



RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Būvniecības inženierzinātņu fakultāte
Siltuma, gāzes un ūdens tehnoloģijas institūts

Dzintars Grasmanis

Doktora studiju programmas “Siltuma Gāzes un ūdens tehnoloģija” doktorants

DAUDZDZĪVOKĻU ĒKU KARSTĀ ŪDENS SISTĒMU ENERGOEFEKTIVITĀTES NOVĒRTĒJUMS

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskais vadītājs
asoc. profesors *Dr. sc. ing.*
Aldis Greķis

RTU Izdevniecība

Rīga 2018

Grasmanis Dz. Daudzdzīvokļu ēku karstā ūdens sistēmu
energoefektivitātes novērtējums. Promocijas darba
kopsavilkums. Rīga: RTU Izdevniecība, 2018. 25 lpp.

ISBN 978-9934-22-192-7 (print)
ISBN 978-9934-22-193-4 (pdf)

**PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS INŽENIERZINĀTŅU DOKTORA GRĀDA
IEGŪŠANAI
RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ**

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2018. gada 13. decembrī Rīgas Tehniskās universitātes Konferenču zālē Āzenes ielā 6, Rīgā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Dr. sc. ing. Kristina Ļebedeva, Rīgas Tehniskā universitāte

Dr. phys. Staņislavs Gendelis, Latvijas Universitāte

Dr. sc. ing. Gaidis Klāvs, Fizikālās enerģētikas institūts

APSTIPRINĀJUMS

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

Dzintars Grasmanis _____ (Paraksts)

Datums: _____

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, tajā ir ievads, piecas nodaļas, secinājumi, pielikums, literatūras saraksts, 58 attēli, 19 tabulu, kopā 102 lappuses. Literatūras sarakstā ir 101 nosaukums.

Satura rādītājs

Ievads	4
1. Daudzdzīvokļu dzīvojamo ēku sadzīves karstā ūdens sistēmu energoefektivitātes novērtējums	7
1.1. Materiāli un metodes	7
1.2. Ūdens patēriņa raksturojums	8
1.3. Enerģijas patēriņa novērtējums sadzīves karstā ūdens sistēmā	10
1.4. Siltumenerģijas zudumu aprēķins balstoties uz karstā ūdens cauruļvadu faktiskajām fizikālām īpašībām	13
1.5. Siltuma zudumu sadalījums karstā ūdens cirkulācijas cilpas sekcijās	17
1.6. Papildenerģijas novērtējums sadzīves karstā ūdens sistēmai	18
2. Ieteikumi sadzīves karstā ūdens sistēmas energoefektivitātes aprēķina modelim	19
3. Sadzīves karstā ūdens sistēmu siltuma zudumu ekonomiskā ietekme	21
Secinājumi	22
Publikāciju saraksts	25

Ievads

Tēmas aktualitāte

Daudzdzīvokļu dzīvojamā ēku sektors ir viens no lielākajiem centralizētā siltuma patērētājiem Latvijā. Dzīvojamais sektors Latvijā patērē 70 % no visa centralizētajās siltumapgādes sistēmās saražotā siltuma. Centralizētai siltumapgādei pieslēgtām daudzdzīvokļu dzīvojamām mājām Rīgā siltumenerģijas patēriņš karstā ūdens sistēmā ir 51 kWh/m²/gadā (uz dzīvokļu platību) jeb 27 % no kopējā siltumenerģijas patēriņa šajās ēkās.

Eiropas energoefektivitātes politikas mērķu sasniegšanai izstrādātā Ēku energoefektivitātes direktīva nosaka veikt ēku energosertificēšanu. Saskaņā ar Eiropas Komisijas pilnvaru jeb mandātu ir izstrādāti un pieņemti vairāki desmiti Eiropas (*CEN*) standarti Ēku energoefektivitātes novērtēšanai. *CEN* standarti paredz, ka standartu piemērošana katrai ES dalībvalstij jāveic nacionālā līmenī, ņemot vērā nacionālos (valsts vai reģionālos) klimatiskos apstākļus. Latvijas standarta statusā (*LVS*) adaptētie *CEN* standarti nav papildināti ar nacionāliem pielikumiem, kas būtu nepieciešami pilnvērtīgai standartu lietošanai nacionālā līmenī.

