

## 14. VOIMALAITOKSET

Voimantuotanto on monipuolinen tekniikan laji, joten sen ratkaisujen ja laitteistojen osalta viittaamme esitteisiimme. Liitämme tähän vain jäljempänä olevat kuvaukset.

### 14.1. Vesivoimalaitokset

Vesivoimalaitoksessa veden potentiaalienergia muutetaan liike-energiaksi vesiturbiinissa, jonka pyörittämä generaattori kehittää sähköenergiaa. Vesivoimalaitoksen sähköjärjestelmään kuuluu generaattori, keski- ja pienjännitejärjestelmä, tehomuuntaja verkkoon liittymistä varten, omakäyttömuuntaja, apusähköjärjestelmä sekä valvonta-, ohjaus- ja suojausjärjestelmät.

#### 14.1.1. Vesivoimageneraattorit

Koska vesivoimalaitosten yksikkökoko vaihtelee satojen megawattien tehoista muutaman kilowatin tehoisiin mikrovesivoimaloihin, vesivoimalaitosten rakenneratkaisut vaihtelevat huomattavasti muita voimalatyyppejä enemmän.

Alle 1 MW tehoalueella käytetään tyypillisesti nimellisjännitteeltään alle 1 kV:n epätahtigeneraattoreita, jotka ovat turpiinin ryntäysnopeutta vastaavaksi vahvistettuja oikosulkumootto-reita. Oikosulkumoottorin etuja ovat yksinkertainen ja kestävä rakenne, mutta rajoitetut säätöominaisuudet ja sähköverkosta otetun magnetointitehon kompensointitarve estävät käytön laajemmalla tehoalueella.

Yli 1 MW yksikkötehoilla tai parempaa säädettävyyttä vaativissa kohteissa käytetään avonaparakenteisia tahtigeneraattoreita, joiden nimellisjännite on tyypillisesti 6 kV - 20 kV. Suoraan turpiinin akseliin kytkettävän pysty akselisen generaattorin pyörimisnopeus on yleensä alle 400 r/min. Hidas pyörimisnopeus, suuri napamäärä ja generaattorin fyysinen koko yhdessä laakeroinnin ja ryntäysnopeuden erityisvaatimusten kanssa vaativat tapauskohtaista suunnittelua.

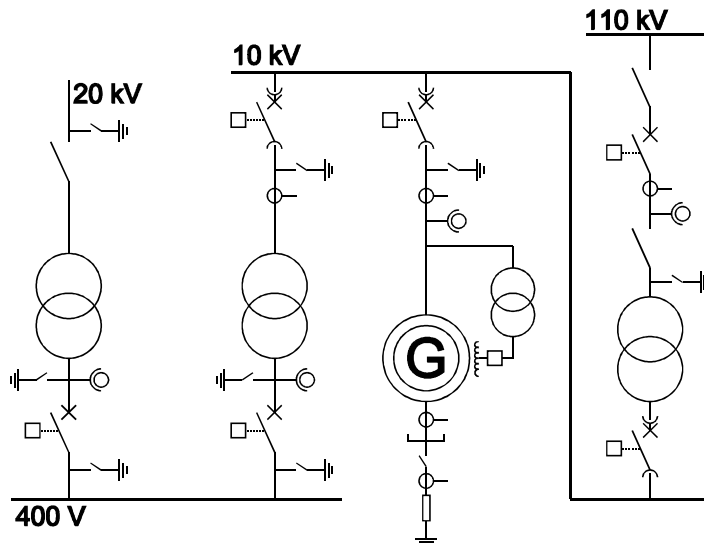
Noin 15 MW:n yksikkötehoihin asti generaattorin rakennetta voidaan yksinkertaistaa asentamalla turbiinin ja generaattorin väliin mekaanista pyörimisnopeutta 750 r/min tai 1000 r/min tasolle nostava vaihde. Tämä mahdollistaa lähes vakiorakenteisen vaaka-akselisen dieselgeneraattorin käytön vesivoimageneraattorina.

