

**RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE**

**Guntars VEMPERS**

**ENERGOSISTĒMU ATTĪSTĪBAS PROJEKTU IZVĒRTĒŠANA BRĪVĀ  
TIRGUS EKONOMIKAS APSTĀKĻOS**

**Promocijas darba kopsavilkums**

**Rīga 2012**

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

**Guntars VEMPERS**  
Enerģētikas doktora studiju programmas EDN0 doktorants

**ENERGOSISTĒMU ATTĪSTĪBAS PROJEKTU IZVĒRTĒŠANA BRĪVĀ  
TIRGUS EKONOMIKAS APSTĀKĻOS**

**Promocijas darba kopsavilkums**

Zinātniskais vadītājs  
Dr. habil. sc. ing., profesors  
**A.S.Sauhats**

**Rīga 2012**

Vempers G. Energosistēmu attīstības projektu  
izvērtēšana brīvā tirgus ekonomikas apstākļos.  
Promocijas darba kopsavilkums.-R.:RTU,  
2011 - 33 lpp.



Šis promocijas darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu projektā „Atbalsts RTU doktora studiju īstenošanai”.

ISBN .....

**PROMOCIJAS DARBS  
IZVIRZĪTS INŽENIERZINĀTŅU (enerģētikas)  
DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ  
UNIVERSITĀTĒ**

Promocijas darbs inženierzinātņu (enerģētikas) doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2012.g. 10. septembrī Rīgas Tehniskās universitātes Enerģētikas un elektrotehnikas fakultātē, Kronvalda bulvārī 1, aktu zālē.

**OFICIĀLIE RECENZENTI**

Dr. habil. phys., Juris Ekmanis

Dr. sc. ing., Oļegs Linkevičs

Dr.sc.ing., Jūlija Matevosjana

**APSTIPRINĀJUMS**

Apstiprinu, ka esmu izstrādājis doto promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē inženierzinātņu (vai cita) doktora grāda iegūšanai. Promocijas darbs nav iesniegts nevienā citā universitātē zinātniskā grāda iegūšanai.

Guntars Vempers .....(Paraksts)

Datums: .....

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu latviešu valodā, satur ievadu, 6. nodaļas, literatūras sarakstu, 7 pielikumus, kopā 204 lappuses. Literatūras sarakstā ir 67 nosaukumi.

## Ievads

Pasaules iedzīvotāju skaita pieaugums, energoresursu ierobežotība un tiekšanās pēc mūsdienu civilizācijas piedāvātajiem labumiem ir radījuši grandioza apmēra energosistēmas. To darbības uzturēšanai un attīstībai jebkurā valstī ir nepieciešami nozīmīgi ieguldījumi. Visi energosistēmas elementi funkcionē kā vienota sistēma, kuru lielā mērā ietekmē daudzi kvantitatīvi un kvalitatīvi mainīgas dabas faktori. Tā kā daudzus faktoros nav iespējams precīzi izmērīt vai pat aprakstīt kā varbūtīgus lielumus, vairums lēmumu jāpieņem nenoteiktības apstākļos. Enerģijas patēriņa pieaugums, energosistēmu pieaugošie izmēri, energosistēmu sarežģītība un nozīmīgums, energoresursu cenu svārstības, gadījuma rakstura faktoru un nenoteiktības ietekme – viss minētais aktualizējis virkni nopietnu ar enerģētiku saistītu problēmu - energoapgādes efektivitāti, drošumu, ietekmi uz vidi un ilgtspējīgumu.

Enerģētikas attīstības jautājumu kompleksas aplūkošanas nozīmīgums izvirza promocijas darba mērķi - attīstīt enerģētisko objektu projektu tehniski ekonomiskā pamatojuma metodiku, balstot to uz spēļu teorijas, īpaši akcentējot kooperatīvu spēļu teorijas, paņēmieni izmantošanu. Tirgus dalībnieku (ražotāju, pārvades un sadales sistēmu operatoru un patērētāju) kooperēšanās nosacījumi īpaši kļuvuši aktuāli pēc starptautiskā līmenī pieņemtajiem lēmumiem par energosistēmu restrukturizāciju un brīvā tirgus mehānismu ieviešanu energosistēmu attīstības un darbības vadībā.

Promocijas darbā formulēts tehniski ekonomiskā pamatojuma uzdevums, sintezēts projektu pamatojuma algoritms vairāku iespējamo koalīciju dibinātāju esamības apstākļos, pierādīta iniciatora darbības atbalstīšanas racionalitāte, formulēts un atrisināts elektroapgādes plānošanas uzdevums neatkarīgiem patērētājiem, veidojot to kooperatīvu. Pamatota Rīgas siltumslodžu prognoze līdz 2020. gadam, sintezēts Rīgas siltumapgādes attīstības plāns, ņemot vērā perspektīvu līdz 2020. gadam, kā arī pamatota jauna, tirgus apstākļiem pielāgota siltuma un elektroenerģijas tarifu noteikšanas metodika.

Izstrādāto projektu tehniski ekonomiskā pamatojuma metodiku, kurā izmantota kooperatīvo spēļu teorija, lēmumu pieņemšanai enerģētikā nenoteiktības apstākļos, var pielietot visi enerģētikas tirgus dalībnieki, lai panāktu visefektīvāko summāri kopējo resursu izmantošanu.

## Saīsinājumu saraksts

- AS „Rīgas Siltums”	RS
- AS „Latvenergo”	LE
- Centralizētā siltumapgādes sistēma	CSS
- Tehniskie noteikumi	TN
- Pārsūkņēšanas sūkņu stacija	PSS
- Siltumcentrāle	SC
- Termoelektrocentrāle	TEC
- AS „Latvenergo” Rīgas TEC-1 ražotne	TEC-1
- AS „Latvenergo” Rīgas TEC-2 ražotne	TEC-2
- Koģenerācijas energobloks	KE
- Elektroenerģija	e/e
- Siltumenerģija	s/e

## Tēmas aktualitāte

Enerģētika jau simtiem gadu ir cilvēku sabiedrības attīstības pamats. No primitīviem uguns kuriem, krāsniņiem, vējdzirnavām un zirgu spēka, ko izmantoja ēdiena gatavošanai, mājokļa apsildīšanai un kravu pārvadāšanai, cilvēce ir nonākusi līdz mūsdienu rūpniecībai, transporta sakaru sistēmām un CSS, kuras nav iedomājamas bez mūsdienīgiem, kvalitatīviem un drošiem enerģijas avotiem. Tieši elektroenerģijai piemīt īpašības, kuras nodrošina tai priekšrocības izmantošanai industriālās, automatizētās ražošanas, transporta un sakaru sistēmās. Labklājības un dzīves līmeņa celšanās stimulē vajadzību pēc enerģētiskajiem pakalpojumiem. Enerģijas patēriņš pastāvīgi aug; gaidāms, ka šī tendence saglabāsies arī pārskatāmā nākotnē un veicinās tālāku elektroenerģētikas sistēmu attīstību.

Pasaules iedzīvotāju skaita pieaugums, energoresursu ierobežotība un tiekšanās pēc mūsdienu civilizācijas piedāvātajiem labumiem ir radījuši grandioza apmēra energosistēmas. Var apgalvot, ka enerģētiskās sistēmas ir vienas no **sarežģītākajām** cilvēka darbības rezultātā radītajām mākslīgajām tehniskajām sistēmām. Tajās ietilpst tūkstošiem ģeneratoru, transformatoru, simtiem tūkstošu kilometru elektropārvades līniju un miljoniem patērētāju. Energosistēmas darbības uzturēšanai un attīstībai jebkurā valstī ir nepieciešami **nozīmīgi ieguldījumi**. Patērētāji neatkarīgi no ģeneratoriem maina savu enerģijas pieprasījumu

atbilstoši savām vēlmēm. Visi energosistēmas elementi funkcionē kā **vienota sistēma**. Energosistēmas darbību lielā mērā ietekmē daudzi dabas faktori: temperatūra, vēja ātrums, dabiskais apgaismojums u. tml. Darbības apstākļu izmaiņas rada nepieciešamību mainīt arī energoobjektu darbības režīmu. Taču daudzus faktorus nav iespējams precīzi izmērīt vai pat aprakstīt kā varbūtīgus lielumus. Tāpēc daudzi lēmumi jāpieņem **nenoteiktības apstākļos**.

Enerģijas patēriņa pieaugums, energosistēmu pieaugošie izmēri, energosistēmu sarežģītība un nozīmīgums, energoenerģiju cenu pieaugums, gadījuma rakstura faktoru un nenoteiktības ietekme – viss minētais aktualizējis virkni nopietnu ar enerģētiku saistītu problēmu

- Energoapgādes **efektivitāte** un pieejamība. Diemžēl dažādu iedzīvotāju slāņu dzīves līmenis atšķiras pat attīstītās un ar enerģiju nodrošinātās valstīs. Vēl lielākas ir dzīves līmeņa atšķirības starp industriāli attīstītām valstīm un attīstības valstīm. Nodrošinājums ar energoresursiem dažādās pasaules vietās ir ārkārtīgi nevienmērīgs. Tā rezultātā ceturtdaļai planētas iedzīvotāju vēl joprojām nav piekļuves elektroenerģijas avotiem un līdz ar to arī vairumam mūsdienu civilizācijas sniegto labumu. Galvenais tā iemesls ir trūcīgajiem iedzīvotāju slāņiem nepieejamā **enerģijas cena**. Enerģijas cenu pieaugums bremzē ražošanas attīstību un attiecīgi ierobežo iespējas risināt daudzas sociālās un vides problēmas.
- Energoapgādes **drošums**. Cilvēce pakāpeniski pieradusi un pielāgojusi savu dzīvesveidu apstākļiem, kas nav iedomājami bez garantētas enerģijas piegādes. Mūsdienu pilsētas, rūpniecības uzņēmumi, transporta sistēmas pat īslaicīgu energoapgādes pārtraukumu gadījumos cieš postījumus un liela apmēra ekonomiskus zaudējumus, tām draud avārijas un katastrofas pat ar iespējamiem lieliem cilvēku upuriem.
- **Ietekme uz vidi**. Enerģijas ražošana praktiski nav iespējama, neietekmējot klimatu, gaisu un ūdens baseina stāvokli, dabas ainavas un tā rezultātā arī cilvēku dzīves vidi.
- **Ilgspējīgums**. Mūsdienu sabiedrības enerģijas avotu pamatresursu ierobežotība. Lai gan pēdējās desmitgades laikā ievērojami pieaudzis atjaunojamo avotu saražotās enerģijas apjoms, sagaidāms, ka gandrīz 85% no saražotās enerģijas apjoma pieauguma būs saistīti ar fosilā kurināmā patēriņa pieaugumu.

Minētās problēmas ir cieši savstarpēji saistītas. Šo savstarpējo saistību ir nepieciešams ievērot mēģinājumos veidot racionālas energoapgādes shēmas. Vēl vairāk, var apgalvot, ka šo problēmu aplūkošanai atsevišķi visbiežāk nav jēgas un tā ved pie maldinošiem, nepareiziem

rezultātiem un secinājumiem. Enerģētikas attīstības problēmu **kompleksas aplūkošanas** nozīme ir vispāratzīta, taču praksē sastopamas situācijas, kurās tiek piedāvāti, pamatoti un pat realizēti risinājumi un projekti, kuri nepietiekamā mērā aptver visas iepriekš nosauktās problēmas.

