

Rīgas Tehniskā universitāte  
Enerģētikas un elektrotehnikas fakultāte  
Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūts

Andra Blumberga, Dagnija Blumberga, Ilze Dzene, Jūlija Gušča,  
Francesco Romagnoli, Edgars Vīgants, Ivars Veidenbergs

# ATJAUNOJAMĀS ELEKTROENERĢIJAS AKUMULĀCIJA

Zinātniska monogrāfija  
Apstiprinājusi RTU Zinātnes padome 2015. gadā,  
Apliecinājums Nr. 04000–7/4

Recenzenti:  
Ritvars Sudārs,  
*Dr. sc. ing.*  
Ģirts Kuplais,  
*Dr. sc. ing.*

Rīga 2015

Andra Blumberga, Dagnija Blumberga, Ilze Dzene, Jūlija Gušča, Francesco Romagnoli,  
Edgars Vīgants, Ivars Veidenbergs

## Atjaunojamās elektroenerģijas akumulācija

Rīga, RTU Izdevniecība, 2015. – 238 lpp.

Monogrāfija ir veltīta neregulāras un periodiskas atjaunojamās elektroenerģijas akumulācijas problēmu izpētei. Tajā apkopoti autoru veiktās matemātiskās modelēšanas un eksperimentālās izpētes rezultāti, aptverot ūdeņraža ražošanu, singāzes ražošanu no biomasas, biogāzes ražošanas tehnoloģiskos aspektus, kā arī biogāzes un singāzes kvalitātes paaugstināšanu ķīmiskās metanācijas un biometanācijas ceļā. Īpaša vieta ir atvēlēta sistēmdinamikas modeļu izveidei, meklējot valsts mēroga politikas instrumentus, kas palīdzētu ieviest atjaunojamās elektroenerģijas akumulācijas tehnoloģiskos risinājumus.

Zinātniskā redaktore prof. Dagnija Blumberga, *Dr.hab.sc.ing.*



## IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ

Monogrāfija izstrādāta un izdota Eiropas Sociālā fonda projekta “Cilvēkresursu piesaiste integrētas atjaunojamo energoresursu enerģijas ražošanas sistēmas izstrādei” (Nr. 2013/0014/1DP/1.1.1.2.0/13/APIA/VIAA/026) ietvaros.

Monogrāfija izdota saskaņā ar RTU Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūta 2015. gada 29. jūnija sēdes lēmumu (protokols Nr. VASSI/ESF/1) un RTU Zinātnes Padomes 2015. gada 28. septembra lēmumu (protokols Nr. 04000-3/7).

Atbildīgā par izdevumu Anita Vēciņa  
Redaktore Inga Ivanova  
Datorsalikums Aleksandrs Rudenko  
Vāka dizains Māris Pelēkis

Izdevējs RTU Izdevniecība, Rīgas Tehniskā universitāte  
Kaļķu iela 1, Rīga, LV-1658  
Tālrunis: 67089441, e-pasts: izdevnieciba@rtu.lv

Tirāzētājs RTU Digitālā drukas centrs

© Rīgas Tehniskā universitāte, 2015

# SATURS

IEVADS	8
<b>1. ATJAUNOJAMĀS ELEKTROENERĢIJAS AVOTI</b>	<b>10</b>
1.1. ATJAUNOJAMO ENERGORESURSU RAKSTUROJUMS.....	11
1.1. ATJAUNOJAMO ENERGORESURSU RAKSTUROJUMS.....	11
1.1.1. Atjaunojamās elektroenerģijas tehnoloģijas .....	12
1.1.2. Saules elektrotehnoloģija .....	16
1.1.3. Vēja elektroenerģija .....	23
1.1.4. Hidroelektrostacijas .....	32
1.1.5. Biomasas energotehnoloģijas.....	35
1.1.6. Neregulāras elektroenerģijas balansēšana .....	48
1.1.7. Atjaunojamo energotehnoloģiju salīdzinājums .....	49
1.2. ATJAUNOJAMĀS ELEKTROENERĢIJAS ATTĪSTĪBAS IESPĒJAS.....	50
1.2.1. Sistēmdinamikas modeļa apraksts.....	51
1.2.2. Problēmas formulēšana.....	53
1.2.3. Dinamiskās hipotēzes veidošana .....	55
1.2.4. Sistēmdinamikas modeļa izveide.....	56
1.2.5. Sistēmdinamikas modeļa validēšana .....	60
1.2.6. Sistēmdinamikas modeļa testēšanas rezultāti.....	61
<b>2. ELEKTROENERĢIJAS AKUMULĀCIJA</b>	<b>64</b>
2.1. AKUMULĀCIJAS TEHNOLOĢISKIE ASPEKTI.....	65
2.1. AKUMULĀCIJAS TEHNOLOĢISKIE ASPEKTI.....	65
2.1.1. Svina-skābes akumulatori.....	66
2.1.2. Plūsmas akumulatoru tehnoloģija.....	67
2.1.3. Nātrija-sēra (NaS) akumulatori .....	67
2.1.4. Litija jonu akumulatori .....	68
2.1.5. Saspiesta gaisa enerģijas akumulācijas tehnoloģija .....	69
2.1.6. Superkondensators .....	74
2.1.7. Ūdeņraža enerģijas akumulācijas tehnoloģijas.....	75

