

**RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE**  
Enerģētikas un elektrotehnikas fakultāte  
Enerģētikas institūts

**Andris SKUTELIS**

**DAUGAVAS HES KASKĀDES HIDROAGREGĀTU  
VADĪBAS OPTIMIZĀCIJAS NOTEIKŠANAS  
METODE**

**Promocijas darba kopsavilkums**

Zinātniskais vadītājs  
Dr.habil.sc.ing., profesors  
V.ČUVIČINS

RTU Izdevniecība  
Rīga 2006

## **DARBĀ LIETOTIE SAĪSINĀJUMI:**

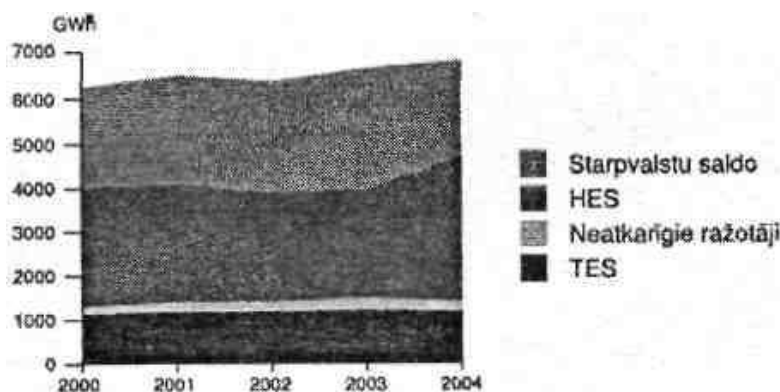
- HES - hidroelektrostacija(s)
- HA - hidroagregāts
- SG - sinhronais ģenerators
- SK - sinhronais kompensators
- LE - AS "Latvenergo"
- LE CDD - Latvenergo Centrālais Dispečeru Dienests
- DC Baltija - dispečeru centrs "Baltija"
- GRA - ģeneratoru režīmu automātika

# DARBA VISPĀRĒJS RAKSTUROJUMS

## Darba aktualitāte

Enerģētika ir vadošā nozare Latvijas tautsaimniecībā. Latvijas enerģosistēma strādā kopējā Baltijas valstu apvienībā un vienotā sistēmā ar Krievijas un Baltkrievijas enerģosistēmām.

Enerģoresursu patēriņš Latvijā ir lielāks nekā saražotais apjoms. Latvijas primāro enerģoresursu bilanci pēdējos gados imports sastāda 65-70% no enerģijas kopējā patēriņa. Elektroenerģijas bilance sastāv no AS „Latvenergo” saražotās enerģijas un importētās elektroenerģijas. Elektroenerģija tiek saražota divās termoelektrostacijās: rekonstruētajā TEC1 un TEC2, un trijās Daugavas HES kaskādes hidroelektrostacijās. Vislielākais elektroenerģijas apjoms tiek saražots Daugavas HES kaskādes hidroelektrostacijās skatīt 1. attēlu.



1. attēls. Elektroenerģijas piegādes avoti Latvijas enerģosistēmā.

Atkarībā no ūdens pieteces Daugavā elektroenerģijas gada izstrāde uzņēmuma hidroelektrostacijās svārstās no 1 800 GWh līdz 4 500 GWh.

Elektroenerģijas ieguve Latvijas hidroelektrostacijās ir nozīmīgs resurss visām Baltijas valstīm, bet **sarežģīta ir tās izstrādes prognozēšana no apgādes drošuma viedokļa**. Daugavas baseina īpatnība ir krasās noteces maiņas ne tikai pa gadiem un sezonām, bet arī īsākos laika periodos.

Elektroenerģijas tirgus jaunās tendences tiecās uz enerģoresursu sadārdzināšanos, kas attiecīgi palielinās elektroenerģijas izmaksas. Plānotā Ignalinas atomelektrostācijas slēgšana arī radīs problēmas elektroenerģijas izmantošanā un plānošanā.

Šādos apstākļos Daugavas HES resursu ekonomiska izmantošana dos lielu ekonomisku efektu. Lai arī nav iespējams prognozēt ūdens daudzumu upē, tad uz esošās izstrādātās Daugavas HES elektroenerģijas apjoma optimizējot hidroelektrostacijas agregātu vadību var panākt ievērojamu ekonomisku efektu.

*Patreiz Daugavas HES agregāti tiek ekspluatēti izejot tikai no nominālās jaudas iestatījuma, neskatoties uz optimālā darba režīma iespējām.* Hidroagregāti ražo elektroenerģiju uzturot ģeneratora nominālās jaudas vērtību, šāds darba režīms nebūt nav optimālais darba režīms, jo hidroagregāta darba režīma parametri (ūdens caurplūde, ūdens spiedienaugstums, lietderības koeficients u.c.) mainās hidroagregāta darba laikā. Tāpēc hidroagregātu darba režīmu optimizācija ir aktuāla problēma.

Bez ekonomisko jautājumu risināšanas Daugavas HES optimizācija risina arī tehniskos jautājumus: hidroagregātam strādājot optimālajā režīmā ir mazākas vibrācijas, kas samazina hidroagregāta nolietošanu, attiecīgi uzlabojot energoapgādes drošumu; mazākas jaudas svārstības, līdz ar to labāka elektroenerģijas kvalitāte. Svarīga tehniska problēma ir reālā ūdens spiedienaugstuma vērtības noteikšana, kas arī tiek risināta darba izstrādes laikā.

Aktualizējoties jautājumam par energoresursu efektīvu izmantošanu un par energosistēmas darba režīmu vadības optimizācijas problēmu risināšanu, AS "Latvenergo" tika apstiprināta "Pamatbiznesa attīstības programma līdz 2012. gadam", kurā 3. nodaļā "Latvenergo pamatbiznesa tehniskā attīstība" paredz "Esošo hidroelektrostaciju ražošanas procesu **automātiskās vadības sistēmas modernizācija**", "Iekārtu sastāva un **jaudu optimizācija atbilstoši prognozējamai slodzei.**"

AS "Latvenergo" ražošanas virziena tehniskās politikas **galvenais mērķis** ir panākt lielāku elektrostaciju konkurētspēju brīvā elektroenerģijas tirgū. Ražošanas tehniskās politikas pamatuzdevums ir staciju **ekonomiskās darbības optimizācija**, kā arī ražošanas apjoma mērķtiecīga palielināšana, vienlaicīgi izturot visus kvalitātes prasību rādītājus un videi draudzīgu ražošanas politiku.

## **Darba mērķi un uzdevumi**

Darba mērķis ir Daugavas HES hidroagregātu darba režīmu vadības efektivitātes paaugstināšana, optimizējot ekonomiskos un tehniskos parametrus.

Lai sasniegtu mērķi, darbā tika risināti šādi galvenie uzdevumi:

- Daugavas HES kaskādes hidroelektrostaciju funkciju, darba režīmu un vadības pamatprasību izpēte un analīze.
- Pļaviņu HES hidroagregātu esošo parametru izpēte un regulatoru struktūrshēmu analīze.
- Energosistēmu vadības optimizācijas esošo metožu apskats ar mērķi noskaidrot esošo energosistēmu vadības optimizācijas metožu būtību un pielietojuma sfēru.
- Rīgas HES un Pļaviņu HES hidroagregātu darba režīmu optimizācijas iespēju analīze un hidroagregāta optimālās vadības algoritma izstrāde. Pļaviņu HES hidroagregātu optimālās jaudas darba punktu noteikšana pie attiecīgajām ūdens spiedienaugstuma vērtībām.
- Pļaviņu hidroelektrostacijas hidroagregātu dalības frekvences regulēšanā (energosistēmas operatīvā momentānā rezerve) iespēju analīze, ņemot vērā optimizācijas nosacījumus.
- Daugavas HES kaskādes hidroelektrostaciju automātiskās optimālās vadības sistēmas shēmas izstrāde. Vienas Daugavas HES kaskādes hidroelektrostacijas darba režīmu optimizācijas ietekmes izpēte uz pārējo divu staciju darba režīmiem.
- Optimizācijas interfeisa darbības algoritma, kas realizē optimālu jaudu sadalījumu pa stacijām, izstrāde ievērojot kaskādei noteikto ierobežojumu ievērošanu pie šīs jaudu sadales. Optimālā jaudu sadalījuma starp kaskādes elektrostacijām algoritma loģiskās shēmas izstrāde.

## **Pētījuma metodes**

- Energosistēmu hidroagregātu vadības teorijas pamatnostādnes.
- Hidroagegātu modeļu un ražošanas ekspluatācijas līkņu izpēte ar grafo-analītisko metodi, analīze un turpmākās apstrādes (izmantošanas) iespēju izpēte.
- Matemātiskie aprēķini izmantojot Microsoft Excel programmu nodrošinājumu. Matlab programmu nodrošinājuma izmantošana.

- Hidroagregātu reālo režīmu parametru statistikas analīze.
- Eksperimentālās hidroagregātu darba režīmu pārbaudes un mērījumi stacijās uz vietas.
- Daugavas HES hidroagregātu vadības metožu optimizācijas analīzes metodikas un darbības algoritma sintēze.

### **Darba zinātniskā novitāte**

- Izstrādāta un piedāvāta grafo-analītiskā metode hidroagregāta darba efektivitātes novērtēšanai.
- Analīzes un aprēķinu rezultātā iegūta metode hidroelektrostacijas agregātu darba optimizācijai.
- Izstrādāts un piedāvāts hidroagregātu reālā spiedienaugstuma noteikšanas paņēmieni, ar kura palīdzību var optimizēt Pļaviņu HES hidroagregātu darbu. Paņēmieni ir atzīts kā Latvijas Republikas patents.
- Izstrādāta metodika Daugavas HES kaskādes hidroelektrostaciju darba režīmu optimizācijai.

### **Darba praktiskā nozīme**

Analīzes un aprēķinu rezultātā iegūtā metode Pļaviņu hidroelektrostacijas agregātu darba optimizācijai un izstrādātā metodika Daugavas HES kaskādes hidroelektrostaciju darba režīmu optimizācijai, var tikt praktiski ieviestas AS "Latvenergo" "Ražošanā", tādējādi pildot "Pamatbiznesa attīstības programmu līdz 2012. gadam", kura ir apstiprināta AS "Latvenergo".

### **Darba aprobācija**

Par promocijas darba galvenajiem rezultātiem ziņots šādās konferencēs:

- *"Feasibility of the Daugava Hydro Power Plant's Participation in Frequency Control"*, 11th International Power Electronics and Motion Control Conference EPE-PEMC 2004, Riga, Latvia, September 2-4, 2004;
- *"Electric power system frequency and active power control dynamic problems"*, 6th International Conference CONTROL OF POWER SYSTEMS '04, Štrebske Pleso High Tatras, Slovak Republic, June 16-18, 2004;

- *"Optimization of the Daugava hydro power plants' control methods"*, International Scientific Conference, Riga Technical University, Riga, Latvia, from the 9th to the 11th of October 2003;
- *"Dynamic's Problems of Frequency and Active Power Control in Electric Power System"*, IEEE Bologna Power Tech 2003 Conference, University of Bologna, Bologna, Italy, June 2003;
- *"Optimization Method for Control of Hydro generators"*. International Symposium MEPS 02, Wroclaw University of Technology, Wroclaw, Poland, September 2002.