Nosaukto problēmu nopietnība kļuvusi par iemeslu starptautiskā līmenī pieņemtiem lēmumiem par energosistēmu restrukturizāciju, tirgus apstākļu un mehānismu izmantošanu energosistēmu attīstības un darbības vadībā. Energosistēma tiek sadalīta daudzās juridiski neatkarīgās, savstarpēji konkurējošās daļās. Tieši konkurence ir galvenais faktors, kas var nodrošināt racionālu energosistēmu attīstību. Konkurences apstākļos neizbēgami pirmām kārtām izdzīvos uzņēmumi, kuri pieņem pareizus, tehniski un ekonomiski pamatotus lēmumus.

Sistēmas sadalīšana vairākās daļās samazina vadāmo objektu izmērus, šķiet, ka vienkāršojas vadības un lēmumu pieņemšanas modeļi un algoritmi, taču vienlaicīgi rodas jaunas problēmas, kas pirmām kārtām saistītas ar konkurentu darbības savstarpēju ietekmi.

Pārmaiņu nepieciešamību energosistēmās izraisa vispirmām kārtām darbības apstākļu izmaiņas. Jāatzīmē, ka pārmaiņas enerģētikā, kuras saistītas ne tikai ar restrukturizāciju un tirgus mehānismiem, īpaši strauji pēdējās desmitgadēs notikušas Latvijā un citās Baltijas valstīs. Strauji mainījies enerģijas pieprasījums, cenas, standarti. Kļuvusi pieejama vesela virkne jauno tehnoloģiju enerģijas ražošanā un sadalē (tvaika-gāzes tehnoloģijas, izkliedētie ģeneratori, alternatīvie avoti, elegāzes iekārtas, jauna tipa vadi, energoelektronikas iekārtas). Notikušās izmaiņas savukārt izraisījušas nepieciešamību realizēt lielu skaitu projektu.

Projektu realizācijas gaitā daudzos gadījumos veidojas nenoteiktības apstākļi. Šo apstākļu ievērošanu lēmumu pieņemšanas procesā var izmantot ekonomisko uzdevumu risinājumu būtiskai uzlabošanai. Var tikt izmantoti spēļu teorijas paņēmieni. Diemžēl enerģētikas uzdevumos šāda pieeja tiek izmantota tikai atsevišķos gadījumos. Šo darbu var uzskatīt par virzītu uz nenoteiktības apstākļu negatīvās ietekmes mazināšanu izstrādājot enerģētisko sistēmu attīstības projektus.

## **Darba mērķis un uzdevumi**

Darba mērķis ir enerģētisko objektu projektu tehniski ekonomiskā pamatojuma metodikas attīstība. Šī mērķa sasniegšanai tiek risināti šādi uzdevumi:

- enerģētisko objektu projektu tehniski ekonomiskā pamatojuma uzdevumu atrisināšanas pieeju un metodiku analīze;

- enerģētisko objektu projektu tehniski ekonomiskā pamatojuma metodikas attīstība;
- projektu pamatojuma uzdevuma formulējums konkurences apstākļos un atrisināšanas algoritma sintēze;
- kooperatīvas uzvedības un tās priekšrocību pamatojums un uzdevuma atrisināšanas algoritma sintēze;
- kooperatīvās uzvedības iniciatora priekšrocību pamatojums un atbilstoša algoritma sintēze;
- Rīgas siltumapgādes projekta tehniski ekonomiskā pamatojuma izstrāde;
- koģenerācijas staciju siltuma un elektroenerģijas tarifu izvēles pamatojuma metodikas izstrāde.

### **Zinātniskā novitāte un ieguldījums**

1. Formulēts konkurences apstākļos realizējamo projektu tehniski ekonomiskā pamatojuma uzdevums. Izmantota spēļu teorijas pieeja, kas bāzēta uz Neša līdzsvara nosacījumiem un koalīciju veidošanas principiem.
2. Sintezēts projektu pamatojuma algoritms vairāku iespējamo koalīciju dibinātāju esamības apstākļos. Pierādīta iniciatora darbības atbalstīšanas racionalitāte.
3. Formulēts un atrisināts elektroapgādes plānošanas uzdevums neatkarīgiem patērētājiem, veidojot to kooperatīvu.
4. Pamatota Rīgas siltumslodžu prognoze līdz 2020. gadam.
5. Sintezēts Rīgas siltumapgādes attīstības plāns, ņemot vērā perspektīvu līdz 2020. gadam.
6. Pamatota jauna, tirgus apstākļiem pielāgota siltuma un elektroenerģijas tarifu noteikšanas metodika.

### **Izmantotās metodes un pieejas**

Promocijas darbs balstās uz spēļu teorijas un, īpaši, uz kooperatīvu spēļu teorijas paņēmieni izmantošanu, pielietojot tos enerģētikas projektu tehniski – ekonomiskajos pamatojumos.

## **Darba aprobācija**

Par darba rezultātiem ziņots un tie tika apspriesti šādās konferencēs:

- 1) Power Tech, 2007 IEEE , Switzerland, Lausanne, 1.-5. July, 2007.
- 2) 3rd International Conference on Electrical and Control Technologies ECT 2008, Lithuania, Kaunas, 8.-9. May, 2008.
- 3) 5th International Conference of the European Electricity Market EEM 08, Lisbon, Portugal, May 28-30, 2008.
- 4) 16th Power Systems Computation Conference PSCC2008, Scotland, Glasgow, 14.-18. July, 2008.
- 5) The 4th International Conference on Electrical and Control Technologies, Lithuania, Kaunas, 7.-8. May, 2009.
- 6) 6th International Conference on the European Energy Market, Belgium, Leuven, 27. - 29. May, 2009.
- 7) IEEE Power Tech 2009 International Conference, Romania, Bucharest, 28.June – 02. July, 2009.
- 8) 4th International Conference on Electrical and Control Technologies, Lithuania, Kaunas, 7.-8. May, 2009.
- 9) The 5th International Conference on Electrical and Control Technologies, Lithuania, Kaunas, 6.-7. May, 2010.
- 10) 7th Conference on the European Energy Market, Spain, Madrid, 23.-25. June, 2010

## **Publikācijas**

Starptautiski referējamos zinātnisko rakstu krājumos:

- 1) Sauhats A., Vempers G., Inde J., Neimane V. On Co-generation Strategies in the Cities of North-Eastern Europe // Power Tech, 2007 IEEE , Switzerland, Lausanne, 1.- 5. July, 2007. - pp 645-650.
- 2) Inde J., Neimane V., Sauhats A., Vempers G. Co-Generation Strategies and Development Possibilities in Cities of North-Eastern Europe // Oil Shale. - Vol.24. (2007) pp 337-346.
- 3) Sauhats A., Neimane V., Vempers G., Tereskina I., Bočkarjova G. Optimization of Power Supply Using Cooperative Game Theory // Thesis of the 3rd International

- Conference on Electrical and Control Technologies ECT-2008, Lithuania, Kaunas, 8.-9. May, 2008. - pp 162-167.
- 4) Sauhats A., Vempers G., Tereskina I., Bočkarjova G., Neimane V. Approach for Energy Supply System Planning Based on Cooperative Game Theory // Thesis of the 5th International Conference of the European Electricity Market EEM 08, Portugal, Lisbon, 28.-30. May, 2008. - pp 1-6.
  - 5) Sauhats A., Neimane V., Inde J., Vempers G., Bočkarjova G. Using Cooperative Game Theory in Energy Supply Planning Tasks // Thesis of 16th Power Systems Computation Conference PSCC2008, United Kingdom, Glasgow, 14.-18. July, 2008. - pp 1-8.
  - 6) Neimane V., Sauhats A., Vempers G., Tereskina I. Allocating Production Cost of CHP Plant to Heat and Power // Electrical and Control Technologies, Lithuania, Kauņa, 7.-8. May, 2009. - pp 200-204.
  - 7) Neimane V., Sauhats A., Vempers G., Tereskina I., Bočkarjova G. Allocation production cost at CHP Plant to Heat and Power based on Cooperative Game Theory // 6th International Conference on the European Energy Market, Belgium, Lēvene, 27.-29. May, 2009. - pp 182-187.
  - 8) Neimane V., Sauhats A., Vempers G., Inde J., Tereskina I., Bočkarjova G. Allocating Production Cost at CHP Plant to Heat and Power Using Cooperative Game Theory // Thesis of the IEEE Bucharest Power Tech Conference, Romania, Bucharest, 28.June-2. July, 2009. - pp 1-6.
  - 9) Zima-Bočkarjova M., Sauhats A., Vempers G., Tereskina I., Bočkarjova G. Examples of Energy Supply System Planning Based on Cooperative Game Theory // Proceedings of the 5th International Conference on Electrical and Control Technologies, Lithuania, Kaunas, 6.-7. May, 2010. - pp 162-165.
  - 10) Zima-Bočkarjova M., Sauhats A., Vempers G., Tereskina I. On Application of the Cooperative Game Theory to Energy Supply System Planning // Thesis of 7th Conference on the European Energy Market (EEM-10), Spain, Madrid, 23.-25. June, 2010. - pp 1-6.

Vietējās publikācijas:

- 1) Inde J., Sauhats A., Tereskina I., Vempers G. Spēļu teorija energoapgādes plānošanas uzdevumā // Enerģija un pasaule. - Nr.2, Apr. (2008) 76.-79. lpp.

## Praktiskā realizācija

Darba autora vadītie un praktiski realizētie projekti uzņēmumā AS „Siltumelektroprojekts”, no kuriem tika smeltas idejas promocijas darba piemēriem:

- 1) AS „Rīgas Siltums” Kreisā krasta siltumtīklu un siltuma avotu izmantošanas un attīstības biznesa plāns laika posmam no 2006. līdz 2018. gadam.//AS „Siltumelektroprojekts”//2006.
- 2) AS „Rīgas Siltums” Labā krasta siltumtīklu un AS „Latvenergo” siltuma avotu izmantošanas un attīstības biznesa plāns laika posmam no 2006. līdz 2018. gadam.//AS „Siltumelektroprojekts”//2006.
- 3) Study of „District heating in Riga” Stratkraft Development.//AS „Siltumelektroprojekts”//2007.
- 4) Rīgas pilsētas centralizētās siltumapgādes sistēmas optimizācijas iespējas laika posmā no 2010.gada līdz 2020.gadam.//AS „Siltumelektroprojekts”//2010.
- 5) Sanktpēterburgas centrālās termoelektrostacijas „ES-2” bloka rekonstrukcijas projekta uzdevuma formulējums.//AS „Siltumelektroprojekts”//2010.
- 6) Slēgta tipa 110/10kV apakšstacijas „Matīss” pilna skiču un tehniskā projekta izstrāde.// AS „Siltumelektroprojekts”//2009.

