



**VPP**

Valsts pētījumu  
programma

**LATVIJAS SILTUMAPGĀDES UN  
DZESĒŠANAS SISTĒMU ATTĪSTĪBA**  
VPP-EM-EE-2018/1-0002



RTU  
**VASSI**



DEVELOPMENT OF HEAT SUPPLY  
AND COOLING SYSTEMS IN LATVIA  
LATVIJAS SILTUMAPGĀDES UN  
DZESĒŠANAS SISTĒMU ATTĪSTĪBA

## ENERĢĒTIKA

Projekta Nr.: VPP-EM-EE-2018/1-0002  
Līguma Nr.: 03000-3.1.2-e/165

### Autori:

Dr.habil.sc. ing. Dagnija Blumberga  
Dr.habil.sc.ing. Ivars Veidenbergs  
PhD Ieva Pakere  
Dr.sc.ing. Vladimirs Kirsanovs  
Dr.sc.ing. Dace Lauka  
PhD Armands Grāvelsiņš  
M.geogr. Līga Sniega  
M.sc.ing. Ilze Luksta  
M.sc.ing. Zane Kušnere  
M.sc.ing. Beate Zlaugotne  
B.sc. Inga Pamovska

Pētījums tiek īstenots Valsts pētījumu programmas “Enerģētika” projekta ietvaros.

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

## 3.NODAĻA

# PRIEKŠLIKUMU IZSTRĀDE TARIFA LĪMEŅATZĪMES METODIKAS IEVIEŠANAI

## SATURS

1.	Literatūras apskats.....	6
1.1.	Siltumapgādes sistēmas tarifa noteikšanas metodes dažādās Eiropas valstīs 7	
1.2.	Siltumenerģijas tarifu nozīme viedo siltumapgādes sistēmu izveidē .....	8
1.3.	Līmeņatzīmes metodes piemērošana siltumapgādes tarifa noteikšanā .....	9
1.4.	Siltumapgādes tarifi Latvijā .....	10
2.	Metodoloģija .....	13
2.1.	Līmeņatzīmes metožu salīdzinājums .....	13
2.1.1.	Daudzkārtējās lineārās regresijas modelis .....	14
2.1.2.	Empīriskās lineārās regresijas modelis .....	15
2.1.3.	Labās prakses atsauces izmaksu modelis .....	15
2.1.4.	Klimata līmeņatzīmes modelis.....	16
2.2.	Siltumapgādes tarifa regulēšanas mehānismu salīdzinājums .....	19
3.	Rezultāti .....	24
3.1.	Līmeņatzīmes metožu salīdzinājums .....	24
3.1.1.	Daudzkārtējās lineārās regresijas modelis .....	24
3.1.2.	Empīriskās lineārās regresijas modelis .....	25
3.1.3.	Labās prakses atsauces izmaksu modelis .....	26
3.1.4.	Klimata līmeņatzīmes modelis.....	26
3.2.	Siltumapgādes tarifu regulēšanas mehānismu salīdzinājums .....	28
	3.2.1. Energoefektivitātes līmeņu saistība ar viedajiem siltumenerģijas tarifiem. Esošās situācijas analīze .....	28
	3.2.2. Siltumenerģijas tarifu regulēšanas metožu salīdzinājuma rezultāti .....	29
4.	Secinājumi un ieteikumi.....	32
5.	Izmantotās literatūras saraksts.....	34

## IEVADS

Centralizētā siltumapgāde (CSA) ir nozīmīga nākotnes oglekļa neitrālas energoapgādes sastāvdaļa. Tomēr dažādu CSA veikspēja ir ļoti atšķirīga, un esošais normatīvais regulējums ne vienmēr motivē CSA uzņēmumus virzīties uz ilgtspējīgāku siltuma ražošanu. Tāpēc šajā nodevumā tiek salīdzinātas dažādas siltumenerģijas tarifa regulēšanas metodes un padziļināti analizētas četras siltumapgādes tarifa līmeņatzīmes ieviešanas metodes - daudzkritēriju lineārās regresijas metode, empīriskā lineārās regresijas metode, atsaucēs labās prakses metode un klimata līmeņatzīmes metode, kurā piedāvāta klimata indeksa ieviešana. Klimata indekss ietver septiņus dažādus rādītājus, kuri novērtē CSA darbību atbilstoši energoefektivitātes, ilgtspējības un ietekmes uz vidi dimensijām. Metodika ir aprobēta 20 dažādām CSA sistēmām, kuras darbojas Latvijā. Rezultāti rāda, ka piecu uz dabasgāzes izmantošanu balstītu CSA veikspēja, ir zemāka par noteikto Klimata līmeņatzīmi.

Nodevums sastāv no trīs nodaļām, secinājumu un ieteikumu daļas. Nodevumā iekļauts iepriekš veikto pētījumu literatūras apskats, detalizēti aprakstīta metodika līmeņatzīmes metožu integrēšanai un analizēti iegūtie rezultāti.

Dažādu siltuma tarifu līmeņatzīmju salīdzinājums rāda atšķirīgus rezultātus attiecībā uz tām CSA sistēmām, kurām jāsamazina siltumenerģijas tarifs, un tām, kurām atļauts paaugstināt siltuma tarifu līmeni. Tomēr daudzkritēriju regresijas metode un empīriskās regresijas metodes neveicinātu siltumapgādes sistēmu energoefektivitātes paaugstināšanu. Līmeņatzīmes metode parāda, ka augstākais atsaucēs tarifs ir fosilā kurināmā koģenerācijas sistēmām, kas arī neveicinātu šīs sistēmas kļūt par oglekļa neitrālām. Piedāvātajā Klimata indeksa līmeņatzīmes metodē atļautais siltuma tarifs ir saistīts ar esošo tarifu un noteikto Klimata indeksa vērtību. Pieļaujamais siltuma tarifu pieaugums būtu lielāks tām sistēmām, kurām ir labāka energoefektivitāte un AER īpatsvara rādītāji. Līmeņatzīmes metodes ieviešana ar Klimata indeksa izmantošana varētu uzlabot konkurenci starp CSA operatoriem un veicināt virzību uz ilgtspējīgākiem siltuma ražošanas risinājumiem. Metodiku var pielāgot un piemērot dažādām sistēmām, iekļaujot citus vērtēšanas kritērijus.

## 1. LITERATŪRAS APSKATS

Iedzīvotāju skaits turpina pieaugt un palielinās vajadzība pēc enerģijas, tādēļ ir svarīgi attīstīt un izmantot energoefektīvas, rentablas un ilgtspējīgas tehnoloģijas. 2015. gadā trīs ceturtdaļas iedzīvotāju Eiropā dzīvoja pilsētās, kurās galvenokārt tiek izmantota centralizētā siltumapgāde (CSA), un tiek izmantotas arī dzesēšanas sistēmas [1]. Paredzams, ka iedzīvotāju skaits pilsētās turpinās pieaugt. Eiropas Savienības (ES) apkures un dzesēšanas stratēģijas prioritāte ir padarīt apkuri un dzesēšanu efektīvāku un ilgtspējīgāku [2]. Gada enerģijas patēriņš apkurei un dzesēšanai ES ir 50%. Galvenie izmantotie primārie enerģijas avoti ir dabasgāze (46%), ogles (15%), biomasa (11%) un mazuts (10%), bet pārējie 18% ir atjaunojamā enerģija [3]. Tomēr atjaunojamās enerģijas izmantošana apkures un dzesēšanas sistēmās šajā nozarē nav pilnībā sasniegusi savu potenciālu.

Apkures un dzesēšanas sistēmām jāklūst viedākām un jāpalielina energoefektivitāte. Būtu jāsamazina enerģijas izmaksas un CO<sub>2</sub> emisijas. Izplatītākās atjaunojamās enerģijas tehnoloģijas, kuru izmantošana CSA sistēmās pēdējās desmitgades laikā palielinās, ir biomasa, ģeotermālā enerģija un saules kolektori [4]. CSA nākotnes izaicinājums ir viedāka energosistēma, kur vienotā sistēmā ir integrēti dažādi sektori - siltumapgāde un dzesēšana, elektroapgāde un transports, lai panāktu labāko risinājumu katrai nozarei un visai enerģijas ražošanai kopumā [5]. Viens no priekšnosacījumiem, lai siltumapgāde kļūtu par daļu no viedās enerģijas sistēmas, ir pāreja uz zemas temperatūras tīkliem, kas ļauj samazināt siltumenerģijas zudumus un efektīvāk izmantot dažādus siltumavotus [6]. Nākotnes attīstības prognozēs galvenā uzmanība tiek pievērsta zemas temperatūras CSA ar integrētiem atjaunojamiem enerģijas avotiem (AER), kā arī siltuma pārpalikumu izmantošanai [7].

Elastīgas siltumapgādes sistēmas izveide var sniegt finansiālu labumu CSA sistēmu īpašniekiem, operatoriem, klientiem un galalietotājiem, jo energoefektivitātes uzlabošana samazina siltumavotu izdevumus pīķa slodžu segšanai un samazina uzturēšanas izmaksas [8]. Izmaksu samazinājumu var panākt, pazeminot siltumnesēja temperatūru un samazinot siltumenerģijas zudumus, kā arī integrējot izmaksu efektīvus AER un siltuma pārpalikumus [9]. Nozīmīgs aspekts ir cauruļvadu rekonstrukcijas ātrums, lai samazinātu siltuma zudumus siltumtīklos [4]. Izmantojot siltuma un dzesēšanas optimizācijas tehnoloģijas, ir iespējams samazināt primārās enerģijas patēriņu līdz 40% [10]. Investīcijas, ekspluatācijas izmaksas un siltuma zudumi ietekmē arī CSA izmaksas [11]. Savukārt, samazinot siltumenerģijas cenas, siltumenerģijas ražotāji var piesaistīt jaunus patērētājus, pārliecinot tos klientus, kas iepriekš nav bijuši pieslēgti siltumapgādei.

CSA uzņēmumu siltumenerģijas ražošanas efektivitāti un siltumenerģijas tarifus ietekmē vairāki aspekti. Viens no svarīgākajiem ir CSA regulēšanas mehānisms. Ierobežota vai neeksistējoša konkurence, kas parasti novērojama komunālo pakalpojumu monopolos, ieskaitot CSA tirgu, regulatoram rada papildu problēmas saistībā ar darbības efektivitātes novērtēšanu. Konkurences trūkums nemudina CSA ražotājus paaugstināt savu ražošanas procesu produktivitāti un samazināt siltumenerģijas tarifu [1].

Uzņēmējdarbības un cenu veidošanas modeļiem ir būtiska nozīme CSA sistēmā, jo tie parāda, kā uzņēmums gūst ienākumus un veido attiecības ar klientiem [12]. CSA ir dabisks monopols, jo konkurences nodrošināšana ir grūti panākama, tādēļ CSA uzņēmumi var ļaunprātīgi izmantot monopolu un nesamērīgi paaugstināt cenas, sarežģīt norēķinu sistēmu vai komplicēt tarifu struktūru, kaitējot jaunu klientu piesaistei [13]. Tomēr no otras puses, šāda ļaunprātīga peļņas palielināšanas metode rada negatīvu vērtējumu siltumapgādes operatoriem un klienti var dot priekšroku individuālai siltumapgādei, kas rada netiešu konkurenci CSA sistēmām.

Siltumenerģijas tarifs var būt, vai nu regulēts vai neregulēts, un katram regulēšanas modelim ir priekšrocības un trūkumi [14]. CSA tarifi bieži vien ir divdaļīgi, sastāvot no fiksētā un

mainīgā tarifa [15]. Siltumenerģijas tarifi galvenokārt ietver pieslēguma maksu, pastāvīgās izmaksas un mainīgās izmaksas [14]. Taču ir vairākas siltumenerģijas tarifu struktūras un regulēšanas modeļi [14]:

- izmaksās balstīts tarifs sastāv no kopējām ekspluatācijas izmaksām, gada amortizācijas un papildus pievienotās atļautās peļņas normas;
- robežizmaksu tarifa komponentes ir vienas ražošanas vienības robežizmaksas, kā arī fiksēto izmaksu amortizācija;
- pieaugošo izmaksu tarifu veido esošās sistēmas darbības izmaksas un diskontētās nākotnes izmaiņu izmaksas;
- integrēts konkurētspējīgu un regulētu metožu modelis, kurā integrē siltumu no dažādiem reģioniem;
- ēnu cenu metodes tarifs ir balstīts uz gatavību maksāt par papildu saražotās siltumenerģijas vienību, kad tirgus ir līdzsvarā;
- reāllaika cenu noteikšana, kas balstās uz viedajiem skaitītājiem un ir līdzīga cenu noteikšanai elektroenerģijas nozarē;
- ekvivalento robežizmaksu metodi veido īstermiņa un ilgtermiņa robežizmaksas.

Siltumapgādes sistēmu tarifam jābūt arī pēc iespējas zemākam, lai mazinātu enerģētisko nabadzību, jo ES 11% iedzīvotāju nevar atļauties enerģijas pakalpojumus [16].

## 1.1. Siltumapgādes sistēmas tarifa noteikšanas metodes dažādās Eiropas valstīs

CSA tarifi atšķiras ne tikai dažādās valstīs tarifu regulācijas mehānismu dēļ, bet arī dažādos reģionos, kur ir viena tarifu struktūra, jo katrā reģionā ir savs enerģijas ražotājs, tehnoloģiskie risinājumi un izmantotie kurināmie, kas ietekmē tarifu. Tāpēc esošie siltumenerģijas tarifi būtu regulāri jāpārskata un jāizvēlas optimālākais tarifa aprēķins atkarībā no valstu iespējām un resursiem.

Siltumenerģijas tarifs tiek regulēts visās Baltijas valstīs. **Igaunijā** siltumenerģijas tarifs jāapstiprina, norādot pamatotu pārdošanas apjomu un rentabilitāti. Siltumenerģijas cenas limitu nosaka atsevišķi katram siltumapgādes apgabalam, norādot izmaksu efektivitātes maksimālo cenu konkrētā apgabalā. Konkurences uzraudzības iestāde to nosaka saskaņā ar tehniskajiem rādītājiem [17]. **Lietuvā** siltumenerģijas tarifa pamatā ir divas mainīgās komponentes un fiksētā komponente. Siltumenerģijas cena tiek noteikta trīs līdz piecu gadu periodam, bet tarifa komponentes tiek atjauninātas katru mēnesi vai gadu atkarībā no vairākiem nosacījumiem [18]:

- mainīgā komponente – tiek pārskatīta katru mēnesi, pamatojoties uz faktiskajām kurināmo izmaksām paša operatora siltuma avotos un ikmēneša izsolēs iepirktais siltumenerģijas izmaksām.
- otra mainīgā komponente – atkarīga no faktisko enerģijas ražošanas veidu kombinācijas, ko katru gadu pārskata regulators.
- fiksētā komponente - ietver amortizācijas izmaksas, personāla izmaksas, fiksētās ekspluatācijas un uzturēšanas izmaksas u.c., un to katru gadu pārskata Regulators.

Ziemeļvalstīs siltumenerģijas tarifu regulējums ir daudz liberālāks. **Somijā** un **Zviedrijā** siltumenerģijas cenas netiek regulētas. Konkurence CSA tirgū uztur cenu saprātīgā līmenī. **Norvēģijā** siltumenerģijas cena tiek regulēta obligātajiem pieslēgumiem. Tā ir atkarīga no elektroenerģijas cenas un elektroenerģijas nodokļiem. **Islandē** apkures tarifu regulē Rūpniecības un inovāciju ministrija. Siltumenerģijas cena ietver ražošanas, sadales un pārdošanas tarifus [19].

Nedaudz atšķirīgi regulēšanas mehānismi ir Dānijā, kur siltumenerģijas tarifs ir balstīts uz izmaksu principu un to regulē enerģijas tirgus iestāde [19]. Tarifa struktūra ir balstīta uz četrām komponentēm [18]:

- pieslēguma maksa (DKK/kW) – tiek maksāta vienreiz par pieslēguma izveidošanu un tā tiek noteikta kā daļa no ieguldījuma;
- fiksētā komponente (DKK/kW/gadā) - atkarīga no jaudas;
- mainīgā komponente (DKK/MWh) – atkarīga no enerģijas patēriņa, bet nākotnē varētu būt atkarīga no sezonas, lai optimizētu efektivitāti;
- atlaides komponente (DKK/°C) - atkarīga no atgaitas temperatūras. Ja tā atšķiras no noteiktā temperatūras diapazona 30-37°C par 10 %, tiek piemērots 1 % atlaide vai sods.

