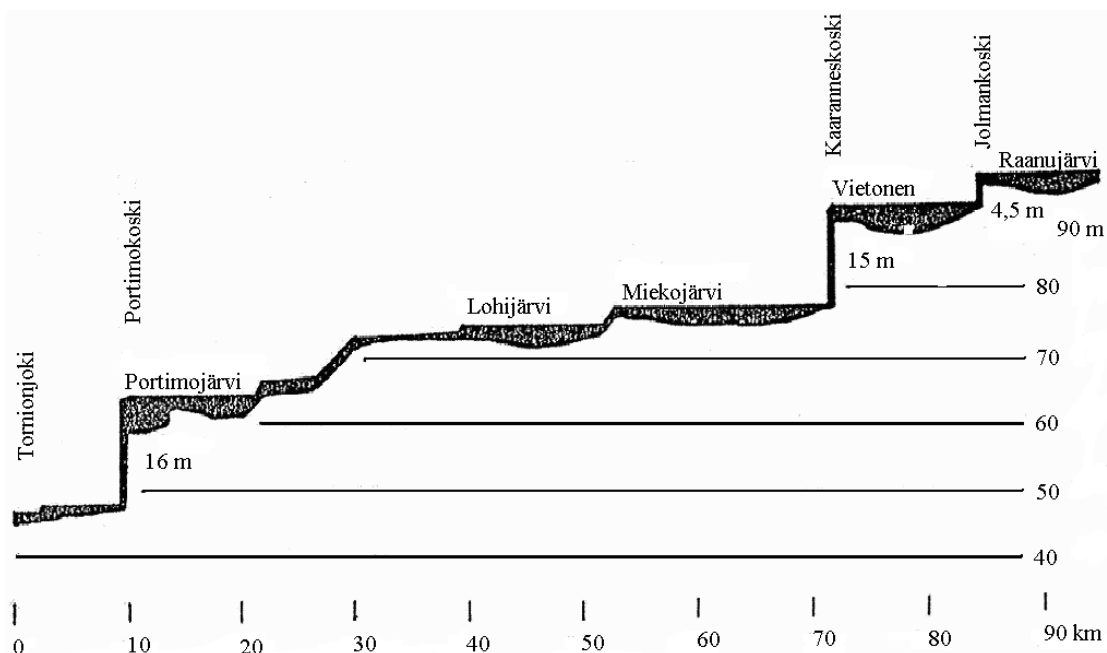
Voimalaitos	Putouskorkeus	Rakennusvirtaama	Koneistoja	Maksimi teho	Vuosienergia
	m	m ³ /s	kpl	MW	GWh
Jumisko	96	36	1	30	93

Taulukko 4. Jumiskon vesivoimalaitoksen tärkeimpiä tietoja /7/

4.2.5 Tengeliönjoki

Tengeliönjoen vesistössä sijaitsee kolme Tornionjoen Sähkön Oy:n omistamaa vesivoimalaitosta. Pohjolan Voima Oy osakkuus Tornionjoen Sähkö Oy:stä on 50 prosenttia. Tengeliönjoen vesistössä sijaitsevat Jolmankosken, Kaaranneskosken ja Portimokosken vesivoimalaitokset. Näistä Portimokosken vesivoimalaitoksen tuotannot suunnitellaan ja laitosta säädetään Harjavallan käyttökeskuksessa. Jolmankosken ja Kaaranneskosken voimalaitoksilla ei ole kaukokäyttö mahdollisuutta, jonka vuoksi niitä joudutaan ohjaamaan aina paikanpäältä. Ne ajavat yläpuolisten järvien pinnankorkeuden ja tulovirtaaman vaatiessa vuorokauden ympäri samaa

tehoa. Kuvassa 11 on esitetty Tengeliönjoen alueen poikkileikkaus ja taulukossa 5 vesivoimaloiden tärkeimpiä tietoja. /7/



Kuva 11. Tengeliönjoen poikkileikkaus /7/

Voimalaitos	Putous- korkeus	Rakennus- virtaama	Koneistoja	Maksimi teho	Vuosi- 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

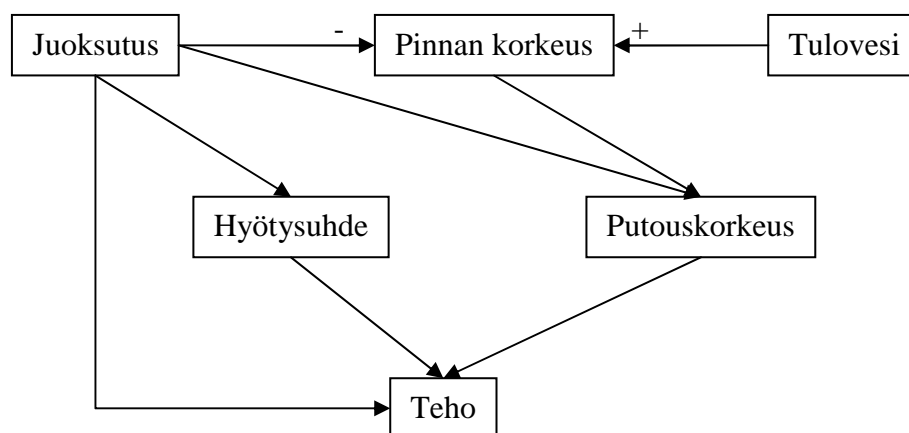
Taulukko 5. Tengeliönjoen vesivoimalaitosten tärkeimpiä tietoja /7/

5 VESIVOIMATUOTANNON OPTIMOINTI

Ohjelmaa lähdettiin kehittämään ajatuksesta, että saataisiin vesivoimatuotannon suunnittelua entistä tarkemmaksi ja tehokkaammaksi. Tämä tapahtuu ottamalla suunnittelussa huomioon vesimäärä, vesimäärästä riippuva hyötysuhde, pinnankorkeus, putouskorkeus sekä sähkön hintaennuste. Tätä ohjelmaa edeltävässä ohjelmassa otettiin huomioon ainoastaan vesimäärä ja hintaennuste. Näistä pienistä suunnitte-

lun tarkennuksista uskotaan tulevan vuositasolla merkittävä taloudellisen tuoton lisäys.