*Projekts ieguvis 1.vietu LEEA „Gada labākais darbs Latvijas elektrobūvniecībā, objektu elektroapgādē, elektroietaišu projektēšanā 2009” nominācijā „Jaunbūvju objekti”.*

- 7) Biokurināmā koģenerācijas elektrostacijas skiču projekts Jelgavā, Rūpniecības ielā 73.// AS „Siltumelektroprojekts”//2009.
- 8) 110 kV un optiskā kabeļu līniju a/st. „Grobiņa” – a/st. „Liepājas Metalurgs” un a/st. „Liepāja” - a/st. „Liepājas Metalurgs” izbūve. Tehniskais projekts.//AS „Siltumelektroprojekts”//2008.

*Projekts ieguvis 1.vietu LBA „Gada labākā būve Latvijā 2010” nominācijā „Elektromontāžas darbi”.*

- 9) Ārējo 20 kV elektrotīklu ar pieslēgumu 110 kV apakšstacijai tehniskā projekta izstrāde biznesa parkam Ķekavas novadā.// AS „Siltumelektroprojekts”//2007.

Visu šo objektu realizācijai ir bijusi nepieciešama iesaistīto pušu (ražotāju, pārvades tīkla operatora, sadales tīkla operatora, patērētāju u.c.) savstarpēja kooperēšanas optimālā risinājuma īstenošanai.

## Darba organizācija

Promocijas darbs sastāv no 6 nodaļām, tai skaitā ievada. Darbs satur 30 attēlus, 55 tabulas (t.sk. attēlus-tab.), kā arī 7 pielikumus.

**Pirmajā nodaļā** pierādīta darba aktualitāte un pētījumu virziena izvēles pamatotība. Formulēts darba mērķis un pamatuzdevumi. Aprakstīta zinātniskā novitāte un ieguldījums.

**Otrajā nodaļā** pamatota Latvijas energosistēmas attīstības plānošanas uzdevumu atrisināšanas nepieciešamība. Nosaukti galvenie iemesli energosistēmās notikušajām straujajām izmaiņām:

- 1) Baltijas valstu jaudu deficīts.
- 2) Energoresursu cenas. Naftas, gāzes un citu fosilā kurināmā cenu svārstības pieauguma virzienā.
- 3) Sabiedrības attieksme pret vides piesārņojumu. Parādījusies maksā par izmešiem.
- 4) Enerģijas patēriņš. Daudzas ražotnes slēgtas. Elektroenerģijas un siltumenerģijas pieprasījums strauji samazinājies. Tajā pašā laikā parādījušies lokālie reģioni, kur enerģijas pieprasījums strauji pieaudzis.
- 5) Kļuvušas pieejamas efektīvas enerģijas ražošanas, sadales un izmantošanas tehnoloģijas.
- 6) Praktiski zuduši ierobežojumi investīciju izmantošanai energo efektīviem un ekonomiski pamatotiem projektiem (kļuvuši pieejami starptautisko investīciju kompāniju kredīti, dažkārt arī Eiropas Savienības fondu līdzekļi).
- 7) Likumdošanas nostādnes. Iestājoties Eiropas Savienībā, obligāta kļuvusi daudzu enerģētikas un vides aizsardzības likumu un noteikumu ievērošana (alternatīvu energoavotu, efektīvu koģenerācijas staciju atbalsts, izmešu ierobežojumi, drošuma un stabilitātes garantēšana, enerģijas kvalitātes nodrošinājuma nosacījumi).
- 8) Sabiedrības attieksme pret drošumu (avārijas risku).
- 9) Enerģētikas nozarē izveidojusies konkurence neatkarīgu enerģijas ražotāju starpā.
- 10) Būtiski mainījušies enerģijas importa – eksporta nosacījumi. Piemēram Ignalinas atomstacijas slēgšana, kurā tika ražots līdz 70% no visa Baltijas valstīs saražotā elektroenerģijas daudzuma.
- 11) Gaidāma tālāka elektrisko tīklu attīstība, lai nodrošinātu importa – eksporta tirdzniecību ar rietumvalstīm.
- 12) Gaidāma tālāka siltumtīklu rekonstrukcija un attīstība, samazinot siltuma zudumus.

Nosaukto iemeslu dēļ kļuvis skaidrs, ka enerģētikā nepieciešamas straujas izmaiņas, kuru īstenošanai nepieciešama daudzu un dažādu projektu realizācija.

Veikta energosistēmas attīstības projektu uzdevuma matemātiskā formulēšana un projektēšanas optimizācijas uzdevuma matemātiskā formulēšana:

$$\{s_{i1}^* \dots s_{id}^*\} = \arg \max \sum_{j=1}^d E[R(s_{ij}, S_{-ij}, X)] \quad (1)$$

kur:  $s_{ij}$  – projekta struktūra un parametri.  $d$  – apskatāmo laika posmu skaits,  $E$  – matemātiskās cerības simbols,  $S_{ij}$  – konkurējošo uzņēmumu kontrolētās struktūras un parametri,  $X$  – determinēti vai/ un stohastiskie ietekmējošie faktori.

Tādejādi, optimizācijas uzdevuma atrisināšanas gaitā tiek meklēti optimālie parametri  $s_{i1}^* \dots s_{id}^*$ , kuru izvēle nodrošina konkurējošo uzņēmumu peļņas  $R$  maksimizāciju.

Nenoteikto parametru esamība noteic scenāriju pieejas izmantošanas nepieciešamību un grūtības pieņemot galīgo lēmumu projekta realizācijas varianta izvēlei. Apskatītas klasiskās spēļu teorija pieejas (Hurwitza, Minimaksa u.c. kritēriji). Atzīmēti to trūkumi un nepilnības. Pieņemta hipotēze par konkurējošo kompāniju racionālu uzvedību un vēlmi maksimizēt ienākumus un piedāvāta uz Neša līdzsvaru un Šeplija sadalījumu balstīta uzdevuma atrisināšanas metode. Papildus apskatītas koalīciju organizatora priekšrocības un tā iespēja iegūt papildu peļņu.

Spēļu teorijā Šeplija vērtība ataino vienu no taisnīgas peļņas sadales pieejām, izvairoties no trūkumiem galīgā lēmuma ar racionālāko realizējamo variantu, ja ir iesaistīti vairāki spēlētāji, izvēli. Taisnīga sadale tiek nodrošināta, vienveidīgā kārtībā izvēloties nejaušu sakārtojumu un izmaksājot katram no spēlētājiem tā sagaidāmās marginālās izmaksas saskaņā ar šo sakārtojumu. Tā kā spēlētāji var izveidot  $n!$  iespējamus nejaušus sakārtojumus, varbūtība, ka kopa  $S$  ierindosies tieši pirms  $i$ -tā spēlētāja, ir šāda:  $|S|!(n-1-|S|)!/n!$ . Tādēļ papildu summa/atlīdzība, kādu iegūst  $i$ -tais spēlētājs, ir šāda:

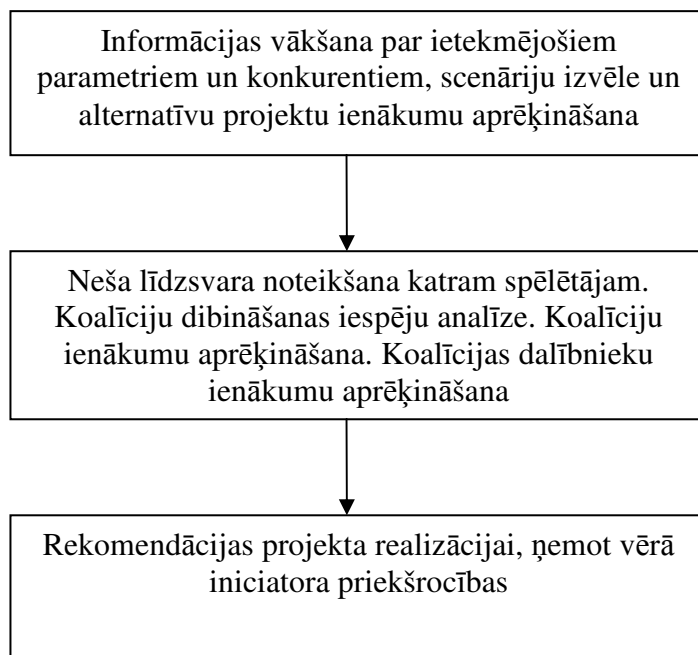
$$\phi_i = \sum_{i \notin S \subseteq N} \frac{|S|!(n-1-|S|)!}{n!} (R(S \cup \{i\}) - R(S)) \quad (2)$$

kur  $n$  ir kopējais spēlētāju skaits,  $|S|$  ir kopas  $S$  lielums, summa ietver visas kopas  $N$  apakškopas  $S$ , kurās neietilpst  $i$ -tais spēlētājs.

Visvienkāršākajā gadījumā, kad spēlē piedalās tikai divi dalībnieki, izteiksme (2) vienkāršojas un ir izsakāma šādi:

$$\phi_1 = \phi_2 = (R(S \cup \{i\}) - R(S)) / 2 \quad (3)$$

Apskatīti citi, pasaules praksē izmantoti, uz kooperatīvo spēļu paņēmieniem balstīti enerģētikas uzdevumu risinājumi. Secināts, ka šādu paņēmienu izmantošana atrodas sākumstadijā. Rezultātā projektu tehniskajam pamatojumam sintezēts 1. att. sniegtais algoritms.



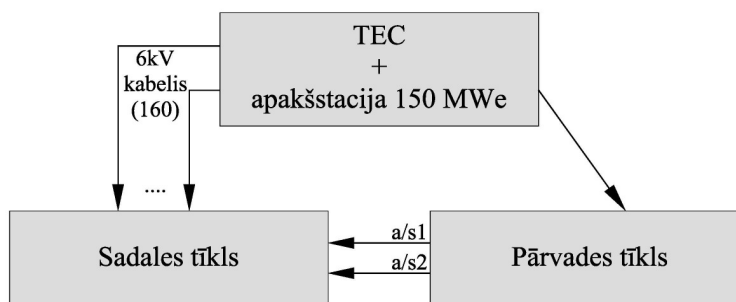
**1.att.** Projektu tehniski ekonomiskā pamatojuma algoritms.

**Trešajā nodaļā** apskatītas jaunas energoapgādes plānošanas uzdevumu pamatnostādnes, kuru atrisināšanai lietderīgi izmantot kooperatīvās spēļu teorijas principus, lai iegūtu optimālāko rezultātu:

1) Elektrostacijas jaudas izveides shēmas izstrādes uzdevums. Tiek rekonstruēta energoapgādes sistēma lielas Ziemeļaustrumeiropas pilsētas centrā. Rekonstrukciju veic trīs savstarpēji juridiski neatkarīgi enerģētikas uzņēmumi:

- TEC īpašnieks;
- sadales tīkls;
- pārvades tīkls.