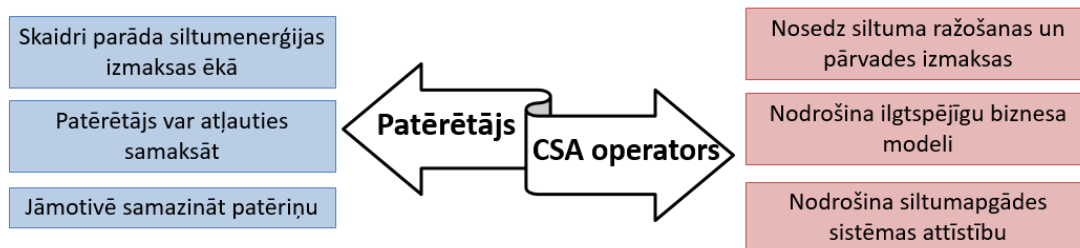
Līdzīga siltumenerģijas tarifa noteikšanas metode, piemērojot mainīgo un fiksēto komponenti, ir izmantota Francijā, Vācijā un Spānijā. Tarifu struktūra **Vācijā** sastāv no divām komponentēm un pieslēguma maksas jaunajiem klientiem. Fiksētajā komponentē ietilpst kapitāla un ekspluatācijas izmaksas, pamatojoties uz maksimālo jaudu (MW), bet mainīgā komponente ir balstīta uz patērētājam MWh. **Francijā** fiksēto komponenti ietekmē uzstādītā jauda, un to veido palīgiekārtu enerģijas patēriņš, tīkla ekspluatācijas un uzturēšanas izmaksas un ikgadējās kapitāla izmaksas. Mainīgo komponenti ietekmē patērētā enerģija, plūsma siltummainī un gadalaiks. **Spānijā** papildus fiksētajai un mainīgajai komponentei ir ieviesti ilgtermiņa un īstermiņa tarifi. Ilgtermiņa tarifam fiksētā komponente ir augstāka, bet īstermiņa tarifam mainīgā komponente ir augstāka. Spānijā apkures tarifi tiek pārskatīti katru mēnesi, ņemot vērā valsts inflācijas indeksus, gāzes un elektrības cenu izmaiņas. Jauniem klientiem tiek noteikta pieslēguma maksa par pieslēgšanos tīklam.

**Polijā** ir divas apkures tarifa izvēles iespējas - izmaksu metode, kas balstīta uz plānotajiem ieņēmumiem un izmaksām, un līmeņatzīmes metode, kas balstīta uz Regulatora publicēto siltumenerģijas cenu līmeni [20]. Siltumenerģijas tarifa līmeņatzīme parasti tiek noteikta uz vienu gadu, bet pirms tā beigām ir iespējams pieprasīt tarifa maiņu.

**Itālijā** CSA cena netiek regulēta, un to katru gadu atjaunina ar Nacionālā statistikas institūta publicēto indeksu. CSA tarifs sastāv no mainīgās un divām fiksētajām sastāvdaļām. Siltumenerģijas tarifs ir atšķirīgs dzīvojamām un terciārām ēkām, kā arī no patērētās siltumenerģijas un uzstādītās jaudas [18].

## 1.2. Siltumenerģijas tarifu nozīme viedo siltumapgādes sistēmu izveidē

CSA tarifam ir svarīga loma attīstībai gan no patērētāju, gan CSA operatora viedokļa kā parādīts 1.1. attēlā. Galapatērētājiem būtisks aspekts ir siltumenerģijas izmaksas, kas ir atkarīgas no apkurināmās platības un ēkas efektivitātes, kā arī dažādiem ekspluatācijas apstākļiem. Ja tarifa struktūra nav balstīta uz patērētāja reālo enerģijas patēriņu, tas nerada vai gandrīz nerada stimulu optimizēt siltuma patēriņu [21]. Tāpēc tarifi, kuros ņemts vērā klientu reālais patēriņš, ļauj ietekmēt rēķinus par enerģiju un motivē rast efektīvākus risinājumus energoefektivitātes paaugstināšanai [21]. No otras puses, siltumenerģijas tarifam jābūt pietiekami zemam, lai nepalielinātu enerģētiskās nabadzības risku.



1.1. att. Siltumenerģijas tarifa loma no patērētāju un CSA operatora viedokļa



No CSA operatoru viedokļa siltumenerģijas tarifiem būtu jāsedz siltuma ražošanas un pārvades izmaksas un jānodrošina peļņa turpmākai CSA sistēmas attīstībai. Turklāt esošo siltumapgādes tarifu uzlabošana ļauj ieviest jaunus uzņēmējdarbības modeļus, kas ir saprotamāki un veicina jaunu patērētāju pieslēgšanos CSA. Visbeidzot, tarifi, kas stimulē energoefektivitātes paaugstināšanos gan siltuma ražotājiem, gan galalietotājiem, ir labs instruments, ko piemērot siltumapgādes sistēmās, taču valstīs, kurās siltumapgādes cenu noteikšana ir regulēta, var rasties politiski šķēršļi [12].

### **1.3. Līmeņatzīmes metodes piemērošana siltumapgādes tarifa noteikšanā**

Salīdzinot ar stingri regulētu CSA tirgu, pilnībā liberalizētā vidē siltumenerģijas tarifu nosaka, pamatojoties uz noteiktu līmeņatzīmi siltumenerģijas ražošanai [22]. Tas veicina uz stimuliem balstītu regulēšanas sistēmu [23], [24]. Kaut arī notiek debates par to, kurš no CSA režīmiem ir visērtākais [25], arvien vairāk pētījumu koncentrējas uz izmaksu un ieguvumu salīdzināšanu, ieviešot līmeņatzīmes CSA tirgus regulācijā, lai novērtētu darbības efektivitāti [26]. Līmeņatzīmes noteikšana monopola tirgus struktūrā ir tikpat noderīga kā pilnībā liberalizētā tirgū, jo tā ļauj salīdzināt, kā atšķiras CSA siltumenerģijas ražošanas uzņēmumu darbības efektivitāte, kaut arī galalietotājiem tiek sniegti tie paši pakalpojumi [27].

Zinātnieki ir secinājuši, ka līmeņatzīmes piemērošanai uzņēmumiem, kas darbojas komunālo pakalpojumu nozarē un dabiskā monopola tirgus struktūrā, ir vairākas priekšrocības. Tas stimulē uzņēmumus efektīvāk darboties un ieviest inovatīvus risinājumus, lai palielinātu tehnoloģisko efektivitāti. Tā rezultātā tiek optimizētas darbināšanas un kapitāla izmaksas, palielināta investīciju atdeve un uzlabota informācijas pārredzamība komunālo pakalpojumu patērētājiem un ieinteresētajām personām [28].

Vairāki autori ir uzsvēruši siltuma tarifu noteikšanas iespēju, izmantojot līmeņatzīmes metodi [6], [22], [29]. Ir dažādas alternatīvas korektai līmeņatzīmes noteikšanai, iekļaujot vairākus darbības parametrus [30]. Esošo CSA tarifu salīdzināšanai var izdalīt vairākas alternatīvas.

Pētījumu rezultāti secina, ka CSA operatori un CSA ievērojami atšķiras, tāpēc empīriskā regresijas analīze nav pietiekama, lai iegūtu viennozīmīgus rezultātus [31]. Tā vietā nepieciešams ņemt vērā dažādus skaidrojošos parametrus un relatīvās rādītāju vērtības, kas katram CSA uzņēmumam piešķirtu rangu pēc tā attāluma līdz noteiktai līmeņatzīmei. Tomēr līdz šim veiktajos pētījumos joprojām nav vienprātības par piemērotāko salīdzinošas metodiku. Tika secināts, ka līmeņatzīmes metodes izvēle, ieskaitot rādītājus un robežas, būtiski ietekmē noteiktos efektivitātes rādītājus un CSA uzņēmumu vērtējumu [32].

Ir pētījumi, kuros analizēti līmeņatzīmes modeļi kā CSA efektivitātes novērtēšanas rīki [30]. Līmeņatzīmes modelis ietver dažādu tehnisko, strukturālo un ekonomisko rādītāju kombināciju, piemēram, energoavota veidu un cenas, spēkā esošos likumdošanas aktus, siltuma slodzi un sistēmas uzstādīto jaudu, siltuma ražošanas un pārvades efektivitāti un citus. Turklāt, novērtējot CSA sistēmu ekonomiskos un vides parametrus, tiek iekļauti valdības lēmumu pieņemšanas, tirgus struktūras un vadības darbības rādītāji.

Patērētā kurināmā veids ir nozīmīgs rādītājs, kas tiek iekļauts CSA līmeņatzīmes noteikšanā. Atjaunojamo energoresursu (AER) īpatsvars, ko izmanto CSA, nosaka esošā CSA vispārējo ilgtspējību, jo tas spēcīgi ietekmē siltumnīcefekta gāzu emisiju daudzumu. Atbilstošas līmeņatzīmes noteikšana ļauj grupēt CSA operatorus ne tikai pēc to siltuma ražošanas efektivitātes, bet arī veicināt virzību uz oglekļa neitrālu siltumapgādi. Tāpēc tas ļauj izcelt tos CSA uzņēmumus, kuru noteiktās vērtības ir zem līmeņatzīmes. Šādi rezultāti var veicināt pārstrukturēšanos un sistēmu uzlabošanu, lai virzītos uz ilgtspējīgākiem oglekļa neitrāliem siltuma ražošanas tehnoloģiskajiem risinājumiem. Faktiski tiek uzskatīts, ka vides mērķi ir vieni

no dominējošajiem CSA ilgtermiņa darbības mērķiem, jo gan no regulējošās iestādes, gan no patērētāja puses tiek veicināta ilgtspējīgāka ražošana [33].

CSA ir svarīga loma ambiciozo globālo klimata pārmaiņu mazināšanas mērķu sasniegšanā [34], tāpēc nepieciešams izstrādāt instrumentus, lai stimulētu CSA operatorus samazināt siltumnīcefekta gāzu emisijas. CSA dekarbonizāciju var panākt, gan izmantojot efektīvākas tehnoloģijas, gan izmantojot mazāk piesārņojošus enerģijas avotus [35]. Energoefektivitāte ir viens no nozīmīgākajiem faktoriem gan klimata pārmaiņu mazināšanai, gan zemākam siltumenerģijas tarifam [36]. CSA energoefektivitāti var palielināt, integrējot atjaunojamus enerģijas avotus un uzlabojot siltuma ražošanas un pārvades tīklu tehnoloģisko efektivitāti [37]. Tāpēc rādītāji, kas novērtē CSA tehnisko parametru veikspēju, jāiekļauj uz līmeņatzīmi balstītos modeļos.

Analizējot CSA darbības rādītājus, kā būtisks tehnoloģiskais rādītājs jāņem vērā siltuma avota veids (katlu mājas vai koģenerācijas stacija). Turklāt katlu māju un koģenerācijas staciju tehnoloģiskais stāvoklis spēcīgi ietekmē siltuma ražošanas efektivitāti, tāpēc CSA līmeņatzīmes pētījumos tiek ieteikts integrēt mainīgos lielumus, kas ņem vērā investīcijas siltumenerģijas avotu rekonstrukcijas darbībās pēdējos pamatdarbības gados. Tas ir īpaši svarīgi, lai novērtētu CSA infrastruktūru Austrumeiropā, kur vēsturiska investīciju trūkuma dēļ, CSA turpmākās ilgtspējības nodrošināšanai ir jāsteno CSA modernizācijas stratēģijas [38].

Pētījumi liecina, ka CSA operatoru darbība un efektivitāte ir ļoti atkarīga no enerģijas avota, dažādu kurināmo īpatsvara, siltuma ražošanas tehnoloģijām, kā arī no pārvades zudumiem sistēmā [1]. Turklāt, detalizētāk analizējot tehniskos rādītājus, siltumnesēja temperatūra lielā mērā ietekmē radušos pārvades zudumus. Lai maksimizētu CSA efektivitāti, pārvades zudumi jāsamazina līdz minimumam. Tāpēc zema turpgaitas un atgaitas temperatūra siltumtīklos ir būtisks faktors, lai palielinātu CSA tīklu energoefektivitāti [39].

CSA sistēmas ilgtermiņa attīstībai nozīmīgi ir arī tehnoloģiskie faktori: jaunu siltumenerģijas ražošanas tehnoloģiju ieviešana, darbības procesu un pakalpojumu digitalizācija. Ražošanas tehnoloģiju dažādošana ietver tādu siltuma avotu integrēšanu kā saules enerģija, zemes siltums, siltuma pārpalikumi no dažādiem ražošanas un cita veida uzņēmumiem, ģeotermālā enerģija un citus avotus, kas potenciāli varētu palielināt energoefektivitāti ilgtermiņā un optimizēt CSA operatoru ražošanas izmaksas [40].

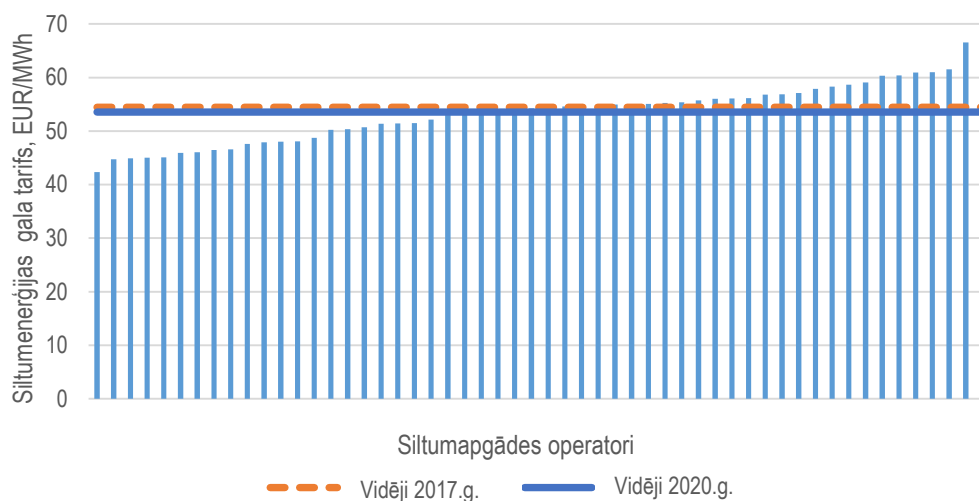
U.Sarmas un G. Bažbauera pētījumā tika ieviesta jauna tehnoloģiskās efektivitātes līmeņatzīme, kas parāda, ka, lai veicinātu CSA infrastruktūras attīstību, varētu izmantot "labāko pieejamo tehnoloģiju (LPT)" rādītājus [41]. Nosakot efektivitātes prasības, pamatojoties uz LPT rādītājiem, CSA uzņēmumus varētu stimulēt un virzīt uz to efektivitātes uzlabošanu. LPT parametrus dažādiem CSA elementiem varētu izmantot, lai izveidotu novērtējuma indeksus, kas norādītu, kā konkrētas iekārtas energoefektivitāte atšķiras no LPT atsauces dokumentos norādītā [42].

Vēl viens nozīmīgs CSA veikspējas efektivitātes parametrs ir saražotās enerģijas daudzums. Ja kopējais saražotās enerģijas daudzums palielinās, CSA sistēma gūst labumu, jo samazinās kopējās izmaksas uz vienu saražotās enerģijas vienību. Līdz ar to, sistēma darbojas ar augstāku ekonomisko efektivitāti un var nodrošināt konkurētspējīgu siltumenerģijas tarifu [43]. Izmaksu optimizācija, ko sniedz saražotās siltumenerģijas pieaugums, palielina CSA kopējo efektivitāti un konkurētspēju. Tāpēc tiek ierosināta CSA operatoru apvienošanās un kopēja CSA biznesa paplašināšana [44].