Agrāki pētījumi, kas veikti dažādās Eiropas valstīs, Ķīnā, Japānā, ASV, Kanādā norāda uz virkni karstā ūdens lietošanas un patēriņa atšķirībām, kā arī tendenci laika gaitā mainīties, tehnoloģiju attīstības, globālo un lokālo enerģijas cenu izmaiņu, individuālas patēriņa uzskaites ieviešanas, kā arī citu faktoru dēļ, kas var darboties gan lokālā, gan reģionālā mērogā. Atšķirības reģionālā vai lokālā mērogā var izpausties, piemēram, pēc labklājības līmeņa, gadalaika vai pilsētu un lauku iedzīvotāju atšķirīgā dzīves veida dēļ. Pēdējās desmitgadēs būtiskas karstā ūdens patēriņa izmaiņas novērotas Austrumeiropas valstīs. Pētījumos Igaunijā konstatēts, ka pēdējo 30 gadu laikā karstā ūdens patēriņš mājāsaimniecībās ir samazinājies vairāk nekā trīs reizes, un iemesls tam ir patēriņa uzskaites ieviešana, enerģijas cenu pieaugums un energoefektivitātes pasākumu īstenošana ēkās. Latvijā veiktā pētījumā par karstā ūdens patēriņa profiliem daudzdzīvokļu ēkās secināts, ka faktiskās karstā ūdens patēriņa slodzes ir divas reizes mazākas nekā normatīvās. Vienlaikus sadzīves karstā ūdens vajadzību nodrošināšanai patērētā enerģija mājāsaimniecību un dažos citos ēku sektoros veido būtisku ēku enerģijas bilances daļu. Liels enerģijas izlietojums var veidoties gan karstā ūdens patēriņam, gan arī karstā ūdens cirkulācijas dēļ.

Zinātniskajā un tehniskajā literatūrā pieejama plaša un daudzveidīga informācija par karstā ūdens sistēmām, patēriņa profiliem, tehnoloģijām un risinājumiem. Tomēr, neskatoties uz plaši pieejamo izziņas materiālu klāstu, ņemot vērā mainīgos politiskos, ekonomiskos,

tehnoloģiskos un normatīvos apstākļus, saglabājas nepieciešamība veikt arvien jaunus pētījumus karstā ūdens sistēmu izpētes jomā, tostarp – ņemot vērā lokālus vai reģionālus faktorus.

Darba mērķis

Promocijas darbs izstrādāts ar mērķi novērtēt *CEN* standartu piemērotību Latvijas apstākļiem un atrast optimālākos risinājumus (paņēmienus un standartvērtības) ēkas sadzīves karstā ūdens sistēmas energoefektivitātes rādītāju aprēķināšanai ēkas energosertificēšanai. Precīza ēkas enerģijas bilances sastādīšana ir pamats pareizai energoefektivitātes rādītāju novērtēšanai.

Risināmie uzdevumi

Parasti daudzdzīvokļu dzīvojamās ēkās Latvijā patērētās siltumenerģijas uzskaitē ir kopīgs skaitītājs apkurei un karstā ūdens sagatavošanai. Līdz ar to, veicot ēkas energoefektivitātes rādītāju aprēķināšanu, nepieciešams novērtēt sadzīves karstā ūdens patēriņa daudzumu, kā arī šim patēriņam nepieciešamo siltuma enerģijas daudzumu un siltuma enerģijas zudumus ūdens sadales un cirkulācijas cauruļvados. Pētījumā veikts siltumenerģijas patēriņa novērtējums apkures un karstā ūdens apgādes sistēmās daudzdzīvokļu dzīvojamās ēkās, t. sk.: 1) sadzīves karstā ūdens tilpuma un tam nepieciešamās enerģijas patēriņa novērtējums; 2) siltuma zudumu novērtējums karstā ūdens sadales sistēmā apkures un bezapkures periodā; 3) papildenerģijas (elektroenerģijas) novērtējums sadzīves karstā ūdens sistēmā.