### **Promocijas darba saturs atspoguļots 11 autora publikācijās:**

Referējamos izdevumos:

1. V. Chuvychin, N. Gurov, A. Skutelis *"Feasibility of the Daugava Hydro Power Plant's Participation in Frequency Control"*, Proceedings of 11th International Power Electronics and Motion Control Conference EPE-PEMC 2004, Riga, Latvia, September 2-4, 2004.
2. V. Chuvychin, N. Gurov, A. Skutelis *"Electric power system frequency and active power control dynamic problems"*, Proceedings of 6th International Conference CONTROL OF POWER SYSTEMS '04, Štrbske Pleso High Tatras, Slovak Republic, June 16-18, 2004.
3. V. Chuvychin, N. Gurov, A. Skutelis *"Optimization of the Daugava hydro power plants' control methods"*, RTU zinātniskie raksti, "Enerģētika un elektrotehnika", sērija 4, sējums 9, izdevniecība "RTU", Riga, 2003, 70-75 lpp.
4. V.Chuvychin, N.Gurov, A.Skutelis, V.Strelkovs *"Dynamic's Problems of Frequency and Active Power Control in Electric Power System"*, Proceedings of IEEE Bologna Power Tech 2003 Conference, University of Bologna, Bologna, Italy, June 2003.
5. V.Chuvychin, N.Gurov, A.Skutelis *"Optimization Method for Control of Hydrogenerators"*, Proceedings of International Symposium MEPS 02, Wroclaw University of Technology, Wroclaw, Poland, September 2002.
6. V.Čuvičins, N.Gurovs, A.Skutelis, V.Strelkovs *"Pļaviņu HES hidroagregātu matemātiskā modelēšana"*, RTU zinātniskie raksti, Enerģētika un elektrotehnika, 4.sērija 6.sējums, Rīga 2002.

Vietējos izdevumos:

1. Atskaite "Jaunās tehnoloģijas ieviešana elektrostaciju modernizācijā un ekspluatācijā", Līgums Nr.6844,2004.
2. Atskaite "Daugavas HES kaskādes enerģētisko parametru precizēšana, lai uzlabotu Daugavas ūdens resursu uzlabošanu", Līgums Nr.6707, 2003.

3. Latvijas Republikas PATENTS Nr.13053, Rīga, 20.11.2003.
4. V.Čuvičins, A.Skutelis "Pļaviņu HES hidroagregātu vadības problēmas", 43. studentu zinātniskā un tehniskā konference, Rīgas Tehniskā universitāte, Rīga 2002.
5. Atskaite "Pļaviņu HES agregātu darbības efektivitātes paaugstināšana". Līgums Nr.03/57-2001,2001.

## **Darba struktūra un apjoms**

Promocijas darbs satur 8 nodaļas, secinājumus un rekomendācijas, kā arī literatūras sarakstu. Darba kopējais apjoms ir 127 datorsalikuma lappuses. Darbā iekļautas 49 tabulas un 42 attēli. Literatūras sarakstā iekļauti 54 izmantotās literatūras avoti. Darbam ir viens pielikums.

### **1. DAUGAVAS HIDROELEKTROSTACIJU KASKĀDES VISPĀRĒJS**

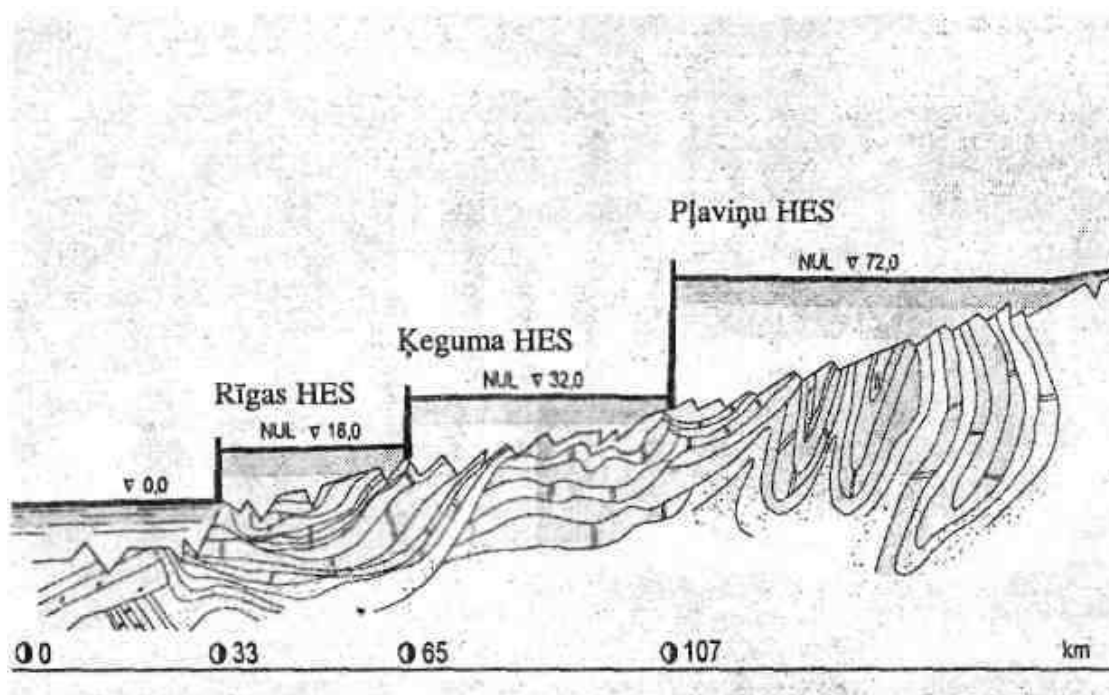
#### **RAKSTUROJUMS**

*Pirmā nodaļa ir veltīta Daugavas hidroelektrostaciju kaskādes vispārējam raksturojumam. Tiek veikta Daugavas hidroelektrostaciju kaskādes tehnisko resursu izpēte. Parādītas Daugavas hidroelektrostaciju kaskādes funkcijas un vadības pamatprasības sekojošos darba režīmos: Daugavas HES darbība pie frekvences paaugstināšanās; pie frekvences pazemināšanās; pie Baltijas enerģosistēmas, Baltkrievijas enerģosistēmas un apvienotās Ziemeļrietumu enerģosistēmas izdalīšanās uz izolētu darbību no vienotās enerģosistēmas. Apskatīti sekojoši jautājumi: Daugavas HES hidroagregātu pieļaujamā reaktīvā slodze; Daugavas HES ūdenskrātuvju pieļaujamie līmeņi un nostrādes ātrums. Veikts Daugavas hidroelektrostaciju kaskādes hidroagregātu vadības principu raksturojums un parādīts kaskādei uzdotās jaudas sadalījums pa hidroelektrostacijām. Veikta detalizētāka Pļaviņu HES hidroagregātu nominālo parametru, regulatoru tipu un struktūrshēmu izpēte un analīze.*

Akciju sabiedrības "Latvenergo" filiāle "Daugavas hidroelektrostacijas" turpmāk tekstā Daugavas HES, ietver trīs hidroelektrostacijas: Pļaviņu HES, Ķeguma HES un Rīgas HES, kuras ir uzceltas Daugavas upes lejtecē 1.1. attēls. To kopējā jauda ir 1534 MW. "Daugavas hidroelektrostacijas" var saražot apmēram 70% no visas Latvenergo saražotās



elektroenerģijas apjoma (atkarība no gada klimatiskajiem apstākļiem). Hidroelektrostaciju kaskāde projektēta un izveidota, lai racionāli izmantotu Daugavas ūdens resursu enerģiju.



1.1. attēls. Daugavas hidroelektrostaciju izvietojums

Pļaviņu HES pavisam ir uzstādīti 10 hidroagregāti ar Frensis tipa turbīnām. To kopējā uzstādītā jauda 870 MW (pēc agregātu A2, A8 rekonstrukcijas 2001. gadā). Ūdens caurplūde caur turbīnu pie aprēķināta krituma ir robežās 279 - 290 m<sup>3</sup>/s. Ūdens spiedienaugstuma vērtība var mainīties no 35 līdz 41 metriem. Ģeneratori slēgti blokos ar 330 kV transformatoriem.

Ķeguma HES-1 ir četri hidroagregāti ar kopējo jaudu 74 MW. Aprēķinātais ūdens spiedienaugstums - 13,5 metri. Ģeneratori slēgti blokā ar 110 kV transformatoru. 2001. gadā veikta HES rekonstrukcija (rekonstruēti 4 hidroagregāti) pārejot uz jaunām 5 lāpstiņu Kaplāna tipa turbīnām. Ūdens caurplūde caur turbīnu Ķeguma HES-1 pie aprēķināta krituma ir robežās 138 - 145 m<sup>3</sup>/s.

Ķeguma HES-2 ir trīs hidroagregāti ar kopējo jaudu 192 MW (katrs 64 MW). Ūdens caurplūde caur turbīnu Ķeguma HES-2 pie aprēķināta krituma ir 540 m<sup>3</sup>/s. Aprēķinātais ūdens spiedienaugstums - 14 metri. Hidroagregāti slēgti blokā ar 110 kV transformatoru.

Rīgas HES uzstādīti seši hidroagregāti ar kopējo jaudu 402 MW. Tiek izmantotas Kaplāna tipa turbīnas. Ūdens caurplūde caur turbīnu pie aprēķināta krituma 607 m<sup>3</sup>/s. Aprēķinātais ūdens spiedienaugstums - 12,9 metri.

**Normālā** hidroagregātu **darba režīmā** vadība notiek izejot no hidroagregāta nominālās jaudas vērtības. Ja tiek saņemta komanda par hidroagregāta palaišanu ģeneratora režīmā, tas automātiski uzņem nominālo jaudu un strādā ar šādu jaudu līdz tiek saņemta apturēšanas komanda. Normālā režīmā hidroelektrostaciju vadība notiek ievērojot Daugavas HES ūdenskrātuvju pieļaujamo līmeņu un nostrādes ātruma vērtības.

Bez normāliem hidroagregāta darba režīmiem iespējami arī **avārijas režīmi**. Lai nodrošinātu stabilu energosistēmas darbību avārijas režīmos, Daugavas hidroelektrostacijām ir nodefinētas vadības pamatprasības sekojošiem avārijas režīmiem:

- Elektroenerģijas ražošana slodzes maksimumu laikā;
- Energosistēmas avārijas rezerve;
- Energosistēmas frekvences regulēšana;
- Energosistēmas sprieguma regulēšana.

*Dotā darba gaitā Daugavas HES staciju hidroagregātu darba režīmu optimizācija galvenokārt tiek apskatīta normālam darba režīmam, bet arī iepriekšminētie avārijas darba režīmi ir saistoši, jo uzliek zināmus ierobežojumus aktīvās jaudas izstrādes procesam, daži no iepriekšminētiem avārijas režīmiem un režīmu ierobežojumiem tiek apskatīti dotajā darbā.*

Lai mazinātu hidroelektrostaciju negatīvo ietekmi uz vidi, ir nodefinēti pieļaujamie minimālie staciju ūdenskrātuvju līmeņi un maksimālie ūdens līmeņa nostrādes ātrumi attiecīgi katram gada laika periodam. Katrai no hidroelektrostacijām ir noteikti ūdenskrātuves maksimālā līmeņa *ierobežojumi*: Rīgas HES 18 m (virs jūras līmeņa); Ķeguma HES 32 m un Pļaviņu HES 72.70 m.

Daugavas HES hidroelektrostaciju hidroagregātu vadība tiek veikta sekojošā secībā: DC Baltija dispečeri - Latvenergo Centrālā Dispečeru Dienesta (LE CDD) dispečeri - HES dežurējošie dispečeri. Praktiski DC Baltija dispečeri dod mutisku komandu LE CDD dispečeriem, kuri tālāk nodot vadības komandas pa tiešo uz autooperatoru. Komandā norāda hidroagregātu skaitu cik ir jāpalaiž, jāaptur, jāpārved uz sinhrono kompensatoru (SK) vai no SK uz sinhrono ģeneratoru (SĢ).

Jaudas sadalījums pa hidroelektrostacijām tiek aprēķināts gada plānos izejot no ūdens caurplūdes prognozēm. Gada plāni tiek izstrādāti DC Baltija energosistēmas režīmu dienestā.

Gada plāni tiek sastādīti iepriekšējā gada beigās un katru mēnesi tiek precizēti pēc reālas situācijas. DC Baltija dispečeriem katru dienu tiek izsniegts diennakts jaudas sadalījums pa hidroelektrostacijām.

Jaudas sadalījums pa hidroelektrostacijām ir diskrēts - atbilstoši hidroelektrostacijās uzstādīto hidroagregātu nominālo jaudu vērtībām. Bez tam tiek arī ievērotas katras hidroelektrostācijas ūdens caurlaides spējas, ūdenskrātuves tilpums un ūdens līmeņa *ierobežojumi*.