## 1.4. Siltumapgādes tarifi Latvijā

CSA tarifi ir atkarīgi no daudziem faktoriem, kas ietver degvielas cenas, darbības parametrus, nodokļus, ieguldījumus un citus kritērijus. Tarifu vērtību diapazons ir ievērojams: dažreiz atšķirība ir vairāk nekā divas reizes. Lai atrastu risinājumus, kā motivēt siltumapgādes

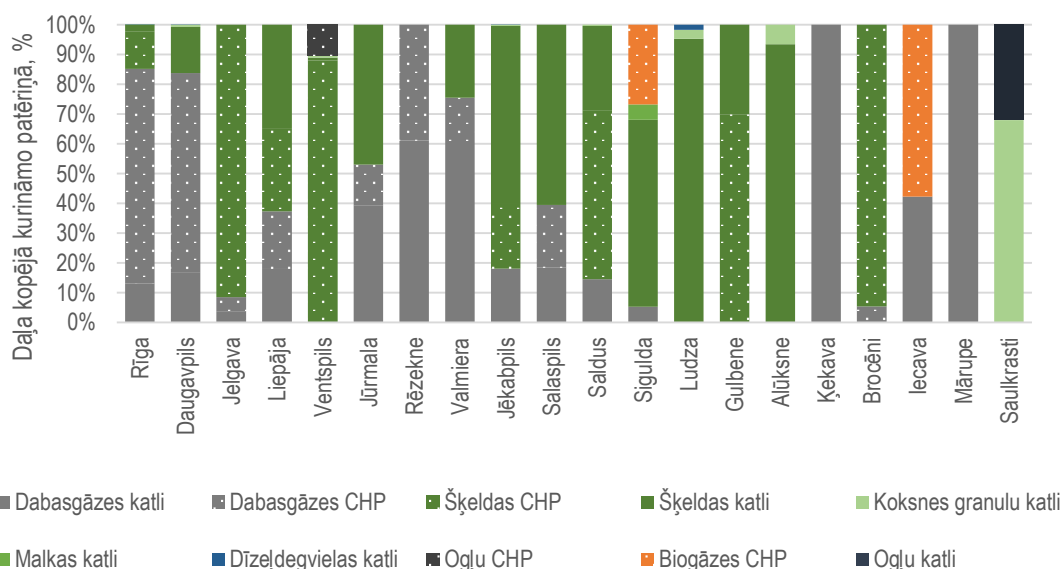
uzņēmumus virzīties uz energoefektivitāti un klimata neitralitāti, ir veikta siltumapgādes tarifu analīze.



1.2.att. Siltumenerģijas gala tarifa salīdzinājums CSA operatoriem 2017. gadā

1.2.attēlā salīdzinātas siltumenerģijas tarifa vērtības dažādiem CSA operatoriem Latvijā 2017.gadā, kas svārstījās no 42,32 EUR/MWh līdz pat 69,98 EUR/MWh. Vidējā siltumenerģijas tarifa vērtība 2017.gadā bija 54,4 EUR/MWh, bet 2020.gada pirmajā pusgadā noteiktā vidējā siltumenerģijas tarifa vērtība ir nedaudz zemāka 53,5 EUR/MWh. Siltumenerģijas tarifu samazināšanu galvenais veicinošais faktors ir plašāka biomasas izmantošana siltumenerģijas ražošanai.

Lai noteiktu galvenos siltuma tarifu ietekmējošos faktorus, veikta datu analīze. Analizētās CSA sistēmas ļoti atšķiras. Gadā saražotais siltumenerģijas daudzums svārstās no vairāk nekā 500 GWh Latvijas galvaspilsētā Rīgā līdz mazāk nekā 1 GWh novadu pilsētās. Siltumu ražo gan ūdens sildāmajos vai tvaika katlos, gan koģenerācijā, izmantojot dažādus enerģijas avotus kā parādīts 1.2. attēlā.

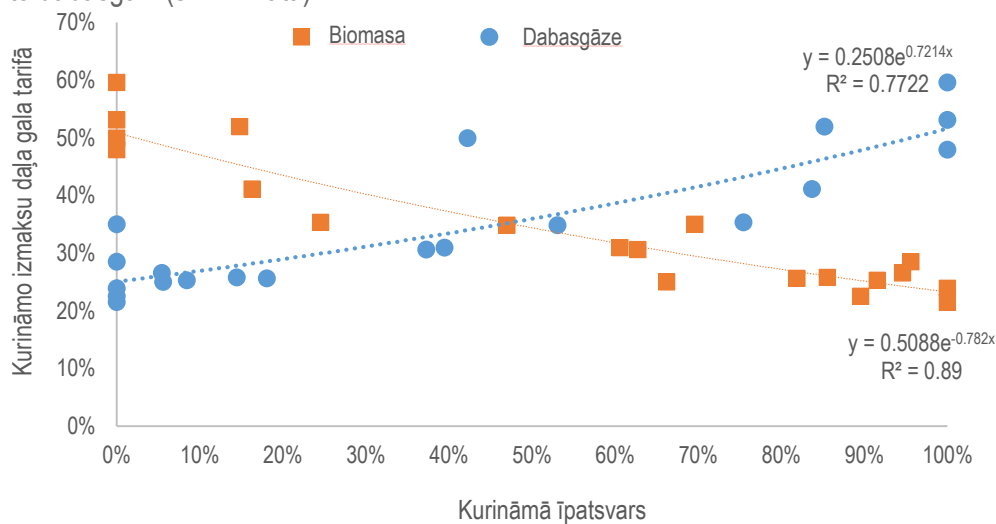


1.3.att. Pārskats par analizētajās CSA sistēmās izmantotajām tehnoloģijām un energoavotiem

Kā redzams 1.3. attēlā, šobrīd jau pastāv oglekļa neitrālas CSA sistēmas, jo siltuma ražošanā tiek izmantota biomas. Tomēr bioresursi jāizmanto efektīvi, ņemot vērā ilgtspējīģas

attīstības un biotehnoloģijas pamatprincipus. Siltumenerģijas ražošana no biomasas ne vienmēr ir ilgtspējīgākais risinājums, ja kā kurināmais tiek izmantota augstas kvalitātes koksne.

Regresijas analīzes rezultāti parāda nepietiekamu korelāciju starp noteiktajiem kritērijiem un siltumenerģijas gala tarifu, kas sakrīt ar iepriekšējo pētījumu secinājumiem. Lai arī siltumenerģijas gala tarifs neuzrāda izteiktu sakarību ar kopējām kurināmā izmaksām, kurināmā izmaksu daļa kopējā siltuma tarifā ir augstāka tajās CSA, kurās par galveno enerģijas avotu izmanto dabasgāzi (sk. 1.4. att.).



1.4.att. Kurināmā izmaksu daļa siltumenerģijas gala tarifā atkarībā no dabaszgāzes un biomasas izmantošanas īpatsvara siltuma ražošanā

1.4. attēlā parādīta korelācija starp kurināmā izmaksu īpatsvaru siltuma tarifā un kopējo biomasas un dabaszgāzes patēriņa īpatsvaru kopējā CSA enerģijas bilanci. Kad biomasu tiek izmantota kā enerģijas avots, samazinās kurināmā izmaksu daļa, bet palielinās citas izmaksas. Viena no analizētajām CSA sistēmām atrodas tālāk no noteiktās biomasas tendences līnijas, jo kā kurināmais tiek izmantotas koksnes granulas, kas ir dārgākas nekā citi biomasas enerģijas avoti.

## 2. METODOLOĢIJA

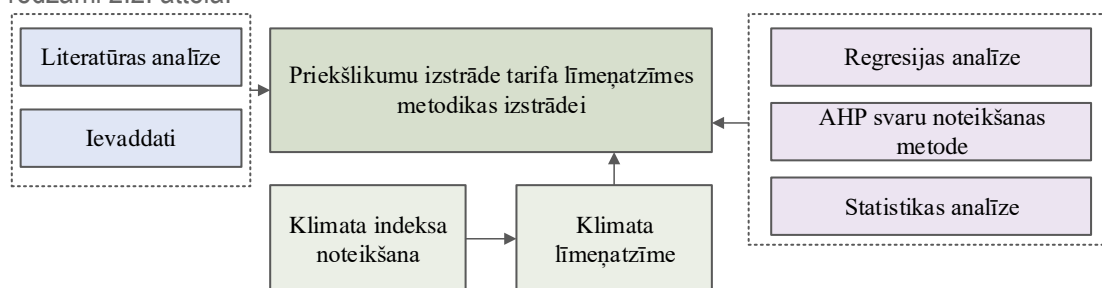
Šajā nodaļā vispirms tiek sniegts novērtējums līmeņatzīmes metodes salīdzinājumam ar citām siltumenerģijas tarifa regulēšanas metodēm, bet pēc tam līmeņatzīmes siltumenerģijas tarifa regulēšanas metode tiek salīdzināta ar dažādām citām siltumenerģijas tarifa regulēšanas metodēm.

### 2.1. Līmeņatzīmes metožu salīdzinājums

Līmeņatzīmes ieviešana varētu risināt trīs galvenās problēmas, kas saistītas ar CSA attīstību un siltumenerģijas tarifa noteikšanu Latvijā:

- Sarežģīts siltumenerģijas tarifa saskaņošanas process;
- Tarifs neatspoguļo, vai siltuma ražošana un piegāde ir efektīva;
- Siltumapgādes operatoriem trūkst motivācijas meklēt ilgtspējīgus/innovatīvus risinājumus siltuma ražošanai.

Siltumenerģijas tarifa līmeņatzīmes ieviešanas algoritms redzams 2.1.attēlā. Tarifa līmeņatzīmes metodes izstrādes pamatā ir vispusīga pieejamās literatūras analīze par iepriekš veiktajiem pētījumiem CSA darbības efektivitātes novērtēšanas jomā. Balstoties uz dažādu zinātnisko avotu rezultātiem, izvēlētas galvenās metodes līmeņatzīmes noteikšanai. Lai novērtētu dažādu CSA darbības rādītāju ietekmi uz siltumenerģijas tarifu, izmantota regresijas analīzes metode, ar kuru analizēti pieejamie izejas dati. Balstoties uz regresijas analīzes un literatūras analīzes rezultātiem, izvērtēti dažādi kritēriji, kas ietekmē siltumenerģijas tarifus. Lai uzsvētu galvenos ilgtspējīgas attīstības virzienus, identificētie kritēriji tiek prioritizēti, izmantojot AHP svaru noteikšanas metodi. Iegūtās kritēriju vērtības tiek aprēķinātas analizētajām CSA sistēmām, normalizētas un summētas, lai iegūtu klimata indeksa lielumu konkrētajai sistēmai. Izmantojot statistiskās analīzes metodi, tiek noteikta iespējamā klimata indeksa līmeņatzīme, kas tālāk tiek izmantota tarifa līmeņatzīmes noteikšanā. Galvenie klimata indeksa noteikšanas soļi ir redzami 2.2. attēlā.



2.1.att. Siltumenerģijas tarifa metodikas noteikšanas algoritms

Siltuma patēriņa cena jeb siltuma gala tarifs Latvijā sastāv no trim komponentiem: ražošanas, pārvades (sadales) un realizācijas ātruma. Vislielākā loma ir ražošanas komponentei, bet realizācijas izmaksām ir viszemākā ietekme. Katra sadaļa ir iedalīta divās izmaksu daļās - nemainīgās un mainīgās izmaksas, kas kopā veido kopējās izmaksas. Fiksētās izmaksas nav atkarīgas no saražotā siltuma daudzuma. Tās ir ieguldījumu izmaksas, aizdevuma samaksa, procentu maksājumi, amortizācijas izmaksas, nodokļi, īre, darbības izmaksas, apdrošināšana utt. Arī darbinieku algas pieder pie fiksētajām izmaksām. Konkrētajā pētījumā autori novērtē gala tarifa līmeņatzīmes ieviešanu, jo tas ir galvenais rādītājs, kas raksturo ekonomisko ieguvumu salīdzinājumā ar dažādiem individuāliem siltuma risinājumiem.

Lai pārbaudītu Latvijas siltumapgādes sistēmām piemērotāko siltuma tarifu līmeņatzīmi, ir izmantotas četras dažādas metodes - empīriskā modelēšana, daudzkārtēja lineārā regresija, atskaites sistēmas noteikšana un sastāva indeksa noteikšana. Līmeņatzīmes noteikšana balstās uz dažādām datu kopām, kas ir publiski pieejamas Latvijā.

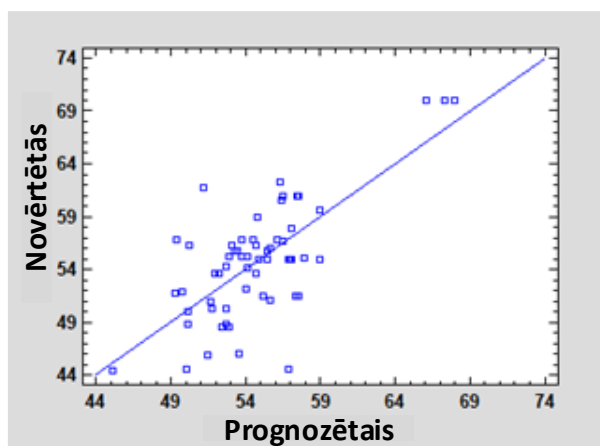
Statisko pārskatu pieejamība par galvenajiem CSA operatoru rādītājiem ir ierobežota, tāpēc pētījuma ietvaros izmantoti dažādi datu avoti. Lai noteiktu kurināmā patēriņu siltumenerģijas ražošanai, tiek izmantoti vides statistikas pārskati (gaisa aizsardzības pārskats), ko koordinē valsts sabiedrība ar ierobežotu atbildību “Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs”. Saražotās un patērētās siltumenerģijas daudzums iegūts no pieteikumiem siltumenerģijas tarifa apstiprināšanai, ko koordinē Sabiedrisko pakalpojumu regulēšanas komisija (SPRK). Koģenerācijas stacijā saražotā enerģija tiek iegūta no obligātā iepirkuma ietvaros izmaksātajām summām, bet trūkstošajai informācijai tiek izmantoti uzņēmumu gada pārskati. Pētījumā apkopoti dati par 20 CSA uzņēmumiem Latvijā.

### 2.1.1. Daudzkārtējās lineārās regresijas modelis

Iepriekšējie pētījumi ir parādījuši, ka nav ciešas korelācijas starp siltuma tarifu un dažādiem CSA sistēmu darbības parametriem [22], [29], [30], [44]. Tomēr siltuma ražošanai izmantotie tehnoloģiskie risinājumi ir galvenais virzītājspēks siltuma izmaksu noteikšanai. Tāpēc autori ir identificējuši 11 dažādus rādītājus, kas varētu ietekmēt siltuma tarifu:

- Relatīvie siltuma zudumi siltumtīklos, %;
- Patērētais siltuma daudzums, GWh gadā;
- No dažādiem avotiem nopirkta siltuma daudzuma likme, %;
- Dabāsgāzes īpatsvars siltuma ražošanā, %;
- Biomasas izmantošanas īpatsvars siltuma ražošanā, %;
- Koģenerācijā saražotās siltumenerģijas daļa (%);
- Koģenerācijā saražotās siltumenerģijas daļa, izmantojot AER, %;
- Primārās enerģijas faktors;
- Degvielas izmaksas, EUR / MWh;
- AER kopējā daļa, %;
- Enerģijas patēriņš siltuma ražošanai, GWh gadā.

Uzskaitītie rādītāji ir noteikti 20 dažādām siltumapgādes sistēmām, kas atšķiras pēc atrašanās vietas, izmēra, tehnoloģiskā risinājuma, siltuma ražošanai izmantojamās degvielas utt. Rādītāji salīdzināti trīs gadu periodā no 2017. līdz 2019. gadam. Izmantots pakāpeniskais daudzkritēriju lineārās regresijas modelis, lai salīdzinātu saistību starp uzskaitītajiem darbības parametriem un siltuma tarifu. Izmantota atpakaļejošā metode ar ierobežojošo statistiskās nozīmi P vērtību kā 0,05.



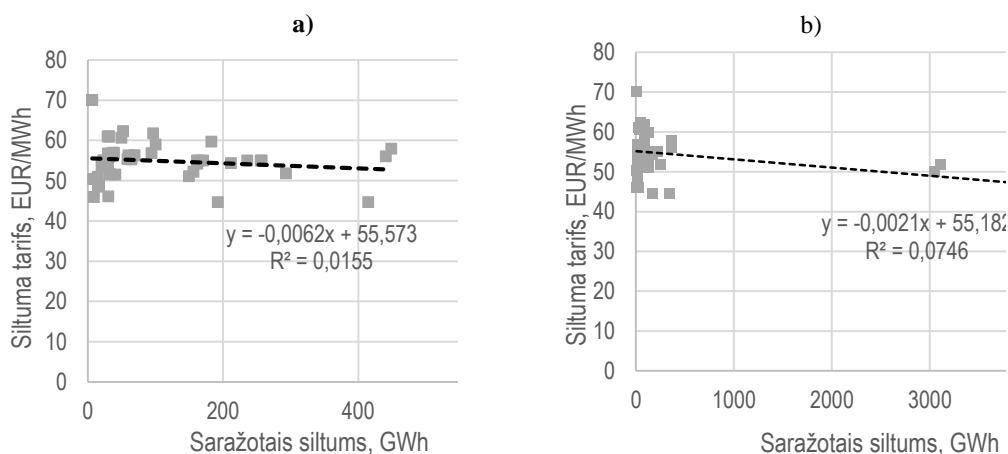
2.2.att. Daudzkritēriju lineārās regresijas modeļa paredzēto un novēroto vērtību salīdzinājums

2.2. attēls parāda daudzkritēriju regresijas modeļa piemērošanas rezultātus, lai aprakstītu sakarību starp apkures tarifu un 11 neatkarīgiem mainīgajiem. Noteiktā P vērtība ir mazāka par 0,05, kas liecina, ka starp mainīgajiem ir statistiski nozīmīga sakarība 95,0% ticamības līmenī.