## Lielas pilsētas rajons



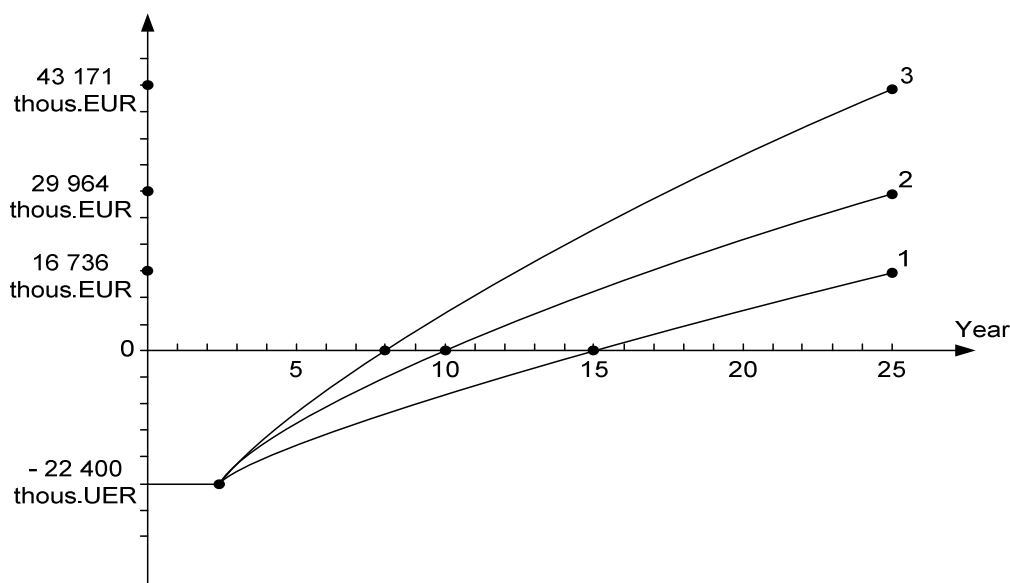
**2.att.** Uzņēmumu mijiedarbības struktūra.

Uzņēmumiem jāizvēlas un jāvienojas par apakšstacijas shēmu. Iepriekšminētie tirgus dalībnieki pieņem pretrunīgus risinājumus, katrs no tiem sastopas ar nenoteiktībām, kuras izraisa attiecīgas informācijas trūkums. Katra uzņēmuma peļņa atkarīga ne tikai no uzņēmuma izvēlētas stratēģijas, bet arī no divu citu uzņēmumu stratēģijas. Vislabākais risinājums ir iespējams, ja tiek veidota koalīcija no iepriekšminētajiem uzņēmumiem, jo tiem strādājot saskaņoti tiek gūta vislielākā summārā peļņa. Jāatzīmē, ka šajā gadījumā trešā spēlētāja pievienošanās koalīcijai nesniedz papildu peļņu, tādējādi koalīcijas veidošana no visiem trim uzņēmumiem nav racionāla.

2) Koģenerācijas elektrostacijas enerģijas izmaksu noteikšana, rekonstruējot nelielas Latvijas pilsētas (30 000 iedzīvotāju) siltumapgādi nodrošinošo pilsētas katlu māja, par koģenerācijas elektrostaciju (TEC). Novecojusī katlumāja pieder pašvaldībai, TEC izbūves projektam paredzēts piesaistīt Investoru – neatkarīgu uzņēmumu.

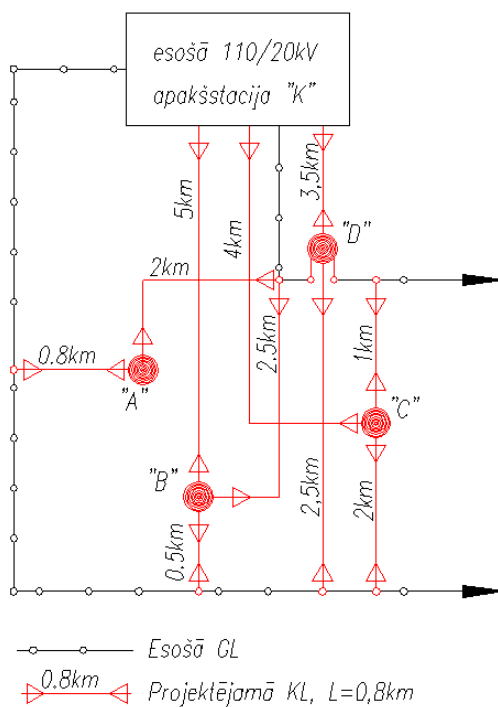
Ar likumdošanā noteikto tarifu par TEC ražoto elektroenerģiju, izmantojot atjaunojamā tipa kurināmo, un ar nosacījumu, ka tiek saglabāts pašreizējais s/e tarifs, TEC atmaksas periods ir 8 gadi. Relatīvi īsais projekta atmaksas periods izraisījis nopietnu interesi potenciālo investoru vidū. Tomēr pašvaldība ir ieinteresēta samazināt siltuma tarifus, lai tie būtu taisnīgi gan pret investoru, gan pret pilsētas iedzīvotājiem (patērētājiem), kuri rada nosacījumus koģenerācijai.

Ja TEC projekts tiek realizēts, izveidojot koalīciju starp Pašvaldību un Investoru, siltuma tarifu iespējams samazināt par 33%. Turklāt TEC investīciju atmaksas periods saglabājas pieņemams (10 gadi).

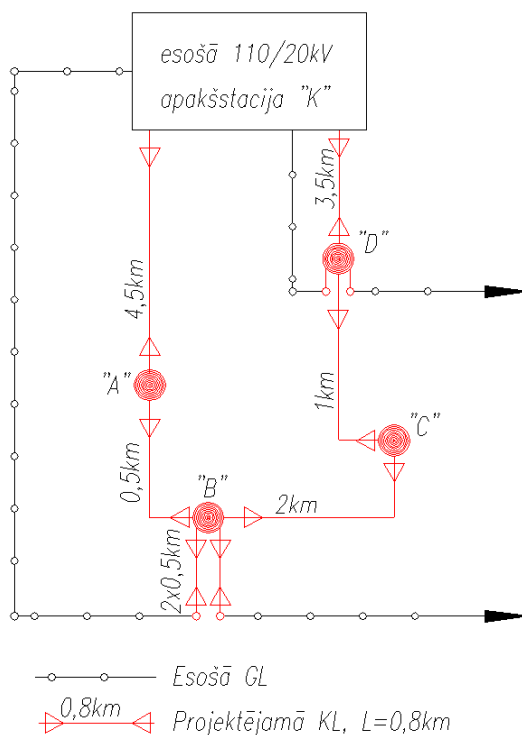


**3.att.** Projekta atmaksas laiki un NPV vērtības: 1- katlu mājas rekonstrukcija; 2- patērētājiem un TEC investoram optimālais enerģijas tarifs; 3- TEC būve un esošā siltuma tarifa saglabāšana.

3) Elektroapgādes plānošana jauniem patērētājiem. Šajā sadaļā aprakstīts tipisks piemērs ar jaunu patērētāju pieslēgšanu sadales tīklam. Esošās apakšstacijas tuvumā plānots uzbūvēt četru neatkarīgu uzņēmumu ražotnes. Pēc uzņēmumu pieprasījuma sadales tīkls, kurš nodrošina elektroapgādi, izsniedzis tehniskos noteikumus, kuru realizācijai jāizveido elektrotīklu shēmu, kura nodrošinātu, ka jaunie klienti pieslēgumus var realizēt neatkarīgi cits no cita. Svarīgi atzīmēt, ka izdevumus izskatāmajā gadījumā sedz paši patērētāji. Proti, katrs no uzņēmumiem ir ieinteresēts samazināt izdevumus. Pēc uzņēmuma A iniciatīvas tika izskatīts jautājums par uzņēmumu A, B, C un D koalīcijas dibināšanu. Rezultātā, balstoties uz nosacījumu, ka visi četri uzņēmumi pieslēgsies sadales tīklam vienlaicīgi, nesamazinot pieslēgumu drošumu, sintezēta daudz racionālāka shēma, ievērojami samazinot plānotās investīcijas. Viegli secināt, ka racionāli ir izveidot koalīciju. Pie kam iespējams gūt papildu ieguvumu, uzņemoties iniciatīvu, kas ļauj izveidot koalīciju iniciatoram visizdevīgākajā veidā. Ievērojamu ieguvumu gūst ne tikai iniciators, bet arī pārējie koalīcijas dalībnieki. Papildus atzīmēsim, ka koalīcijas izveide bija izdevīga arī uzņēmumam, kam piederēja sadales tīkls, jo tiek uzbūvēts tīkls, kam nepieciešamas mazākas ekspluatācijas izmaksas (mazāks kabeļu līniju kopgarums).



**4.att.** Neatkarīgu uzņēmumu A, B, C un D pieslēguma shēma.



**5.att.** Uzņēmumu A, B, C un D koalīcijas pieslēguma shēma.

4) Siltuma un elektroenerģijas tarifa sadalījums. Energoapgādes sistēmu racionālai attīstībai nepieciešama objektīva attiecība starp siltumenerģijas un elektroenerģijas cenām. Šo metožu pamatā ir summārās peļņas RΣ aprēķins, kura ir pietiekama normālai TEC darbībai. RΣ tiek iegūta no siltumenerģijas un elektroenerģijas pārdošanas. No katra veida enerģijas

ražošanas iegūtā peļņa, tiek sadalīta, pamatojoties uz fizikālām sakarībām, piemēram, proporcionāli saražotajai enerģijai. Šajā gadījumā netiek ņemts vērā tas, ka siltumenerģijai un elektroenerģijai ir nevienlīdzīga vērtība.

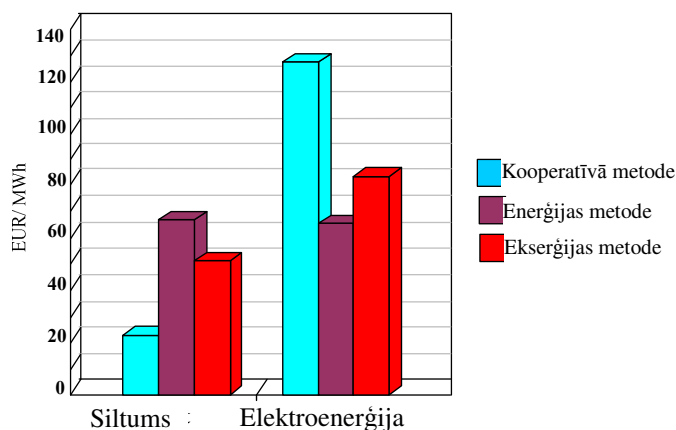
Biežāk izmantota metode ir ekserģijas (angl. *Exergy*) metode, ar kuras palīdzību enerģijas vērtību maina ar koeficientu  $\beta$ , kas mainās atkarībā no izmantojamās enerģijas ražošanas tehnoloģijas. Galvenais šīs metodes trūkums ir tas, ka nav iespējams objektīvi novērtēt koeficienta  $\beta$  vērtību. Ir acīmredzams, ka dažādām energosistēmām šis koeficients ir dažāds. Piemēram, bagātīgu ūdens resursu gadījumā, kas rezultātā ļauj ražot elektroenerģiju lētāk, šim koeficientam jāizvēlas lielāka vērtība.