#### ***Hidroagregātu esošo vadības principu trūkumi.***

Pļaviņu HES hidroagregātu optimālais darba režīms ir pie viena aprēķinātā (pases) ūdens spiedienaugstuma. Hidroagregāta ekspluatācijas gaitā ūdens spiedienaugstuma vērtība mainās diapazonā no 35 m līdz 41 m. Mainoties spiedienaugstuma vērtībai, ir jāmaina hidroagregāta jaudas vērtība, lai tiktu sasniegts maksimālais hidroagregāta lietderības koeficients. Patreiz agregāta izstrādājamās jaudas vērtība netiek mainīta atbilstoši reālai spiedienaugstuma vērtībai, jo agregāti visu laiku strādā ar nominālo jaudu, kas palielina izstrādei nepieciešamo ūdens daudzumu.

Ķeguma HES-1 ūdens spiedienaugstuma vērtības noteikšanai ir viens devējs stacijas lejas bjefā un viens augšas bjefā, tas nozīmē, ka visi četri hidroagregāti tiek optimizēti pēc viena ūdens spiedienaugstuma mērījuma. Reālā ūdens spiedienaugstuma vērtība uz katra hidroagregāta turbīnas atšķiras, tā ir atkarība no: cik un kādā secībā dotajā laika momentā strādā hidroagregāti.

Ķeguma HES-2 turbīnas darba rata lāpstiņas ir aizmetinātas, līdz ar to arī ir atslēgts kombinators. Tas ir iemesls tam, ka hidroagregātu optimizācija tiek novesta pie HA optimālā darba pie vienas ūdens spiedienaugstuma vērtības ar kādu konkrētu jaudas vērtību. Reāli ūdens spiedienaugstuma vērtība mainās, attiecīgi ir jāmaina ģenerators izstrādājamās jaudas vērtība atbilstoši optimālās jaudas vērtībai pie reālā ūdens spiedienaugstuma.

Rīgas HES tika veikts pirmais solis optimizācijas ieviešanā, 2005. gadā tika atjaunota ietaise, kas veic jaudas korekciju pēc ūdens spiedienaugstuma. Līdz ar to ir nodrošināta iespēja veikt Rīgas HES optimizāciju gan pēc spiedienaugstuma, gan ieviešot jaunas optimālās vadības metodes. Otrais solis stacijas optimizācijā ir - ieviest jaunas optimālās vadības metodes.

## 2. ENERGOSISTĒMU REŽĪMU VADĪBAS OPTIMIZĀCIJAS ESOŠO METOŽU

### APSKATS

Otrā nodaļa ir veltīta *Energosistēmas režīmu vadības optimizācijas esošo metožu apskatam. Veikts ieskats matemātiskās modelēšanas un optimālās vadības pamatnostādņēs. Apskatītas energosistēmu optimizācijas metodes: energosistēma, kurā ar dominē hidroenerģētiskā struktūra; vienas upes hidroelektrostaciju kaskādes vadības optimizācija; energosistēmas režīmu vadības optimizācija, kas sastāv no hidroelektrostacijām un termoelektrostacijām. Veikts pārskats par esošām analīzes metodēm dažādiem hidroelektrostaciju agregātu režīmiem.*

Matemātisko modeli var parādīt kā vienādojumu sistēmu, kas sasaista ražošanas procesa rādītājus, ieejas un izejas parametrus ar pārējiem parametriem un ierobežojumiem. Jebkura tehnoloģiska procesa pilnīgs matemātiskais modelis sevī ietver piecas vienādojumu grupas.

1. *Efektivitātes vienādojums* (mērķa funkcija). Parāda atbilstības pakāpi vienam vai otram uzdotajam vadības mērķa risinājumam. Varbūtības formā to var uzrakstīt kā:

$$MF(Y, X_v, X_{nv}) \Rightarrow \max, \quad (2.1)$$

kur  $M$  - matemātiskās iespējamības simbols (netiek rakstīts pie efektivitātes vienādojuma determinētas pieraksta formas);

$F$  - mērķa funkcija;

$Y$  - izejas parametri;

$X_v$  - vadāmie ieejas parametri;

$X_m$  - nevadāmie ieejas parametri.

2. *Sakarību vienādojumi*. Apraksta sistēmas tehnoloģisko procesu un parāda sistēmas izejas parametru atkarību no pārējiem stāvokļa vadāmiem parametriem

$$Y = A(X_v, X_{nv}) \text{ vai } Y = A(X) \quad (2.2)$$

Tāda sakarība dažreiz tiek saukta elementa vai ražošanas raksturlīkne. Raksturlīkne - ir sakarību kopums, kas uzstāda ražošanas izejas  $Y$  atbilstoši ar tā ieejām  $X$ . Objektam, uz kura ieeju nonāk signāls  $X(t)$  un izejā sanāk mainīgais  $Y(t)$ , raksturlīkne ir operators  $A$ . Viņš parāda  $Y(t)$  iegūšanas operāciju secību un saturu, pēc uzdotā  $X(t)$ . Vispārējā gadījumā operators  $A$  raksturo ieejas patēriņu uz izejas vienu vienību, kā arī ieejas apsteigšanu (kavēšanos) attiecībā

pret izeju. Raksturlīknes var iegūt teorētiski pamatojoties uz speciāliem mērījumiem vai tiešu identifikāciju, tās var uzrakstīt slēptā veidā:

$$A'(X, Y) = 0.$$

*Tāds pieraksts, bieži tiek izmantots pie objekta uzvedības teorētiskās analīzes.*

Ja objekta raksturlīkne nemainās laika gaitā, tad objekts tiek uzskatīts par stacionāru. Novencošanās un citu iemeslu dēļ objekta raksturlīknes mainās līdz ar laiku. Praktiski vairākums objektu nav stacionāri. Tiem izdala (ja ir iespējams) laiku tāda garuma plānošanai, kurā objektu varētu uzskatīt par stacionāru. Nestacionaritātes ievērošana stipri sarežģī matemātisko modelēšanu.

3. *Ierobežojumu vienādojumi.* Šie vienādojumi parāda sistēmas ieejas un izejas parametru pieļaujamās izmaiņas robežas, tehnoloģisko procesu norises nosacījumus. Ierobežojumi var būt vienādību (balansa tipa ierobežojumi) un nevienādību formā (parametru izmaiņas robežu ierobežojumi). Vispārīgā gadījumā ierobežojumu var uzrakstīt kā:

$$F_{ier, i}(X, Y) \leq A_{ier, i}. \quad (2.3)$$

Pēc veida  $F_{kr}$  ierobežojumu funkcija var būt lineāra vai nelineāra. Tās var pierakstīt determinētā (noteikta) vai stohastiskā (varbūtību) formā. Ierobežojumus bieži pieraksta parametru izmaiņu pieļaujamo diapazonu veidā. Tā ieejas (vadāmo) parametru ierobežojumus determinētā nostādņē varam uzrakstīt sekojošā veidā:

$$X_{i,v,min} \leq X_{i,v} \leq X_{i,v,max} \quad (2.4)$$

Kā organizatoriskās sistēmas ierobežojumi var būt nevis tehnoloģiskie ierobežojumi, bet direktīvie norādījumi (darba plāns), kuriem ir likuma spēks un nepieciešama to izpilde.

4. *Optimālās vadības vienādojumi* vai optimizācijas vienādojumi. Šie vienādojumi ir optimizācijas galvenais rezultāts. *Vadības vienādojums ir tāds funkcija, kas parāda optimālo sakarību sistēmas vadāmajiem parametriem no mērķa, sistēmas izejas un tās nevadāmajiem parametriem:*

$$X_{v,o} = f_v(F, Y, X_{nv}). \quad (2.5)$$

Vadības likuma meklēšana ir sistēmas uzvedības optimizācijas pēdējais etaps. Meklēšanai tiek izmantotas optimizācijas metodes.

5. *Adaptācijas vienādojumi.* Vispārējā gadījumā automatizētā vadības sistēma ir adaptīva sistēma ar pielāgošanās spējām. Ar adaptāciju sapratīsim parametru, sistēmas struktūras un vadības iedarbes izmaiņšanos procesu, pamatojoties uz tekošo informāciju, ar mērķi sasniegt noteiktu, parasti optimālo sistēmas stāvokli, pie sākotnējās nenoteiktības un izmaiņām

sistēmas darba nosacījumos. Neapslēpta veidā to var uzrakstīt ka novēroto sistēmas darba ekonomisko nosacījumu un dotajā laikā brīdī esošo, atšķirības minimizācija:

$$E_0(X, Y) - E(X_1, Y_1) \Rightarrow \min, \quad (2.6)$$

kur  $E_0$  - vislabākais sasniegtais efekts pie nosacījumiem, tuviem pie esošiem iekšējiem nosacījumiem.

Energosistēmas optimālā vadība ir sarežģīts un daudzkriteriāls uzdevums. Energosistēmas optimālās vadības galvenais uzdevums ir saistīts ar tādas enerģētiskās apvienības aprēķiniem un ieviešanas, pie kuras tiek nodrošinātas nepieciešamās frekvences un sprieguma vērtības uz patērētāju apakšstaciju kopnēm un tiek sasniegta vislielākā ekonomija pie elektroenerģijas un siltumenerģijas ražošanas un pārvades.

Energosistēmas optimālās vadības problēmas risinājums ir atkarīgs no energosistēmas struktūras. Tā kā apvienotās energosistēmas vadības sistēmai ir hierarhisks raksturs, tad optimizācijas uzdevumi, katrā līmenī ir dažādi. Minimizējamā funkcija katrā hierarhijas līmenī var būt dažāda.

Dotajā darbā tiek risināta jaudas sadalījuma optimizācijas problēma starp Daugavas HES kaskādes hidroagregātiem. Jaudas sadalījuma optimizācijas problēma starp AS "Latvenergo" sistēmas stacijām netiek apskatīta. **Daugavas HES kaskādes hidroagregātu summārā slodzes jauda tiek pieņemta par uzdotu un dotā darba uzdevums ir uzdotās slodzes jaudas sadalījuma starp atsevišķiem kaskādes hidroagregātiem optimizācija.**

Optimizācijas matemātiskais modelis tiek noteikts ar optimizācijas kritēriju. Dotajā darba optimizācijas kritērijs ir stacijas hidroagregātu ūdens patēriņa minimums.

$$F = \sum_{i=1}^n Q_i(P_{Gi}) \rightarrow \min \quad (2.7)$$

kur  $Q(P_{Gi})$  - patēriņa raksturlīkne, kas parāda nosacītā energonesēja vienas stundas patēriņu  $i$ -tajā stacijā.

Vispārējā gadījumā agregāta ūdens patēriņš atkarīgs no vairākiem mainīgajiem un mērķa funkciju var izteikt:

$$F = \sum_{i=1}^n q(P_{Gai}, l_{AB}, l_{LB}, Q_i, f, s, \alpha) \rightarrow \min \quad (2.8)$$

kur:  $q$  - īpatnējais ūdens patēriņš;

$P_{Gai}$  - ģenerētā aktīvā jauda  $i$  - tajam agregātam;

- $l_{AB}$  - stacijas augšas bjefa līmenis;
- $l_{LB}$  - stacijas lejas bjefa līmenis;
- $Q_i$  - ūdens caurplūde  $i$  - tajam agregātam;
- $F$  - frekvence;
- $s$  - statisms;
- $\alpha$  - turbīnas darba rata lāpstu pagrieziena leņķis (tikai Kaplāna tipa turbīnām).

Ierobežojuma vienādojumi sasaista vairākus parametrus, piemēram:

- 1) Jaudas balanss. Visu kaskādes elektrostaciju summārai jaudai ir jābūt vienāgai ar dotajā momentā uzdoto slodzes jaudu  $P_{uzd}$

$$\sum_{i=1}^n P_i - P_{uzd} = 0 \quad (2.9)$$

- 2) Nevienādības.