Regresijas kvalitātes rādītājs  $R^2$ , parāda neatkarīgo mainīgo ietekmes daļu uz atkarīgā mainīgā izkliedi un norāda, ka uzstādītais modelis izskaidro 51,02% no siltuma tarifa mainīguma. Pielāgotā  $R^2$  rādītāja vērtība ir 44,427%. Aplēses standarta kļūda parāda, ka atlikumu standartnovirze ir 4,16. Vidējā absolūtā kļūda 3,00 ir atlikumu vidējā vērtība. Durbina-Vatsona koeficients pārbauda atlikumus, lai noteiktu, vai pastāv kāda būtiska korelācija, pamatojoties uz to rašanās secību. Tā kā P vērtība ir lielāka par 0,05, nav norāžu par autokorelāciju atlikumos 95% ticamības līmenī. Nosakot, vai modeli var vienkāršot, ir noteikts, ka neatkarīgo mainīgo augstākā P vērtība ir 0,032 attiecībā uz kopējo patērēto siltumu (GWh gadā).

### 2.1.2. Empīriskās lineārās regresijas modelis

Izmantojot empīrisko lineārās regresijas modeli, ir izstrādāta vienkāršota salīdzinošās novērtēšanas metode. 2.3. attēlā ir redzama siltuma tarifu un saražotās siltumenerģijas regresijas analīze, 20 analizētajām siltumapgādes sistēmām no 2017. līdz 2019. gadam. Atsevišķs empīriskais modelis ir izstrādāts maza mēroga siltumapgādes sistēmām (ražo mazāk nekā 1000 GWh gadā) un liela mēroga siltumapgādes sistēmām, kas ražo vairāk nekā 1000 GWh siltumenerģijas gadā.



2.3. att. Empīriskās lineārās regresijas modelis siltumapgādes sistēmām a) siltumenerģijai, kas ir mazāka par 1000 GWh gadā, un b) siltumapgādes sistēmām, kas gadā ražo vairāk nekā 1000 GWh siltuma

Identificētos empīriskos vienādojumus izmanto līmeņatzīmes noteikšanai:

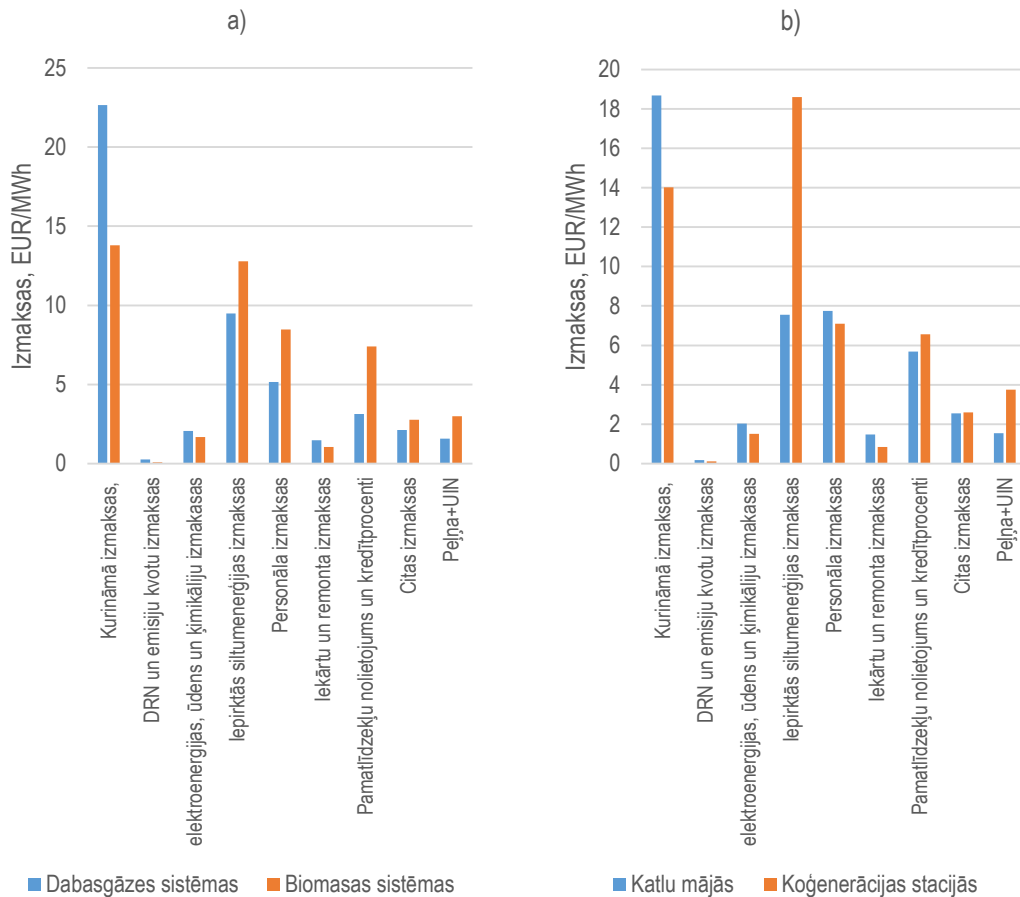
$$\text{ja } Q_{\text{prod}} < 1000 \text{ GWh; } T = 55,57 - 0,0062 \cdot Q_{\text{prod}} \quad (2.1.)$$

$$\text{ja } Q_{\text{prod}} > 1000 \text{ GWh; } T = 55,18 - 0,0021 \cdot Q_{\text{prod}} \quad (2.2.)$$

kur, T-siltumapgādes gala tarifs, EUR/MWh;  $Q_{\text{prod}}$ - siltumapgādes sistēmas saražotais siltumenerģijas daudzums, MWh gadā.

### 2.1.3. Labās prakses atsauces izmaksu modelis

Siltuma tarifs Latvijā tiek noteikts pēc izmaksu metodes. Tāpēc autori ir analizējuši iesniegtos tarifu projektu priekšlikumus un norādītās specifiskās izmaksu komponentes dažādu veidu CSA (sk. 2.4. att.).

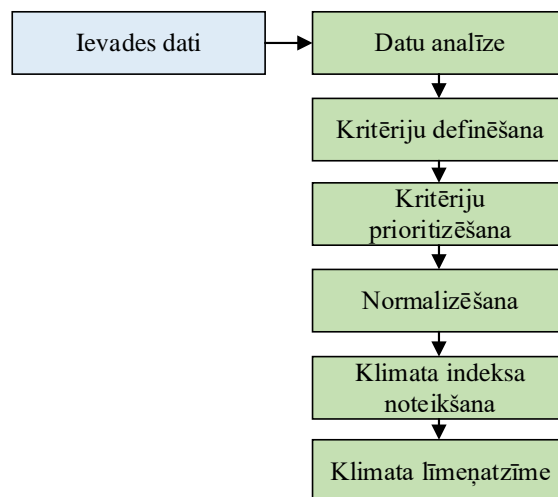


2.4. att. Specifisko siltuma ražošanas izmaksu salīdzinājums dažādās CSA sistēmās a) pamatojoties uz patērēto degvielu un b) siltuma ražošanas tehnoloģija

Katra siltumapgādes sistēmas veida vidējās vērtības ir noteiktas, lai noskaidrotu katras siltuma tarifa sastāvdaļas maksimāli pieļaujamā diapazona robežu.

### 2.1.4. Klimata līmeņatzīmes modelis

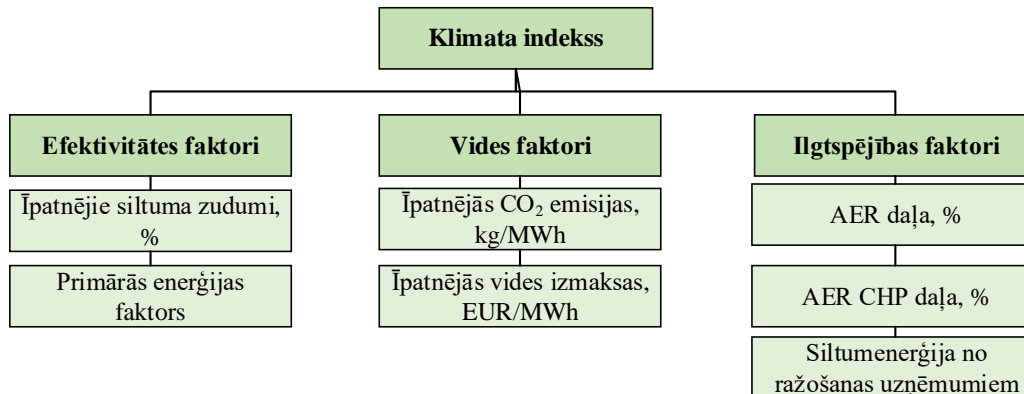
Lai motivētu siltumapgādes operatorus sasniegt augstāku energoefektivitāti un integrēt lielāku AER īpatsvaru, ceturtnajā alternatīvajā tarifu līmeņatzīmē ir iekļauts klimata indekss.





## 2.5.att. Klimata indeksa noteikšanas soļi

Pēc detalizētas pieejamo datu un literatūras analīzes, noteikti galvenie kritēriji, kas iekļauti klimata indeksa noteikšanai. Klimata indeksa aprēķināšanai konkrētajā gadījumā tiek izmantoti septiņi dažādi kritēriji (skat. 2.6. att.). Tomēr kritērijus var pielāgot katras valsts apstākļiem. Kritēriji ir sagrupēti trīs dažādās kategorijās, lai iegūtu pilnīgāku pārskatu par CSA darbību. Daži no izvēlētajiem kritērijiem ir savstarpēji saistīti, piemēram, radītās CO<sub>2</sub> emisijas un primārās enerģijas koeficients ir atkarīgs no siltuma zudumiem un AER īpatsvara. Tomēr katrs izvēlētais kritērijs parāda dažādus aspektus, kas saistīti ar siltuma ražošanas un pārvades darbības efektivitāti.



2.6.att. Kritēriji, kas iekļauti klimata indeksa noteikšanā

Analizētie efektivitātes faktori ir siltumenerģijas pārvades zudumi no siltumtīkla, kas noteikti procentos no kopējā saražotā siltuma un primārās enerģijas faktors. Primārās enerģijas faktors (PEF) ir enerģijas indikators, ko izmanto, lai kvantitatīvi izteiktu kurināmā primārās enerģijas patēriņu (2.3.). Pētījumā izmantotās primārās enerģijas faktoru vērtības var redzēt 2.1. tabulā.

$$PEF = \frac{\sum_j E_j f_{p,j} - E_{CHP} f_{p,el}}{E_{del}}, \quad (2.3.)$$

kur

$E_j$  – primārās enerģijas patēriņš kurināmajam  $j$ ;

$E_{CHP}$  – koģenerācijā saražotās elektroenerģijas daudzums;

$f_{p,j}$  – primārās enerģijas faktors kurināmajam  $j$ ;

$f_{p,el}$  – elektroenerģijas primārās enerģijas faktors;

$E_{del}$  – patērētājiem piegādātais siltumenerģijas daudzums.

Autori ir identificējuši divus galvenos vides faktorus: īpatnējās CO<sub>2</sub> emisijas un īpatnējās vides izmaksas, kas saistītas ar dažādām siltuma ražošanas ārējām izmaksām. Vides izmaksu faktori identificēti saskaņā ar iepriekšējiem pētījumiem [45] (sk. 2.1. tabulu).

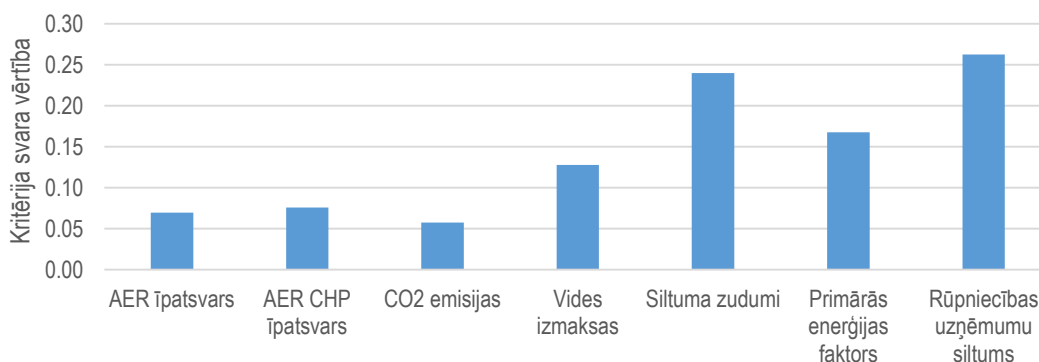
2.1.tabula

Pārskats par izmantotajiem pieņēmumiem	
<b>Primārās enerģijas faktori</b>	
Fosilais kurināmais	1.1
Biogāze	0.5
Biomasa	0.2
Elektroenerģija no tīkliem	1.5
<b>Ārējās vides izmaksas, EUR/MWh</b>	
Biomassas koģenerācija	4.3

Dabasgāzes koģenerācija	11.7
Ogļu koģenerācija	24.1
Biogāzes koģenerācija	13.8
Dabasgāzes katli	17.9
Biomases katli	11.2
<b>CO<sub>2</sub> emisiju faktori, kg/MWh</b>	
Dīzeļdegviela	267
Dabasgāze	202
Ogles	354

Izmantoto enerģijas ražošanas tehnoloģiju un enerģijas avotu novērtēšanai tiek izmantoti trīs dažādi ilgspējības kritēriji - AER īpatsvars, AER koģenerācijā saražotās siltumenerģijas īpatsvars un no rūpniecības uzņēmumiem iepirktais siltumenerģijas īpatsvars. Jāatzīmē, ka siltums, kas tiek iepirkts no dažādiem enerģijas ražošanas uzņēmumiem, netiek uzskatīts kā siltums no rūpniecības objekta. Rūpniecības uzņēmumu siltumu var attiecināt arī kā siltuma pārpalikumus no dažādiem objektiem, taču konkrētajos uzņēmumos šādi avoti netiek izmantoti.

Nākamais solis ir kritēriju svēršana, kas ļauj ņemt vērā kritēriju savstarpējo ietekmi, konkrētam kritērijam piemērojot augstāku vai zemāku svara rādītāju. Kritēriji tiek prioritizēti, lai labāk atspoguļotu ilgspējīgas attīstības principu piemērošanu. Katra kritērija svāri tiek aprēķināti pēc Analītiskās hierarhijas procesa metodes (AHP). Metodes pamatā ir pāru salīdzināšanas matrica, kas atspoguļo kritēriju relatīvo nozīmīgumu [46]. Šajā gadījumā novērtēšanu veica ekspertu grupa, bet visaptverošāku novērtējumu iespējams sniegt, iesaistot dažādas ieinteresētās puses svaru noteikšanas procesā. Iegūtās kritēriju vērtības var redzēt 2.7. attēlā. Augstākā prioritāte ir noteikta īpatnējiem siltuma zudumiem un rūpnieciskā siltuma izmantošanai.



2.7.att. Piešķirtās kritēriju svara vērtības

Aprēķinātais kritērijs  $j$  tiek normalizēts, izmantojot Veitendorfa lineārās normalizācijas metodi [47]. Kritēriju normalizētās un svērtās vērtības summē, lai iegūtu katra CSA operatora klimata indeksu. Klimata indekss tiek aprēķināts kā visu normalizēto kritēriju svērtā summa. Autori izmanto Pareto principu, lai noteiktu klimata līmeņatzīmi konkrētajai analizēto CSA operatoru kopumam.

Konkrētajā pētījumā tarifu līmeņatzīme, izmantojot klimata indeksu, ir noteikta saskaņā ar vienādojumu (2.4.).

$$T_{(BM,i,n)} = T_{(i,n-1)} \cdot (1 + (C_{(i,n)} - C_{(average,n)}) \cdot r_c) \quad (2.4.)$$

kur

$T_{BM,i,n}$ - siltuma tarifa līmeņatzīme siltumapgādes operatoram  $i$  gadā  $n$ , EUR/MWh;

$T_{i,n-1}$ - esošais siltumenerģijas tarifs siltumapgādes operatoram  $i$  gadā  $n-1$ , EUR/MWh;

$C_{(i,n-1)}$ -klimata indekss operatoram  $i$  gadā  $n$ ;

$C_{(average,n)}$ - vidējā klimata indekss visiem siltumapgādes operatoriem  $n$  gadā;  
 $r_c$ - klimata indeksa svars apkures tarifu līmeņatzīmē.