Pārdodot elektroenerģiju caur energosistēmas tīklu, tās cenu nosaka tirgus. Taču nelielu TEC gadījumā patērētājiem ir iespēja saņemt elektroenerģiju no TEC, neizmantojot energosistēmas tīklu. Šajā gadījumā globālā tirgus noteiktie apstākļi šiem patērētājiem kļūst neobligāti. Šīs pieejas nedod nekādas priekšrocības tiem patērētājiem, kuru patēriņa profils vislabāk atbilst siltuma un elektroenerģijas koģenerācijas profilam. Tādējādi cenas noteikšanas procesā netiek ņemts vērā siltumenerģijas patērētāju ieguldījums ekspluatācijas efektivitātē no kurināmā ietaupījuma un izplūdes gāzu emisijas viedokļa, ražojot divus enerģijas veidus.

Šajā sadaļā izklāstīta uz kooperatīvo spēļu teoriju balstītā metode, ar kuras palīdzību iepriekš aprakstītie ierobežojumi tiek pārvarēti. Energoapgādes uzdevums tiek formulēts spēles veidā, piedaloties koalīcijai ar vairākiem spēlētājiem. Sniegti piemēri, kuri balstīti uz reāliem datiem, kas izmantoti Rīgas pilsētas energoapgādes plānošanā.

##### 5) Kooperatīvā rīcība ar iniciatora papildu peļņu.

Kā Pirmais piemērs tiek apskatīts Rīgas pilsētas jaunu rajonu siltumapgādes un elektroapgādes risinājuma varianti. Tajos tiek analizēts pastāvošās tarifu noteikšanas metodes (enerģijas un ekserģijas) abiem enerģijas veidiem: elektro un siltuma noteikšanai un tās salīdzinātas ar kooperatīvo spēļu teorijas izmantošanu. Metodes dod būtiski atšķirīgus rezultātus (skat. 6.att.). Izmantojot uz spēļu teoriju balstīto metodi, tiek iegūtas elektroenerģijas cenas, kas ir pietiekami tuvas tirgus cenām, kā arī relatīvi zemas siltuma cenas. Šādas cenu attiecības stimulē plašu koģenerācijas procesu izmantošanu enerģijas ražošanā.



**6.att.** Ar dažādām metodēm aprēķinātie enerģijas tarifi.

Otrā piemērā salīdzināti vienkāršoti ražošanas un realizācijas procesi divu māju (māju skaits var būt lielāks), kurām katrai ir savs īpašnieks, rīcība nodrošinot savu siltuma un elektroapgādi no saviem avotiem pašu vajadzībām neatkarīgi vienam no otra un kooperatīva gadījumā.

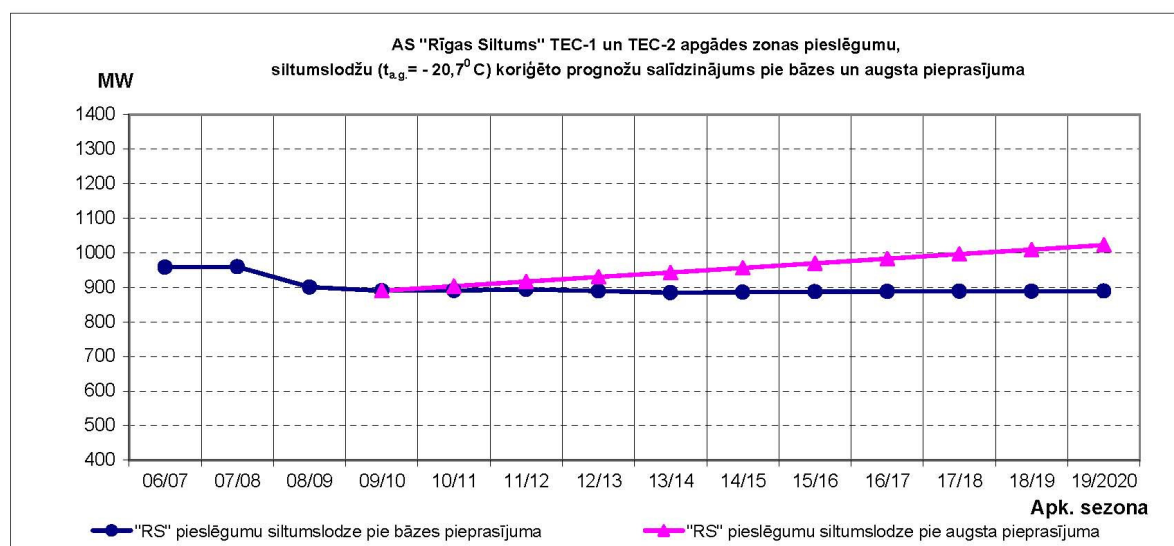
**Ceturtajā nodaļā** dots īss pārskats par Rīgas pilsētas centralizētās siltumapgādes sistēmas (CSS) attīstības plāniem līdz 2020.gadam, kuru izstrādē piedalījies šī darba autors no 2006. līdz 2011. gadam. Gūtā pieredze un atziņas attīstības plānu izstrādē lielā mērā kalpojušas par pamatu šī promocijas darba izstrādē, īpaši tādēļ, ka iepriekšējos 20 gados līdzīgs darbs, kurš ietvertu gan esošā stāvokļa analīzi, gan siltuma slodžu un patēriņa prognozēšanu, gan norādītu tuvākā un tālākā nākotnē veicamos attīstības pasākumu variantus ar ekonomisko pamatojumu Rīgas pilsētas CSS attīstībai nebija izstrādāts. Līdz ar to nācās apkopot pasaules pieredzi līdzīgu darbu izstrādei un pielāgot to vietējiem apstākļiem. Siltumslodžu prognozēšanai izstrādāta metodika, kas balstās uz prognozēto iedzīvotāju skaitu, prognozēto mājokļu platību un prognozēto mājokļu energopatēriņu, jauno klientu pieprasīto siltumslodzi un statistisko informāciju par iepriekš pieslēgto klientu siltumslodzēm, kā arī kopējo tautsaimniecības attīstību un siltumslodžu salīdzinājumu līdzīgās pilsētās.

Rīgas pilsētas CSS operators ir AS „Rīgas Siltums”, kurš veic siltumenerģijas ražošanu, pārvadi un realizāciju, kā arī nodrošina siltumenerģijas lietotāju ēku iekšējās siltumapgādes sistēmu tehnisko apkopi. Savukārt lielākais siltumenerģijas ražotājs Rīgā ir AS "Latvenergo" piederošās koģenerācijas stacijas: Rīgas TEC-1 un Rīgas TEC-2, no kurām AS „Rīgas Siltums” iepērk lielāko daļu realizētās siltumenerģijas.

Šā gadsimta pirmās desmitgades vidū Latvijā izveidojās labvēlīga makroekonomiskā situācija straujai nekustamā īpašuma tirgus attīstībai, tai skaitā Rīgas pilsētā. AS „Rīgas

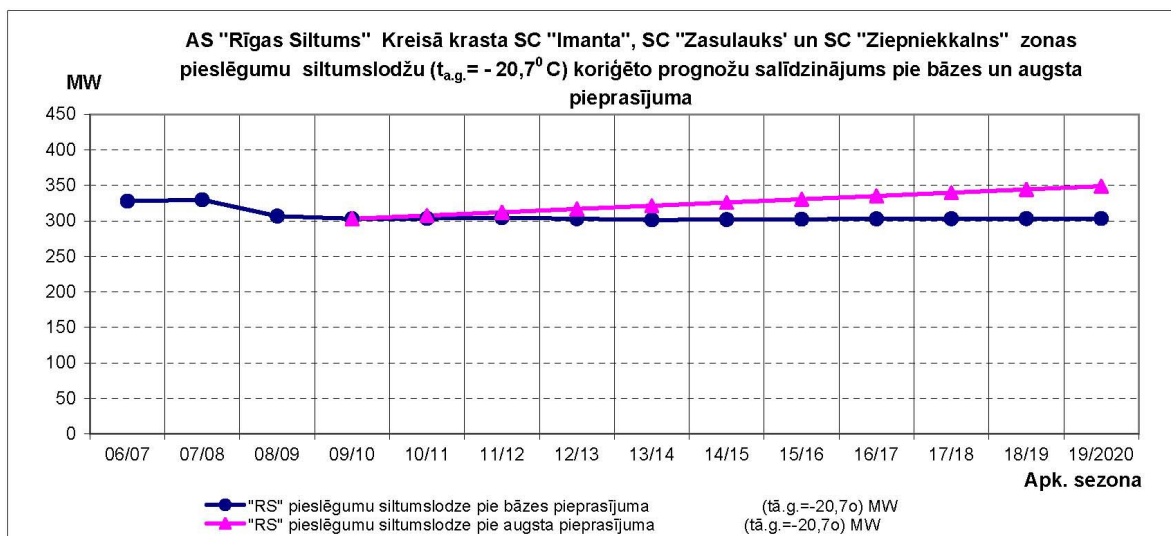
Siltums” kopējā potenciālo klientu pieprasītā siltumslodze 2006. gadā bija 1166 MW<sub>th</sub>. Savukārt esošā kopējā Rīgas pilsētas Labā un Kreisā krasta patērētāju siltumslodze pie aprēķina temperatūras bija 927 MW<sub>th</sub> + 321 MW<sub>th</sub> = 1248 MW<sub>th</sub>. Jauno klientu pieprasītā slodze un esošo klientu slodze = 1135 MW<sub>th</sub> + 1248 MW<sub>th</sub> = 2383 MW<sub>th</sub>, Siltuma avotiem jānodrošina arī slodze no zudumiem siltumtīklos. Jāatzīmē, ka 2006. gadā AS „Rīgas Siltums” un AS „Latvenergo” siltumavotu kopējā uzstādītā jauda šajās siltumapgādes zonās bija 823,5 MW<sub>th</sub> + 1499 MW<sub>th</sub> = 2322,5 MW<sub>th</sub>. No iepriekš minētā ir redzams, ka lai nodrošinātu pieprasītās slodzes, bija nepieciešams veikt esošās CSS siltuma avotu jaudu palielināšanu, kā arī pārbūvēt esošos un izbūvēt jaunus siltumtīklus, atbilstoši esošo un jauno siltumslodžu ģeogrāfiskajam izvietojumam.

2010.gadā vispārējā tautsaimniecības situācija bija būtiski mainījusies un tāpēc nācās koriģēt iepriekšējās prognozes. Šobrīd apstiprinātā patērētāju siltumslodžu prognoze sniegta 7.att. Labajam krastam un 8.att. Kreisajam krastam.



Apkures sezona	06/07	07/08	08/09	09/10	10/11	11/12	12/13	13/14	14/15	15/16	16/17	17/18	18/19	19/2020
"RS" pieslēgumu siltumslodze pie bāzes pieprasījuma ( $t_{a,g} = -20,7^{\circ}$ ) MW	958	960	901	890	891	894	889	884	886	887	888	889	889	889
"RS" pieslēgumu siltumslodze pie augsta pieprasījuma ( $t_{a,g} = -20,7^{\circ}$ ) MW				890	903	917	930	943	956	970	983	996	1009	1023

7.att. „RS” Labā krasta apgādes zonas siltumslodžu prognožu salīdzinājums.