- Stacijas bjefu līmeņu ierobežojumi:

$$l_{AB,min} < l_{AB} < l_{AB,max},$$

$$l_{LB,min} < l_{LB} < l_{LB,max}$$

- Agregātu jaudas robežas:

$$P_{i,min} < P_i < P_{i,max}$$

- Agregātiem uzdotā primārās frekvences regulēšanas rezerve, kuru var izteikt ar jaudas korekcijas pēc frekvences vienādojumu:

$$\Delta f - s_i \Delta P_i = 0,$$

kur  $s_i$  -  $i$ -tā ģeneratora statisms,

$\Delta f$  - sistēmas frekvences novirze no nominālās vērtības ( $\Delta f = f_0 - f$ ).

Hidroelektrostacijas agregātu vadības optimālā režīma noteikšanas problēma vienmēr ir bijusi aktuāla, īpaši pie īstermiņa plānošanas, kas dod ievērojamu ekonomisko efektu. Publikāciju saraksts tikai pēdējo desmit gadu laikā liecina par interesi par šo tēmu.

Optimizācijas mērķis mainās atkarībā no energosistēmas struktūras, kā piemērus var minēt:

- Viena elektrostacija uz upes;
- Elektrostaciju kaskādes uz vienas upes;

- Elektrostacijas uz vienas upes atzariem;
- Energosistēma, kurā dominē hidroelektrostacijas;
- Energosistēma ar hidroelektrostacijām un termoelektrostacijām.

Katrā optimizācijas gaitā tiek noteikta mērķa funkcija, kas arī var būt dažāda katrai optimizācijas pieejai. Parasti mērķa funkcija sastāv no vairākiem parametriem, kas pārsvarā nav lineāri.

### 3. HIDROAGREGĀTU TURBĪNU MODELĒŠANAS METODE

*Trešā nodaļa ir veltīta hidroagregātu turbīnu modelēšanas metodes izstrādei. Hidroagregātu turbīnas modeļu līkņu un ražošanas eksperimentālo līkņu raksturojums un to pielietošanas ekspluatācijā analīze.*

Sarežģītas enerģētiskās sistēmas matemātiskā aprakstīšana ir ļoti sarežģīta, tāpēc lieto fiziskās modelēšanas metodes, kuras rezultātā tiek dotas turbīnu enerģētiskās raksturlīknes. Šī metode tika izmantota analizējot Daugavas HES hidroagregātu darba režīmus.

Hidroagregātu darba režīmus raksturo vairāki parametri. Vieni no galvenajiem parametriem ir vadaparāta atvērums, ūdens caurplūde, ūdens spiedienaugstums, turbīnas darba rata lāpstu pagrieziena leņķis (Kaplāna turbīnām), turbīnas jauda, ģeneratora jauda, lietderības koeficients u.c. Vairākums no šiem parametriem tiek atspoguļoti hidroagregātu modeļu un ražošanas eksperimentālajās līknēs.

Katra hidroagregāta un turbīnas parametrus tāds kā: lietderības koeficients, ūdens patēriņš, optimālais režīms u. c. parametru lielumus var izteikt no ekspluatācijas līknēm. Ekspluatācijas līknes iedala:

- 1) līknēs, kas ir iegūtas turbīnas modeļa pētījumu rezultātā, jeb modeļu līknes;
- 2) līknes, kas hidroagregātam ir uzņemtas eksperimentālā veidā uz vietas elektrostacijā, jeb ražošanas eksperimentālās līknes.

Hidroagregātu turbīnu modeļu līknes, jeb ekspluatācijas līknes parasti tiek uzņemtas speciālās laboratorijās, vai izgatavotājrūpnīcās pamatojoties uz zināmām modeļu pētījumu metodēm.

Pastāv apmēram piecpadsmit hidroagregātu līkņu saimes, taču ekspluatācijā (ražošanā) galvenokārt izmanto trīs veidu līknes, šīs līknes tika iegūtas no *hidroagregātu ražošanas ekspluatācijas līknēm*, kas tika uzņemtas katram hidroagregātam natūrparbaužu rezultātā 1968. un 1969. gados.



Ekspluatācijas raksturlīknes,  $\eta_{HA} = f(H, P_{HA})$ ,

kur  $\eta_{HA}$  - hidroagregāta lietderības koeficients;

$H$  - ūdens kritums;

$P_{HA}$  - ģenerators jauda.

Ūdens patēriņa raksturlīknes,  $Q = f(P_{HA})$ ,

kur  $Q$  - ūdens caurplūde caur turbīnu.

Šīs līknes parasti tiek konstruētas pie dažādiem konstantiem ūdens kritumiem.

Patreizējā situācijā iepriekš apskatītās līknes hidroagregātu ekspluatācijā kalpo kā tīri informatīvs materiāls, jo hidroagregātu vadība notiek izejot no nominālās jaudas iestatījuma, t.i., ja tiek saņemta komanda par hidroagregāta palaišanu ģenerators režīmā, tas automātiski uzņem nominālo jaudu un strādā ar šādu jaudu līdz tiek saņemta apturēšanas komanda. Veicot šinī sadaļā ietverto hidroagregātu darba raksturlīkņu analīzi, varam secināt, ka *pie hidroagregātu nominālajām jaudas vērtībām, lietderības koeficienta vērtības nebūt nav optimālās*, pie kam, tās mainās, mainoties ūdens spiedienaugstuma vērtībām. Līdz ar to ir nepieciešams veikt padziļinātu līkņu apstrādi un analīzi, lai varētu piedāvāt hidroagregātu darba režīma optimizācijas algoritmu. Iepriekšminēto jautājumu apskatei veltītas nākošās darba nodaļas.

#### **4. PĻAVIŅU HES HIDROAGREGĀTU DARBA REŽĪMU OPTIMIZĀCIJAS ALGORITMS**

*Ceturrtā nodaļa ir veltīta Pļaviņu HES hidroagregātu darba režīmu optimizācijas algoritma sintēzei. Noteikts hidroagregātu darbības efektivitātes kritērijs un hidroagregātu darba režīma optimizācijas mērķa funkcija. Veikta līkņu apstrāde optimizācijas procesa gaitā, jeb līkņu modelēšana. Sintezēts hidroagregāta optimālā darba režīma noteikšanas algoritms (paņēmiens), kurš tika atzīts kā Latvijas Republikas patents. Izstrādāta hidroagregāta optimālā darba režīma noteikšanas algoritma adaptīvā shēma.*

Esošā darbā apskatītās optimizācijas galvenais mērķis ir nodrošināt hidroagregāta darbu ar minimālu īpatnējo ūdens patēriņu [ $m^3 / kWh$ ], jeb nodrošināt darbu ar vislielāko lietderības koeficientu, kas arī ir turpmākās optimizācijas kritērijs. Lai varētu nodrošināt

optimālo darba režīmu, ir nepieciešami precīzi ūdens caurplūdes mērījumi, šo mērījumu nodrošināšanai ir nepieciešamas specializētas eksperimentālās metodes un līdzekļi, kurus ir grūti izmantot reālajā laikā. Grūtības sagādā arī ūdens krituma mērījumi, parasti tie netiek mērīti pie katra hidroagregāta, kas arī rada kļūdas optimizācijas algoritmā.

Hidroagregāta jauda atkarīga no turbīnas vadaparāta atvēruma pakāpes. Spiedienaugstuma (ūdens krituma) izmaiņas pie konstanta vadaparāta atvēruma izsauc turbīnas jaudas izmaiņas. Pie viena un tā paša augšas bjefa līmeņa turbīnas jauda mainās atkarībā no darbā ievesto agregātu skaita, jo mainās lejas bjefa līmenis, kas attiecīgi izmaina ūdens spiedienaugstumu.

Ar agregāta darbības efektivitāti saprot katra agregāta izmantošanu režīmā ar minimālu īpatnējo ūdens patēriņu, kas atbilst hidroagregāta maksimālajam lietderības koeficientam. Īpatnējo ūdens patēriņu  $q$ , [ $m^3/kWh$ ] nosaka pēc formulas:

$$q = \frac{Q}{P_G} * 3600, \quad (4.1)$$

kur  $Q$  - ūdens caurplūde turbīnā,  $m^3/sek$ ;

$P_G$  - ģenerators jauda,  $kW$ .

Vispārīgā gadījumā īpatnējais ūdens patēriņš atkarīgs no spiedienaugstuma  $H$ , ūdens caurplūdes  $Q$  un ģenerators izejas jaudas  $P_G$  t.i.

$$q = f(H, Q, P_G). \quad (4.2)$$

kur  $q$  - īpatnējais ūdens patēriņš,  $m^3/kWh$ ;

$H$  - ūdens spiedienaugstums,  $m$ ;

Hidroelektrostacijas agregātu izmantošana ar minimālu īpatnējo ūdens patēriņu lielākajā tā darbības laikā dod ievērojamu ekonomisko efektu. Attiecīgi **optimizācijas mērķa funkcija** būs:

$$f_{opt} = \min q, \text{ jeb ievērojot (4.2)} \quad (4.3)$$

$$f_{opt} = \min f(H, Q, P_G, l_{AB}, l_{LB}) \text{ kur} \quad (4.4)$$

kur  $l_{AB}, l_{LB}$  - attiecīgi augšas un lejas bjefu līmeņi,  $m$ .

Dotā mērķa funkcija ir vienkāršota salīdzinājumā ar teorētisko, jo praktiskajai mērķa funkcijai atstājam tikai noteicošos parametrus.

Tātad, hidroagregāta optimālais režīms atkarīgs no spiedienaugstuma  $H$  (nav vadāms parametrs), ūdens caurplūdes  $Q$  (vadāms parametrs) un ģeneratora izejas jaudas  $P_G$ . (vadāms parametrs). Hidroagregāta darbības laikā šie parametri mainās un, piemēram, pie jaunas  $H$  vērtības eksistē cits optimālais režīms, jeb, citiem vārdiem runājot, minimāls īpatnējais ūdens patēriņš, jeb maksimālais lietderības koeficients (vadāmi parametri) būs pie citas jaudas  $P_G$  vērtības skatīt 4.1., 4.2. un 4.3. attēlus.

Hidroagregāta optimālā režīma nodrošināšanai nepieciešama informācija par spiedienaugstumu  $H$ , ūdens caurplūdi  $Q$ , tekošo un optimālo īpatnējo ūdens patēriņu  $q$ .

**Optimālas vadības realizācijai nepieciešami pietiekami precīzi parametru  $Q$ ,  $P_G$  un  $H$  mērījumi**, ko izmantojot esošās metodes un ierīces, ir grūti nodrošināt. Piemēram, standarta vatmets ar samērā augstu precizitātes klasi 0,2 nav izmantojams ģeneratora izejas jaudas mērīšanai, jo minēto precizitāti tas nodrošina tikai pie sinusoidāliem ieejas lielumiem un statiska režīma. Ūdens plūsmas nevienmērīguma iespaidā jaudas vērtība ir nepārtraukti mainīga un aparāta rādījumi ir nestabili. Nepieciešams mērījumu vērtības integrējošs aparāts. Hidroelektrostacijas augšas bjeļa līmeņa mērījums tiek veikts divos punktos pie aizsprosta, nevis pie katra agregāta un tas savukārt rada lielu kļūdu  $H$  mērījumos. Turbīnas ūdens caurplūdes  $Q$  mērījumi to sarežģītības dēļ vispār netiek veikti.

**Darbā tiek piedāvāta jauna optimāla režīma noteikšanas metodika, kurā parametrus  $Q$  un  $H$  nosaka netieši izmantojot hidroagregāta modeļu slodzes raksturlīknes.** Katrs agregāts ir apgādāts ar modeļu raksturlīkņu kopām, kurās parādīta hidroagregāta turbīnas jaudas  $P_T$  atkarība no ūdens caurplūdes  $Q$  pie dažādiem spiedienaugstumiem  $H$  un jaudas  $P_T$  atkarība no servomotora pārvietojuma  $S$  arī pie dažādiem spiedienaugstumiem  $H$ . Turpmākā darba gaitā tiks aprakstīta šī piedāvātā optimizācijas metode, kas pēc būtības ir **grafoanalītiskā metode**, jo analīzei tiek pielietots grafoanalītiskais paņēmieni.