Pētījumā pārbaudīta eksperimentālā veidā iegūto rezultātu un ar standartos noteiktām aprēķina metodēm iegūto rezultātu atbilstība, kā arī standartu metožu piemērotība Latvijas apstākļiem.

Pētījuma metodika

Pētījumā veikts siltumenerģijas un karstā ūdens patēriņa datu analīze centralizētās siltumapgādes tīkliem pieslēgtām, pēc tipveida projektiem 20. gadsimta 60.–90. gados būvētām 39 daudzdzīvokļu dzīvojamām ēkām Rīgā ar kopējo dzīvokļu platību 158 tūkst. m² un 57 ēkām Bauskā ar kopējā dzīvokļu apkurināmo platību 91 tūkst. m².

Izmantojot *CEN* standartos ēku energoefektivitātes jomā noteiktās metodes, veikts sadzīves karstā ūdens sistēmas enerģijas patēriņa un energoefektivitātes rādītāju novērtējums.

Zinātniskā novitāte

Darbā pārbaudītas *CEN* standartos noteiktās aprēķina metodes sadzīves karstā ūdens sistēmu energoefektivitātes novērtēšanai un piedāvāta Latvijas apstākļiem piemērota aprēķina metode.

Praktiskā vērtība

Pētījuma dati sniedz vērtējumu par raksturīgu karstā ūdens patēriņu un energoefektivitātes rādītājiem daudzdzīvokļu dzīvojamās mājās.

Pētījumā iegūti ar mērījumiem pamatoti dati un rezultāti, kas izmantojami Latvijas apstākļiem piemērotas sadzīves karstā ūdens sistēmu energoefektivitātes rādītāju aprēķināšanas metodes izveidei un ēku energoefektivitātes standartu adaptācijai nacionālā līmenī. Pētījumā iegūtie rezultāti ļauj novērtēt iespējamo sadzīves karstā ūdens sistēmas uzlabošanas pasākumu enerģētisko un ekonomisko lietderību.

Promocijas darba rezultātu aprobācija

Promocijas darba rezultāti atspoguļoti deviņās zinātniskās publikācijās, kā arī par tiem ziņots astoņās starptautiskās konferencēs.