## 2.2. Siltumapgādes tarifa regulēšanas mehānismu salīdzinājums

Saskaņā ar veikto literatūras apskatu un dažādu valstu regulējuma analīzi, var secināt, ka pastāv dažādi siltumenerģijas tirgus regulēšanas nosacījumi un siltumenerģijas tarifu piemērošanas metodes pārejot viedajām energosistēmām. Tomēr patērētājiem un siltumapgādes sistēmām šie mehānismi atšķiras. Dažādi risinājumi varētu motivēt siltumenerģijas patērētājus samazināt siltumenerģijas patēriņu, pielāgot iekšējās apkures sistēmas un uzlabot siltummezglu darbību, piemēram, atlaides par zemāku atgaitas temperatūru vai siltuma izmantošana ar zemāku ekserģiju.

Savukārt, no siltumapgādes operatoru viedokļa pastāv vairāki pretēji risinājumi, sākot no neregulēta siltumenerģijas tarifa, kas ļautu darboties saskaņā ar brīvi izvēlētu uzņēmējdarbības modeli, līdz siltumenerģijas tarifa līmeņatzīmei, kas varētu noteikt saprātīgas siltumenerģijas cenas ierobežojumus atkarībā no dažādiem apstākļiem. Tāpēc pētījuma mērķis ir salīdzināt dažādas siltumenerģijas tarifu noteikšanas metodes un tiesisko regulējumu, lai veicinātu CSA pāreju uz ilgtspējīgu attīstību un oglekļa neitralitāti. Lai noteiktu dažādu elementu, kas ietekmē siltumenerģijas izmaksas, savstarpējo saikni, ir izmantota kognitīvās kartēšanas (no angļu val. – “*fuzzy cognitive mapping*”) (FCM) metode. Salīdzinājumā ņemta vērā nepieciešamība motivēt CSA operatorus un siltumenerģijas patērētājus, ieviešot piemērotu siltumenerģijas tarifu regulēšanas metodi.

Vispirms autori, pamatojoties uz literatūras apskatu, politikas analīzi un dažādu valstu pieredzi, apzina iespējamus risinājumus siltumapgādes sistēmas tarifu regulēšanai. Siltumenerģijas tarifa nozīme tika vērtēta no dažādām perspektīvām, kā norādīts 2.8. attēlā.



2.8.att. Siltumenerģijas tarifu novērtēšanas kritēriji un vēlamie efekti

Pētījumā primārajā novērtējumā galvenā uzmanība pievērsta instrumentiem, kas varētu motivēt siltumapgādes sistēmas operatoru, bet mehānismi, kas varētu motivēt siltuma patērētāju, ir iekļauti netieši kā FCM modeļa elementi. Tomēr turpmākajos pētījumos varētu ieviest holistiskāku salīdzinājumu, apvienojot patērētāju un siltuma piegādātāju politiku.

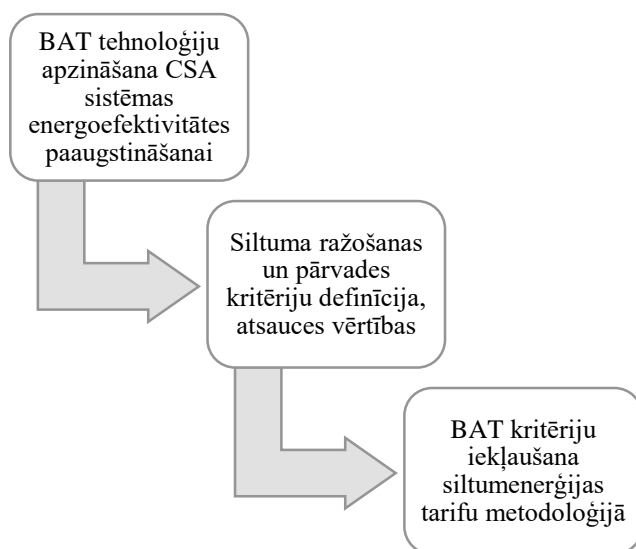
Analīzē iekļauti pieci dažādi regulējuma instrumenti:

- Neregulēti siltuma tarifi;
- Vienības cenas regulēšana;

- Peļņas regulēšana;
- Tarifu līmeņatzīme;
- Siltumenerģijas tarifs atbilstoši labākajām pieejamajām tehnoloģijām (BAT).

Neregulētais siltumenerģijas tarifs ir balstīts uz gadījumu izpēti Zviedrijā, kur siltumapgādes sistēma ir uzņēmējdarbības forma, ar mērķi gūt peļņu. Tomēr, kā aprakstīts pētījumos [15], piegādātāji ne vienmēr izmanto monopolcenas, jo pastāv konkurence ar individuālo vai vietējo siltumapgādi. Vienības cenas regulējums šajā pētījumā ir pielīdzināms Latvijas regulēšanas mehānismiem, kad piemēroto siltumenerģijas tarifu apstiprina Sabiedrisko pakalpojumu regulēšanas komisija (Regulators), un tas būtu jānosaka pēc izmaksu metodes, stingri norādot visas izmaksu un ieņēmumu plūsmas. Regulētā siltumenerģijas cena būtu jāpiemēro visiem patērētājiem, neļaujot piemērot atlaides pie noteiktiem nosacījumiem. Peļņas griestu regulēšana ir balstīta uz Islandes piemēru, kad komunālo pakalpojumu sniedzēji var noteikt peļņu līdz noteiktam līmenim. Tarifi ir dažādi, bet siltumenerģijas cena parasti atspoguļo ražošanas, sadales un pārdošanas izmaksas. Papildus autori salīdzina vēl divas alternatīvas siltumenerģijas tarifu regulēšanai, kas vēl nav apstiprinātas nevienā no analizētajām valstīm, - siltumenerģijas tarifu līmeņatzīmes metodi un siltumenerģijas tarifu atbilstoši BAT.

Analizētā BAT siltumenerģijas tarifu noteikšanas metode ir balstīta uz energoefektivitātes atskaites līmeņu ieviešanu dažādām tehnoloģijām, kas CSA operatoriem būtu jāsasniedz. Metode piedāvā, ka gadījumā, ja siltuma ražošanas avota darbība atbilst labākās prakses vērtībām, siltuma tarifs varētu būt neregulēts. Iespējamie BAT atsaucē dokumenti (BREF), no kuriem varētu iegūt atsaucē vērtības, ir "BREF atsaucē dokumenti lielām sadedzināšanas iekārtām" un "BREF atsaucē dokumenti energoefektivitātei", kuros aprakstīti galvenie tehnoloģiskie risinājumi augsta efektivitātes līmeņa sasniegšanai. Tomēr detalizētas vadlīnijas attiecībā uz CSA sistēmas darbību, nav pieejamas [48].



2.9. att. Ierosinātā metodika BAT tarifu noteikšanai

Identificētās siltumenerģijas tarifu noteikšanas metodikas tiek salīdzinātas, ņemot vērā dažādus kritērijus. Kritēriju kopums ir noteikts, lai analizētu dažādus aspektus, kas saistīti ar siltumenerģijas tarifu noteikšanas metožu ieviešanu no inženiertehniskā, ekonomiskā, vides, sociālekonomiskā un klimata viedokļa.

Lai noteiktu dažādu viedo siltumenerģijas tarifu noteikšanas metožu ietekmi, tika izmantota loģiskā kognitīvā kartēšana (FCM), jo šī metode ļauj noteikt galvenos jēdzienus un cēloņsakarības starp dažādiem elementiem sarežģītu sistēmu gadījumā, kā šajā gadījumā CSA. Lai attēlotu galvenos CSA sistēmas elementus un CSA siltumenerģijas tarifu ietekmējošos

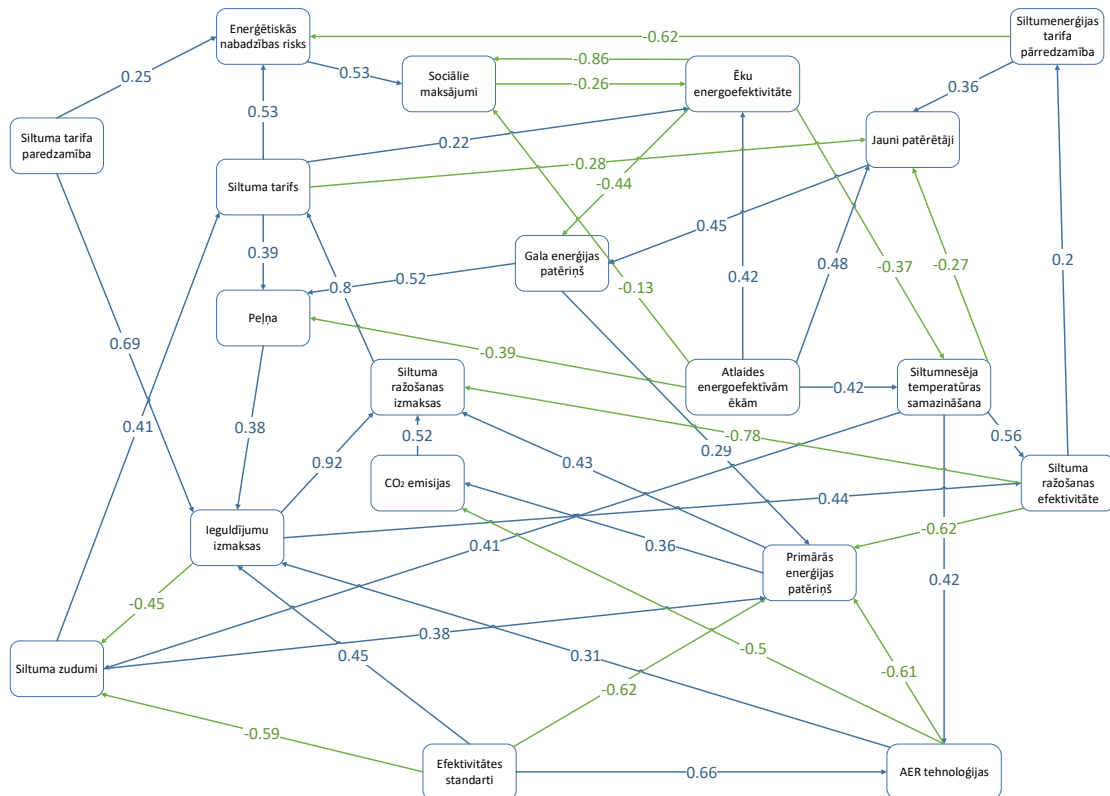
faktorus, ir izveidots modelis, kas sastāv no mezgliem jeb elementiem un savstarpējās ietekmes saitēm. Visām analizētajām attiecībām ir piešķirtas vērtības no 0 līdz 1 [49]. Turklāt tiešās saiknes starp elementiem ir identificētas kā pozitīvas vai negatīvas.

FCM analītiskās metodes pamatā ir CSA siltuma tarifa struktūras un funkcijas izpēte, izmantojot grafiku teorijā balstītu analīzi par pāru strukturālajām attiecībām starp modelī iekļautajiem elementiem. Vairāki CSA eksperti ir noteikuši kvantitatīvas attiecības starp sistēmas elementiem, lai adekvāti parādītu sistēmas darbību no dažādiem aspektiem. Modeļa struktūra redzama 2.10. attēlā.

Siltumenerģijas gala tarifu galvenokārt ietekmē siltuma ražošanas izmaksas un siltuma pārvades izmaksas (siltuma zudumi). Siltumenerģijas ražošanas izmaksas tieši ietekmē vairāki siltumenerģijas ražošanas parametri: siltumenerģijas ražošanas efektivitāte, CO<sub>2</sub> emisijas, primārās enerģijas patēriņš, AER tehnoloģijas un investīciju izmaksas. Ieguldījumu izmaksas ir saistītas ar siltumapgādes operatora peļņu, pieņemot, ka augstāka peļņa varētu radīt arī augstāku ieguldījumu līmeni. Ieguldījumi palielinās, ja ir augstāki energoefektivitātes standarti un AER tehnoloģijas. Turklāt tiek pieņemts, ka ir arī pretēja ietekme, jo augstāki investīciju līmeņi varētu samazināt siltuma zudumus, palielināt siltuma ražošanas efektivitāti un AER tehnoloģiju integrāciju.

Ir ieviesti divi būtiski siltumenerģijas tarifu novērtēšanas kritēriji - caurspīdīgums un prognozējamība -, ko ietekmē siltumenerģijas ražošanas izmaksas, AER tehnoloģiju ieviešana un energoefektivitātes standartu paaugstināšanās, pieņemot, ka ilgtspējīgas siltumapgādes sistēmas būtu motivētas piemērot uz izmaksām balstītus siltumenerģijas tarifus. No otras puses, šie kritēriji varētu ietekmēt enerģētiskās nabadzības risku, kas saistīts ar augstām siltumenerģijas izmaksām. Šī iemesla dēļ pašvaldības parasti izmanto sociālos maksājumus, lai atbalstītu mazāk maksātspējīgo sabiedrības daļu [50], [51].

Būtiska CSA sistēmu daļa ir patērētāji, kas nosaka nepieciešamo enerģijas gala patēriņu. Tāpēc siltumenerģijas patēriņu ietekmē divi faktori: ēku energoefektivitāte un jaunie patērētāji. Modelī ir iekļauta arī iespēja piemērot atlaides, lai noteiktu dažādu siltumenerģijas tarifu regulēšanas metožu iespējamo ietekmi uz galīgo enerģijas patēriņu. Šis atlaižu faktors ietver samazinātus maksājumus par energoefektīvām iekšējām apkures sistēmām un samazinātu atgaitas plūsmas temperatūru, kā vēl vienu elementu modelī. Tādējādi atlaides varētu ļaut pazemināt siltumnesēja temperatūru siltumtīklos un samazināt siltuma zudumus. Šīm atlaidēm ir noteikts arī pretējs efekts, jo tās ietekmē sociālos maksājumus un siltumapgādes nozares peļņu. Ēku energoefektivitātes paaugstināšana samazinātu kopējās apkures izmaksas un samazinātu nepieciešamos sociālos maksājumus, bet, no otras puses, sociālie maksājumi nemotivē patērētājus palielināt ēku energoefektivitāti.



2.10. att. CSA tarifu ietekmējošo vektoru modelēšana, izmantojot FCM

Izmantojot izveidoto modeli, noteikti vairāki scenāriji, analizējot, kā sistēma varētu reaģēt, izmantojot dažādas siltuma tarifu regulēšanas metodes. Scenāriju modelēšana norāda modelī iekļauto komponentu relatīvās izmaiņas, pamatojoties uz FCM modelī definētajām attiecībām. Katrā scenārijā vairākiem mainīgajiem lielumiem ir noteikta vērtība starp  $H+$  (spēcīgas negatīvas izmaiņas komponentē) un  $H-$  (spēcīgas pozitīvas izmaiņas komponentē).

Neregulēta siltumenerģijas tarifa gadījumā siltumapgādes operators varētu piemērot atlaides energoefektīvām ēku iekšējās siltumapgādes sistēmām un palielināt peļņu. Vienības cenas regulēšanas scenārijā atlaides noteiktām ēkām nav atļautas. Tomēr siltumenerģijas tarifa caurspīdīgums un prognozējamība palielinās regulējošo nosacījumu dēļ. Peļņas griestu regulēšanas gadījumā siltumapgādes operatora peļņa ir ierobežota, bet tiek pieņemts, ka siltumenerģijas tarifu prognozējamība varētu palielināties. Tarifu līmeņatzīmes un BAT siltumenerģijas tarifu scenārijos ir atļautas atlaides patērētājiem, un ir nepieciešams palielināt siltumapgādes efektivitāti. BAT tarifa gadījumā energoefektivitātes palielinājumu iegūst tieši, ieviešot references vērtību siltuma zudumu un siltuma ražošanas efektivitātes palielināšanai, bet līmeņatzīmes metodē tiek paaugstināti efektivitātes standarti. Spēcīgi negatīvu un izteikti pozitīvu komponentu izmaiņu vērtības tiek modelētas robežās no 0,1 līdz 0,5.

2.2.tabula

Pārskats par komponentu izmaiņām katrā scenārijā

	Atlaides ēkām	Peļņa	Caurspīdīgums	Prognozējamība	Efektivitātes standarti	Siltuma ražošanas efektivitāte	Siltuma zudumi
Neregulēti siltuma tarifi	0,1..0,5	0,1..0,5					
Vienības cenas regulējums	-0,1..-0,5		0,1..0,5	0,1..0,5			

leņģmumu regulējums		-0,1..-0,5	0,1..0,5		
Tarifu līmeņatzīme	0,1..0,5		0,1..0,5	0,1..0,5	
BAT siltuma tarifs	0,1..0,5			0,1..0,5	-0,1..-0,5

Tālāk analizēto scenāriju salīdzināšanai tiek izmantots daudzkritēriju novērtējums saskaņā ar TOPSIS metodi [52]. Visi sistēmas elementi ir izmantoti kā salīdzināšanas kritēriji, piešķirot tiem vienādas svāra vērtības. Kritēriju vērtības tiek normalizētas, un tiek noteikta tuvība ideālajam risinājumam.