Lai izstrādātu hidroelektrostacijas optimālā darba algoritmu tika izveidotas jaunas līkņu saimes. Analīzes rezultātā **netika** apstrādātas esošās hidroagregātu **ražošanas ekspluatācijas līknes**, tālākā optimizācijas procesā gaitā līkņu apstrādē tika izmantotas hidroagregātu **turbīnu modeļlīknes**, jeb turbīnu ekspluatācijas līknes, kas uzņemtas specializētās laboratorijās.

No turbīnu ekspluatācijas līknēm, iespējams izrēķināt optimizācijai nepieciešamās līknes. Aprēķiniem tika izmantot formula:

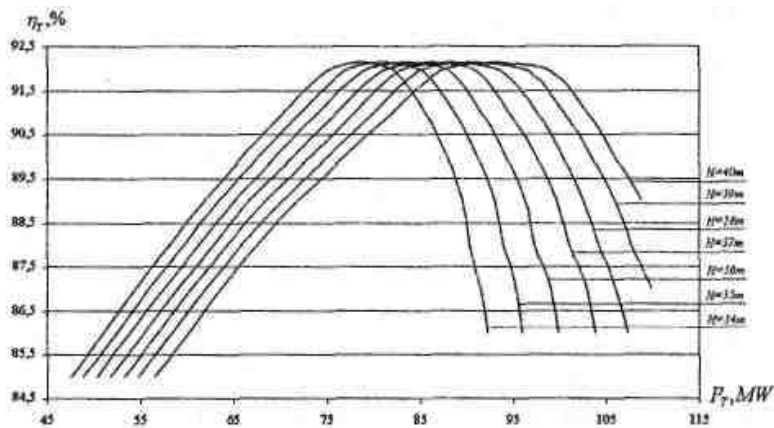
$$P_T = 9,81 * Q * H * \eta_{HA}, \quad (4.5)$$

kur  $P_T$  - turbīnas jauda, kW;  
 $\eta_{HA}$  - hidroagregāta lietderības koeficients.

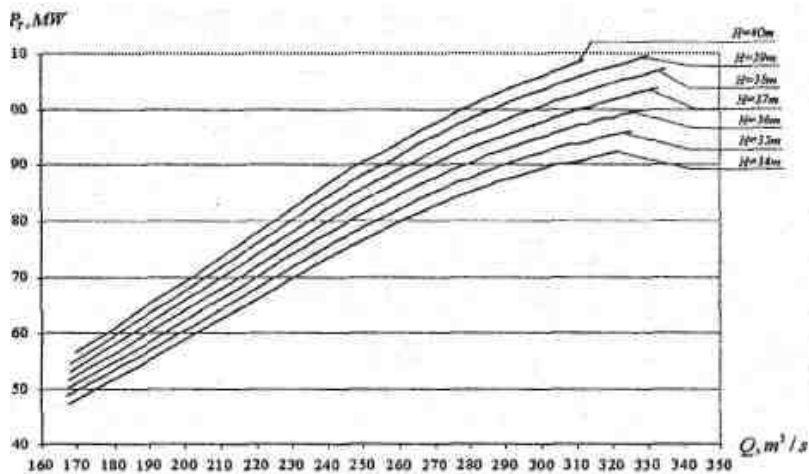
$$\eta_{HA} = \eta_T * \eta_G, \quad (4.6)$$

kur  $\eta_T$  - turbīnas lietderības koeficients;  
 $\eta_G$  - ģeneratora lietderības koeficients.

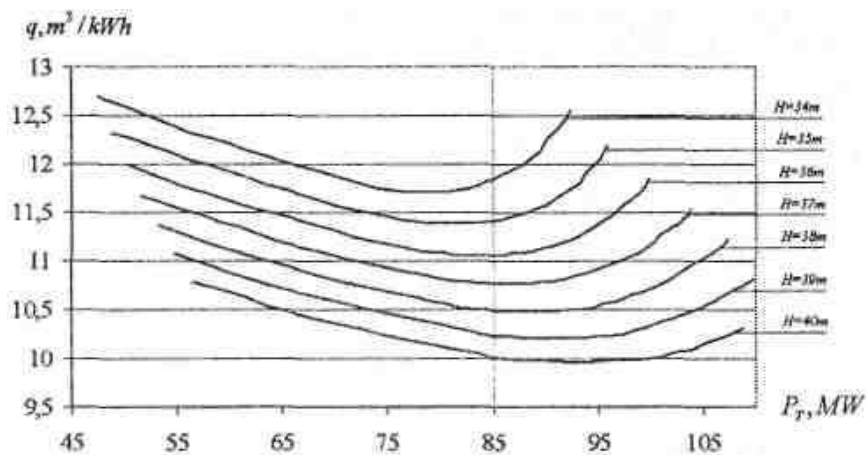
Analīzes rezultātā tika izveidotas jaunas līkņu saimes. Kā piemērs ir parādītas Pļaviņu HES veco hidroagregātu turbīnas darba raksturlīknes skatīt 4.1. attēlu; turbīnas ūdens patēriņa līknes skatīt 4.2. attēlu; turbīnas īpatnējā ūdens patēriņa līknes skatīt 4.3. attēlu.



4.1 attēls. Veco hidroagregātu turbīnas darba raksturlīknes

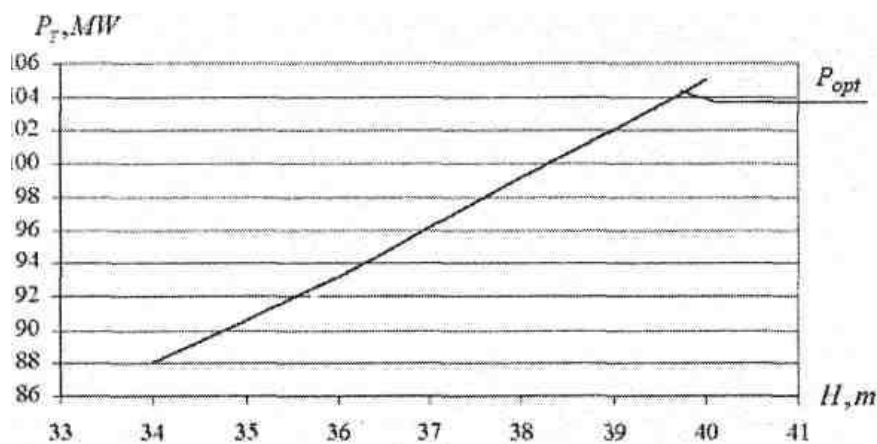


4.2. attēls. Veco hidroagregātu turbīnas ūdens patēriņa līkne



4.3. attēls. Veco hidroagregātu turbīnas īpatnējā ūdens patēriņa līkne, pie dažādiem ūdens spiedienaugstumiem

No 4.3. attēla redzam, ka mainoties spiedienaugstuma vērtībai, mainās turbīnas jaudas vērtība, kas atbilst  $q_{\min}$ . Attēlā 4.4. parādītas iegūtās Pļaviņu HES modernizēto **hidroagregāta turbīnas optimālā režīma līknes**, jeb līknes - turbīnas optimālā jauda kā funkcija no spiedienaugstuma  $P_T = f(H)$ , kas tika konstruētas atrodot pie  $q_{\min}$  optimālo jaudas vērtību  $P_{opt}$ , pie attiecīgā krituma  $H$  (skatīt 4.3. att.).



4.4. attēls. Rekonstruēto hidroagregātu turbīnas optimālā režīma līkne

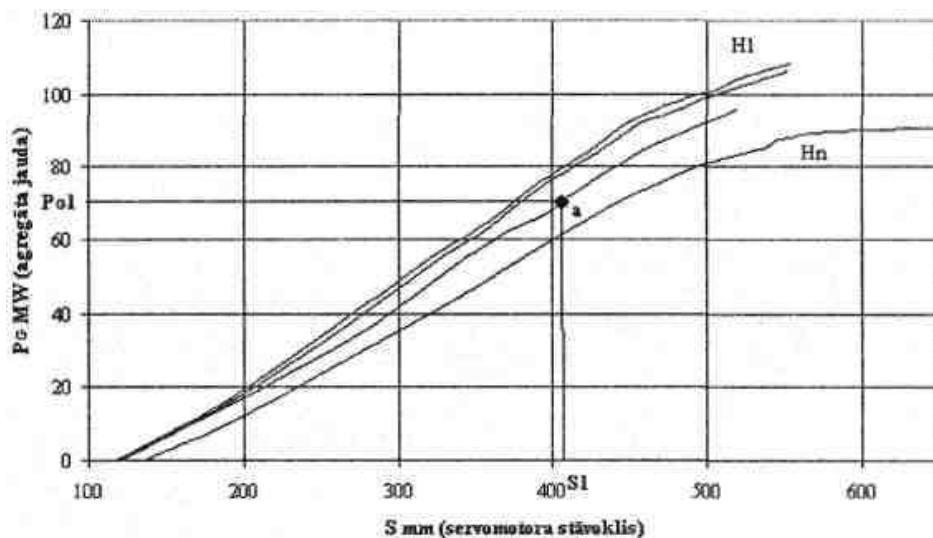
Iepriekšminētās līkņu saimes tika iegūtas pārveidojot turbīnas modeļu līknes, praktiskajai izmantošanai ērtākajā formā, izmantojot grafo-analītisko metodi. Piedāvātā līkņu (saimes) jaunā forma ir piemērota matemātiskai apstrādei (līknes ir pieejamas elektronisko tabulu formā), lai pielietotu turpmākajā turbīnu regulatoru modernizācijā.

Kā jau iepriekš tika minēts, nevar precīzi veikt ūdens caurplūdes mērījumus un grūtības sagādā arī ūdens spiedienaugstuma mērījumi. Reālā ūdens spiedienaugstuma zināšana minimizē optimizācijas kļūdu. Darba gaitā, tika izstrādāts paņēmieni reālā ūdens spiedienaugstuma noteikšanai.

Veicot stacijas hidroagregātu tehnisko iespēju analīzi, tika konstatēts, ka precīzi iespējams mērīt sekojošus lielumus:

- ģenerators jaudu:  $P_G$ ,  $MW$ ,
- hidroagregāta vadaparāta servomotoru stāvokli:  $S$ ,  $mm$ .