Apkures sezona	06/07	07/08	08/09	09/10	10/11	11/12	12/13	13/14	14/15	15/16	16/17	17/18	18/19	19/2020
"RS" pieslēgumu siltumslodze pie bāzes pieprasījuma ( $t_{a.g.} = -20,7^{\circ}$ ) MW	328	330	307	303	303	304	303	301	302	302	303	303	303	303
"RS" pieslēgumu siltumslodze pie augsta pieprasījuma ( $t_{a.g.} = -20,7^{\circ}$ ) MW				303	308	312	317	321	326	331	335	340	344	349

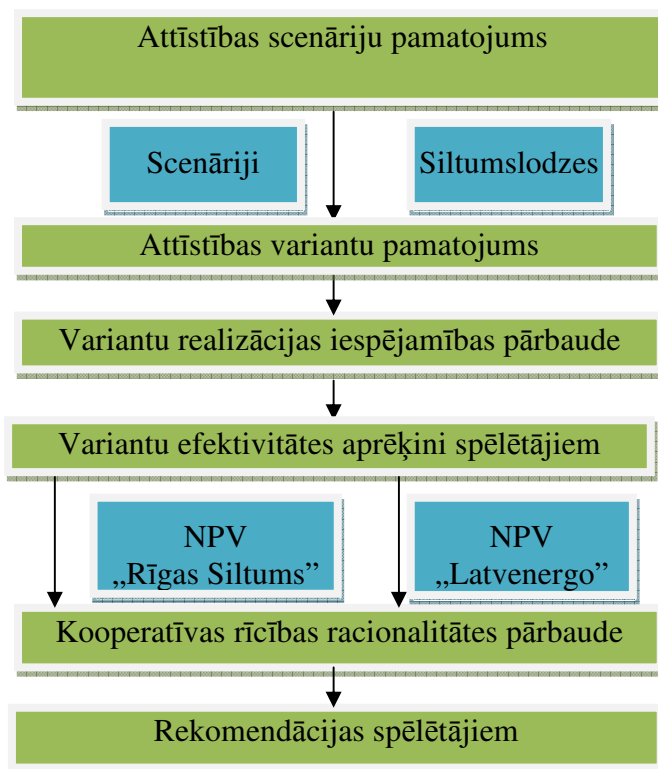
**8.att. „RS” Kreisā krasta apgādes zonas siltumslodžu prognožu salīdzinājums.**

Papildus tam, analizētas esošās CSS vājās vietas no siltumapgādes drošības viedokļa un izteikti priekšlikumi tās paaugstināšanai, kā arī izpētītas un ekonomiski pamatotas esošās CSS iekārtu energoefektivitātes paaugstināšanas iespējas, doti ekonomiski pamatoti priekšlikumi koģenerācijas elektrostaciju konkurētspējas paaugstināšanai, strādājot elektroenerģijas tirgus apstākļos.

Rīgas CSS attīstības pasākumu īstenošana praktiski nav iespējama, ja nenotiek tirgus dalībnieku (siltuma ražotāja, pārvades un sadales tīkla operatora un patērētāju) kooperēšanās. Situācijā, kurā siltumenerģijas ražotājs ir nodalīts no siltumtīkliem un patērētājiem, praktiski jebkura veida CSS pārbūve vai modernizācija tieši skar visas trīs iesaistītās puses. Tāpēc nepieciešams rast tādu risinājumu, kurš nodrošinātu „godīgu un taisnīgu” investīciju, papildus ekspluatācijas izmaksu un peļņas sadali starp šādiem trim spēlētājiem:

- a) Siltuma ražotājs
- b) Siltumtīklu operators
- c) Siltuma patērētājs

**Piektajā nodaļā analizēta Rīgas pilsētas siltumapgādes attīstības optimizācijas uzdevums un parādīta uzdevuma atrisināšanas algoritma struktūra**



**9.att.** Rīgas siltumapgādes optimizācijas uzdevuma atrisināšanas algoritma struktūra.

Siltumapgādes attīstības optimizācija uzdevumā konstatēts:

- Energoapgādes efektivitāte ir atkarīga no liela skaita parametriem.
- Energoapgādes efektivitāte ir atkarīga no tīklu iespējamām struktūrām. Pastāv liela brīvība tīklu struktūras izvēlē.
- Daļai no ietekmējošiem parametriem ir izteikti nenoteikts raksturs.
- Pieņemto risinājumu efektivitāte ir atkarīga no divu galveno siltumapgādes procesa spēlētāju rīcības: „Latvenergo” un „Rīgas Siltums”.

Rīgas CSS attīstības plānā līdz 2020.gadam, vadoties no siltumenerģijas pieprasījuma prognozēm, labā un kreisā krasta CSS attīstības vairākiem variantiem tika veikta siltuma tīklu hidraulisko režīmu aprēķini, pēc kuriem tika noteikti nepieciešamie pasākumi to realizācijai, attiecīgi aprēķinātas prognozētās investīcijas un ekspluatācijas izmaksas, siltumslodžu sadalījums starp siltuma avotiem. Pēc kā tika sastādītas siltumavotu prognozētās ražošanas programmas, nosakot to saražotās siltumenerģijas un elektroenerģijas apjomus, patērētā kurināmā daudzumus, CO<sub>2</sub> izmešu apjomus un citas izmaksas raksturīgākajos režīmos un kopumā pa finanšu gadiem 20 gadu periodā. Pēc kā savukārt tika veikta šo attīstības variantu

finanšu izvērtējums, nosakot sagaidāmās NPV vērtības (ekonomiskās jutības aprēķini) atkarībā no:

- ieguvuma izmaiņām par katru papildus piegādāto elektroenerģijas vienību, kura tiek saražota koģenerācijas režīmā;
- iespējamā ES līdzfinansējuma apjoma;
- kapitālieguldījumu apjoma samazinājuma.

Vairāku Rīgas CSS attīstības pasākumu īstenošanai nepieciešama tirgus dalībnieku (siltuma ražotāja, pārvades un sadales tīkla operatora un patērētāju) kooperēšanās.

CSS attīstības īstenojamie pasākumi un iespējamie risinājumi parādīti 10.att.



10.att. CSS attīstģbas īstenojamie pasākumi un iespējamie risināģjumi.

### Siltumslodžu nosešanas īstenojamie pasākumi, iesaistītās puses un to ieguvumi vai zaudējumi

1	Īstenojamais pasākums	Iesaistītās puses	Ieguvumi un zaudējumi
1	2	3	4
1.	Jauna pilsētas mikrorajona (Lucavsalā, Zaķusalā, Rumbulā vai citur) siltumslodžu nosešana		
	a) būvējot jaunu katlumāju	- Katlumājas izbūves ierosinātājs; - Siltuma patērētāji	Ieguvums: - patērētājs, ja šī jaunā katlumāja nodrošina zemāku siltuma tarifu, nekā citi avoti; Zaudējums: - blakus esošie lieli CSS avoti.
	b) būvēt jaunu nelielu, lokālu koģenerācijas staciju	- Nelielās koģenerācijas stacijas izbūves ierosinātājs; - Siltuma patērētāji; - Elektroenerģijas patērētāji.	Ieguvumi: 1) patērētājs, ja šis risinājums nodrošina zemākus tarifus; 2) papildus elektriskās jaudas uzlabo energoapgādes drošību un paaugstina konkurenci elektroenerģijas tirgū, Zaudējumi: - blakus esošie lieli CSS avoti
	c) pievienot esošajiem siltumtīkliem ar katlumāju	- Siltumtīklu īpašnieks; - Katlumāja; nepieciešamā siltumjauka; - Patērētāji.	Ieguvumi: 1) patērētājs, ja tarifs būs mazāks nekā citām alternatīvām; 2) esošie siltumtīkli un esošā katlumāja iegūs papildus siltumslodzi; Zaudējumi: 1) garos siltumtīklos var rasties neadekvāti lieli zudumi 2) netiek palielināta koģenerācijas avotu noslodze
	d) pievienot esošajiem siltumtīkliem ar koģenerācijas staciju	- Siltumtīklu īpašnieks; - Siltumavotam jānodrošina nepieciešamā siltuma jauda; - Patērētājiem jāslēdz līgums par siltuma pirkšanu.	Ieguvumi: 1) patērētājs, ja šis risinājums nodrošina zemākus tarifus nekā citas alternatīvas; 2) esošie siltumtīkli un siltumavoti iegūs papildus siltumslodzi; 3) papildus siltumslodze ļaus vairāk elektroenerģijas saražot koģenerācijas ciklā; Zaudējumi: - garos siltumtīklos var rasties neadekvāti lieli zudumi.

1	2	3	4
2.	Kreisā krasta CSS	patērētās siltumenerģijas	ražošana koģenerācijas ciklā
	a) esošās katlumāju(as) pārbūve par koģenerācijas staciju(ām) (Imantas TEC izbūve)	- Katlumājas īpašniekam jāveic koģenerācijas stacijas izbūve; - Jānodrošina saražotās elektroenerģijas pārdošana, iespējams izmantojot obligāto iepirkumu	Ieguvumi: 1) patērētāji, ja pateicoties ienākumiem no elektrības ražošanas varēs samazināt siltumenerģijas tarifu. 2) papildus elektriskās jaudas paaugstinās elektroapgādes drošumu un konkurenci elektroenerģijas tirgū; Zaudējumi: - Labā krasta lielie koģenerācijas siltumavoti negūst iespēju palielināt siltumslodzi.
	b) izbūvēt jaunus siltumtīklus, lai šo siltumslodzi segtu Rīgas TEC-2	- Siltumtīklu operatoram jāizbūvē Kreisā un Labā krasta saistvads; - Rīgas TEC-2 jānodrošina atbilstoša uzstādītā siltuma jauda	Ieguvumi: 1) ņemot vērā Rīgas TEC-2 augstos efektivitāte rādītājus un lielāko attiecību starp saražoto elektroenerģiju un siltumenerģiju, šim siltumavotam būtu jābūt ar viszemākajiem siltumenerģijas tarifiem; 2) paaugstinātos summārais siltuma un elektrības kurināmā izmantošanas koeficients; Zaudējumi: - siltumtīklu operatoram būtu jāiegulda ievērojamas investīcijas maģistrālajos siltumtīklos, kā arī jāreķinās ar papildus siltuma zudumiem tajos. - samazinātos siltumapgādes drošums
	c) turpināt ražot siltumu ar ŪSK	- Patērētājiem jāturpina iepirkt siltumenerģiju par līdzšinējiem tarifiem	Ieguvumi: - vismazākās investīcijas un līdz ar to vismazākie riski; Zaudējumi: - Netiek izmantotas iespējas, ko sniedz elektroenerģijas ražošana koģenerācijas ciklā.