### 3. REZULTĀTI

Iegūtie rezultāti apkopoti gan par dažādu līmeņatzīmes metožu piemērošanu un salīdzināšanu, gan vairāku siltumenerģijas tarifa regulēšanas metožu analīzi.

#### 3.1. Līmeņatzīmes metožu salīdzinājums

Konkrētajā pētījumā ir noteiktas četras dažādas alternatīvas, lai salīdzinātu siltumapgādes tarifus un kopējo siltumapgādes sistēmu darbību. Šāds dažādu metožu salīdzinājums ļauj noteikt galvenos virzītājspēkus un vājās vietas esošajai izmaksās balstītajai tarifu aprēķināšanas metodikai.

##### 3.1.1. Daudzkārtējās lineārās regresijas modelis

Iegūtie daudzkritēriju lineārās regresijas modeļa rezultāti ir redzami 3.1. tabulā. Iegūtais siltuma tarifa līmeņatzīmes noteikšanas vienādojums ietver atsauces tarifu, īpatnējos siltuma zudumus (%), patērēto siltuma daudzumu (GWh), iepirkta siltumenerģijas īpatsvaru (%), koģenerācijas un atjaunojamās enerģijas koģenerācijas īpatsvaru no saražotā siltuma (%) un īpatnējās kurināmā izmaksas (EUR/MWh) (3.1.).

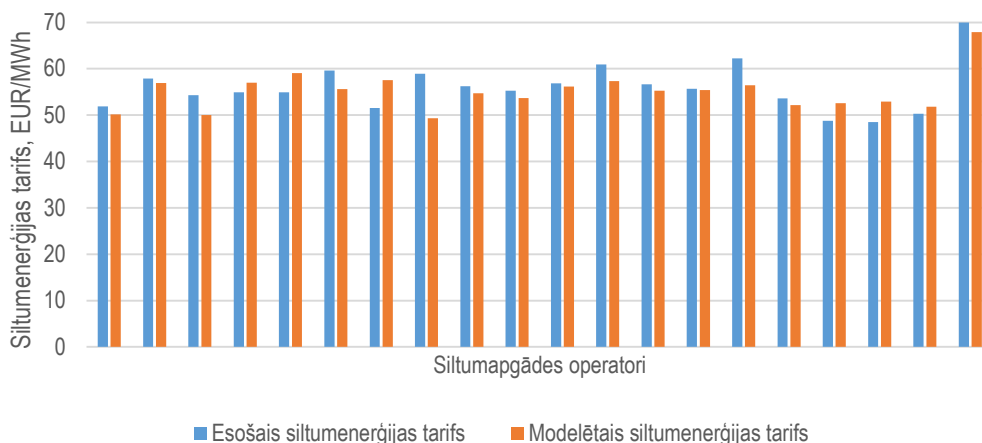
$$T_{BM}=45,08+24,60 \cdot q_{TL}(\%)-0,0023 \cdot Q_{CONS}(\text{GWh})-4,41 \cdot q_{PUR}(\%)-17,04 \cdot q_{NG}(\%)+10,71 \cdot q_{CHP}(\%)-13,83 \cdot q_{RES\_CHP}(\%)+0,72 \cdot I_{FC}(\text{EUR/MWh}) \quad (3.1.)$$

3.1. tabula

Daudzkārtējās lineārās regresijas modeļa rezultāti					
Parametri			Vērtība	Standarta novirze	T-tests
References tarifs, $T_{BM}$			45,08	3,408	13,227
Īpatnējie siltuma pārnese zudumi, $q_{TL}(\%)$			24,60	11,07	2,221
Nodotais siltums	patērētājiem,	$Q_{CONS}(\text{GWh})$	-0,0023	0,00106	-2,208
legādātās siltumenerģijas	īpatsvars,	$q_{PUR}(\%)$	-4,41	1,613	-2,733
Dabsgāzes īpatsvars, $q_{NG}(\%)$			-17,04	3,297	-5,167
Koģenerācijas īpatsvars, $q_{CHP}(\%)$			10,71	4,268	2,509
AER koģenerācijas īpatsvars, $q_{RES\_CHP}(\%)$			-13,83	4,379	-3,159
Īpašās degvielas izmaksas, $I_{FC}$ , EUR / MWh			0,72	0,181	3,957

3.1. attēlā parādīts iegūtais daudzkārtējās regresijas līmeņatzīmes un esošā siltuma tarifa salīdzinājums analizētajām CSA sistēmām. Var redzēt, ka aptuveni 45% siltumapgādes operatoru būtu jāsamazina esošais siltuma tarifs, bet aptuveni 55% varētu atļaut paaugstināt apkures tarifu. Maksimāli pieļaujama siltumenerģijas tarifa pieaugums 2019. gadā ir 12,34 EUR/MWh. Tas ir noteikts otrajai lielākajai CSA sistēmai Latvijā. Siltuma tarifs 2019. gadā tika ievērojami samazināts dažādu tehnoloģisko un politisko aspektu dēļ. Lielākais nepieciešamais esošā siltumenerģijas tarifa samazinājums būtu 7,48 EUR/MWh siltumapgādes sistēmai, kurai ir salīdzinoši nelieli siltuma pārvades zudumi, 100% no iepirkta siltumenerģijas un aptuveni 66% no dabasgāzes īpatsvara siltuma ražošanā.



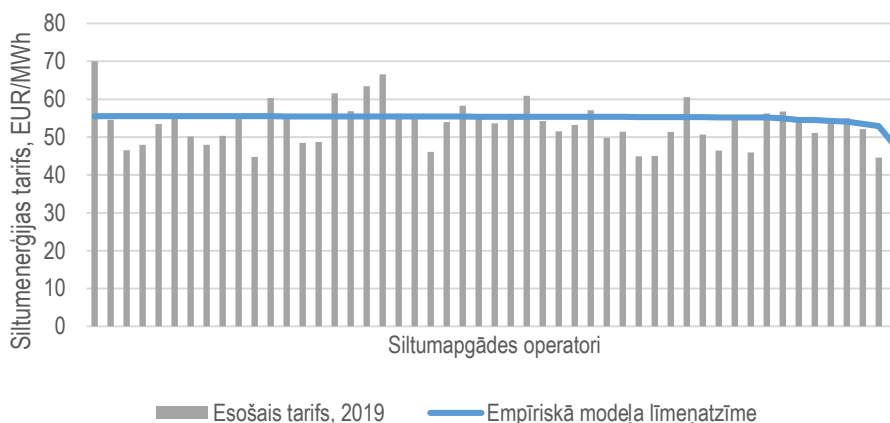


3.1. att. Daudzkārtējās lineārās regresijas siltuma tarifu etalona rezultāti analizētajiem CSA operatoriem 2019. gadā

Daudzkritēriju lineārās regresijas analīzes modelis ļāva noteikt galvenos parametrus, kas ietekmē siltuma gala tarifu. Tomēr rezultāti rāda, ka siltuma tarifs būtu jāpaaugstina, ja ir lielāki īpatnējie siltuma zudumi un lielāks AER koģenerācijas īpatsvars, kas nemotivētu siltumtīklu operatorus ieguldīt siltuma cauruļu atjaunošanā un atjaunojamās koģenerācijas tehnoloģijās.

### 3.1.2. Empīriskās lineārās regresijas modelis

Viens no galvenajiem siltuma tarifu līmeņatzīmes ieviešanas mērķiem ir padarīt siltuma tarifu apstiprināšanas procesu ātrāku, vieglāku un pārredzamāku. Tāpēc viens no iespējamajiem risinājumiem būtu vienkāršā empīriskā siltuma tarifu līmeņatzīmes ieviešana, kas ir atkarīga tikai no saražotās siltumenerģijas daudzuma. Iegūtie empīriskā modeļa rezultāti salīdzinājumā ar esošajiem siltuma tarifiem 2019. gadā redzami 3.2. attēlā.

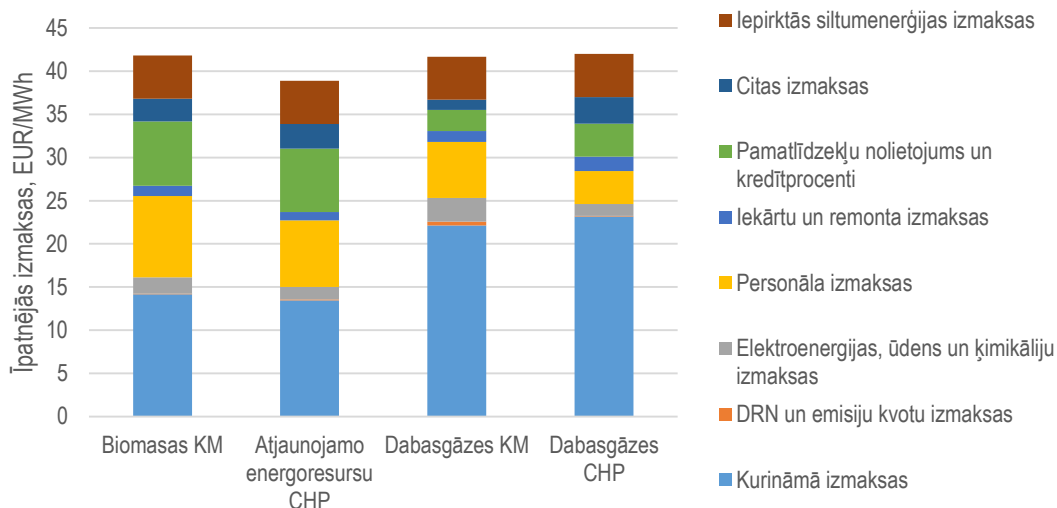


3.2. att. Analizēto siltumapgādes operatoru empīriskā siltuma tarifu etalona rezultāti

Siltumenerģijas tarifa empīriskās līmeņatzīmes rezultāti rāda, ka atļautais siltumenerģijas tarifs būtu zemāks par pašreizējo siltumenerģijas tarifu aptuveni 39% siltumenerģijas operatoru, bet aptuveni 61% ļautu palielināt esošo siltumenerģijas tarifu. Straujākais samazinājums (14 EUR/MWh) būtu nepieciešams siltumapgādes operatoram, kuram ir visaugstākais esošais siltuma tarifs. Trīs CSA operatoriem būtu atļauts paaugstināt siltumenerģijas tarifu par vairāk nekā 10 EUR/MWh

### 3.1.3. Labās prakses atsaucis izmaksu modelis

Autori ir identificējuši četrus galvenos aspektus, kas ietekmē dažādus izmaksu komponentu līmeņus atbilstoši saražotās tehnoloģijas siltuma daļai. Atsevišķi atskaites līmeņi ir noteikti AER katlu mājām (KM), AER koģenerācijas stacijām, fosilā kurināmā KM un fosilā kurināmā koģenerācijai (sk. 3.3. att.).



3.3. att. Specifisko izmaksu līmeņatzīme analizētajiem CSA operatoriem

Kā redzams 3.3. attēlā, tad CSA sistēmās fosilajam kurināmajam lielākais īpatsvars ir kurināmā izmaksas. Vidējās kurināmā izmaksas fosilā kurināmā KM sistēmām ir 22,1 EUR/MWh, bet fosilā kurināmā koģenerācijai - 23,2 EUR/MWh. Vidējās kurināmā izmaksas AER KM ir 14,1 EUR/MWh (galvenokārt koksnes šķeldai un citai koka biomasai), bet AER koģenerācijai - 13,4 EUR/MWh, iekļaujot gan biomasas, gan biogāzes izmantošanu. Kā norādīts iepriekš attēlā, AER sistēmām ir augstākas vidējās aprīkojuma un remonta izmaksas, taču abi koģenerācijas veidi norāda uz lielāku peļņas un ienākuma nodokļa daļu.

### 3.1.4. Klimata līmeņatzīmes modelis

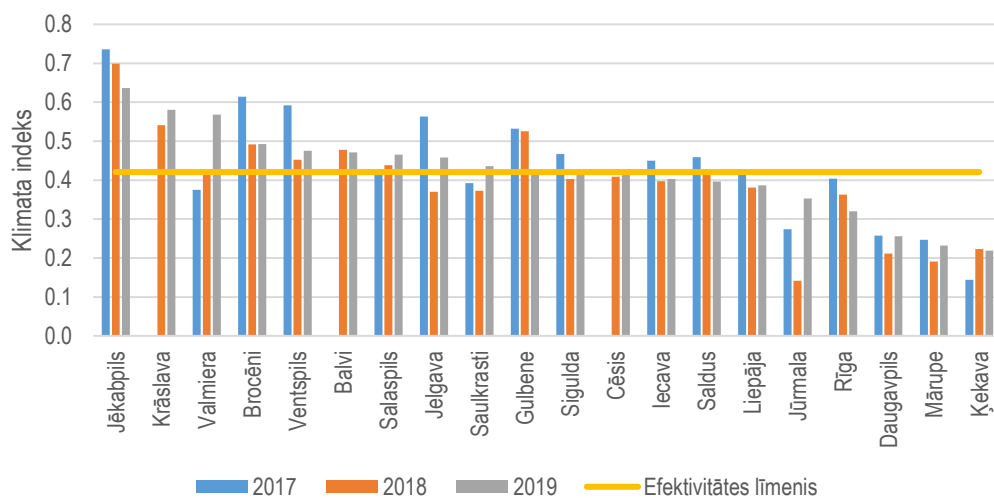
Ceturrtā siltuma tarifu salīdzinošās novērtēšanas metode ietver klimata indeksa noteikšanu. Klimata indekss ir noteikts 20 dažādām siltumapgādes sistēmām trīs gadu periodā.

Pārskats par katras analizētās CSA kritēriju normalizētajām vērtībām redzams 3.2. tabulā. Vērtība "1" norāda augstāko sasniegto vērtējumu, bet vērtība "0" ir zemākā iegūtā vērtība. Kā redzams, tikai divas siltumapgādes sistēmas iepērk siltumu no rūpniecības uzņēmumiem.

Kā redzams 3.4. attēlā, klimata indeksa vērtības 2019. gadā svārstās no 0,64 līdz 0,22 ar vidējo līmeni 0,42. Visaugstākais rādītājs ir siltumapgādes sistēmām, kur siltuma ražošanai galvenokārt izmanto AER CHP. Lai pierādītu ilgtspējīgu siltuma ražošanu, klimata indeksa vērtībai vajadzētu būt lielākai par noteikto līmeņatzīmi šajā konkrētajā gadījuma izpētē. Rezultāti liecina, ka 8 CSA vērtējums 2019.gadā ir zemāks par iegūto līmeņatzīmi.

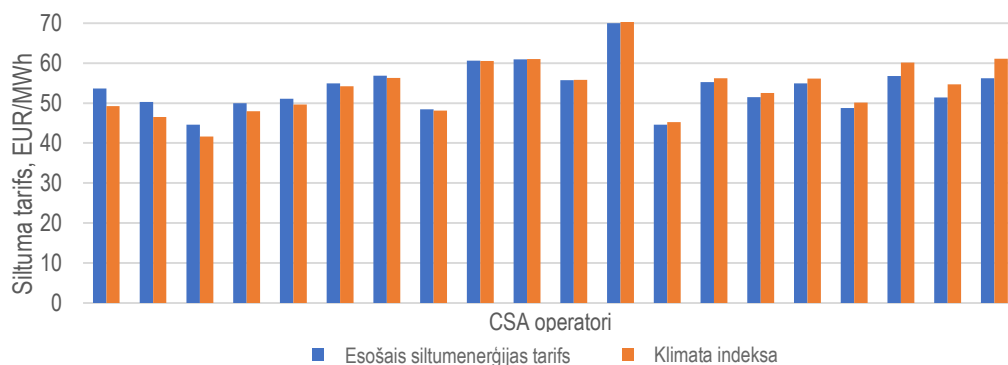
Pārskats par normalizētajām kritēriju vērtībām dažādām CSA

CSA sistēma	AER īpatsvars	AER CHP īpatsvars	CO <sub>2</sub> emisijas	Vides izmaksas	Siltuma zudumi	Primārās enerģijas faktors	Rūpniecības uzņēmumu siltums
Rīga	0,15	0,13	0,19	0,48	0,57	0,95	0,00
Daugavpils	0,16	0,00	0,09	0,40	0,09	0,49	0,00
Jelgava	0,92	0,97	0,36	0,97	0,42	0,95	0,00
Liepāja	0,63	0,30	0,81	0,56	0,30	0,81	0,00
Ventspils	0,90	0,93	0,90	0,87	0,53	0,92	0,00
Jūrmala	0,47	0,00	0,21	0,30	0,00	0,55	0,00
Rēzekne	0,00	0,00	0,47	0,18	0,26	0,42	0,00
Valmiera	0,25	0,00	0,00	0,20	0,66	0,56	0,46
Jēkabpils	0,82	0,23	0,83	0,53	0,56	0,86	1,00
Salaspils	0,61	0,00	0,35	0,41	0,69	0,78	0,00
Saldus	0,86	0,60	0,80	0,73	0,08	0,86	0,00
Sigulda	0,94	0,30	0,95	0,42	0,39	0,87	0,00
Ludza	0,96	0,00	1,00	0,50	0,50	0,98	0,00
Gulbene	1,00	0,74	1,00	0,87	0,09	0,99	0,00
Alūksne	1,00	0,00	1,00	0,51	0,41	1,00	0,00
Ķekava	0,21	0,00	0,39	0,00	0,26	0,00	0,00
Brocēni	0,95	1,00	0,97	1,00	0,42	0,99	0,00
Iecava	0,58	0,61	0,39	0,18	1,00	0,57	0,00
Mārupe	0,00	0,00	0,39	0,00	0,74	0,24	0,00
Saulkrasti	0,70	0,00	0,67	0,21	0,44	0,75	0,00



3.4. att. Noteiktās klimata indeksa vērtības analizētajiem CSA operatoriem

Iegūtās klimata indeksa vērtības ir izmantotas kā rādītājs siltuma tarifu līmeņzīmes noteikšanai. Klimata indeksa līmeņzīme un esošie siltuma tarifi ir salīdzināti 3.5. attēlā.