Vesivoimageneraattorien magnetointi toteutetaan joko suoran staattisen tyristorimagnetoinnin tai harjattoman magnetoinnin avulla. Harjattoman magnetoinnin käyttö on aiemmin rajoittunut pääasiassa vaihteella varustettuihin yksiköihin, mutta nykyisin myös pysty akselisten generaattorien magnetointi voidaan toteuttaa lähes huoltovapaalla harjattomalla magnetoinnilla. Staattisella magnetoinnilla saavutetaan kuitenkin hieman parempi säädettävyys ja hyötysuhde.

Pitkästä käyttöiästä johtuen generaattori kannattaa varustaa kunnonvalvontajärjestelmällä, joka valvoo generaattorin ja turpiinin tärinää, generaattorin ilmaväliä ja lämpötilaa. Järjestelmä käsittää anturit, mittauslaitteet sekä signaalinkäsittelyn ja -tallennuksen tarvitsemat laitteet. Kehittyneiden jatkuvatoimisten järjestelmien signaalinkäsittelytoiminnot auttavat hitaasti kehittyvien vikojen ennakoinnissa ja mahdollistavat äkillisten vikojen nopean havaitsemisen.

#### 14.1.2. Pääkaavio

Sähköjärjestelmän kytkennän ja laitteiden valinta perustuu eri vaihtoehtojen välillä suoritettaviin teknis-taloudellisiin vertailuihin, joissa otetaan huomioon hankintahinta, hyötysuhteet, käytettävyys, käyttö- ja huoltokustannukset, laajennusmahdollisuudet ja lähtökohtatilanne. Perusvaihtoehtoja ovat konekohtaisilla tehomuuntajilla varustettu kytkentä ja kokoojakiskokytkentä.



KUVA 14.1a. Tyypillinen tahtikonelaitoksen pääkaavio.

### 14.1.3. Omakäyttöjärjestelmä

Vesivoimalaitoksen omakäyttöjärjestelmä on suppeahko ja pienitehoinen. Syöttö tapahtuu pääsääntöisesti laitoksen kokoojakiskosta ja omakäytön pääkuormituksen muodostaa normaalin talosähköistyksen lisäksi erilaiset pumput, paineilmakompressorit ja tasasuuntaajien syötöt.

Omakäyttöjärjestelmän varasyöttötapa riippuu laitoksen käyttövaatimuksista. Normaalisti varasyöttö on järjestetty toisen omakäyttömuuntajan avulla tai liittynällä 10/20 kV jakeluverkkoon. Jos laitokselta edellytetään pimeäkäynnistyskykyä, järjestelmä vaatii omakäytön turvaamisen dieselaggregaatilla tai vanhemmille laitoksille tyypillisellä pienitehoisella apu-puturpiinilla.

Vesivoimalaitoksen tasasähköjärjestelmä koostuu varaajasta, akustosta, jakelujärjestelmästä ja suojausyksiköistä. Se syöttää laitoksen turvallisen käytön kannalta välttämättömiä ohjaus- ja suojausjärjestelmiä, joten siltä vaaditaan korkeaa luotettavuutta, riippumattomuutta muista järjestelmistä sekä toimintakyvyn valvontaa. Tasasähköjärjestelmälle asetettavat vaatimukset johtavat pääsääntöisesti kahdennettujen varaajien ja akustojen hankintaan.

### 14.1.4. Ohjaus- ja suojausjärjestelmä

Nykyisin vesivoimalaitoksen ohjausjärjestelmät toteutetaan automaatiojärjestelmän avulla, joka koostuu paikallisväylän avulla toisiinsa liitetystä vapaasti ohjelmoitavista prosessiasemista. Prosessiasema on toiminnallisesti itsenäinen yksikkö, sisältäen ohjelmoitavan ohjausyksikön ja tarvittavat tulo- ja lähtöyksiköt.

Ohjausjärjestelmän tehtävät kattavat vesivoimalaitoksen laitteiden ohjaus- ja säätötoiminnot sekä mekaanisen suojauksen. Ohjaus- ja säätötoiminnot huolehtivat laitoksen itsenäisestä toiminnasta ja niitä voidaan valvoa ja ohjata paikallis- tai kaukokäytön avulla. Mekaanisen suojauksen tehtävä on tunnistaa voimalaitosprosessin ja sitä ohjaavien laitteiden toimintahäiriöt.