1	2	3	4
3.	Siltuma avotu paralēlās darbības nodrošināšana		
a) Jā	Nepieciešams veikt siltumtīklu kameru automatizāciju dispečeru darbavietu modernizāciju, kā arī darbinieku apmācību.	- Apvienojot divas atdalītas sistēmas vienā kopīgā, parādās šādas priekšrocības: 1) iespēja iepirkt siltumu par zemāko pieejamo tarifu. 2) maksimāli noslogot efektīvāko siltumavotu; 3) izmanto vairākus siltumavotus savstarpējai rezervēšanai; Trūkumi: 1) apvienošanas rezultātā izveidojas lielāka un sarežģītāka CSS, kurā attiecīgi palielinās avārijas varbūtība; 2) viena avārija var ietekmēt lielāku skaitu patērētāju	
b) Nē			Netiek iegūtas augstāk uzskaitītās priekšrocības un trūkumi.
4.	Siltumenerģijas akumulēšanas sistēmas izveide		
a) izmantojot siltumtīklus	-Siltumtīkliem, strādājot ar akumulētu siltumenerģiju, būtu jāuztur paaugstināta temperatūra turpgaitas un atpakaļgaitas cauruļvados; -Patērētājiem būtu jānodrošina viņu siltummezglu pareiza darbība pie pastiprināti svārstīgas siltumtīklu ūdens temperatūras	Ieguvumi: 1) akumulēšana ļautu izlīdzināt siltumavotu siltumslodžu grafiku, tādējādi vairāk noslogojot koģenerācijas iekārtu un ļaujot tām strādāt vienmērīgāk; 2) siltumenerģijas akumulēšana nodrošina koģenerācijas iekārtām siltumslodzi pie augstākām elektroenerģijas tirgus cenām un šo siltumavotu apturēšanu pie zemākām elektroenerģijas cenām, netraucējot patērētāju siltumapgādi; 3) akumulēšana paaugstina siltumapgādes drošību, jo akumulētā siltumenerģija nodrošina avotu rezervēšanu; Trūkumi: -akumulēšana siltumtīklos rada ievērojamus siltumenerģijas zudumus.	
b) siltuma akumulēšanas sistēmas izveide, izbūvējot akumulācijas tvertnes blakus siltumavotam	- Siltuma avota īpašnieks izbūvē akumulēšanas sistēmu		- Salīdzinot ar augstākminēto siltumtīklu akumulēšanas sistēmu šai tvertņu sistēmai ir šādas priekšrocības: 1) mazāki enerģijas zudumi; 2) Patērētājiem netiek izmainīts tīkla ūdens temperatūras grafiks; Trūkumi: 1) salīdzinoši lielas sākotnējās investīcijas, kuru atmaksāšanās atkarīga no el-en. tirgus cenu svārstību.

Kā redzams no 10.attēla un 1. tabulas, situācijā, kurā siltumenerģijas ražotājs ir nodalīts no siltumtīkliem un patērētājiem, praktiski jebkura veida CSS pārbūve vai modernizācija tieši skar visas trīs iesaistītas puses. Tāpēc nepieciešams rast tādu risinājumu, kurš nodrošinātu godīgu un taisnīgu investīciju, papildus ekspluatācijas izmaksu un peļņas sadali starp šādiem trim spēlētājiem:

- a) Siltuma ražotājs
- b) Siltumtīklu operators
- c) Siltuma patērētājs

Kā piemēri šajā darbā izvēlēti divi raksturīgākie varianti (variants 4.1. – siltumtīklu operators AS „Rīgas Siltums” nodrošina AS „Latvenergo” siltumavotu TEC-1 un TEC-2 paralēlu darbu Rīgas pilsētas Daugavas labajā krastā, tādejādi radot iespēju vairāk noslogot efektīvāko avotu; variants 9.1. - siltumtīklu operators AS „Rīgas Siltums” veic Rīgas pilsētas Daugavas labā un kreisā krasta CSS apvienošanu, tādejādi nodrošinot AS „Latvenergo” siltumavotiem TEC-1 un TEC-2 iespēju palielināt siltumslodzi), kuriem parādīts kopīgi nopelnītā NPV taisnīgs sadalījums koalīcijas dalībnieku starpā pēc Šeplija vērtības.

## Noslēgums

Pasaules sabiedrības vēlme palielināt energoapgādes efektivitāti, drošumu, samazināt ietekmi uz apkārtējo vidi izraisījusi energosistēmu restrukturizācijas procesu, kura mērķis ir nodrošināt tirgus apstākļus un brīvu konkurenci enerģijas ražošanā un pārdošanā.

Restrukturizācijas rezultātā energoapgādi nodrošinājušais monopols tiek sadalīts. Veidojas vairāki neatkarīgi (vairāk vai mazāk) uzņēmumi, kuru darbības mērķis ir nodrošināt pēc iespējas lielāku peļņu, un kuri vispārīgā gadījumā konkurē savā starpā. Lai aizsargātu sabiedrības intereses, t.i., ierobežotu enerģētikas uzņēmumu peļņu, stimulētu ekoloģiski tīru un mūsdienīgu tehnoloģiju izmantošanu, nodrošinātu kvalitāti un drošumu, tiek dibināta Regulatora institūcija. Šī institūcija izstrādā tirgus darbības noteikumus un ierobežojumus. Restrukturizācijas rezultātā un izveidojot regulētu enerģijas tirgu ar konkurējošo uzņēmumu piedalīšanos, būtiski mainās energosistēmas attīstības plānošanas uzdevums.

Vispārīgā gadījumā, ņemot vērā tirgus apstākļus, energoapgādes plānošanas uzdevums ar mērķi maksimizēt savu peļņu tiks risināts, piedaloties visiem uzņēmumiem, kuri darbojas aplūkojamās sistēmas ietvaros. Turklāt stratēģijas, kuras izvēlējušies konkurējošie uzņēmumi,

nav zināmas pirms to realizēšanas. Jāatzīmē, ka pat, zinot informāciju par konkurējošo uzņēmumu stratēģijām, to peļņas aprēķināšana ir sarežģīts uzdevums, kas jārisina, izmantojot tehniskās un ekonomiskās programmatūras paketes. Šāda uzdevuma risinājums saistīts ar divām pamatproblēmām:

- 1) Dažādu uzņēmumu intereses nesakrīt, līdz ar to vienlaicīga visu uzņēmumu peļņas maksimizēšana vispārīgā gadījumā nav iespējama.
- 2) Tā kā peļņa ir atkarīga no apzinātām konkurentu darbībām, nav iespējams iepriekš noteikt šīm darbībām atbilstošas statistiski apstiprinātas varbūtības.

Uz spēļu teorijas balstītas metodes var dot savu ieguldījumu pareizā lēmuma pieņemšanā par energoapgādes avotu attīstību. It īpaši kooperatīvā spēļu teorija būtu jāizmanto, ņemot vērā iespēju veidot koalīciju. Integrācijas procesa iniciators var gūt papildu peļņu, izvēloties veiksmīgu koalīcijas veidošanas paņēmieni. Šīs pieejas galarezultāts būs efektīvāka energoapgādes sistēma.

Dotie piemēri rāda, ka pat salīdzinoši nelielos projektos, teiksim, sadales tīkla attīstība, var tikt iegūts ekonomiskais efekts (simti tūkstoši). Lielākos projektos (piemēram, Rīgas siltumapgāde) ekonomiskais efekts var sasniegt miljonus.

## **Tālākie pētījumu virzieni**

Energoapgādes plānošanas jomā pastāv vairāki plānošanas uzdevumi, kuru racionālai atrisināšanai nepieciešama koalīcijas veidošana. Tādējādi var izmantot spēļu pieeju un atrisināt radušās problēmas attiecībā uz izdevumu un peļņas sadali. Tālāk seko saraksts, kur šādi uzdevumi ilustrēti ar piemēriem.

- *Atomelektrostacijas celtniecība trīs Baltijas valstu vajadzībām.*

Pēc Ignalinas atomelektrostacijas slēgšanas Lietuva, Latvija un Igaunija kļūst par valstīm ar enerģijas deficītu. Katra valsts, rīkojoties neatkarīgi, var attīstīt savas ģenerējošās jaudas; tomēr koalīcijas veidošana varētu radīt alternatīvu, kas būtu izdevīgāka visiem dalībniekiem, t.i., elektrostacijas celtniecība kopīgiem spēkiem.

- *Zemūdens kabeļa ierīkošana, kas savienotu Baltijas valstis un Zviedriju.*
- *Pilsētas apakšstacijas vietas izvēle.*

Izvēloties vietas jaunu pilsētas apakšstaciju celtniecībai, bieži vien rodas interešu konflikts starp pārvades tīklu un sadales tīkliem, kuri minimizē savus izdevumus un zudumus atsevišķi. Kopīgi lēmumi ir ekonomiski efektīvāki.

- *Maksājumu sadale par rezerves jaudām.*  
Savstarpēji saistītām energosistēmām ir atšķirīga struktūra, un tās tiek apgādātas ar rezervēm dažādos veidos. Kopīgā rezervju izmantošana ir izdevīga visiem dalībniekiem, tomēr uzdevums par maksājumu sadali rezervēm ir aktuāls jautājums. Izdevumu sadale globālas (vairākām savstarpēji saistītām energosistēmām kopīgas) avārijas automātikas izveidei.
- *Maksājumu sadale par dalību frekvences regulēšanas procesā.*  
Parasti šajā procesā piedalās tikai dažas lieljaudas elektrostacijas. Šāda dalība ir saistīta ar ievērojamiem izdevumiem. Izdevumu sadali starp visiem enerģijas ražotājiem var atrisināt ar aplūkotajām metodēm.

### **Izmantotie literatūras avoti**

1. A.G. Bakirtzis. Aumann-Shapley transmission congestion pricing. In Power Engineering Review, IEEE, 21(3):67{69, 2001.
2. Aivars Kvesko. TEC-2. No pagātnes uz nākotni // Enerģija un Pasaule. Nr.3 (62) 2010 Jūnijs-Jūlijs
3. Arnis Kalniņš. Par atjaunojamās elektroenerģijas ražošanas izmaksām un tās konkurētspēju. // Enerģija un Pasaule. Nr.4(63) 2010 Augusts-Septembris
4. AS "Rīgas Siltums" atskaites dati par saražotās un patērētājiem piegādātās siltumenerģijas daudzumu, tās sadalījumu pa patērētāju sektoriem un apkalpes zonām 2003./2004.g., 2004./2005.g. un 2005./2006.gada 11 mēnešiem.
5. AS "Rīgas Siltums" izdotie tehniskie noteikumi 2005. – 2010.g.
6. AS "Rīgas Siltums" statistikas dati par patērētāju siltumslodzēm.
7. AS "Rīgas Siltums" 2004. - 2009. gada pārskati.
8. AS "Rīgas Siltums" energoobjektu esošais stāvoklis un ekonomiskie rādītāji.
9. BALTSO Annual Report 2006. Internets. - [www.baltso.eu](http://www.baltso.eu)
10. Dati par Helsinku pilsētas ēkām un to siltumapgādi: ÅF-Enprima Ltd, tehniskā konsultanta Saukkonen, Markku ziņojums.
11. Dati par Stokholmas pilsētas ēkām un to siltumapgādi: Officials Statistics Swedens Databases [www.scb.se](http://www.scb.se) .
12. Directive 2001/77/EC of the European Parliament and of the Council of 27 September 2001 on the promotion of electricity produced from renewable energy sources in the internal electricity market.