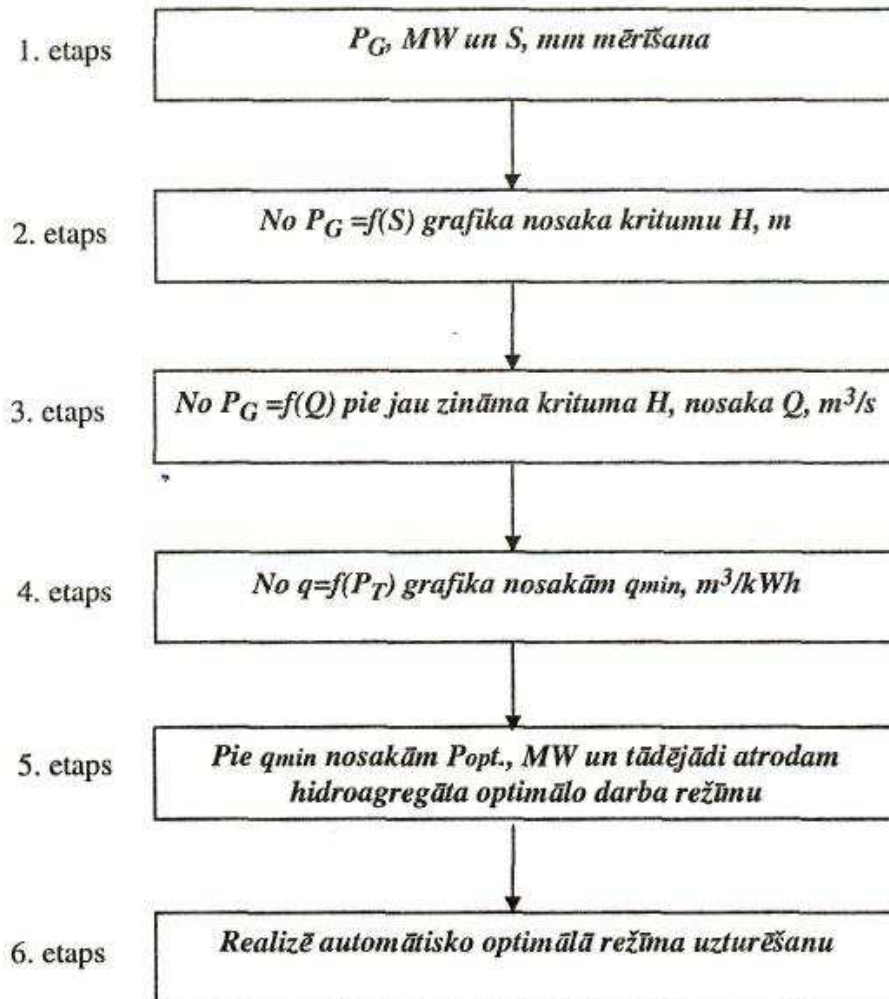
Izejot no iepriekšminētā, tika veikta hidroagregāta turbīnas modeļa līkņu apstrāde un analīze ar mērķi iegūt līkņu saimes - hidroagregāta ģenerators jauda kā funkcija no servomotoru atvēruma  $P_G = f(S)$ , katrā ūdens spiedienaugstuma vērtībai ( $H_1...H_n$ ), skatīt 4.5. attēlu.



4.5. attēls. Hidroagregāta līkņu  $P_G = f(S)$  saime

No iegūtas līkņu saimes  $P_G = f(S)$  - hidroagregāta ģenerators jauda kā funkcija no servomotoru atvēruma, pie attiecīgā ūdens spiedienaugstuma, izmērot hidroagregāta jaudu  $P_{G1}$  un servomotoru pozīciju  $S_1$ , var noteikt reālo ūdens spiediena augstumu  $H$ ,  $m$  uz turbīnas (punkts „a” 4.5. attēlā).

Ņemot vērā iepriekšminētās optimālā režīma noteikšanas problēmas un reālo optimizācijas iespēju analīzi, kā arī veicot hidroagregāta turbīnas modeļu līkņu apstrādi un analīzi, tiek piedāvāts sekojošs Pļaviņu hidroelektrostacijas hidroagregātu optimālā režīma noteikšanas algoritms. Pļaviņu hidroelektrostacijas darba optimālā režīma noteikšanas algoritms parādīts 4.6 attēlā.



4.6. attēls. Pļaviņu hidroelektrostacijas hidroagregāta optimālā darba režīma noteikšanas algoritms

Pļaviņu HES hidroagregātu optimālā darba režīmu algoritma darbības etapu detalizēts apraksts ir atspoguļots promocijas darbā.

Pļaviņu HES hidroagregātu optimālā darba režīma noteikšanas etapu adaptīvā shēma parādīta 4.7. attēlā.





HES hidroagregātu modeļu līkņu apstrāde ar mērķi iegūt līkņu saimes: hidroagregāta lietderības koeficients kā funkcija no hidroagregāta jaudas  $\eta_{HA} = f(P_{HA})$ . Apstrādes procesā tika izmantotas sekojošas modeļu līkņu saimes:

- 1) Vecajiem hidroagregātiem - PO 984-B-600 tipa turbīnas universālā ekspluatācijas raksturlīkne Nr.2189-135;
- 2) Modernizētajiem hidroagregātiem - PO 45/3232 tipa turbīnas universālā ekspluatācijas raksturlīkne Nr.2697 pēc XTT3;
- 3) Rekonstruētajiem hidroagregātiem - Pļaviņas HPP Prototype Hill Diagram, APP. 75.

Optimālie darba punkti, ņemot vērā ūdens spiedienaugstuma vērtību (H, m), tika iegūti aprēķinu rezultātā no turbīnas darba raksturlīknēm vecajiem, modernizētajiem un rekonstruētajiem hidroagregātiem. Šīs vērtības ir uzrādītas 5.1. tabulā.

5.1. tabula

Veco, modernizēto un rekonstruēto hidroagregātu optimālā darba punkti

	vecie hidroagregāti	modernizētie hidroagregāti	rekonstruētie hidroagregāti
H, m	$P_{opt.HA}$ , MW	$P_{opt.HA}$ , MW	$P_{opt.HA}$ , MW
40	89,99	102,69	90,79
39	87,75	99,76	91,16
38	85,41	97,02	88,75
37	83,36	93,89	84,18
36	81,12	91,35	81,98
35	78,88	88,70	80,09
34	76,44	86,06	78,40

Lai nodrošinātu hidroagregāta optimālo darba režīmu, hidroagregāta regulatora shēma ir jāpapildina ar optimizācijas ierīci, kurai ir jāstrādā pēc autoru piedāvātā Pļaviņu HES hidroagregātu optimālās vadības algoritma, kas tika aprakstīts darba 4. nodaļā, un uzturētu optimālās jaudas vērtības pie attiecīgā ūdens spiedienaugstuma.

Analīzes rezultātā ir izstrādāts jauns Rīgas HES hidroagregātu optimālās vadības algoritms, kurā ir ievērotas visas iepriekšminētās problēmas. Rīgas HES hidroagregātu optimālās vadības algoritms *netiek* detalizēti apskatīts šī darba ietvaros.

## **6. PĻAVIŅU HES HIDROAGREGĀTU DALĪBAS FREKVENCES REGULĒŠANA IESPĒJU ANALĪZE, ŅEMOT VĒRĀ OPTIMIZĀCIJAS NOSACĪJUMUS**

*Sestā nodala ir veltīta Pļaviņu HES hidroagregātu dalības frekvences regulēšanā iespēju analīzei, ņemot vērā optimizācijas nosacījumus. Veikta Pļaviņu HES hidroagregātu darbības analīze pie jaudas izmaiņām, ja hidroagregāts strādā optimālajā režīmā.*

Viens no energosistēmas slodzes grafika plānošanas etapiem ir aktīvās jaudas rezervju plānošana.

Lai kompensētu ieplānotās neprecizitātes energosistēmas diennakts režīmā, jaudas lielumā un patēriņā tiek paredzēta ne mazāk kā 3% rezerve no plānotās maksimālās energosistēmas jaudas.

Ir šāda veida rezerves:

a) operatīvās rezerves (momentānās, ātrās un lēnās):

Momentānā rezerve - tās lielums atkarīgs no turbīnas primārā regulatora statiskuma un katla tipa;

Ātrā rezerve - realizējas automātiski, ieslēdzoties hidroagregātiem (līdz 3 minūtēm);

Lēnā rezerve - realizējas līdz 30 minūšu laikā, dispečergrafika ģenerētārvienībām uzņemot slodzi pēc pārvades sistēmas operatora instrukcijas. Šī rezerve ietver arī lietotāju slodzes ierobežošanu vai atslēgšanu.

b) Aukstā rezerve - rezerve, kuras lielums un realizācijas laiks atkarīgs no iekārtas palaišanas raksturlīknēm un tās darba stāvokļa. Šīs rezerves ir arī lietotāju slodzes ierobežošana vai atslēgšana.

Energosistēmā rezerves realizējas šādi:

a) operatīvā momentānā rezerve - pie frekvences izmaiņām;

b) operatīvā ātrā rezerve - atslēdzoties energosistēmas jaudīgam ģeneratoram, pārslogojoties tranzīta līnijām vai slodzei sasniedzot stabilitātes robežu;

c) operatīvā lēnā un aukstā rezerve - izmainoties ģenerēšanai vai patēriņam.

Frekvences regulēšanas gadījumā katras elektrostacijas hidroagregātam jābūt noteiktām aktīvās jaudas "+" diapazonam (aktīvās jaudas palielināšana) un "-" diapazonam (aktīvās jaudas samazināšana), atkarībā no frekvences nosacījumiem. Pļaviņu

hidroelektrostacija tika apskatīta, jo tā ir izdalīta frekvences regulēšanā saskaņā ar Latvijas Energosistēmas pamatprasībām (skatīt "Tīkla kodeksa" 4. nodaļu), un arī tāpēc, ka veicot optimizācijas pasākumus šai stacijai var iegūt lielāko ekonomisko efektu.

Turbīnas universālās ekspluatācijas raksturlīknes nosaka minimālos un maksimālos jaudas ierobežojumus. Turbīnas jaudas minimālos ierobežojumus nosaka minimālais aprēķinu ūdens spiedinaugstums  $H=34\text{m}$  un maksimālos ierobežojums nosaka hidroagregāta ģeneratora nominālās jaudas vērtības. Minimālās un maksimālās jaudas ierobežojumi ir jāievēro pie iespējamās stacijas hidroagregātu dalības primārajā frekvences regulēšanā.

Nodaļas otrais uzdevums bija atspoguļot kā mainās hidroagregāta ūdens caurplūdes  $Q$ ,  $\text{m}^3/\text{sec}$  un attiecīgā īpatnējā ūdens patēriņu  $q$ ,  $\text{m}^3 / \text{kWh}$  vērtības, ja agregāts tiek izdalīts frekvences regulēšanai ar jaudas rezerves regulēšanas iespējām  $-5\text{MW}$  un  $-10\text{MW}$ . Kā piemērs, zemāk esošajā tabulā parādītas sekojošas vērtības: turbīnas jauda  $P_T$ , turbīnas lietderības koeficients  $\eta_T$ , ūdens caurplūde  $Q$  un īpatnējais ūdens patēriņš  $q$ , pie ūdens spiedinaugstuma vērtībām  $40\text{m}$ ,  $39\text{m}$ ,  $38\text{m}$ ,  $37\text{m}$ ,  $36\text{m}$ ,  $35\text{m}$  un  $34\text{m}$ . Jaudas izmaiņa notiek no aprēķinātā turbīnas optimālā režīma par  $-5\text{MW}$  un  $-10\text{MW}$ .

6.1. tabula

Veco hidroagregātu līkņu analīzes rezultāti

Izmaiņa , MW	H = 40 m				H = 39 m			
	$P_T$ , MW	$\eta_T$ , %	$Q$ , $\text{m}^3 / \text{sec}$	$q$ , $\text{m}^3 / \text{kWh}$	$P_T$ , MW	$\eta_T$ , %	$Q$ , $\text{m}^3 / \text{sec}$	$q$ , $\text{m}^3 / \text{kWh}$
Opt. režīms	92.30	0.92	255.67	10.23	90.00	0.92	255.69	10.49
- 5	87.17	0.91	244.11	10.34	84.87	0.91	243.77	10.61
- 10	82.04	0.91	229.75	10.34	79.74	0.90	231.59	10.72

Aplūkojot iegūtos rezultātus, kas atspoguļoti tabulā 6.1, var secināt, ka jaudas izmaiņa  $-5\text{MW}$  un  $-10\text{MW}$  no optimālā režīma, kas šinī gadījumā pie  $H=40\text{m}$  ir  $92.30\text{MW}$  ar īpatnējā ūdens patēriņa vērtību  $10,23\text{ m}^3 / \text{kWh}$ , palielina īpatnējā ūdens patēriņa vērtību līdz  $10,34\text{ m}^3/\text{kWh}$ . Iepriekšminētais secinājums ir jāņem vērā, pie ekonomiskajiem aprēķiniem, kurus jāveic apskatot divus iespējamus kaskādes darba režīmus: optimālais

*darba režīms un piedalīšanās frekvences regulēšanā, jo piedalīšanas frekvences regulēšana samazina kaskādes optimālā darba režīma kopējo efektu.*