Ohjausjärjestelmän tehtävät voidaan jakaa yhteisiin ja koneistokohtaisiin toimintoihin. Näistä toiminnoista muodostetaan toiminnalliset kokonaisuudet, jotka jaetaan prosessiasemien kesken.

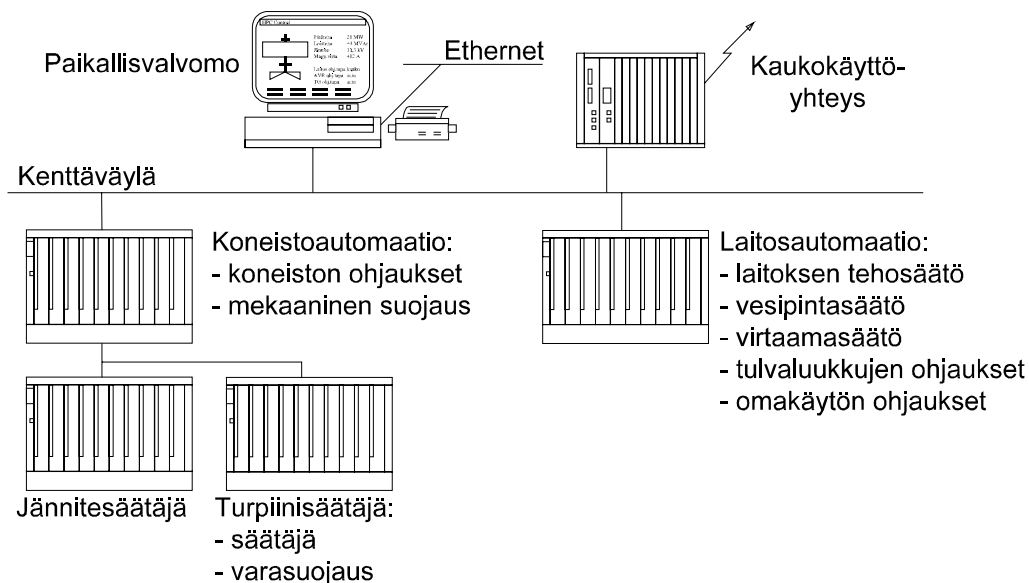
Koneistokohtaisia toimintoja ovat mm. käynnistys- ja pysäytyssekvenssit, turbiinin ja jännitteen säätö, turbiinin hydraulikan paineenpito-automatiikka, lämpötilavalvonnat ja koneiston sulkuluukun ohjaus. Turbiinin säätö käsittää tehon, avauksen, kierrosluvun ja Kaplan-turbiinin kombinoitun säädön ja ohjauksen. Jännitteen säätö käsittää generaattorin jännitteen ja loistehon säätötoiminnot niitä koskevine rajoituksineen.

Laitoksen yhteisiin toimintoihin kuuluu mm. kytkinlaitoksen ja tulvaluukkujen ohjaukset, raportointi, pinta-/ virtaamasäätö, tehonjako koneistojen välillä sekä energian laskenta.