1. Daudzdzīvokļu dzīvojamo ēku sadzīves karstā ūdens sistēmu energoefektivitātes novērtējums

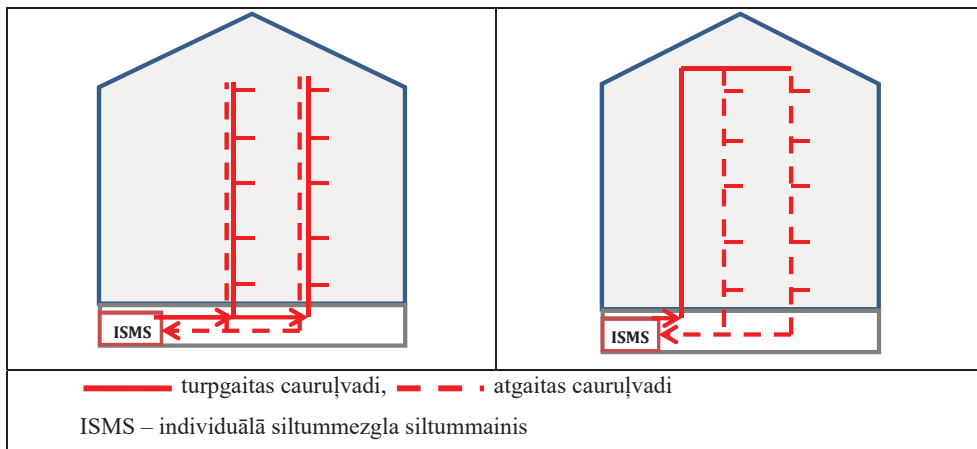
1.1. Materiāli un metodes

Pētījumā veikta siltumenerģijas un karstā ūdens patēriņa datu analīze daudzdzīvokļu dzīvojamās ēkās. Ņemot vērā, ka atsevišķu mājsaimniecību līmenī ūdens patēriņam var būt ievērojamas atšķirības, pētījumā atlasītas pēc tipveida projektiem būvētas daudzdzīvokļu ēkas ar lielu dzīvokļu skaitu, tādā veidā panākot kopējo rādītāju izlīdzinājumu, lai ar augstāku ticamību raksturotu daudzdzīvokļu dzīvojamo ēku sektoru. Atlasītajām ēkām ir daudzdzīvokļu dzīvojamām ēkām raksturīgs siltumenerģijas gada patēriņš (vidējā patēriņa robežās), un ēkas ir pastāvīgi ekspluatētas ilgāku laika periodu bez būtiskas pārbūves, izņemot ēku siltummezglus, kas vairumam pētījumā iekļauto ēku modernizēti pirms 10–15 gadiem. Pētāmajās ēkās kopējais siltumenerģijas patēriņš (uz dzīvokļu platību) ir no 164 līdz 225 kWh/m²/gadā ēkās Rīgās un no 155 līdz 245 kWh/m²/gadā ēkās Bauskā.

Pētījums aptver trīs līdz divpadsmitstāvu daudzdzīvokļu ēkas Rīgā un Bauskā. 39 daudzdzīvokļu ēku Rīgā kopējā dzīvokļu apkurināmā platība ir 158 194 m², ēkās izvietotas 3359 mājsaimniecības (dzīvokļi), un tās apdzīvo 7139 iedzīvotāji. 57 daudzdzīvokļu ēku Bauskā kopējā dzīvokļu apkurināmā platība ir 91 001 m², ēkās izvietotas 3167 mājsaimniecības (dzīvokļi). Pētījuma autoram nav pieejami dati par iedzīvotāju skaitu ēkās Bauskā. Apskatāmās ēkas celtas pēc sērijveida ēku tipveida projektiem 20. gadsimta 60.–90. gados.

Pētījumā aptvertajām ēkām siltuma avots ir centralizētās siltumapgādes uzņēmumu tīkli. Visas ēkas ir aprīkotas ar individuālu siltuma mezglu (ISM), kopīgu siltuma skaitītāju, kā

arī skaitītājiem aukstā un karstā ūdens patēriņa uzskaitēi. Ēku siltummezgli nodrošina karsto ūdeni 50–55 grādu temperatūrā neatkarīgi no ūdens patēriņa. Siltuma enerģijas uzskaitē ir kopīga apkures sistēmai un kastā ūdens sistēmai. Karstā ūdens sadales sistēmas ar cirkulāciju shēmas redzamas 1.1. attēlā. Vairumam ēku sēriju, izņemot 104. sērijas divpadsmitstāvu ēkas, cirkulācijas sistēmu veido vairākas cirkulācijas cilpas ar t. s. apakšējo sadali, t. i., ar sadali pa dzīvokļiem no turpgaitas cauruļvada. 104. sērijas divpadsmitstāvu ēkām cirkulācijas sistēmai ir viens turpgaitas cauruļvads, un sadali veido vairāki no augšas ejoši cauruļvadi.