Suunnittelun perustana on vesivoimalaitoksella käytettävissä olevan veden määrä. Tämä koostuu vesivoimalaitoksen pinnan korkeudesta sekä tulovirtaamasta. Juoksutus on se määrä, joka virtaa vesivoimalaitoksen läpi. Juoksutuksen ja tulovirtaaman eroista riippuu laskeeko vai nouseeko vesivoimalaitoksen ylaveden pinnankorkeus. Juoksutuksen määrä määrää yksinään vesivoimalaitoksen hyötysuhteen. Putouskorkeuteen vaikuttaa juoksutus sekä altaan pinnan korkeus. Riippuen vesivoimalaitosten etäisyydestä toisiinsa myös alapuolisen vesivoimalaitoksen ylaveden pinnankorkeus vaikuttaa yläpuolisen vesivoimalaitoksen putouskorkeuteen. Vesivoimalaitoksen antaman tehon määrää juoksutus, hyötysuhde ja putouskorkeus. Kaaviossa 1 on esitetty ohjelman eri osa-alueiden vaikutus toisiinsa.



Kaavio 1. Ohjelman eri osa-alueiden vaikutus toisiinsa

Vesivoimalaitosten juoksutuksen, tehon, hyötysuhteen, putouskorkeuden ja altaan pinnankorkeuden matemaattisen mallinnuksen on toteuttanut DI Seppo Kattainen. Matemaattiset mallit ovat syötetty Excel-ohjelmaan. Mallit ovat perusrakenteeltaan pysyneet alkuperäisinä, mutta määrityksiä ja ehtoja lisättiin uuteen ohjelmaan, jotta laskennat pyörivät oikein millä tahansa lähtö- ja laskenta-arvolla.

5.1 Juoksutus

Juoksutus pohjautuu Kokemäenjoen vesivoimalaitoksilla juoksutuksen viikkosuunnitelmaan, jossa suunnitellaan juoksutukset viikon jokaiselle päivälle. Viikkosuunni-

telmasta saadaan juoksutuksen vuorokausikeskiarvo laitoksittain, joita tarkennetaan vesivoimatuotannon optimointi- ohjelmalla entisestään. Iijoen vesivoimalaitosten juoksutuksen määrää Haapakosken tulovesi sekä Siuruan virtaama. Portimokosken vesivoimalaitoksen juoksutuksen määrää niin ikään laitoksen tulovesi. Jumiskon juoksutus suunnitellaan yläpuolisten säännöstelyjärvien täyttöasteen mukaan. Haluttu juoksutus voi poiketa tulovirtaamasta silloin, kun altaan pinnankorkeutta halutaan laskea tai nostaa. Juoksuttamalla tulovirtaamaa enemmän pinnankorkeus laskee ja vastaavasti juoksuttamalla tulovirtaamaa vähemmän pinnankorkeus nousee.

Vuorokausijuoksutus optimoidaan sähkön tuntikohtaisen hintaennusteen mukaan. Jokaiselle vesivoimalaitokselle asetetaan minimijuoksutus, joka halutaan vähintään juoksuttaa jokaisella tunnilla. Maksimijuoksutus asetetaan myös jokaiselle laitokselle, jonka verran halutaan suurimmillaan juoksutuksen olevan. Tämä ei kuitenkaan ole sama kuin rakennusvirtaama vaan pienen veden aikaan paljonkin rakennusvirtaamaa pienempi. Halvimman tunnin juoksutus on aina sama kuin minijuoksutus.

Iteroimalla juoksutus hintaennusteen mukaisesti saadaan tuntikohtainen juoksutuksen lisäys minimijuoksutukseen. Ohjelma optimoi minimijuoksutuksen päälle tulevan juoksutuksen.

Hintaennusteesta lasketaan halvimman hinnan erotus vuorokauden jokaisesta tunnista:

$$H - H_{\min} \quad /10/$$

H ennustettu sähkönhinta tunneittain

H_{min} sähkön hintaennusteen minimihinta

Vuorokauden hintaerojen keskiarvo saadaan kaavasta:

$$\frac{\sum H - H_{\min}}{24} \quad /10/$$

Näistä saadaan hintaennusteen mukainen tuntikohtainen painokerroin ensimmäiselle iterointikierrökselle:

$$pk_0 = \frac{H - H_{\min}}{\sum H - H_{\min}} \quad /10/$$

$$24$$

pk_0 painokerroin ensimmäiselle iterointikierrökselle

Juoksutuksen suuruudelle on kaksi vaihtoehtoista kaavaa riippuen juoksutuksesta sekä maksimi- ja minimijuoksutuksesta.