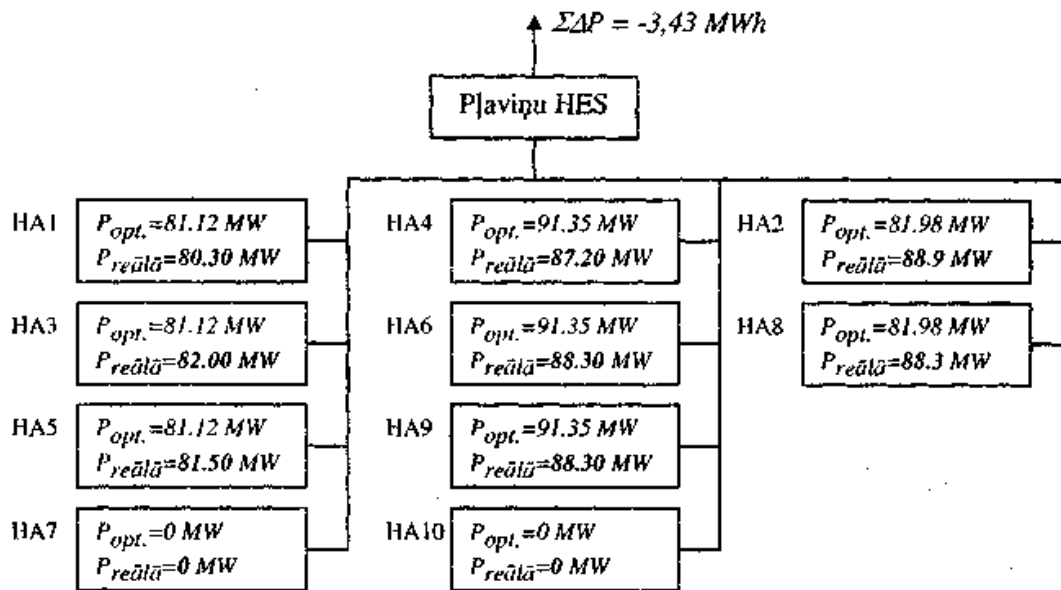
## **7. DAUGAVAS HES AUTOMĀTISKĀS OPTIMĀLĀS VADĪBAS SISTĒMAS SHĒMA**

*Septītā nodaļa ir veltīta Daugavas HES kaskādes automātiskās optimālās vadības sistēmas shēmas izstrādei. Tika veikta Daugavas HES kaskādes hidroagregātu reālo darba režīmu parametru statistikas izpēte un analīze pielietojot izstrādāto hidroagregātu darba režīma optimizācijas paņēmieni. Dots automātiskās optimālās vadības sistēmas shēmas apraksts un Daugavas HES kaskādes uzdotās jaudas optimālā sadalījuma algoritms. Izstrādāta Daugavas HES kaskādes uzdotās jaudas optimālā sadalījuma algoritma loģiskā shēma un automātiskās optimālās vadības sistēmas shēma.*

Lai varētu piedāvāt Daugavas HES kaskādes kopējo automātiskās optimālās vadības shēmu un veikt staciju darba režīmu optimizācijas analīzi, tika veikta rūpīga Pļaviņu HES hidroagregātu esošo darba režīmu statistikas datu analīze un izpēte. Ūdens caurplūde Daugavā ir grūti prognozējama ilgtermiņā, tāpēc hidroagregātu darba režīmu optimizācijai ir jāvadās atkarībā no esošās reālās situācijas.

Kā jau darbā iepriekš tika minēts, patreiz hidroelektrostacijām tiek uzdots diskrets jaudas sadalījums pa hidroelektrostacijām, jeb atbilstoši hidroelektrostacijās uzstādīto hidroagregātu nominālo jaudu vērtībām.

Pielietojot piedāvāto optimizācijas metodi, katru stundu (laika intervāls ir pieņemts, lai vienkāršotu aprēķinu procesu) Pļaviņu hidroelektrostacijā rodas summārais jaudu  $P_{opt.} - P_{reālā}$  starpības  $SAP$  [MWh] pārpalikums vai deficīts (skatīt 7.1. attēlu).



7.1 attēls. Pļaviņu HES optimizācijas analīze izmantojot pavasara maksimuma datus no 04.03.2002 no plkst. 8.00 līdz 9.00

No piemēra, kas parādīts 7.1 attēlā, izriet, ja Pļaviņu HES 04.03.2002 būtu vadīta optimālajā režīmā, tad stacija saražotu laika sprīdī no plkst. 8.00 līdz 9.00 par 3,34 MWh mazāk kā saražoja reāli - strādājot atbilstoši hidroelektrostacijās uzstādīto hidroagregātu nominālo jaudu vērtībām. Līdz ar to, lai tiktu saglabāts pieprasītais izstrādājamais elektroenerģijas apjoms no visas kaskādes kopumā, šī 3,34 MWh jaudas vērtība ir papildus jāizstrādā citai kaskādes elektrostacijai: Rīgas HES vai Ķeguma HES1 vai Ķeguma HES2.

Analīzes rezultātā, kā piemērs, tika iegūtas  $\sum \Delta P$  [MWh] vērtības katrai stundai, katrai diennaktij un katra 2002. gada Marta, Augusta un 2003. gada Novembra mēneša pirmajai nedēļai kopā - praktiski tās ir megavattstundas, kas tika nostrādātas **neoptimālajā režīmā**.

Sadaļā tiek atspoguļots izstrādātais optimizācijas interfeisa darbības algoritms un tajā pieņemtie *nosacījumi*. Tika atrasts algoritms, kas realizētu optimālu jaudu sadalījumu pa stacijām, ja tiek veikta Pļaviņu HES optimizācija un paredzēt ūdenskrātuvju līmeņiem noteikto ierobežojumu ievērošanu pie šīs jaudu sadales.

1. Optimālā jaudu sadalījuma starp stacijām **pirmais nosacījums** - vienāda ūdens caurplūde, caur katru no hidroelektrostacijām.

$$Q_{PHES} = Q_{KHES} = Q_{RHES} \quad (7.1)$$

2. Kaskādes jaudas vērtības  $P_{kaskāde}$  zināma, jo tiek uzdota.

3. Vienādojumu (7.1) varam uzrakstīt sekojošā veida:

$$\frac{P_{PHES}}{g * H_{PHES} * \eta_{PHES}} = \frac{P_{KHES}}{g * H_{KHES} * \eta_{KHES}} = \frac{P_{RHES}}{g * H_{RHES} * \eta_{RHES}}, \quad (7.2)$$

kur  $P_{PHES}, P_{KHES}, P_{RHES}$  - Pļaviņu, Ķeguma, Rīgas hidroelektrostacijas jauda, kW;  
 $g = 9,81$ ;  
 $H$  - ūdens kritums attiecīgajai stacijai, m;  
 $\eta_{PHES}, \eta_{KHES}, \eta_{RHES}$  - attiecīgās hidroelektrostacijas lietderības koeficients.

4. Kaskādes jaudas vērtība ir vienāda ar visi staciju jaudu summu:

$$P_{kaskādes} = P_{PHES} + P_{KHES} + P_{RHES} \quad (7.3)$$

5. Ūdens spiedienaugstumi katrai stacijai  $H_{PHES}, H_{KHES}, H_{RHES}$  zināmi no stacijas augšas un lejas bjefu mērījumiem.

6. Pieņemts, ka staciju lietderības koeficienti  $\eta_{PHES} = \eta_{KHES} = \eta_{RHES}$  jo  $\eta = 0,93 + 0,97$  un šādam aprēķinam tāds pieņēmums ir pieļaujams, jo turpmāko optimizācijas procesu šis pieņēmums būtiski neiespaido.

7. Tad vienādojumu (7.2) var uzrakstīt kā:

$$\eta_{PHES} = \eta_{KHES} = \eta_{RHES} \quad (7.4)$$

8. Tā kā ūdens spiedienaugstuma vērtības mums ir zināmas, tad varam ieviest sekojošus apzīmējumus:

$$\frac{1}{H_{PHES}} = a, \quad \frac{1}{H_{KHES}} = b, \quad \frac{1}{H_{RHES}} = c,$$

tad vienādojumu (7.4) varam izteikt kā:

$$a * P_{PHES} = b * P_{KHES} = c * P_{RHES} \quad (7.5)$$

9. Optimālā jaudu sadalījuma starp stacijām *otrais nosacījums* - visu staciju summārai jaudai ir jābūt vienādai ar uzdotās jaudas vērtību.

$$P_{PHES} + P_{KHES} + P_{RHES} = P_{uzdotā} \quad (7.6)$$

10. No (7.5) varam izteikt jaudas  $P_{KHES}, P_{RHES}$  izejot no  $P_{PHES}$  vērtības, jo  $P_{PHES}$  optimizācijas procesā ir noteicošā stacija, un pārējām stacijām ir jākompensē pieprasītā un optimālā režīmu jaudu starpība:

$$P_{KHES} = P_{PHES} \frac{a}{b}; \quad P_{RHES} = P_{PHES} \frac{a}{c}; \quad \text{kur } \frac{a}{b} \text{ un } \frac{a}{c} \text{ zināmi} \quad (7.7)$$

11. Ievietojot (7.6) vērtības no (7.7) iegūstam:

$$P_{PHES} + P_{PHES} * \frac{a}{b} + P_{PHES} \frac{a}{c} = P_{uzdotā}$$

$$P_{PHES} \left( 1 + \frac{a}{b} + \frac{a}{c} \right) = P_{uzdotā} \quad (7.8)$$

12. No vienādojumiem (7.8) nosakām  $P_{PHES}$

$$P_{PHES} = \frac{P_{uzdotā}}{\left( 1 + \frac{a}{b} + \frac{a}{c} \right)} \quad (7.9)$$

13. No (7.7) un (7.9) nosakām  $P_{RHES}, P_{KHES}$

$$P_{RHES} = P_{PHES} \frac{a}{c} = \frac{P_{uzdotā}}{\left( 1 + \frac{a}{b} + \frac{a}{c} \right)} * \frac{a}{c} \quad (7.10)$$

$$P_{KHES} = P_{PHES} \frac{a}{b} = \frac{P_{uzdotā}}{\left( 1 + \frac{a}{b} + \frac{a}{c} \right)} * \frac{a}{b} \quad (7.11)$$

14. Nosakot uzdevumu izpildei kaskādes interfeiss nosaka ģeneratoru skaitu, kurus ir nepieciešams ieslēgt katrā stacijā kā:

$$\frac{P_{stacijai}}{P_{ģeneratoram}} = n, \quad (7.12)$$

kur  $P_{stacijai}$  - stacijas uzdotā jauda,  
 $P_{ģeneratoram}$  - viena ģeneratora jauda,  
 $n$  - var būt daļskaitlis, kurš ir jānoapaļo līdz veselam skaitlim.

15. Pēc ģeneratoru skaita noteikšanas un jaudas uzņemšanas notiek Pļaviņu HES režīma optimizācija. Pēc Pļaviņu HES optimizācijas tiek noteikta jaudu starpība starp Pļaviņu HES uzdoto jaudu un uzstādīto jaudu.

$$\Delta P_{PHES} = P_{optimālā} - P_{PHESpēc(7.9)} \quad (7.13)$$

kur  $P_{optimālā}$  - optimizācijas rezultātā noteiktā jauda,  
 $P_{PHESpēc(7.9)}$  - jauda, kas aprēķināta pēc (7.9) vienādojuma.