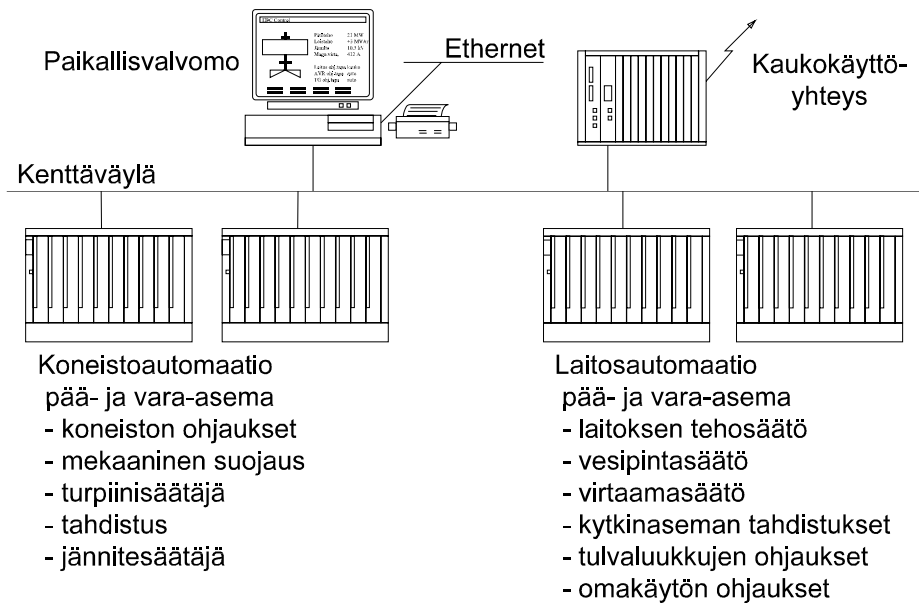
Kaukokäyttö mahdollistaa ohjausten sekä mittaus- ja tilatietojen välittämisen ohjaus- ja käytönvalvontajärjestelmän välillä laitoksen tiedonsiirtoväylien ulkopuolisen siirtoyhteyden avulla. Kaukokäytöt soveltuvat hyvin vesivoimalaitosympäristöön, koska valvottavat kohteet ovat luonnostaan maantieteellisesti laajalla alueella ja valvonta halutaan suorittaa keskite-  
tysti. Miehittämättömillä laitoksilla voidaan päivystystä helpottaa kannettavan kauko-  
ohjauspäätteen avulla, mikä mahdollistaa yhteyden muodostamisen laitokselle modeemin  
avulla esim. raportointia tai vianselvitystä varten.

Vesivoimalaitoksen sähköinen suojaus koostuu ohjausjärjestelmän kanssa koordinoidusti toimivasta relesuojauksesta. Relesuojat voidaan jakaa eristysvikoja valvoviin oiko- ja maasulkusuojiin sekä käyttöä valvoviin suojiin. Tärkeimmät eristysvikoja vastaan suojattavat komponentit ovat generaattori ja tehomuuntaja. Käyttöä valvovat suojat suojaavat laitoksen komponentteja laitoksen ulkopuolisen sähköverkon vika- ja häiriötilanteissa. Suojauksen laajuuteen vaikuttaa mm. sähköturvallisuusmääräykset, vakuutusyhtiöiden ohjeet, voimantuottajan omaksuma käytäntö ja suojattavan kohteen arvo.

Koska vesivoimalaitokset ovat tyypillisesti miehittämättömiä ja kaukokäytettyjä voimalaitok-  
sia, joille on asetettu suuret käytettävyyksvaatimukset, ohjaus- ja suojausjärjestelmien on  
oltava sekä käytettävyydeltään että luotettavuudeltaan erittäin hyviä. Vaatimusten täyttämi-  
seksi järjestelmien rakenne pyritään standardoimaan ja kahdentamaan siten, että yhden  
komponentin tai laitteiston vikaantuminen ei vaaranna eikä estä laitoksen normaalia käyttöä.  
Kuvissa 14.1b ja 14.1c on esimerkit hajautetusta ja integroidusta ohjausjärjestelmästä.  
Kuvan 14.1b järjestelmässä pääpaino on luotettavuudella ja kuvan 14.2c järjestelmässä sekä  
luotettavuudella että käytettävyydellä.



KUVA 14.1b. Hajautettu vesivoimalaitoksen ohjausjärjestelmä.



KUVA 14.1c. Integroitu vesivoimalaitoksen ohjausjärjestelmä.

## 14.2. Generaattorikatkaisijat

Generaattorikatkaisijat ovat kytkinlaitteita suurivirtaliittymissä generaattorin ja päämuuntajan välissä. Generaattorikatkaisijan on täytettävä tiukempia sähköisiä vaatimuksia kuin päämuuntajan takana olevan katkaisijan. Standardit IEEE C37.013-1993 on tehty juuri näitä erikoisia katkaisijasovelluksia varten. Pääsovellukset ja niiden edut on esitetty seuraavassa.