13. Dr.sc.ing. Anzelms Bačausks. Starpsistēmu elektrosaites – reģionālās kooperācijas pārvads // *Enerģija un Pasaule*. Nr.2(55) 2009 Aprīlis – Maijs
14. Du Songhuai, Zhou Xinghua, Mo Lu, and Xue Hui. A novel nucleolus-based loss allocation method in bilateral electricity markets. In *Power Systems, IEEE Transactions on*, 21:28{33, 2006.
15. E. Faria, L.A. Barroso, R. Kelman, S. Granville, and M.V. Pereira. Allocation of Firm-Energy rights among hydro plants: An Aumann-Shapley approach. In *Power Systems, IEEE Transactions on*, 24(2):541{551, 2009.
16. Eiropas Parlamenta un Padomes 2009. gada 23. aprīļa direktīva 2009/28/EK par atjaunojamo energoresursu izmantošanas veicināšanu.
17. Elmārs Tomsons Piedāvāto III un III+ paaudzes lielas jaudas enerģētisko kodolreaktoru realizācija. // *Enerģija un Pasaule*. Nr.5(64) 2010 Oktobis-Novembris
18. Enerģētikas attīstības pamatnostādnes 2007.-2016.gadam. Ministru kabinets, Ekonomikas ministrija. 2006.gada 27.jūnijs.
19. Ernst&Young, Vadības grāmatvedība 2.daļa, Lielbritānija 1995, 203 lpp.
20. E.Van Geert, “Increased Uncertainty a New Challenge for Power System Planners”, IEE Colloquium on Tools and Techniques for Dealing With Uncertainty (Digest No.1998/200), 1998, pp.1831-1837.
21. G.Vempers, J.Inde u.c. // „AS „Rīgas Siltums” Kreisā krasta siltumtīklu un siltuma avotu izmantošanas un attīstības biznesa plāns laika posmam no 2006. līdz 2018. gadam.”//374 lpp.
22. G.Vempers, J.Inde u.c. // „AS „Rīgas Siltums” Labā krasta siltumtīklu un AS „Latvenergo” siltuma avotu izmantošanas un attīstības biznesa plāns laika posmam no 2006. līdz 2018. Gadam”// 437 lpp.
23. G.Vempers, J.Inde u.c. // „Rīgas pilsētas centralizētās siltumapgādes sistēmas optimizācijas iespējas laika posmā no 2010.gada līdz 2020.gadam.” // 524 lpp.
24. Jānis Osītis. Pirmais pusgads bez Ignalinas AES // *Enerģija un Pasaule*. Nr.4(63) 2010 Augusts-Septembris
25. J. Bialek. Tracing the Flow of electricity. In *Generation, Transmission and Distribution, IEE Proceedings*, 143:313{320, July 1996.
26. J.-C. Peng, H. Jiang, and Y.-H. Song. A weakly conditioned imputation of an impedance-branch dissipation power. In *Power Systems, IEEE Transactions on*, 22:2124{2133, 2007.

27. J.F. Vernotte, P. Panciatici, B. Meyer (EDF)/ J.P. Antoine, J. Deuse and M. Stubbe (TRACTEBEL), "High Fidelity Simulation Power System Dynamics", IEEE Computer Applications in Power (CAP), January 1995.
28. Krišāns Z., Oļeiņikova I., Elektroenerģētisko uzņēmumu vadības pamati. Rīga; Rīgas Tehniskā Universitāte 2007;
29. Leo Jansons. Globālo elektroenerģijas bāzes jaudu un energoapgādes drošības problēmu projekcijas Baltijas valstu ES integrācijas kontekstā // Enerģija un Pasaule. Nr.6 (65) 2010 Decembris-Janvāris
30. Leo Jansons. Baltijas valstis vienota Eiropas Savienības elektroenerģijas sektora un tirgus formācijas kontekstā: integrācijas leģitīmie aspekti un tehniskās problēmas (2003-2009) // Enerģija un Pasaule. Nr.5(64) 2010 Oktobis-Novembris
31. Lloyd S. Shapley. *A Value for n-person Games*. In Contributions to the Theory of Games, Volume II, by H.W. Kuhn and A.W. Tucker, editors. Annals of Mathematical Studies v. 28, pp. 307-317. Princeton University Press.
32. LR Centrālās statistikas pārvaldes datu bāze. <http://www.csb.lv>
33. Martin J. Osborne, Publicly available solutions for AN INTRODUCTION TO GAME THEORY, University of Toronto, 2004
34. M.Balodis, O. Linkevičs, G.Klāvs "Energoapgādes variantu analīze un energoapgādes drošība Baltijas valstīs", žurnāls "Latvenergo Vēstis", 2004.
35. M. Bockarjova, M. Zima, and G. Andersson. On allocation of the transmission network losses using game theory. In Electricity Market, 2008. EEM 2008. 5th International Conference on European Electricity Market, pages 1{6, 2008
36. Ministru kabineta 1997.gada 4.aprīļa noteikumi Nr.112 "Vispārīgie būvnoteikumi" ar grozījumiem.
37. Ministru kabineta 2006.gada 31.oktobra rīkojums Nr.835 Atjaunojamo energoresursu izmantošanas pamatnostādnes 2006.–2013.gadam
38. Ministru kabineta 2010.gada 16.marta noteikumi Nr.262 "Noteikumi par elektroenerģijas ražošanu, izmantojot atjaunojamus energoresursus, un cenu noteikšanas kārtību
39. M. Junqueira, L. C. da Costa, L. A. Barroso, G. C. Oliveira, L. M. Thome, and M. V. Pereira. An Aumann-Shapley approach to allocate transmission service cost among network users in electricity markets. In Power Systems, IEEE Transactions on, 22:1532{1546, 2007.

40. Miranda, V. Proenca, L.M., "Probabilistic choice vs. risk analysis-conflicts and synthesis in power system planning", IEEE Transactions on Power Systems, Aug 1998, Vol.13,pp.1038-1043.
41. M. Zima-Bockarjova, J. Matevosyan, M. Zima, and L. Soder, "Sharing of Profit From Coordinated Operation Planning and Bidding of Hydro and Wind Power," in IEEE Transactions on Power Systems, vol.25, no.3, pp.1663-1673, August 2010
42. no interneta <http://www.achemagroup.com>
43. No interneta: <http://www.fortum.com/en/energy-production>
44. No interneta: <http://www.rs.lv>
45. O. Linkevičs, A. Babikovs, S. Ķiene "Gotlink – elektriskais tilts uz Ziemeļeiropu", žurnāls "Enerģētika un pasaule", Nr. 6, 2005.
46. O.Linkevičs, G.Klāvs, V.Gavars, M.Balodis, J.Andersons "Baltijas valstu energoresursu apgāde līdz 2025. gadam", "Enerģija un pasaule", Nr. 4, 2005.
47. O.Linkevičs "Kā izveidot fiziskus savienojumus ar Eiropas energosistēmām?", žurnāls "Enerģētika un Sabiedrība", Nr. 22, 2003.
48. O.Linkevics, M.Balodis, A.Babikovs, J.Andersons, A.Sauhats, V.Chuvychin "Problems of the Grid Integration of Renewable Energy Sources in Latvia Prospective HVDC interconnection of Latvia and Gotland", Wind Energy in the Baltic Sea Region, Gotland, 2005.
49. Osborne, M.J. and Rubinstein, A. ,"A Course in Game Theory", MIT Press (Chapters 13, 14, 15), 1994.
50. P. A. Kattuman, R. J. Green and J. W. Bialek, "A Tracing Method for Pricing Inter-Area Electricity Trades", Cambridge Working Papers in Economics, 2004.
51. P.A. Kattuman, R.J. Green, and J.W. Bialek. A tracing method for pricing inter-area electricity trades. Cambridge Working Papers in Economics 0107, Faculty of Economics, University of Cambridge, June 2001.
52. Rīgas attīstības plāns (Rīgas ilgtermiņa attīstības stratēģija līdz 2025.gadam, Rīgas attīstības programma 2006.-2012.gadam, Rīgas teritorijas plānojums 2006.-2018.gadam). Rīgas dome. 2005.gads.
53. Rīgas siltumapgādes attīstības koncepcija 2006.–2016.gadam. Rīgas domes lēmums Nr.1365. Dr.sc.ing. M.Rubīnas redakcijā. 01.08.2006.
54. Shih-Chieh Hsieh. Fair transmission loss allocation based on equivalent current injection and shapley value. In Power Engineering Society General Meeting, 2006. IEEE, page 6 pp., 2006.

55. Shih-Chieh Hsieh and Hsin-Min Wang. Allocation of transmission losses based on cooperative game theory and current injection models. In *Industrial Technology, 2002. IEEE ICIT '02. 2002 IEEE International Conference on*, volume 2, pages 850-853 vol.2, 2002.
56. Thermoflow. *Comprehensive Thermal Engineering software*. Thermoflow Inc. April 2002.
57. Vasiļjeva L., *Vides ekonomikas būtība 1. daļa*. Rīga; Rīgas Tehniskā Universitāte 1998;
58. V. Neimane, “On development planning of electricity distribution networks”, Ph.D. thesis, Royal Inst. of Technology, Stockholm, Sweden, 2001.
59. V. Neimane, A. Sauhats, G. Vempers, I. Tereskina, G. Bočkarjova. Approach for Power Supply System Planning Based on Cooperative Game Theory, The 5th International Conference on the EUROPEAN ELECTRICITY MARKET - EEM 08, Lisbon, Portugal, May 28-30, 2008, ID#206.
60. V. Neimane, A. Sauhats, G. Vempers, J. Inde, I. Tereskina, G. Bockarjova "Allocating production Cost of CHP Plant to Heat and power, using cooperative Game Theory", IEEE Bucharest Power Tech Conference, 2009.
61. V. Neimane, A. Sauhats, G. Vempers, I. Tereskina, G. Bočkarjova. “ Approach for Energy Supply System Planning Based on Cooperative Game Theory”, EEM – 08, vol. 174, pp. 182-187.
62. V. Neimane, A. Sauhats, J. Inde, G. Vempers, G. Bockarjova. Using Cooperative Game Theory in energy Supply Planning Tasks, 16th Power Systems Computation Conference- PSCC2008, Glasgow, Scotland, July 14-18, 2008, ID#220.
63. X.J. Lin, C.W. Yu, and C.Y. Chung. Pricing of reactive support ancillary services. In *Generation, Transmission and Distribution, IEE Proceedings-*, 152(5):616-622, 2005.
64. Неклепаев Б.Н. *Электрическая часть электростанций и подстанций*. М.: Энергоатомиздат. 1986.-640 с.
65. Петренко Л.И. *Электрические сети и системы*. Киев. Выща школа. 1981.-320 с
66. Славина Н.А., Косматов Э.М., Барыкин Е.Е. О методах распределения затрат на ТЭЦ // *Электрические станции*. 2001. № 11. С. 14-17.
67. *Справочник по проектированию электрических сетей*. Под редакцией Д.Л. Файбисовича.-М, 2006.-320 с.