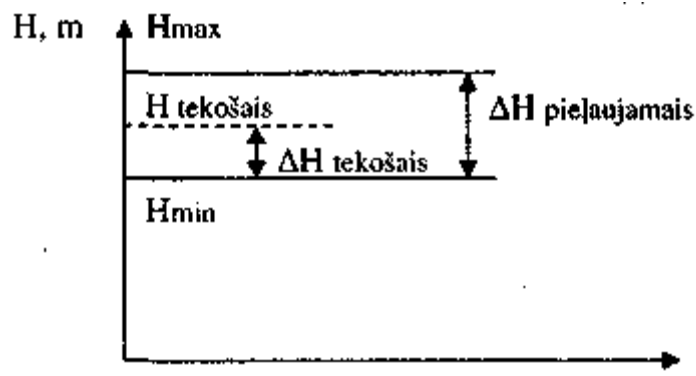
Iegūstot starpību, mainās uzdevums darbā esošajiem ģeneratoriem par Pļaviņu HES  $\Delta P$  vērtību. Tālāk notiek Ķeguma un Rīgas HES režīmu optimizācija ņemot vērā Pļaviņu HES  $\Delta P$  vērtību.

$$P_{RHESkorigēta} = (P_{PHESpēc(7.9)} + \Delta P_{PHES}) * \frac{a}{c} \quad (7.14)$$

$$P_{KHESkorigēta} = (P_{PHESpēc(7.9)} + \Delta P_{PHES}) * \frac{a}{b} \quad (7.15)$$

16. Optimālā jaudu sadalījuma starp stacijām *trešais nosacījums*.

Attēlā 7.2. parādīti stacijas bjefu līmeņi: maksimāļpieļaujamais līmenis, tekošais līmenis un minimāli pieļaujamais līmenis.



5.2.attēls. Staciju bjefu līmeņi.

Kur  $\Delta H_{pieļaujamais} = H_{max} - H_{min}$ .

Katrai stacijai ir savi ūdenskrātuvju bjefu līmeņi un savas pieļaujamās bjefu izmaiņas robežas.

Trešais nosacījums, kurš ir jāievēro pie jaudas sadalīšanas starp stacijām ir visu trīs staciju nostrādes līmeņu attiecību vienādība (7.16).

$$\frac{\Delta H_{PHES}}{\Delta H_{PHESpieļaujamais}} = \frac{\Delta H_{KHES}}{\Delta H_{KHESpieļaujamais}} = \frac{\Delta H_{RHES}}{\Delta H_{RHESpieļaujamais}} \quad (7.16)$$

$$\text{kur } \Delta H_{PHES} = H_{PHES\text{tekošais}} - H_{PHES\text{min}} \quad (7.17)$$

$$\Delta H_{KHES} = H_{KHES\text{tekošais}} - H_{KHES\text{min}} \quad (7.18)$$

$$\Delta H_{RHES} = H_{RHES\text{tekošais}} - H_{RHES\text{min}} \quad (7.19)$$

Vērtības  $\Delta H_{pieļaujamais}$  katrai stacijai uzdot ekspluatācijas personāls.

Ja stacijas attiecinātais līmenis neapmierina nosacījumu (7.16), tad ir nepieciešams koriģēt jaudu sadalījumu pa stacijām, ar mērķi, lai izpildītos vienādojums (7.16). To var panākt koriģējot stacijas tekošo ūdens spiedienaugstumu  $H$ .



Apskatīsim aprēķinātā spiedienaugstuma  $H = H_{stacijas} \pm \Delta H_{korig.}$  korekcijas piemēru. Pieņemsim, ka vienādojumu (7.16) neapmierina Rīgas HES, t.i.

$$\frac{\Delta H_{PHES}}{1,5} \neq \frac{\Delta H_{RHES}}{0,75} \quad (7.20)$$

kur 1,5; 0,75 ir staciju pieļaujamās nostrādes  $\Delta H_{PHESpieļaujamais}$ ;  $\Delta H_{RHESpieļaujamais}$  metri diennaktī vērtības.

Vispirms no (7.16) nosakām kādai ir jābūt  $\Delta H_{RHESapr.}$  vērtībai, lai apmierinātu vienādojumu (7.16), t.i.:

$$\frac{\Delta H_{PHES}}{1,5} = \frac{\Delta H_{RHESapr.}}{0,75} \quad \Delta H_{RHESapr.} = 0,5\Delta H_{PHES}.$$

Pēc bjefu līmeņu mērījumu rezultātiem nosakām  $\Delta H_{RHESekošais}$

Nosakām koriģējošo vērtību  $\Delta H_{RHESkorig.}$

$$\Delta H_{RHESkorig.} = \Delta H_{RHESekošais} - \Delta H_{RHESapr.} = \Delta H_{RHESekošais} \pm 0,5\Delta H_{PHES} \quad (7.21)$$

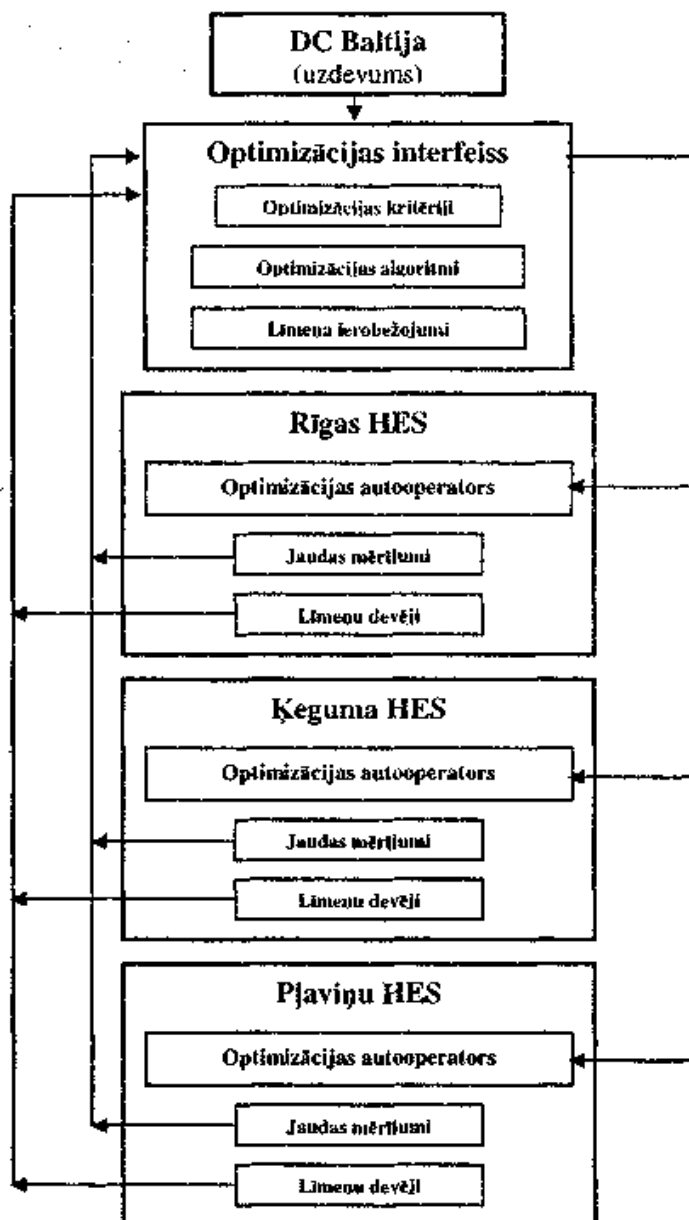
Pie staciju jaudu sadales vienādojumā (7.4) izteiksmes  $\frac{P_{RHES}}{H_{RHES}}$  vietā ieliksīm izteiksmi

$$\frac{P_{RHES}}{H_{RHES} + \Delta H_{RHESkorig.}}.$$

Pozitīvas spiedienaugstuma korekcijas rezultātā, lai saglabātu vienādību (7.16) nepieciešams palielināt jaudu  $P_{RHES}$ , lai paātrinātu augšas bjefa nostrādi. Tāds režīms tiek uzturēts tik ilgi, kamēr netiks izpildīts vienādojums (7.4).

Sadaļā piedāvāts Daugavas HES kaskādes optimizācijas interfeisa darbības algoritms un tajā pieņemtie *nosacījumi*. Piedāvātais algoritms realizē Daugavas HES kaskādei uzdoto ģenerējamās jaudas optimālu sadalījumu pa stacijām, ņemot vērā to, ka tiek veikta Pļaviņu HES optimizācija. Algoritmā ir paredzēti ūdenskrātuvju līmeņiem noteiktie ierobežojumi pie šīs jaudu sadales.

Lai realizētu Daugavas HES kaskādes staciju hidroģeneratoru optimālo vadību tiek piedāvāta sekojoša **automātiskās optimālās vadības sistēmas** struktūrshēma, kas strādā pēc iepriekš aprakstītā algoritma skatīt 7.3 attēlu.



7.3 attēls. Automātiskās optimālās vadības sistēmas struktūrskāme. No katras stacijas ir jānodrošina datu kanāli uz optimizācijas interfeisu, pa kuriem ir jāpārraida stacijas katra hidroagregāta jaudas mērījumi un stacijas bjeļu līmeņu mērījumi.

Saņemot jaudas uzdevumu (izstrādājamās jaudas vērtību) no augstākstāvošā dispečeru dienesta, tas netiek mainīts. Pēc jaudas uzdevuma saņemšanas, optimizācijas interfeiss ņemot vērā optimizācijas kritērijus, līmeņa ierobežojumus un izmantojot optimizācijas algoritmus, attiecīgi dod jaunus jaudas uzdevumus (jaudas vērtības) katrai no stacijām, saglabājot dispečeru dienesta uzdoto uzdevumu (izstrādājamās jaudas vērtību) nemainīgu.

Lai varētu veikt Daugavas HES kaskādes staciju hidroģeneratoru optimālo vadību, pēc darbā piedāvātās metodikas, esošā vadības sistēma ir jāpapildina speciālo optimizācijas interfeisu un jāuzlabo vai jānomaina esošie stacijas autooperatori uz jauniem, kas spētu veikt speciālā optimizācijas interfeisa uzdevumus.

## **8. DAUGAVAS HES KASKĀDES OPTIMĀLĀS VADĪBAS EFEKTIVITĀTES NOVĒRTĒJUMS**

*Astotā nodaļa ir veltīta Daugavas HES kaskādes optimālās vadības efektivitātes novērtējuma metodes parauga izstrādāšanai.*

### **SECINĀJUMI UN REKOMENDĀCIJAS TURPMĀKAJIEM PĒTĪJUMIEM**

*Nodaļa ietver promocijas darba galvenos secinājumus un rekomendācijas turpmākajiem pētījumiem.*

Promocijas darbā izvirzītais mērķis un uzdevumi izpildīti, kā rezultātā:

- Darba izstrādes gaitā tika veikta Daugavas HES kaskādes hidroagregātu vadības metožu optimizācija, kā rezultātā tiek piedāvāta jauna hidroagregāta vadības metode un jauna kopējā hidroelektrostaciju vadības metodika.
- Izstrādāta un piedāvāta grafo-analītiskā metode hidroagregāta darba efektivitātes novērtēšanai, metode balstās uz turbīnu modeļlīkņu apstrādi un nodrošina optimizācijai nepieciešamu līkņu saimju iegūšanu.
- Pārveidošanas rezultātā iegūtās līkņu saimes ir viegli izmantojamas modernās vadības iekārtās.
- Analīzes un aprēķinu rezultātā iegūta metode Pļaviņu hidroelektrostacijas agregātu darba optimizācijai, kas ļauj noteikt hidroagregāta optimālo darba režīmu, netieši nosakot reālo ūdens spiedienaugstuma un ūdens caurplūdes vērtību.
- Izstrādāts un piedāvāts hidroagregātu reālā spiedienaugstuma noteikšanas paņēmiens, ar kura palīdzību var optimizēt Pļaviņu HES hidroagregātu darbu. Paņēmiens ir atzīts kā Latvijas Republikas patents.

- Izstrādāta metodika Daugavas HES kaskādes hidroelektrostaciju darba režīmu optimizācijai, metodika nodrošina optimālu stacijām uzdotās jaudas sadalījumu.

Rekomendācijas turpmākajiem pētījumiem:

- Izmantojot datorsistēmas un matemātisko līdzekļu iespējas var veikt darbā piedāvātās Daugavas HES hidroagregātu darba režīmu optimizācijas metodikas aprakstu pielietojot kādu no matemātiskās programmēšanas metodēm, tādējādi izveidojot matemātisko modeli.
- Hidroagregātu regulatoru dinamikas izpēte pie turpmākiem pētījumiem var būt saistoša.
- Izstrādātos optimizācijas algoritmus ir jāievēro pie turpmākās agregātu vadības sistēmas rekonstrukcijas vai nomaiņas.