3.5. att. Siltuma tarifa klimata indeksa līmeņatzīme, salīdzinot ar esošo siltuma tarifu

Klimata indeksa līmeņatzīmes metodes rezultāti rāda, ka aptuveni 45% siltumapgādes sistēmu būtu jāsamazina siltuma tarifs, bet 55% varētu atļaut paaugstināt tarifu. Maksimālais siltuma tarifa samazinājums (4,3 EUR/MWh) būtu nepieciešams siltumapgādes sistēmai, kas kā enerģijas avotu izmanto tikai dabasgāzes KM.

Metodika klimata indeksa izmantošanai kā vienu no siltuma tarifa noteikšanas kritērijiem var tikt tālāk izmantota un integrēta tarifa noteikšanas metodikā. Tādējādi CSA uzņēmumi ar zemākajām klimata indeksa vērtībām būtu spiesti pāriet uz ilgtspējīgākām siltuma ražošanas tehnoloģijām. Noteiktajam klimata indeksam ir potenciāls turpmākai attīstībai un izmantošanai CSA veiktspējas novērtēšanā arī starptautiskā līmenī. Metodiku var pielāgot konkrētiem apstākļiem, papildus izmantojot tehniskos, ekonomiskos un vides rādītājus.

### 3.2. Siltumapgādes tarifu regulēšanas mehānismu salīdzinājums

Šajā sadaļā ir sniegti FCM modeļa un daudzkritēriju analīzes salīdzinājuma rezultāti, lai identificētu galvenos šķēršļus un virzītājspēkus dažādām siltumenerģijas tarifu regulēšanas alternatīvām un noteiktu, kuras ierosinātās siltumenerģijas tarifu regulēšanas metodes varētu veicināt pāreju uz viedām un energoefektīvām energosistēmām.

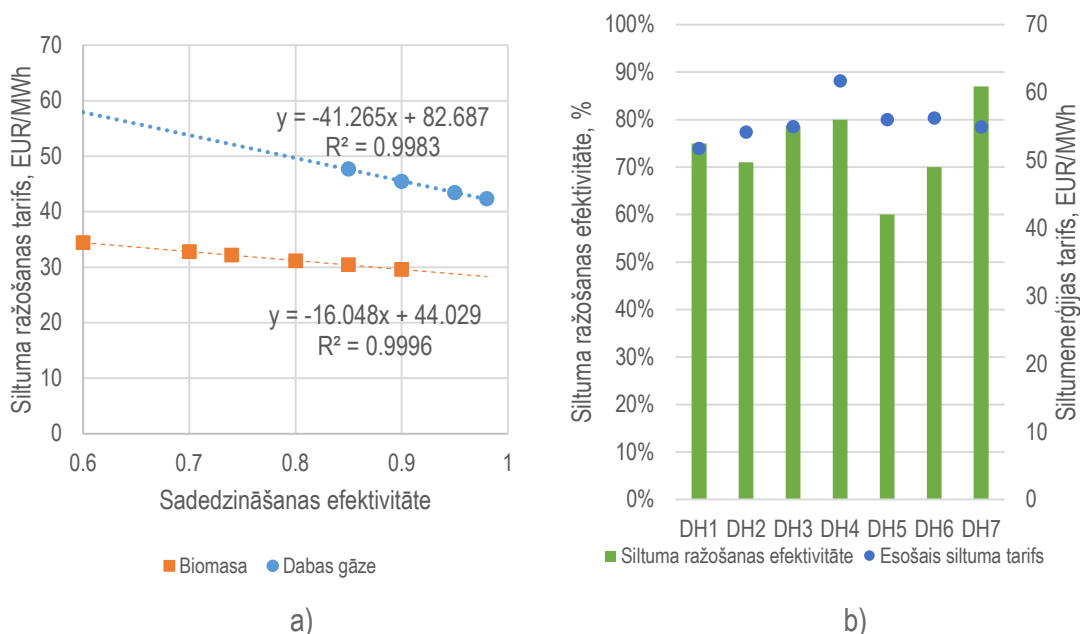
#### 3.2.1. Energoefektivitātes līmeņu saistība ar viedajiem siltumenerģijas tarifiem. Esošās situācijas analīze

Latvijas normatīvie akti nosaka, ka licencētām siltumapgādes sistēmām jānodrošina, lai dažādu tehnoloģiju energoefektivitātes līmeņi būtu augstāki par 3.3. tabulā apkopotajiem references līmeņiem [53]. Piemēram, kopējam siltumenerģijas ražošanas efektivitātes līmenim dabasgāzes katlu mājās jābūt augstākam par 92%. Ir noteikti arī efektivitātes līmeņi saules enerģijas laukiem, noteikta efektivitātes klase siltumsūkņiem un maksimāli pieļaujamie īpatnējie siltuma zudumi siltumapgādes tīklā.

3.3.tabula

Latvijā noteikto BAT atsauces līmeņu piemērs	
Kritēriji/tehnoloģija	Atsauces vērtība
<b>Energoefektivitātes līmeņi apkures katliem</b>	
Gāzveida kurināmais	92%
Šķidrās kurināmais	85%
Cietais kurināmais	75%
<b>Koģenerācijas staciju energoefektivitātes līmeņi</b>	
Gāzveida kurināmais	80%
Cietais kurināmais	75%
<b>Saules kolektori</b>	
Vakuuma saules kolektori	70%

Plakanie saules kolektori	75%
Siltumsūkņa efektivitātes klase	C
Īpatnējie siltuma zudumi siltumtīklā	17%



3.6. att. Siltumenerģijas sadedzināšanas ietekmes uz siltumenerģijas ražošanas tarifu piemēri: a) modelētais siltumenerģijas ražošanas tarifs tikai biomasas un dabasgāzes katlu mājās; b) esošās situācijas analīze dažādās biomasas katlu mājās

Degšanas efektivitātes ietekmes uz siltuma ražošanas efektivitāti piemērs redzams 3.6. att. a) punktā. Novērtējums veikts divām dažādām siltumapgādes sistēmām ar dabasgāzes katliem un šķeldas katliem. Modelēšanas rezultāti liecina, ka efektivitātes dēļ siltumenerģijas tarifs vairāk palielinās dabasgāzes katlu mājās, jo enerģijas avota izmaksas ir augstākas. 3.6. att. b) redzamajā septiņu dažādu uz šķeldu balstītu CSA faktiskie siltumenerģijas tarifi parāda, ka nav identificējama saistība ar siltuma ražošanas efektivitāti. Faktiskie efektivitātes līmeņi svārstās no 60% līdz 87%. Zemākais siltuma tarifs nav novērojams sistēmās ar augstāku efektivitāti, kurās ir uzstādītas papildu siltuma atgūšanas sistēmas, un gluži pretēji - sistēmām ar zemāko efektivitāti nav visaugstākie siltuma tarifi. Tas arī liecina, ka sistēmas darbojas ar efektivitāti, kas ir zemāka par norādītajiem atsauces līmeņiem (75% cietajam kurināmajam). Ierosinātā BAT siltumenerģijas tarifa noteikšanas metode sasaistītu energoefektivitātes līmeņus ar atļautajiem siltumenerģijas tarifiem, lai motivētu inovatīvu apkures sistēmu integrāciju.

### 3.2.2. Siltumenerģijas tarifu regulēšanas metožu salīdzinājuma rezultāti

Izstrādātais vienkāršotais FCM modelis sastāv no 19 elementiem un 46 savienojumiem. Rezultāti liecina, ka trīs galvenie virzītājspēki ar centralitātes koeficientu virs 3 ir investīciju izmaksas, siltuma ražošanas izmaksas un primārās enerģijas patēriņš.

Iegūtie normalizētie rezultāti analizētajiem CSA regulēšanas mehānismiem ir apkopoti 3.4. tabulā. Neregulētu tarifu gadījumā investīciju izmaksas pieaug lielākas peļņas dēļ, kas izraisa primārās enerģijas patēriņa samazināšanos. Šajā scenārijā ir atļautas atlaides konkrētām ēkām. Tādējādi tiek sasniegti jauni patērētāji.

3.4. tabula

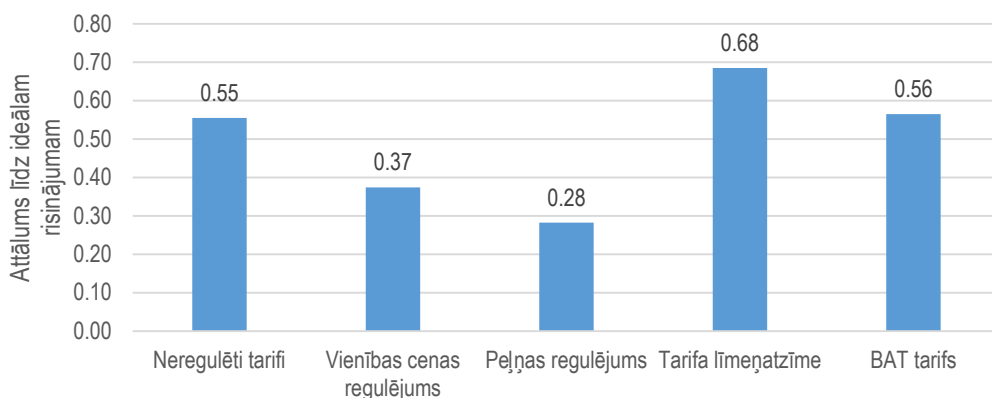
Normalizēta lēmumu pieņemšanas matrica

	Neregulēti tarifi	Vienības cenas regulējums	Peļņas regulējums	Tarifa līmeņatzīme	BAT tarifs
Investīcijas	1,11	1,22	1,09	1,31	0,99
Primārās enerģijas patēriņš	0,95	0,91	0,96	0,64	0,86
Enerģijas gala patēriņš	0,99	1,04	1,00	1,03	1,03
Siltumenerģijas tarifa caurspīdīgums	1,01	1,30	1,01	1,03	1,03
Enerģētiskās nabadzības risks	1,00	0,91	1,08	0,98	0,88
CO <sub>2</sub> emisijas	0,99	0,97	0,98	0,81	0,95
AER tehnoloģijas	0,99	1,00	1,00	1,13	1,00
Siltuma tarifs	1,01	1,03	1,01	0,86	0,80
Jaunu klientu piesaiste	1,15	0,95	1,00	1,19	1,21
Siltumnesēja temperatūras samazināšana	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
Siltuma zudumi	0,95	0,90	0,96	0,75	0,85
Efektivitātes standarti	1,00	1,00	1,00	1,20	1,00
Siltuma ražošanas izmaksas	1,05	1,09	1,04	0,95	0,82
Peļņa	1,30	1,05	0,70	0,95	0,93
Ēku energoefektivitāte	1,18	0,85	0,99	1,14	1,14
Siltuma ražošanas efektivitāte	1,04	1,10	1,04	1,13	1,15
Atlaides energoefektīvām ēkām	1,30	0,70	1,00	1,30	1,30
Siltuma tarifa prognozējamība	0,99	1,30	1,30	1,30	1,03
Sociālie maksājumi	0,81	1,12	1,05	0,84	0,78

Vienības cenas regulēšanas gadījumā tiek palielināta siltumenerģijas tarifu uzticamība un prognozējamība, bet tiek samazinātas atlaides siltumenerģijas patērētājiem. Šajā gadījumā samazinās jauno patērētāju un ēku energoefektivitāte. Tomēr palielinot ieguldījumu izmaksas, palielinās siltumenerģijas ražošanas efektivitāte. Siltumapgādes operatoru peļņa samazinās peļņas griestu regulēšanas gadījumā, kas samazina arī potenciālās investīcijas. Citi parametri šajā scenārijā būtiski nemainās. Tarifu līmeņatzīmes scenārijā energoefektivitātes standarti tiek paaugstināti, tāpēc samazinās siltuma zudumi, bet palielinās AER tehnoloģiju īpatsvars un siltuma ražošanas efektivitāte. Tā rezultātā samazinās siltumenerģijas ražošanas izmaksas un siltumenerģijas tarifu vērtības. Visbeidzot, BAT tarifu scenārijā energoefektivitātes parametri tiek paaugstināti tieši, tāpēc samazinās arī siltumenerģijas ražošanas izmaksas un siltumenerģijas tarifs.

Kā redzams 3.4. tabulā, kritēriju rezultāti skaidri nenorāda ilgtspējīgāko siltumenerģijas tarifu regulēšanas mehānismu, tāpēc tiek piemērota daudzkritēriju analīzes metode. Kritēriji, kas no siltumapgādes operatoru viedokļa vēlāmajā risinājumā būtu jāsamazina līdz minimumam, ir primārās enerģijas patēriņš, enerģētiskās nabadzības risks, CO<sub>2</sub> emisijas, siltuma tarifs, siltuma

zudumi, siltuma ražošanas izmaksas un sociālie maksājumi, bet pārējie kritēriji būtu maksimāli jāpalielina.



3.7. att. Daudzkritēriju novērtējuma rezultāti

3.7. attēlā ir parādīti iegūtie daudzkritēriju novērtējuma rezultāti, kas norāda, ka tarifu līmeņatzīmes metode ar integrētiem energoefektivitātes standartiem ir ilgtspējīgākais risinājums, jo tas palielina gan siltumapgādes sistēmas, gan patērētāju energoefektivitātes pieaugumu. Tomēr izšķiroša nozīme ir piemērotajām atlaidēm, lai motivētu siltumenerģijas patērētājus uzlabot siltummezglu darbību.

## 4. SECINĀJUMI UN IETEIKUMI

Pastāv dažādi siltumenerģijas tarifu regulēšanas mehānismi. Piemēram, ir valstis ar stingri regulētu siltumenerģijas cenu un valstis, kurās siltumenerģijas tarifs vispār netiek regulēts, darbojoties uz biznesa pamatprincipiem. Tāpēc veikts novērtējums, lai analizētu, kuri regulējošie mehānismi veicinātu esošo CSA pārveidi uz viedām energosistēmām ar augstāku efektivitāti un integrētām AER daļām. Pētījumā tiek pētīta siltumenerģijas tarifa kā iespējamā motivētāja loma efektīvākām energosistēmām.

Izstrādātā modeļa rezultāti salīdzina piecas siltumenerģijas tarifu regulēšanas metodes. Izstrādātajā FCM modelī galvenie elementi ir investīciju izmaksas, siltumenerģijas ražošanas izmaksas un primārās enerģijas patēriņš. Līdz ar to piemērotākajai siltumenerģijas tarifu regulēšanas metodei jāveicina pietiekams investīciju līmenis, jāmotivē samazināt ražošanas izmaksas un primārās enerģijas patēriņu. Šajā pētījumā kā efektīvākā siltumenerģijas tarifu regulēšanas metode atzīta siltumenerģijas līmeņatzīmes metode ar integrētiem energoefektivitātes standartiem CSA operatoriem un atļautām piemērojamām atļaidēm efektīviem patērētājiem.