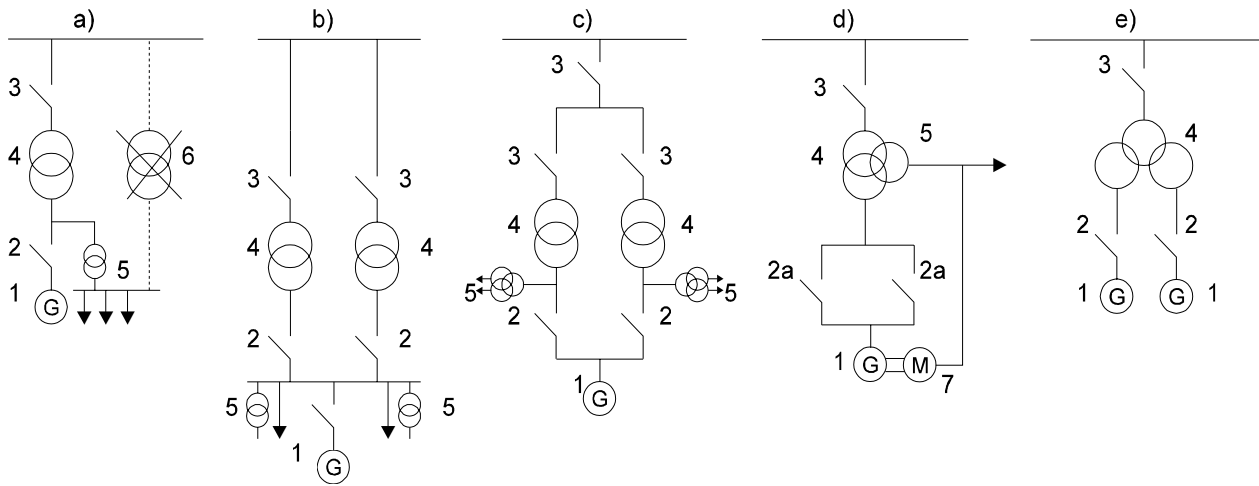
Taulukko 14.2a. Generaattorikatkaisijan toiminnot.

Toiminta	Edut
Erotaa generaattorin verkosta	Aseman käyttöjännitteet otetaan generaattorin muuntajasta. Ei tarvita käynnistysmuuntajaa eikä siihen liittyvää kytkinlaitteistoa. (Katso kuva 14.2 a)...e)
Päämuuntajan pienjännitepuolen tahdistus	Jännitemuuntajaa ei tarvita päämuuntajan suurjännitepuolella. Voidaan kytkeä kaksi generaattoria yhteen avojohtolinjaan kahden erillisen muuntajan tai kolmikäämisen muuntajan kautta. Yksinkertaistaa voimalaitoksen suunnittelua. (katso kuva 14.2a)...e)
Voimalaitosten tehokas suunnittelu (etenkin vesi-voimalaitokset)	Mahdollisuus kytkeä kaksi tai useampia generaattoreita kaksi- tai kolmikäämiseen muuntajaan ja avojohtoon. (Katso kuva 14.2 a)...e)
Erotaa generaattorimuuntajassa tai omakäyttömuuntajassa tapahtuvat viat	Vikojen vaikutukset ovat paljon pienemmät kuin nopeaa demagnetointia käytettäessä, koska irtikytkentä kestää alle 100 ms.
Erotaa generaattorissa tapahtuvat viat	Laitoksen apusähkö on jatkuvasti kytkettynä verkkoon viasta huolimatta, näin ollen käytettävyys lisääntyy. Balansoimattomat kuormat hoidettavissa luotettavasti.
Erotaa voimalaitoksen ja seuraavan muuntajan tai kytkinlaitoksen välillä tapahtuvia vikoja.	Generaattoriasemalla ei tarvita suurjännitekatkaisijaa.
Käyttö ydinvoimaloissa	Parantaa huomattavasti katkettoman apusähkön syötön varmuutta.
Käyttö pumppuvoimalaitoksissa	Suora vaihto pumppu- ja generaattorimoodin välillä
Voimalaitosten automaatio	Vain yksi kytkentätoiminto generaattorin tahdistamiseen tai erottamiseen, sen sijaan että suoritettaisiin 5-7 kytkentätoimintoa suurjännitepuolella. Vähentää virheellisten kytkentöjen mahdollisuutta.