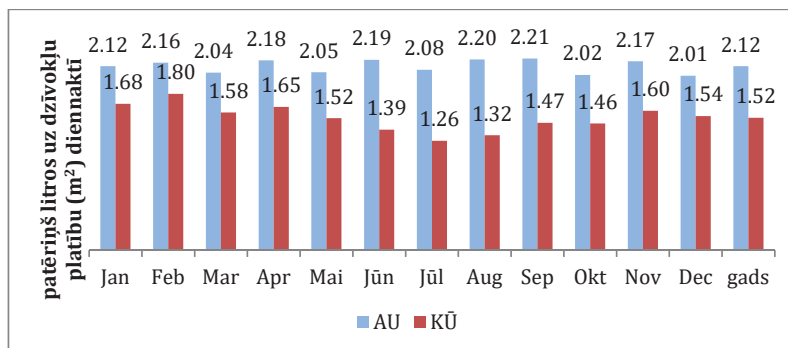
1.1. att. Karstā ūdens sadales sistēmas ar cirkulāciju shēma ar apakšējo sadali (pa kreisi) un augšējo sadali (pa labi).

Ēku energoefektivitātes jomā pieņemtie Eiropas standarti aptver dažādas sfēras – tostarp sadzīves karstā ūdens sistēmas. Aprēķina modelis enerģijas patēriņa aprēķināšanai ēku sadzīves karstā ūdens apgādes sistēmās ir noteikts standartos: 1) LVS EN 15316-1 – Ēku apkures sistēmas. Sistēmu energoprasību un efektivitātes aprēķināšanas metodika. 1. daļa: Vispārīgi (EN 15316-1); 2) LVS EN 15316-3-1 – Ēku apkures sistēmas. Sistēmu energoprasību un efektivitātes aprēķināšanas metodika. 3-1. daļa: Sadzīves karstā ūdens sistēmas: (lietošanas) pieprasījuma raksturojums (EN 15316-3-1); 3) LVS EN 15316-3-2 – Ēku apkures sistēmas. Sistēmu energoprasību un efektivitātes aprēķināšanas metodika. 3-1. daļa: Sadzīves karstā ūdens sistēmas: sadale (EN 15316-3-2).

1.2. Ūdens patēriņa raksturojums

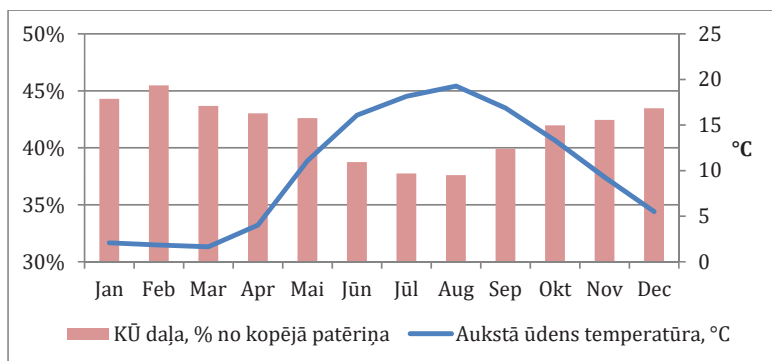
Aprēķinot patēriņa datus uz dzīvojamo ēku platību par 22 ēkām Rīgā, konstatējams, ka gada vidējais ūdens patēriņš pētāmajās ēkās ir 3,64 litri uz m² diennaktī, tajā skaitā aukstā ūdens patēriņš 2,12 litri, karstā ūdens patēriņš 1,52 litri. Vidējā diennakts patēriņa dati pa mēnešiem

redzami 1.2. attēlā. Attēls parāda, ka vasaras periodā karstā ūdens patēriņš samazinās un aukstā ūdens patēriņš pieaug.



1.2. att. Aukstā un karstā ūdens diennakts patēriņš daudzdzīvokļu dzīvojamās ēkās (litri dienā) uz dzīvojamās platības kvadrātmetru vidēji pa mēnešiem un vidēji gadā.