Jos $pk_0 * [Q(j)_{vrk} - Q(j)_{\min}] < Q(j)_{\max} - Q(j)_{\min}$

niin $Q_0 = pk_0 * [Q(j)_{vrk} - Q(j)_{\min}]$

muuten $Q_0 = Q(j)_{\max} - Q(j)_{\min} \quad /10/$

$Q(j)_{vrk}$ vuorokauden keskijuoksutus

$Q(j)_{\min}$ haluttu vuorokauden minimijuoksutus

$Q(j)_{\max}$ haluttu vuorokauden maksimijuoksutus

Q_0 ensimmäisen iterointikierröksen juoksutus

Toisella iterointikierröksellä painokerroin lasketaan seuraavasti:

Jos $Q_0 \geq Q(j)_{\max} - Q(j)_{\min}$

niin $pk_1 = 0$

muuten $pk_1 = pk_0 \quad /10/$

pk_1 painokerroin toiselle iterointikierrökselle

Juoksutuksen muutos toisella iterointikierröksellä:

$$dQ_1 = \frac{pk_1 * [Q(j)_{vrk} - Q(j)_{\min} - Q_{0ka}]}{pk_{1ka}} \quad /10/$$

dQ_1	toisen iterointikierroksen lisäys ensimmäiseen iterointikierrokseen
Q_{0ka}	ensimmäisen iterointikierroksen juoksutuksen keskiarvo
pk_{1ka}	toisen iterointikierroksen painokertoimen keskiarvo

Juoksutus toisen laskentakierroksen jälkeen:

Jos	$Q_0 + dQ_1 < Q(j)_{\max} - Q(j)_{\min}$	
niin	$Q_1 = Q_0 + dQ_1$	
muuten	$Q_1 = Q(j)_{\max} - Q(j)_{\min}$	/10/

Q_1 toisen iterointikierroksen juoksutus

Iterointikierroksia on yhteensä neljä, jolloin saadaan riittävällä tarkkuudella vuorokauden vesimäärä juoksutettavaksi.

Kolmannen iterointikierroksen kaavat ovat seuraavat:

Jos	$Q_1 \geq Q(j)_{\max} - Q(j)_{\min}$	
niin	$pk_2 = 0$	
muuten	$pk_2 = pk_1$	
	$dQ_2 = \frac{pk_2 * [Q(j)_{vrk} - Q(j)_{\min} - Q_{1ka}]}{pk_{2ka}}$	
Jos	$Q_1 + dQ_2 < Q(j)_{\max} - Q(j)_{\min}$	
niin	$Q_2 = Q_1 + dQ_2$	
muuten	$Q_2 = Q(j)_{\max} - Q(j)_{\min}$	/10/

pk_2	painokerroin kolmannelle iterointikierrokselle
dQ_2	kolmannen iterointikierroksen lisäys toiseen iterointikierrokseen
Q_{1ka}	toisen iterointikierroksen juoksutuksen keskiarvo
pk_{2ka}	kolmannen iterointikierroksen painokertoimen keskiarvo
Q_2	kolmannen iterointikierroksen juoksutus

Neljäs laskentakierros:

Jos $Q_2 \geq Q(j)_{\max} - Q(j)_{\min}$

niin $pk_3 = 0$

muuten $pk_3 = pk_2$

$$dQ_3 = \frac{pk_3 * [Q(j)_{vrk} - Q(j)_{\min} - Q_{2ka}]}{pk_{3ka}}$$

Jos $Q_2 + dQ_3 < Q(j)_{\max} - Q(j)_{\min}$

niin $Q_3 = Q_2 + dQ_3$

muuten $Q_3 = Q(j)_{\max} - Q(j)_{\min} \quad /10/$

pk_3 painokerroin neljännelle iterointikierrokselle

dQ_3 neljännen iterointikierroksen lisäys kolmanteen iterointikierrokseen

Q_{2ka} kolmannen iterointikierroksen juoksutuksen keskiarvo

pk_{3ka} neljännen iterointikierroksen painokertoimen keskiarvo

Q_3 neljännen iterointikierroksen juoksutus

Lopullinen juoksutus saadaan lisäämällä neljännen laskentakierroksen tulokseen minimijuoksutus:

$$Q(j) = Q_3 + Q(j)_{\min} \quad /10/$$

$Q(j)$ tuntikohtainen juoksutus

Toisen, kolmannen ja neljännen iterointikierroksen juoksutuksen laskentaan jouduttiin lisäämään ehto, joka estää iteroidun juoksutuksen negatiiviset arvot. Ilman tätä lisäystä vähäisen veden aikaan $Q(j)$ olisi pienempi kuin $Q(j)_{\min}$.

Iterointikierrosten väliseen lisäykseen lisättiin ehto yli rakennevirtaaman olevaan virtaamaan. Yli rakennevirtaaman oleva virtaama aiheuttaa painokertoimien arvon nolla. Painokertoimen keskiarvoa tarvitaan iterointikierrosten välisen lisäyksen laskentaan jakajana, jolloin kyseistä laskua ei voida suorittaa ja lähes kaikki ohjel-

man laskut jäävät laskematta. Tämä ratkaistiin asettamalla dQ_x arvoksi nolla, jos $p_{k_{ka}}$ on nolla.

Ohjelman laskema juoksutuksen arvo voidaan korjata käyttäjän toimesta käyttäjän haluamaksi. Korjattua arvoa käytetään kaikissa ohjelman laskentakaavoissa.

Vesivoimalaitoksen rakennevirtaaman ylittävä juoksutus joudutaan ajamaan ohi tulvaluukuista. Tätä juoksutusta käytetään ohiajettavan tehon laskentaan.