Konkrētajā pētījumā autori salīdzina četras dažādas siltuma tarifu līmeņatzīmes salīdzināšanas metodes, lai noteiktu, vai tas motivētu CSA operatorus pāriet uz AER un palielināt energoefektivitāti. Daudzkārtējās lineārās regresijas modelis identificē saistību starp galvenajiem darbības un ekonomiskajiem parametriem un esošo siltuma tarifu. Empīriskais modelis nosaka siltuma tarifu līmeņatzīmi izmantojot vienu parametru saražoto siltuma daudzumu, bet atsauces izmaksu modelis nosaka vidējās izmaksu komponentes dažādu veidu CSA sistēmām. Ceturtajā alternatīvā ir iekļauts klimata indekss kā atsauce uz siltuma tarifa atļauto līmeni. Klimata indekss apvieno dažādus CSA sistēmas efektivitātes parametrus un novērtē potenciālu nulles emisijas līmeņa sasniegšanai.

Dažādu siltuma tarifu līmeņatzīmju salīdzinājums rāda atšķirīgus rezultātus attiecībā uz tām sistēmām, kurām jāsamazina siltuma tarifs, un tām, kurām atļauts paaugstināt siltuma tarifu līmeni. Tomēr daudzkārtējās regresijas un empīriskās metodes neliecina par stimulāciju siltumapgādes sistēmu energoefektivitātes paaugstināšanai. Līmeņatzīmes metode rāda, ka visaugstākais atsauces tarifs ir fosilā kurināmā koģenerācijas sistēmām, kas arī nemotivētu šīs sistēmas kļūt par oglekļa neitrālām. Piedāvātajā klimata indeksa līmeņatzīmes metodē pieļaujama siltuma tarifs ir saistīts ar esošo tarifu un noteikto klimata indeksa vērtību. Pieļaujama siltuma tarifu pieaugums būtu lielāks tām sistēmām, kurām ir labāka energoefektivitāte un AER īpatsvara rādītāji.

Piedāvātās metodes varētu apvienot, lai iegūtu vispiemērotāko līmeņatzīmi siltuma tarifu noteikšanai. Noteiktie līmeņatzīmju līmeņi regulāri jāpārskata, ņemot vērā inflācijas līmeni, pieļaujamo peļņu un citus aspektus. Turpmākie pētījumi varētu ietvert sarežģītāku ietekmes novērtējumu, ņemot vērā to, kā piedāvātās līmeņatzīmes salīdzināšanas metodes varētu ietekmēt siltumapgādes sistēmas un sabiedrību, novērtējot dažādus ekonomiskos un sociālos parametrus.

Lai novērtētu CSA darbības efektivitāti, ietekmi uz vidi un ilgtspējību, ieviests kopīgs rādītājs - klimata indekss. Tā aprēķināšanai un novērtēšanai tiek izmantoti septiņi dažādi CSA darbību raksturojoši kritēriji: AER īpatsvars, AER koģenerācijas īpatsvars, īpatnējās CO<sub>2</sub> emisijas, ārējās vides izmaksas, īpatnējie siltuma zudumi, primārās enerģijas faktors un rūpniecības uzņēmumu piegādātā siltuma daļa. Kritēriji tiek sakārtoti prioritārā secībā un svērti izmantojot AHP metodi.

Metode aprobēta 20 dažādiem CSA operatoriem. Iegūtās klimata indeksa vērtības 15 CSA uzņēmumiem pārsniedz šī konkrētā pētījuma aprēķināto līmeņatzīmi. Dabaszāģes kā galvenā enerģijas avota dēļ piecas CSA bija zem noteiktās līmeņatzīmes.



Klimata indeksa izmantošana varētu uzlabot konkurenci starp CSA operatoriem un veicināt virzību uz ilgtspējīgiem siltuma ražošanas risinājumiem. Metodiku var pielāgot un piemērot dažādām valstīm, iekļaujot citus vērtēšanas kritērijus. Valsts siltumenerģijas ražošanas mērķus var iekļaut, izmantojot kritēriju svērumu, piemēram, pārvades zudumu samazināšana, siltuma pārpalikumu integrēšana utt.

Turpmākajā periodā tiks veikta klimata indeksa vērtību ikgadējo izmaiņu salīdzināšana, jo pēdējos gados ir ievērojami uzlabojumi CSA darbībā.

Pašlaik klimata indeksa aprēķiniem nepieciešamo ievades datu vākšana ir laikietilpīga. Lai atvieglotu klimata indeksa aprēķināšanu, būtu jānodrošina statistikas datu pieejamības uzlabojumi.

Noteiktais klimata indekss varētu būt siltuma tarifa aprēķināšanas kritērijs. CSA uzņēmumiem ar augstāko klimata indeksu varētu atļaut lielāku peļņas daļu vai vieglāku siltuma tarifu apstiprināšanas procesu.

## 5. IZMANTOTĀS LITERATŪRAS SARAKSTS

- [1] M. Noussan, “Performance indicators of District Heating Systems in Italy – Insights from a data analysis,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 134, pp. 194–202, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.01.125>.
- [2] European Commission, “An EU strategy on heating and cooling 2016,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2016.
- [3] D. F. Dominković, G. Stunjek, I. Blanco, H. Madsen, and G. Krajačić, “Technical, economic and environmental optimization of district heating expansion in an urban agglomeration,” *Energy*, vol. 197, p. 117243, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117243>.
- [4] G. Barone, A. Buonomano, C. Forzano, and A. Palombo, “A novel dynamic simulation model for the thermo-economic analysis and optimisation of district heating systems,” *Energy Convers. Manag.*, vol. v. 220, p. 2020 v.220, 2020, doi: [10.1016/j.enconman.2020.113052](https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113052).
- [5] G. G. Alexandrov and A. S. Ginzburg, “Anthropogenic impact of Moscow district heating system on urban environment,” *Energy Procedia*, vol. 149, pp. 161–169, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.08.180>.
- [6] J. Munksgaard, L.-L. Pade, and P. Fristrup, “Efficiency gains in Danish district heating. Is there anything to learn from benchmarking?,” *Energy Policy*, vol. 33, no. 15, pp. 1986–1997, 2005, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2004.03.019>.
- [7] J. Fitó, J. Ramousse, S. Hodencq, and F. Wurtz, “Energy, exergy, economic and exergoeconomic (4E) multicriteria analysis of an industrial waste heat valorization system through district heating,” *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 42, p. 100894, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100894>.
- [8] S. Selvakkumaran, L. Eriksson, J. Ottosson, K. Lygnerud, and I.-L. Svensson, “How are business models capturing flexibility in the District Energy (DE) grid?,” *Energy Reports*, vol. 7, pp. 263–272, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.08.146>.
- [9] H. Averfalk and S. Werner, “Economic benefits of fourth generation district heating,” *Energy*, vol. 193, p. 116727, 2020, doi: [10.1016/j.energy.2019.116727](https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116727).
- [10] Z. Ma, A. Knotzer, J. D. Billanes, and B. N. Jørgensen, “A literature review of energy flexibility in district heating with a survey of the stakeholders’ participation,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 123, p. 109750, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109750>.
- [11] E. Guelpa, G. Mutani, V. Todeschi, and V. Verda, “Reduction of CO2 emissions in urban areas through optimal expansion of existing district heating networks,” *J. Clean. Prod.*, vol. 204, pp. 117–129, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.272>.
- [12] S. Selvakkumaran, L. Eriksson, J. Ottosson, K. Lygnerud, and I.-L. Svensson, “How are business models capturing flexibility in the District Energy (DE) grid?,” *Energy Reports*, vol. 7, no. September, pp. 263–272, 2021, doi: [10.1016/j.egy.2021.08.146](https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.08.146).
- [13] L. Gorroño-Albizu and J. de Godoy, “Getting fair institutional conditions for district heating consumers: Insights from Denmark and Sweden,” *Energy*, vol. 237, 2021, doi: [10.1016/j.energy.2021.121615](https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121615).
- [14] H. Li, Q. Sun, Q. Zhang, and F. Wallin, “A review of the pricing mechanisms for district heating systems,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 42, pp. 56–65, 2015, doi: [10.1016/j.rser.2014.10.003](https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.003).
- [15] A. Egüez, “District heating network ownership and prices: The case of an unregulated natural monopoly,” *Util. Policy*, vol. 72, no. July, p. 101252, 2021, doi: [10.1016/j.jup.2021.101252](https://doi.org/10.1016/j.jup.2021.101252).
- [16] A. Hast, S. Syri, V. Lekavičius, and A. Galinis, “District heating in cities as a part of low-

- carbon energy system,” *Energy*, vol. 152, pp. 627–639, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.03.156>.
- [17] Riigikogu, “District Heating Act,” 2017. <https://www.riigiteataja.ee/en/eli/ee/520062017016/consolide/current>.
- [18] M. Galindo Fernandez, A. Bacquet, S. Bensadi, P. Morisot, and A. Oger, *Integrating renewable and waste heat and cold sources into district heating and cooling systems - Case studies analysis , replicable key success factors and potential policy implications*. 2021.
- [19] J. Patronen, E. Kaura, and C. Torvestad, *Nordic heating and cooling : Nordic approach to EU’s Heating and Cooling Strategy*. Copenhagen: Nordisk Ministerråd, 2017.
- [20] “Changes to the heat tariff scheme in Poland,” no. December 2018, 2020.
- [21] J. Songa, F. Wallina, H. Lia, and B. Karlssona, “Price models of district heating in Sweden,” *Energy Procedia*, vol. 88, pp. 100–105, 2016, doi: [10.1016/j.egypro.2016.06.031](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.06.031).
- [22] U. Sarma and G. Bazbauers, “Algorithm for calculation of district heating tariff benchmark,” *Energy Procedia*, vol. 128, pp. 445–452, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.029>.
- [23] P. Bogetoft, “Incentive Efficient Production Frontiers: An Agency Perspective on DEA,” *Manage. Sci.*, vol. 40, no. 8, pp. 959–968, 1994, doi: <https://doi.org/10.1287/mnsc.40.8.959>.
- [24] G. A. Comnes, S. Stoff, N. Greene, and L. J. Hill, “Performance-Based Ratemaking for Electric Utilities: Review of Plans and Analysis of Economic and Resource- Planning Issues Volume I,” LBNL, Berkeley, Nov. 1995.
- [25] D. Magnusson, “Who brings the heat? – From municipal to diversified ownership in the Swedish district heating market post-liberalization,” *Energy Res. Soc. Sci.*, vol. 22, pp. 198–209, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.10.004>.
- [26] P. J. Agrell and P. Bogetoft, “Economic and environmental efficiency of district heating plants,” *Energy Policy*, vol. 33, no. 10, pp. 1351–1362, 2005, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2003.12.011>.
- [27] D. Toke and A. Fragaki, “Do liberalised electricity markets help or hinder CHP and district heating? The case of the UK,” *Energy Policy*, vol. 36, no. 4, pp. 1448–1456, 2008, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.12.021>.
- [28] R. C. Marques, P. Simões, and J. S. Pires, “Performance Benchmarking in Utility Regulation: the Worldwide Experience,” *Polish J. Environ. Stud.*, vol. 20, no. 1, pp. 125–132, 2011, [Online]. Available: <http://www.pjoes.com/Performance-Benchmarking-in-Utility-Regulation-r-nthe-Worldwide-Experience,88538,0,2.html>.
- [29] I. Pakere *et al.*, “Climate Index for District Heating System,” *Environ. Clim. Technol.*, vol. 24, no. 1, pp. 406–418, 2020, doi: [doi:10.2478/rtuct-2020-0024](https://doi.org/10.2478/rtuct-2020-0024).
- [30] J. Ziemele, G. Vigants, V. Vitols, D. Blumberga, and I. Veidenbergs, “District Heating Systems Performance Analyses. Heat Energy Tariff,” *Environ. Clim. Technol.*, vol. 13, no. 1, pp. 32–43, 2014, doi: [doi:10.2478/rtuct-2014-0005](https://doi.org/10.2478/rtuct-2014-0005).
- [31] U. Sarma and G. Bazbauers, “District Heating Tariff Component Analysis for Tariff Benchmarking Model,” *Energy Procedia*, vol. 113, pp. 104–110, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.04.029>.
- [32] T. Jamasb and M. Pollitt, “International benchmarking and regulation: an application to European electricity distribution utilities,” *Energy Policy*, vol. 31, no. 15, pp. 1609–1622, 2003, doi: [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(02\)00226-4](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(02)00226-4).
- [33] M. Åberg, L. Fälting, and A. Forssell, “Is Swedish district heating operating on an integrated market? – Differences in pricing, price convergence, and marketing strategy between public and private district heating companies,” *Energy Policy*, vol. 90, pp. 222–

- 232, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.12.030>.
- [34] D. Connolly *et al.*, “Heat Roadmap Europe: Combining district heating with heat savings to decarbonise the EU energy system,” *Energy Policy*, vol. 65, pp. 475–489, 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.10.035>.
- [35] A. Hast, S. Syri, V. Lekavičius, and A. Galinis, “District heating in cities as a part of low-carbon energy system,” *Energy*, vol. 152, pp. 627–639, 2018, doi: [10.1016/j.energy.2018.03.156](https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.03.156).
- [36] V. Stennikov and A. Penkovskii, “The pricing methods on the monopoly district heating market,” *Energy Reports*, vol. 6, pp. 187–193, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.11.061>.
- [37] A. Dalla Rosa and J. E. Christensen, “Low-energy district heating in energy-efficient building areas,” *Energy*, vol. 36, no. 12, pp. 6890–6899, 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.10.001>.
- [38] D. Poputoaia and S. Bouzarovski, “Regulating district heating in Romania: Legislative challenges and energy efficiency barriers,” *Energy Policy*, vol. 38, no. 7, pp. 3820–3829, 2010, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.03.002>.
- [39] J. Ziemele, I. Pakere, and D. Blumberga, “The future competitiveness of the non-Emissions Trading Scheme district heating systems in the Baltic States,” *Appl. Energy*, vol. 162, pp. 1579–1585, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.05.043>.
- [40] S. Paiho and H. Saastamoinen, “How to develop district heating in Finland?,” *Energy Policy*, vol. 122, pp. 668–676, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.08.025>.
- [41] U. Sarma and G. Bazbauers, “District Heating Regulation: Parameters for the Benchmarking Model,” *Energy Procedia*, vol. 95, pp. 401–407, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.046>.
- [42] M. Badami, R. Gerboni, and A. Portoraro, “Determination and assessment of indices for the energy performance of district heating with cogeneration plants,” *Energy (Oxford)*, pp. 697–703, 2017, doi: DOI:101016/jenergy201703136.
- [43] L. Grundahl, S. Nielsen, H. Lund, and B. Möller, “Comparison of district heating expansion potential based on consumer-economy or socio-economy,” *Energy*, vol. 115, pp. 1771–1778, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.05.094>.
- [44] S.-Y. Park, K.-S. Lee, and S.-H. Yoo, “Economies of scale in the Korean district heating system: A variable cost function approach,” *Energy Policy*, vol. 88, pp. 197–203, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.10.026>.
- [45] B. S. Alberici, S. Boeve, P. Van Breevoort, Y. Deng, and S. Förster, “Subsidies and costs of EU energy Final report Subsidies and costs of EU energy Final report,” 2014.
- [46] L. Dymova, P. Sevastjanov, and A. Tikhonenko, “A direct interval extension of TOPSIS method,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 40, no. 12, pp. 4841–4847, 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.02.022>.
- [47] Z. Turskis, E. K. Zavadskas, and F. Peldschus, “Multi-criteria Optimization System for Decision Making in Construction Design and Management Multi-criteria Optimization System for Decision Making in Construction Design and Management,” no. January, 2009.
- [48] T. Lecomte *et al.*, *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Large Combustion Plants*. 2017.
- [49] U. Özesmi and S. L. Özesmi, “Ecological models based on people’s knowledge: a multi-step fuzzy cognitive mapping approach,” *Ecol. Modell.*, vol. 176, no. 1, pp. 43–64, 2004, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2003.10.027>.
- [50] L. Desvallées, “Low-carbon retrofits in social housing: Energy efficiency, multidimensional energy poverty, and domestic comfort strategies in southern Europe,” *Energy Res. Soc. Sci.*, vol. 85, p. 102413, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102413>.

- [51] R. Barrella, J. I. Linares, J. C. Romero, E. Arenas, and E. Centeno, "Does cash money solve energy poverty? Assessing the impact of household heating allowances in Spain," *Energy Res. Soc. Sci.*, vol. 80, p. 102216, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102216>.
- [52] V. Baloti, C. Tzimopoulos, and C. Evangelides, "Multi-Criteria Decision Making Using TOPSIS Method Under Fuzzy Environment. Application in Spillway Selection," *Proceedings*, vol. 2, no. 11. 2018, doi: 10.3390/proceedings2110637.
- [53] Cabinet of Ministers, "Regulations Regarding the Energy Efficiency Requirements for Centralised Heating Supply Systems in the Possession of a Licensed or Registered Energy Supply Merchant, and the Procedures for Conformity Examination Thereof," 2016. <https://likumi.lv/ta/en/en/id/281914>.