2.1.8.	Ūdens krātuvju izmantošana .....	78
2.1.9.	Ūdeņraža-metāna akumulācija .....	79
2.1.10.	Ūdeņraža-biometāna akumulācija .....	81
<b>2.2.</b>	<b>ELEKTROENERĢIJAS AKUMULĀCIJA BALTIJAS VALSTĪS.....</b>	<b>84</b>
2.2.1.	Atjaunojamo energoresursu īpatsvara pieaugums .....	84
2.2.2.	Sistēmdinamikas modelis ūdeņraža–biometanācijas akumulācijas ieviešanai Latvijā .....	88
<b>3.</b>	<b>ŪDEŅRAŽA RAŽOŠANA</b>	<b>102</b>
<b>3.1.</b>	<b>ELEKTROLĪZE .....</b>	<b>102</b>
3.1.1.	Elektrolīzes process .....	102
3.1.2.	Elektrolīzes darbības princips .....	103
<b>3.2.</b>	<b>ELEKTROLĪZES TEHNOLOĢISKIE RISINĀJUMI.....</b>	<b>104</b>
3.2.1.	Sārmaina ūdens elektrolīze .....	104
3.2.2.	Protonu apmaiņas membrānas tehnoloģija.....	106
3.2.3.	Cieto oksīdu elektrolīze .....	107
3.2.4.	Elektrolīzes izmantošana ūdeņraža ieguvei .....	109
<b>3.3.</b>	<b>BAKTERIĀLĀ ELEKTROLĪZE.....</b>	<b>110</b>
3.3.1.	Bakteriālās elektrolīzes šūnas darbību ietekmējošie faktori .....	113
<b>3.4.</b>	<b>BAKTERIĀLO ELEKTROLĪZES ŠŪNU LIETOJUMA IESPĒJAS .....</b>	<b>119</b>
<b>4.</b>	<b>BIOMASAS GAZIFIKĀCIJA</b>	<b>120</b>
<b>4.1.</b>	<b>SINGĀZES RAŽOŠANA UN IZMANTOŠANA .....</b>	<b>121</b>
<b>4.2.</b>	<b>SINGĀZES RAŽOŠANAS PROCESI .....</b>	<b>124</b>
4.2.1.	Gazifikācijas reaktoru raksturlielumi .....	124
4.2.2.	Gazifikācijas process .....	125
4.2.3.	Gazifikācijas reaktoru tipi.....	128
<b>4.3.</b>	<b>DARVAS SAMAZINĀŠANA SINGĀZĒ.....</b>	<b>132</b>
4.3.1.	Darvas veidošanās procesi .....	132
4.3.2.	Cieto daļiņu veidošanās gazifikācijas procesā .....	135
4.3.3.	Darvas un cieto daļiņu ietekme uz singāzi izmantojošām iekārtām... ..	136
4.3.4.	Singāzes attīrīšana .....	139

<b>5. BIOGĀZES SISTĒMAS UN ATJAUNOJAMĀS ELEKTROENERGIJAS AKUMULĀCIJA</b>	<b>156</b>
<b>5.1. BIOGĀZES SISTĒMA</b>	<b>157</b>
5.1.1. Izejvielu sistēma	158
5.1.2. Biogāzes ražošanas sistēma	159
5.1.3. Biogāzes izmantošanas sistēma	170
5.1.4. Digestāta sistēma	174
<b>5.2. BIOGĀZES SISTĒMU ZINĀTNISKĀS IZPĒTES VIRZIENI</b>	<b>175</b>
5.2.1. Biogāzes sistēmu ietekmes uz vidi vērtēšana	175
5.2.2. Nākotnes pētījumu virzieni inovācijām esošajā biogāzes sistēmā	177
5.2.3. Patēriņa vadīta biogāzes ražošana	177
5.2.4. Biogāze ūdeņraža-biometāna akumulācijas sistēmās	179
<b>5.3. BIOGĀZES SISTĒMA LATVIJĀ UN NĀKOTNES ATTĪSTĪBAS SCENĀRIJI</b>	<b>179</b>
5.3.1. Biogāzes attīstība Latvijā	179
5.3.2. Esošās biogāzes stacijas un to jaudas	182
5.3.3. Latvijas biogāzes sistēmu risku un priekšrocību vērtējums	183
5.4.5. Latvijas biogāzes sistēmu attīstības metode	185
<b>6. METANĀCIJA</b>	<b>194</b>
<b>6.1. ĶĪMISKĀ METANĀCIJA</b>	<b>196</b>
6.1.1. Katalizatoru ietekme uz metanācijas norisi	198
6.1.2. Metanācijas tehnoloģiju apraksts	199
<b>6.2. BIOĻĪSKĀ METANĀCIJA</b>	<b>202</b>
6.2.1. Reaktora uzbūve <i>in-situ</i> bioloģiskajai metanācijai	204
6.2.2. <i>Ex-situ</i> bioloģiskā metanācija	207
6.2.3. Bioloģiskās metanācijas parametri	208
6.2.4. Biometanācijas eksperimentālās iekārtas un pilotiekārtas	210
<b>6.3. ĶĪMISKĀS UN BIOĻĪSKĀS METANĀCIJAS SALĪDZINĀJUMS</b>	<b>218</b>
<b>IZMANTOTĀS LITERATŪRAS SARAKSTS</b>	<b>220</b>