Isohaaran iterointilaskennat ovat laskennoiltaan samanlaiset, mutta niissä lasketaan suoraan tehoa.

5.2 Allaskorkeus

Allaskorkeuslaskenta perustuu juoksutuksen ja tulovirtaaman erotukseen sekä vesivoimalaitosten yläaltaiden matemaattiseen mallinnukseen. Mallinnuksessa on käytetty yläaltaan käytettävissä olevan veden määrää. Käytettävissä oleva vesi on kaikki altaan alarajan yläpuolella oleva vesimäärä. Mallinnukset on toteutettu allastilavuus allaskorkeuden funktiona sekä allaskorkeus allastilavuuden funktiona. Pohjatiedot näiden funktioiden muodostamiselle on saatu kunkin vesivoimalaitoksen tiedoista.

Allastilavuus allaspinnan funktiona:

$$V(h) = a_0 + a_1 * h + a_2 * h^2 + \dots + a_n * h^n \quad /10/$$

h allaskorkeus [m]

a_x vesivoimalaitoksen altaasta riippuva kerroin

Allaspinta allastilavuuden funktiona:

$$h(V) = b_0 + b_1 * V + b_2 * V^2 + \dots + b_n * V^n \quad /10/$$

V allastilavuus [$10^6 * m^3$]

b_x vesivoimalaitoksen altaasta riippuva kerroin

Riittävä tarkkuus saadaan toisen asteen funktiolla. Joillakin laitoksilla riittää ensimmäisenkin asteen funktion tarkkuus.

Seuraavissa kaavoissa on esitetty Kolsin altaan korkeuden laskenta malli. Kolsissa riittävä tarkkuus saavutetaan toisen asteen funktioilla.

Derivoimalla saadaan:

$$\frac{dh}{dV} = 2 * b_2 * V(h) + b_1 \quad /10/$$

Altaan tilavuuden muutos kuutiometreinä sekunnissa saadaan:

$$dV = [Q(t) - Q(j)] * dt$$

$$dt = \frac{3600[s]}{1000000[m^3]} \quad /10/$$

$Q(t)$ tulovirtaama [m^3/s]

$Q(j)$ juoksutus [m^3/s]

Altaan korkeuden muutos:

$$dh = h_2 - h_1 = [2 * b_2 * V(h) + b_1] * dV \quad /10/$$

h_2 altaan korkeus ajan hetkellä +1 tunti

h_1 altaan korkeus ajan hetkellä 0

Altaan korkeus ajan hetkellä +1 tunti:

$$h_2 = h_1 + dh$$

$$h_2 = h_1 + \{2 * b_2 * (a_2 * h^2 + a_1 * h + a_0) + b_1 * [Q(t) - Q(j)] * \frac{3600}{1000000}\} /10/$$

Toisen asteen tarkkuuden vaativat Harjavallan, Kolsin sekä Haapakosken vesivoimalaitosten yläaltaan pinnankorkeuden laskennat. Muiden laitosten altaille riittävä tarkkuus saavutetaan ensimmäisellä asteella. Kaava on tällöin muotoa:

$$h_2 = h_1 + \{b_1 * [Q(t) - Q(j)] * \frac{3600}{1000000}\} /10/$$

5.3 Putouskorkeus

Putouskorkeuden laskentaan vaaditaan altaan pinnankorkeuden lisäksi juoksutus. Juoksutuksen kasvaessa voimalaitoksen alavesi nousee tiettyyn korkeuteen tietyllä juoksutuksella. Alaveden käyttäytyminen eri juoksutuksilla on saatu vesivoimalaitosten tiedoista.

Putouskorkeuden laskentaan on kaksi erilaista laskentamallia riippuen kahden perättäisen voimalaitoksen etäisyydestä toisiinsa. Lähellä olevien vesivoimalaitosten ylemmän laitoksen putouskorkeuteen vaikuttaa sen yläveden korkeus, juoksutus sekä alapuolisen laitoksen ylävesi. Pitkillä etäisyyksillä alapuolisen yläveden korkeus ei vaikuta yläpuolisen laitoksen alaveden korkeuteen koskista ja muista putouksista johtuen. Kolsin putouskorkeuden laskennassa ei tarvitse ottaa huomioon yläaltaan pintaakaan johtuen laitoksen alapuolisesta ympäristöstä.

Lähekkäin olevien laitosten putouskorkeus lasketaan kaavalla:

$$h_{put} = h_y - h_{ay} + [a_2 * Q(j)^2 + a_1 * Q(j) + a_0] /10/$$

Pitkillä etäisyyksillä kaavasta jätetään pois alapuolisen laitoksen ylävesi:

$$h_{put} = h_y - [a_2 * Q(j)^2 + a_1 * Q(j) + a_0] \quad /10/$$

Kolsin putouskorkeus lasketaan kaavalla:

$$h_{put} = a_2 * Q(j)^2 + a_1 * Q(j) + a_0 \quad /10/$$

h_{put}	putouskorkeus
h_y	yläveden korkeus
h_{ay}	alapuolisen laitoksen yläveden korkeus
$Q(j)$	juoksutus
a_x	laitoksesta riippuva kerroin

5.4 Hyötysuhde

Generaattorin hyötysuhdekäyrät eri juoksutuksilla ja generaattoreiden lukumäärällä antaa generaattorin toimittaja. Laskentoihin perustuvat hyötysuhdekäyrät on saatu eri voimalaitosten tiedoista. Hyötysuhdekäyrät ovat aina vesivoimalaitoksilla toisen asteen funktioita.