Gada periodā karstā ūdens patēriņa daļa ir 41,8 % no kopējā ūdens patēriņa, apkures periodā – 43,9 %, bezapkures periodā – 39,4 %. Karstā ūdens patēriņa daļa no kopējā ūdens patēriņa pa mēnešiem parādīta 1.3. attēlā. Šāda karstā un aukstā ūdens patēriņa daļu variācija skaidrojama ar aukstā ūdens piegādes temperatūras svārstībām gada griezumā. Palielinoties piegādātā aukstā ūdens temperatūrai (vasaras periodā), samazinās nepieciešamā karstā ūdens daudzuma daļa, bet ziemas periodā, kad piegādātā aukstā ūdens temperatūra ir zemāka, nepieciešamā karstā ūdens daļa palielinās. Karstā ūdens patēriņš bezapkures periodā ir 94 % no gada vidējā patēriņa, apkures periodā 106 % no gada vidējā patēriņa.



1.3. att. Karstā ūdens patēriņa daļa (procentos) no kopējā ūdens patēriņa dzīvojamās ēkās un aukstā ūdens piegādes temperatūra pa mēnešiem.

Karstā ūdens patēriņa raksturojums sniegts 1.1. tabulā un parāda ūdens patēriņa rādītājus litros diennaktī uz dzīvokļa platības kvadrātmetru, uz mājsaimniecību (dzīvokli) un uz vienu iedzīvotāju, tabulā norādīts arī attiecīgo raksturvērtību determinācijas koeficients (R^2), kas raksturo attiecīgo sakarību savstarpēju ciešumu (jo koeficients ir tuvāks vērtībai 1, jo sakarības ir ciešāka). Likumsakarīgi, ka karstā ūdens patēriņam uz iedzīvotāju ir visaugstākā ciešsakarība ($R^2 = 0,94$).

1.1. tabula

Karstā ūdens patēriņa raksturlielumi

		Minimums	Maksimums	Vidēji	Determinācijas koeficients R^2
Karstā ūdens patēriņš, litri diennaktī					
uz dzīvokļu platības m^2	Rīga	1,10	2,73	1,86	0,90
	Bauska	1,01	3,53	1,54	0,84
uz dzīvokli (mājsaimniecību)	Rīga	55,7	142,6	94,0	0,88
	Bauska	40,0	121,3	73,1	0,81
uz iedzīvotāju	Rīga	24,2	60,2	41,0	0,94

Salīdzinot karstā ūdens patēriņa rādītājus pētāmajās ēkās ar standarta EN 15316-3-1 A pielikumā dotajām standartvērtībām, secināms, ka karstā ūdens patēriņa vidējā vērtība 41,0 litri dienā uz iedzīvotāju ir tuva standartvērtībai 36,0, kas dota standarta pielikuma tabulā A.1 ‘Ūdens patēriņa programma Nr. 1’. Taču karstā ūdens patēriņš būtiski atšķiras no vērtībām, kas noteiktas Latvijas būvnormatīvā LBN 221-15 „Ēku iekšējais ūdensvads un kanalizācija” 4. pielikuma 1.6.–1.8. apakšpunktā, kur tās noteiktas no 85 līdz 105 litri uz iedzīvotāju diennaktī. LBN 221-15 noteiktās vērtības ir ekvivalentas bijušās PSRS standartā *CHuII 2.04.01-85 «Внутренний водопровод и канализация зданий»* noteiktajām vērtībām.

Konstatētie karstā ūdens patēriņa daudzumi arī uz vienu mājokli ir mazāki nekā standarta EN 15316-3-1, kur: ‘Ūdens patēriņa programma Nr. 2’ nosaka 100,2 litrus diennaktī uz mājsaimniecību, ‘Ūdens patēriņa programma Nr. 3’ nosaka 199,8 litrus diennaktī uz mājsaimniecību.