Edellä mainitusta syistä johtuen voi erityisissä tapauksissa olla taloudellisia, toiminnallisia ja teknisiä perusteita käyttää generaattorikatkaisijaa.

Kuvassa 14.2a on esitetty esimerkkejä sovelluksista, joissa on käytetty generaattorikatkaisijaa. Eri esimerkit osoittavat, että suurissa järjestelmissä, joissa käytetään useaa generaattoria ja omakäyttömuuntajaa, generaattorikatkaisijat takaavat suuressa määrin aputoimintojen käytettävyyden vian sattuessa.

Generaattorikatkaisijan edut ovat huomattavat ydinvoimaloissa ja muissa voimaloissa, joissa on korkeat yksikköarvot ja korkeat vaatimukset koskien turvallisuutta sekä käytettävyyttä.



KUVA 14.2a. Peruskaaviot a), b) ja c) isot generaattorit osakuormamuuntajilla, d) pumppuvoimalaitos, e) vesivoimalaitos.

Kuvien komponentit ovat: 1 generaattori, 2 generaattorikatkaisija, 2a viisinapainen generaattorikatkaisija, jolla kytketään moottori- ja generaattorikäytön välillä, 3 suurjännitekatkaisija, 4 päämuuntaja, 5 käynnistysmuuntaja, 7 käynnistysmoottori.

Generaattorikatkaisijan käyttö voimalaitoksessa tulee huomioida suunnittelun aikaisessa vaiheessa. Rakennuksen suunnittelussa tulee ottaa huomioon seuraavat seikat:

#### Katkaisijan vaatima tila

Katkaisijan mitat, vaiheiden sovitus (huomioi minimivälit), kuljetus, tilaa määräaikaishuoltoja varten ja ilman laajeneminen (paineilmakatkaisijan aiheuttama ilma-aalto).

#### Lisälaitteiden vaatima tila

Paineilmalaitteisto (10-30 m<sup>2</sup> katkaisijalle DR),  
 Jäähdytyslaitteisto (5-10 m<sup>2</sup> korkeammille nimellisvirroille) ja  
 Ohjauskaappi (2,5 - 5 m<sup>2</sup>)  
 Lisälaitteet on sijoitettava katkaisijan läheisyyteen.

#### Rakennusten vaatimukset

Tukeva perustus (DR-katkaisijan reaktiivoimat), huoltosyvyyden DR-katkaisijan alla (800-1500 mm syvä) ja mahdollisuus nostolaitteisiin.

ABB Tarjoaa 3 erilaista generaattorikatkaisijaa: SF<sub>6</sub>-katkaisijat HG ja HE, sekä paineilma-  
 katkaisija DR. Kaikki generaattorikatkaisijat on testattu IEEE <sup>\*</sup>)-standardien mukaan.

Taulukko 14.2b. ABB:n generaattorikatkaisijatyypit.

Tyyppi		HG (SF <sub>6</sub> )	HE (SF <sub>6</sub> )	DR (paineilma)
Nimellisjännite	kV	17,5	24/27,5	36
Nimellisvirta, luonnollinen jäähdytys	A	4500-7500	7000-24000	11 000
Nimellisvirta, koneellinen jäähdytys	A		30000 <sup>**</sup> )	max. 17 000
Nimellisvirta, vesijäähdytys	A			max. 50 000
Nimellinen oikosulkuvirta, symmetrinen	kA	50-63	100-160	max. 250

<sup>\*</sup>) IEEE standards for AC High-Voltage Generator Circuit Breakers Rated On a Symmetrical Current

<sup>\*\*</sup>) Nimellisvirran suurus on riippuvainen jäähdytysjärjestelmän arvoista.