Hyötysuhteen mallintamiseen tarvittava ainoa suure on juoksutus. Putouskorkeus ei vaikuta hyötysuhteeseen.

Yhden koneen hyötysuhteen kaava:

$$\eta_1 = \frac{a_2 * Q(j)^2 + a_1 * Q(j) + a_0}{100} \quad /10/$$

η_x	hyötysuhde eri määrällä käymässä olevia koneita
$Q(j)$	juoksutus
a_x	laitoksesta riippuva kerroin
Q_{min}	koneen pienin mahdollinen juoksutus

Q_{\max} koneen suurin mahdollinen juoksutus

Ehtona η_1 :n toteutumiselle on, että $Q(j)$ on suurempi kuin Q_{\min} , mutta pienempi kuin Q_{\max} .

Vesimäärän ollessa kaksi kertaa laitoksen minimijuoksutuksen verran, voidaan ajaa kahdella koneella. Tällöin juoksutus jaetaan kahdella:

$$\eta_2 = \frac{a_2 * \frac{Q(j)^2}{2} + a_1 * \frac{Q(j)}{2} + a_0}{100} \quad /10/$$

Laitoksilla, joissa on kaksi generaattoria, $\frac{Q(j)}{2}$ täytyy olla suurempi kuin Q_{\min} , jotta kahden koneen hyötysuhde voidaan toteuttaa. Kolmen generaattorin laitoksilla $\frac{Q(j)}{2}$ täytyy olla pienempi kuin Q_{\max} , muuten kahden koneen läpäisemä virtaama ei riitä ja joudutaan käyttämään kolmea konetta.

Kun vesimäärä on kolme kertaa laitoksen minimijuoksutus, voidaan ajaa kolmella koneella. Tällöin juoksutus jaetaan kolmella. Kaava on silloin muotoa:

$$\eta_3 = \frac{a_2 * \frac{Q(j)^2}{3} + a_1 * \frac{Q(j)}{3} + a_0}{100} \quad /10/$$

Kolmen generaattorin laitoksilla $\frac{Q(j)}{3}$ täytyy olla suurempi kuin Q_{\min} , jotta η_3 toteutuu.

5.5 Teho

Tehon laskentakaava on laskennoista yksinkertaisin. Se on jokaisella vesivoimalaitoksella samanlainen. Lähtöarvot ainoastaan muuttuvat. Teho muodostuu juoksutuksen, parhaimman hyötysuhteen, putouskorkeuden ja putoamiskiihtyvyyden, joka

Suomessa on noin $9,81 \text{ m/s}^2$, tulona. Tulo jaetaan vielä 1000:lla, jotta yksiköksi saadaan MW.

Tehon laskentakaava:

$$P = \frac{9,81}{1000} * Q * \eta_{\max} * h \quad /10/$$

P	generaattorin antoteho
Q	juoksutus
η_{\max}	konekombinaation paras hyötysuhde
h	putouskorkeus

Ohjelman laskema tehon arvo voidaan korjata käyttäjän toimesta käyttäjän haluamaksi. Korjattu arvo ei laskennallisista syistä muuta juoksutuksen, pinnankorkeuden tai minkään muunkaan laskennallista arvoa. Tästä johtuen käyttäjän haluama teho on parasta määrittää juoksutusta korjaamalla.

5.5.1 Omakäyttö

Vesivoimalaitokset, kuten kaikki muutkin voimalaitokset, kuluttavat itse sähköä. Tätä tehoa kutsutaan omakäytöksi. Se vaihtelee voimalaitoksittain vuorokauden sekä vuoden ajasta riippuen. Työaikana ja talvella omakäyttö on suurempi kuin työajan ulkopuolella kesällä, johtuen prosessiin tarvittavista sähkömoottoreista ja – pumpuista, valaistuksista, lämmityksistä sekä voimalaitoksilla tehtävistä töistä.

Omakäytön vaihtelusta johtuen, omakäytöksi päätettiin valita pitkänajan keskimääräinen arvo, jota käytetään vuorokauden jokaisella tunnilla. Omakäyttö vähennetään laskennallisesta tehon arvosta tunneittain. Täten saadaan voimalaitoksen todellinen verkkoon syöttämä ja markkinoille tarjottava teho lähemmäksi todellista.

Harjavallan sekä Iijoen laitoksilla omakäyttö on keskimäärin 0,2 MW. Kolsin ja Melon laitoksilla 0,15 MW sekä Tyrvään, Äetsän ja Jumiskon voimalaitoksilla 0,1 MW. Jumiskossa on lisäksi kolme 0,9 MW pumppua, jotka käynnissä ollessaan

lisäävät Jumiskon omakäyttökulutusta. Harjavallan, Kolsin, Tyrvään ja Äetsän sekä Iijoen omakäytöt vähennetään niiden omista tuotannoista. Melon ja Jumiskon omakäytöt vähennetään niiden omista tuotannoista silloin, kun ne ovat käynnissä. Muulloin näiden omakäytöt vähennetään Iijoen tuotannosta, koska siellä on aina vähintään kaksi vesivoimalaitosta tuotannossa.

5.5.2 Ohijuoksutusenergia

Virtaaman ylittäessä vesivoimalaitoksen rakennevirtaaman, joudutaan ajamaan vettä ohi tulvaluukuista. Viranomaiset määräävät virtaaman, joka on mahdollista virtaamaan tulvaluukuista. Tämä arvo on suurempi kuin suurimmissa uhkakuvissa on ajateltu virtaaman olevan.