1.3. Enerģijas patēriņa novērtējums sadzīves karstā ūdens sistēmā

Lai aprēķinātu izlietoto enerģijas daudzumu karstā ūdens patēriņam un karstā ūdens cirkulācijai, pētījumā izmantoti dati par siltumenerģijas patēriņu ēkā bezapkures periodā (no maija līdz septembrim).

Kopējo siltumenerģijas patēriņu Q apskatāmajās ēkās veido enerģijas summa apkures vajadzībām, karstā ūdens patēriņam un siltumenerģijas zudumi karstā ūdens cirkulācijai sadales cilpā.

$$Q = Q_H + Q_W + Q_{W,cirk} \quad , \quad (1.1)$$

kur Q – kopējais siltumenerģijas patēriņš apkures un karstā ūdens sistēmās kWh; Q_H – siltumenerģijas patēriņš apkures vajadzībām, kWh; Q_W – siltumenerģija karstā ūdens patēriņam, kWh; $Q_{W,cirk}$ – siltumenerģijas zudumi karstā ūdens cirkulācijas cilpā, kWh.

Enerģijas patēriņu karstā ūdens uzsildīšanai Q_w aprēķina periodā nosaka, izmantojot formulu:

$$Q_w = V_w \frac{\rho_w C_w}{3600} (\theta_{w,del} - \theta_{w,o}) \quad , \quad (1.2)$$

kur Q_w – enerģijas patēriņš karstā ūdens uzsildīšanai, kWh; V_w – karstā ūdens patēriņš periodā, m³; ρ_w – ūdens blīvums pie karstā ūdens temperatūras $\theta_{w,o}$, kg/m³; C_w – ūdens īpatnējā siltumietilpība, J/kg K; $\theta_{w,del}$ – aukstā ūdens temperatūra, °C; $\theta_{w,o}$ – karstā ūdens temperatūra, °C; 3600 – konversijas koeficients, lai ņemtu vērā pāreju no džouliem uz kilovatstundām.

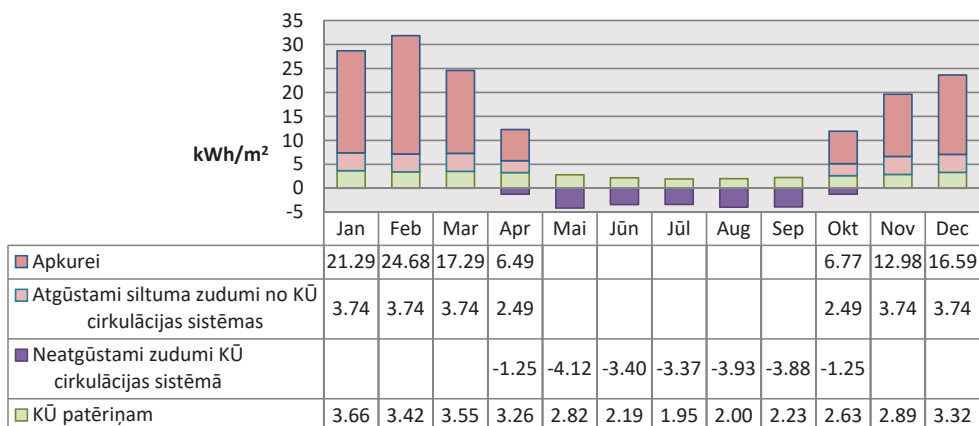
Pētījumā aprēķini veikti, izmantojot faktiskās mēneša vidējās aukstā ūdens temperatūras. Salīdzinājumam, izmantojot sezonālās (apkures un bezapkures perioda) vidējās aukstā ūdens temperatūras vai LBN 221 noteiktās aukstā ūdens temperatūras, ietekme uz rezultātu ir 2 % robežās. Izmantojot gada vidējās temperatūras (gan LBN 221, gan EN 15316-3-1), ietekme uz rezultātiem ir lielāka un atsevišķās pozīcijās pārsniedz 10 %.