Ohijuoksutetun veden tuotannon menetykset voidaan laskea samalla tavalla kuin teho lasketaan normaalisti. Hyötysuhteena käytetään keskimääräistä arvoa 0,9. Juoksutusarvona käytetään laitoksen rakennevirtaama vähennettynä joen koko virtaamasta. Tällöin ohijuoksutusenergia saadaan kaavasta:

$$P_{ohi} = \frac{9,81}{1000} * (Q_{kok} - Q_{rak}) * 0,9 * h \quad /10/$$

P_{ohi}	ohijuoksutetun veden energia
Q_{kok}	joen koko virtaama, koneiden juoksutus + tulvaluukkujen virtaama
Q_{rak}	rakennevirtaama
h	putouskorkeus

5.6 Hierarkia

Ohjelma sisältää kolmen tasoista arvoja: laskennallinen-, korjattu- ja historia-arvo. Laskennallinen arvo on ohjelman laskema arvo. Ohjelman kaikista osa-alueista on laskennallinen arvo. Korjattu arvo on käyttäjän asettama arvo, joka poikkeaa laskennallisesta arvosta. Sen voi antaa juoksutukselle ja teholle. Korjatun arvon tarve voi johtua esimerkiksi koneen huollosta, jolloin laitoksen läpäisemä virtaama pienenee. Korjattu arvo korvaa laskennallisen arvon laskennoissa sillä tunnilla, jota se koskee.

Historia-arvon voi asettaa juoksutukselle sekä pinnan korkeudelle. Se on arvo, joka on jo kuluneen tunnin todettu keskiarvo. Historia-arvo korvaa puolestaan laskennallisen ja korjatun arvon. Se korjaa laskennallisesti kyseisen tunnin muitakin arvoja kuin juoksutuksen ja pinnan korkeuden, kuten alapuolisen vesivoimalaitoksen tulovirtaaman, ja näin tarkentaa osaltaan tulevien tuntien laskennallisia arvoja.

5.7 Simulointi

Vesivoimatuotannon suunnittelussa erityisen tärkeää on voida seurata altaan pinnan korkeuden käyttäytymistä suunnitellulla juoksutuksella etukäteen. Etenkin silloin kun altaan pinnankorkeus täytyy olla tietyssä hetkenä tietyllä tasolla. Kahden vuorokauden, tämä ja huomisen päivä, mittainen jakso katsottiin tällä hetkellä olevan riittävän pitkä. Lähtötiedoksi annetaan klo 00 pinnan korkeuden tuntikeskiarvo. Tästä hetkestä eteenpäin ohjelma laskee tunneittain seuraavan 48 tunnin tuntikeskiarvot tulovirtaaman ja juoksutuksen perusteella.

Juoksutuksen ja valumien muuttuessa annetaan ohjelmalle uudet arvot ja ne otetaan mukaan kaikkiin laskentoihin siitä hetkestä eteenpäin. Näin päivitettyillä arvoilla saadaan simuloitua jo tehtyä suunnitelmaa ja jos mahdollista korjata sitä tai korjata ja tarkentaa tulevaa, seuraavan vuorokauden käsittävää suunnitelmaa.

Kuluneen tunnin pinnankorkeuden historia-arvo syötetään ohjelmaan. Tästä pinnasta ohjelma alkaa taas laskea seuraavien tuntien altaan korkeuksia. Tulovirtaaman ja/tai juoksutuksen muutos eivät vaikuta enää menneiden tuntien pinnankorkeuksiin, jos pinnankorkeus on annettu historia-arvona.

5.8 Kirjaussähköt

Kirjaussähkö poikkeaa normaalista vesivoimatuotannosta siinä, että tätä sähköä ei fyysisesti tuoteta samalla tavalla kuin se kirjataan. Kirjaaja tilaa tuntienergiat sopimuksen mukaisesti laitoksen fyysisten ominaisuuksien rajoissa ja laitoksen ajaja ajaa laitosta omiin tarpeisiinsa koko joen ajon huomioiden.

5.8.1 Isohaara

Isohaaran vesivoimalaitoksen säädättämisestä vastaa Kemijoki Oy ja varsinaisesta fyysisestä säätämisestä PVO-Pool Oy. Reaaliaikaisen fyysisen energian saa Kemijoki Oy.

Luottamuksellista tietoa

5.8.2 Kemijoki

Kemijoki Oy:n voimalaitoksista saatavan energian omistaa Suomessa moni yritys, suurimpana Fortum Oyj. NE:llä ja OE:lla on omat prosentuaaliset osuudet Kemijoki Oy:n energiasta. NE:n osuus on noin 0,08 % ja OE:n osuus on noin 2,2 %. NE ei ole osakas vaan se on vuokrannut käyttämänsä osuudet Lapin pieniltä sähkölaitoksilta. Nämä kirjaukset tehdään erillisellä ohjelmalla, josta tuotanto liitetään Vesivoimatuo-
tannon optimointi-ohjelmaan.

5.8.3 Merikoski

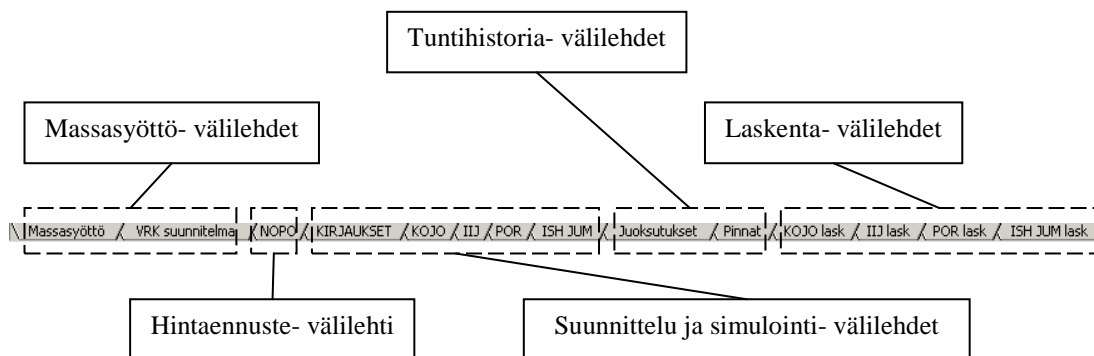
Merikosken vesivoimalaitos sijaitsee Oulussa Oulujoen suulla. Sen omistaa Oulun Energia, mutta fyysisen tuotannon suunnittelee ja ohjaa Fortum Oyj. Fyysinen tuotanto menee Fortum Oyj:n sähkötaseeseen. Oulun Energia kirjaa haluamansa energiamäärän noudattaen tiettyjä sääntöjä, joka hoidetaan PVP:n käyttökeskuksessa.

Luottamuksellista tietoa

Merikosken kirjaus suunnitellaan erillisellä ohjelmalla, josta tuotanto liitetään Vesi-
voimatuo-
tannon optimointi-ohjelmaan.

5.9 Rakenne

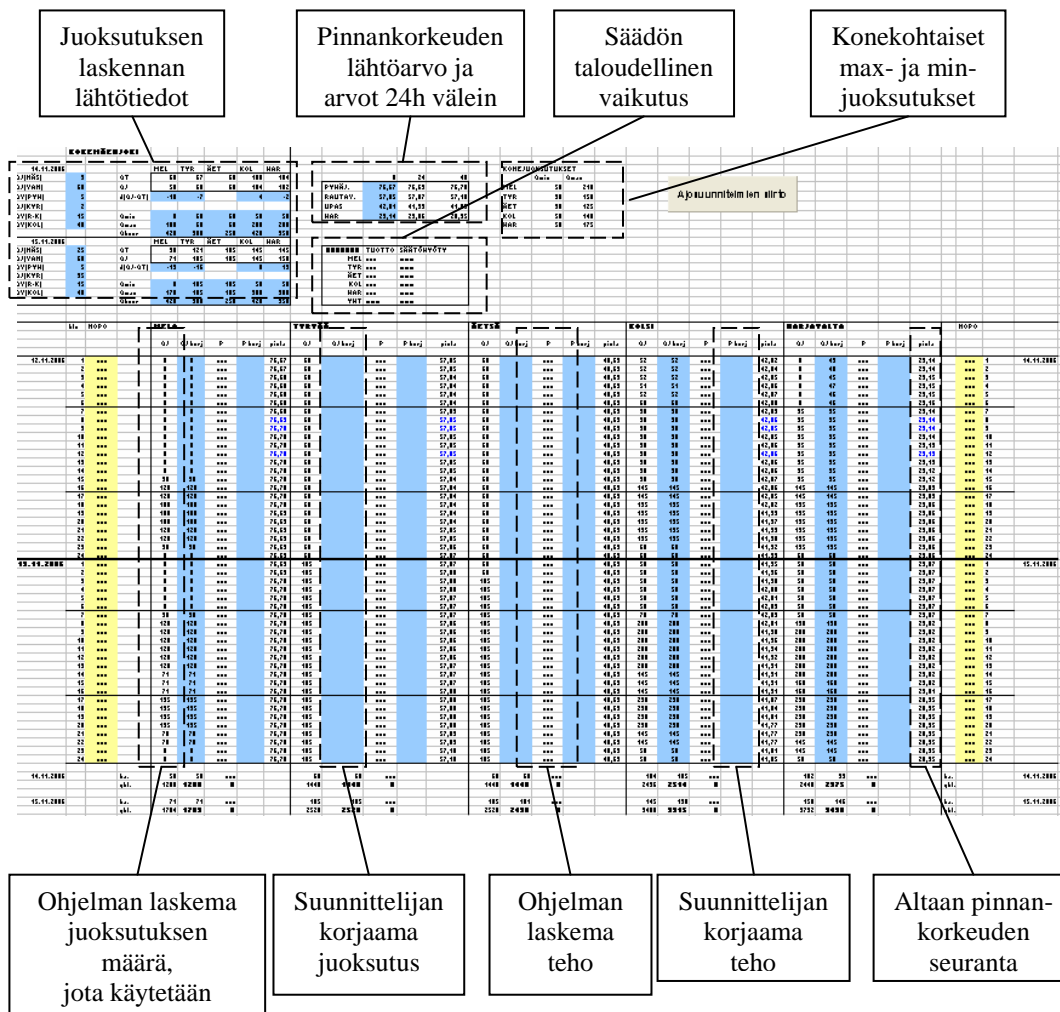
Ohjelma on tehty Excel-ohjelmalla. Eri osa-alueet on sijoitettu eri välilehdille. Välilehtiä on viidenlaisia: massasyöttö-, hintaennuste-, suunnittelu ja simulointi-, tuntihistoria- ja laskenta-välilehdet. Kaaviossa 2 on esitetty Ohjelman välilehdet.



Kaavio 2. Ohjelman välilehdet

5.9.3 Suunnittelu ja simulointi- välilehti

Suunnittelu ja simulointi- välilehdillä tehdään varsinainen tuntikohtainen suunnittelu sekä seurataan simuloinnin tuottamia pinnankorkeuksia. Tuntihistoria-arvot näkyvät sinisellä. Kuvassa 15 on esitetty Kokemäenjoen- välilehti.



Kuva 15. Suunnittelu- välilehti

Ijoen, Tengeliönjoen, isohaaran ja Jumiskon vesivoimalaitoksille on samanlaiset suunnittelusivut. Ijoella ja Tengeliönjoella on omat sivut. Isohaara ja Jumisko suunnitellaan samalla sivulla.

5.9.4 Tuntihistoria- välilehti

Simuloinnissa tarvittaville juoksutuksille ja pinnankorkeuksille on omat tuntihistoria- välilehdet. Annettavat arvot ovat tuntikeskiarvoja. Sivujen pohjat ovat samanlaiset. Toiselle annetaan juoksutus- ja toiselle pinnankorkeus- arvoja. Kuvassa 16 on esitetty juoksutuksen historia- välilehti.

Juoksutus	Melo	Turvää	Kolssi	Harjavalla	Haapakoski	Pahkakoski	Kierikki	Maalismaa	Raasakka	Portimokoski	
11.11.2006	1	0	50	50	50						1
	2	0	50	50	50						2
	3	0	50	50	50						3
	4	0	50	50	50						4
	5	0	50	50	50						5
	6	0	50	50	50						6
	7	0	50	50	50						7
	8	100	100	100	100						8
	9	100	100	100	100						9
	10	100	100	100	100						10
	11										11
	12										12
	13										13
	14										14
	15										15
	16										16
	17										17
	18										18
	19										19
	20										20
	21										21
	22										22
	23										23
	24										24
12.11.2006	1										1
	2										2
	3										3
	4										4
	5										5
	6										6
	7										7
	8										8
	9										9
	10										10
	11										11
	12										12
	13										13
	14										14
	15										15
	16										16
	17										17
	18										18
	19										19
	20										20
	21										21
	22										22
	23										23
	24										24

Kuva 16. Juoksutuksen tuntihistoria- välilehti

7 KOULUTUS

Käyttäjien koulutus tullaan hoitamaan normaalien työvuorojen aikana henkilökohtaisella opastuksella. Liitteessä 1 on ohjelman käyttöohje.

8 YHTEENVETO

Vesivoimatuotannon optimointi-ohjelman tavoitteena oli korvata vanha vesivoimatuotannon suunnittelu-ohjelma. Vanha ohjelma korvattiin tällä uudella ohjelmalla syyskuun lopussa 2006. Siitä lähtien se on ollut käytössä jokapäiväisessä vesivoimatuotannon suunnittelussa. Suunnittelun tarkennuksen tavoitteena olleesta taloudellisen tuoton kasvattamisesta, tulokset saadaan vasta pidemmän käytön jälkeen.

Ohjelman monista kaavoista johtuen, ohjelman kehitystyö jatkuu vielä pitkään. Erityisesti Kolsin ja Haapakosken ylaveden pintojen laskentaa täytyy tarkentaa.

Pitempiaikainen käyttö vasta osoittaa ohjelman todellisen käytettävyyden ja hyödyn vesivoiman suunnittelussa ja allaspintojen simuloinnissa.

LÄHDELUETTELO

- /1/ Kuusela, A., Relander, K. & Ylisaukko-oja, B. Pohjoisen vesiltä monipuoliseksi energiayhtiöksi (Pohjolan Voima 60 vuotta). Helsinki: Edita Prima Oy, 2003. 160 s.
- /2/ Pohjolan Voima Oy:n vuosikatsaus 2005- diasarja. [Viitattu 4.10.2006]. Saatavissa: PVO intranet.
- /3/ Nordel, Statistics, Annual Statistics. [Viitattu 4.10.2006]. Saatavissa: <http://nordel.org/>
- /4/ Pirilä, P. & Ruska, M. Energia Suomessa (Tekniikka, talous ja ympäristövaikutukset). Teoksessa Kara, M. (toim.). luku 6, Sähkömarkkinat. Helsinki: Edita Prima Oy, 2004. s. 177–210.
- /5/ Suomen ympäristökeskus, Vesitilanne, Vesistöennusteet ja vesitilannekartat. [Viitattu 10.10.2006]. Saatavissa: <http://ymparisto.fi/>
- /6/ Kemijoki Oy, Vesivoima. [Viitattu 10.10.2006]. Saatavissa: <http://kemijoki.fi/>
- /7/ PVO-Vesivoima Oy:n laitosesite
- /8/ Kolsin laitosesite
- /9/ Kemijoki Oy, Esitteet ja julkaisut, Kemijoki Oy:n yleisesite. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 1.11.2006]. Saatavissa: <http://kemijoki.fi/>
- /10/ PVO-Pool Oy:n sisäinen tutkimus. Tutkijana DI Seppo Kattainen.
- /11/ PVO-Vesivoima Oy:n ja Kemijoki Oy:n säännöstelyjen ja voimalaitosten yhteiskäyttö, Isohaara-kirjauksen käytösääntö. Käyttötoimikunta. 2000
- /12/ Sopimus Oulujärven säännöstelystä ja Oulujoen pääuoman voimalaitosten käytöstä, Merikoski-kirjauksen käytösääntö. Käyttötoimikunta. 2005

LIITTEET

LIITE 1

Luottamuksellista tietoa