Zinot karstā ūdens patēriņam nepieciešamo enerģijas daudzumu bezapkures periodā, var aprēķināt siltumenerģijas patēriņu karstā ūdens cirkulācijas cilpā. Aprēķinos iegūtas raksturīgas mēneša vidējās vērtības īpatnējam enerģijas patēriņam karstā ūdens vajadzībām (patēriņam), karstā ūdens cirkulācijas sistēmā un apkures sistēmā uz dzīvokļa platību ēkām Rīgā (1.4. att.).

Aprēķini dažāda sēriju tipveida ēkām parāda, ka kopējie siltumenerģijas zudumi karstā ūdens cirkulācijas cilpā robežojas no 28,9 kWh līdz 65,2 kWh uz dzīvokļa platības m² gadā, ēkām Rīgā vidēji 45,4 kWh uz dzīvokļa platības m² gadā, ēkām Bauskā vidēji 53,5 kWh uz dzīvokļa platības m² gadā.

Vērtējot dažāda sēriju tipveida ēkām siltumenerģijas zudumus karstā ūdens cirkulācijas cilpā uz dzīvokļa vienību, konstatēts, ka tie ir no 1,1 MWh līdz 3,0 MWh uz dzīvokli gadā (0,10 MWh līdz 0,25 MWh mēnesī), ēkām Rīgā vidēji 2,28 MWh uz dzīvokli gadā (0,18 MWh mēnesī), ēkām Bauskā vidēji 2,58 MWh uz dzīvokli gadā (0,21 MWh uz dzīvokli mēnesī).

Konstatētās mēneša patēriņa vērtības vairumam ēku būtiski pārsniedz Rīgas pilsētā norēķinos ieteikto vērtību 0,1 MWh uz dzīvokli mēnesī.



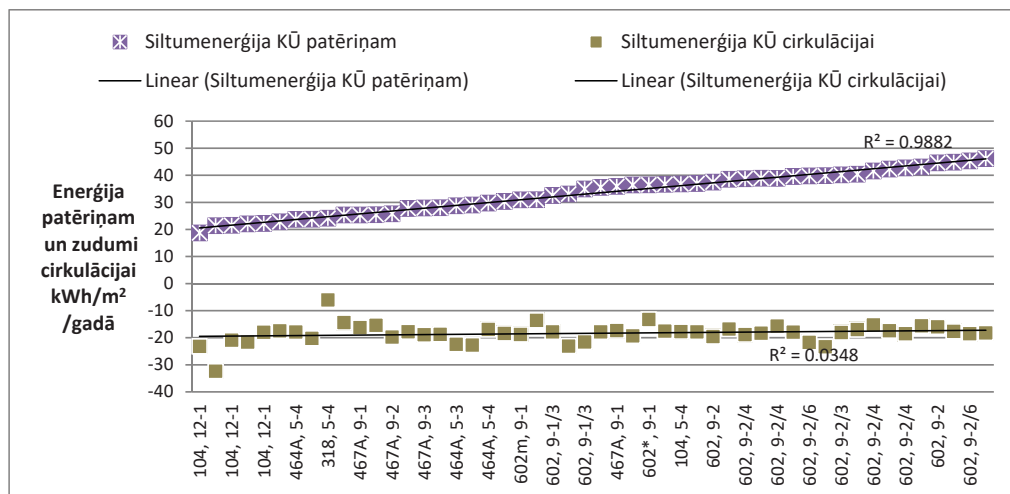
1.4. att. Siltumenerģijas sadalījums ēkas apkurei, karstā ūdens patēriņam un karstā ūdens cirkulācijas sistēmā pa mēnešiem uz dzīvokļa kvadrātmetru (39 ēkām Rīgā).

Apkures periodā karstā ūdens cirkulācijas sistēmas enerģijas zudumi ir atgūstami apkures vajadzībām. Līdz ar to apkures periodā karstā ūdens cirkulācijas sistēmas enerģijas zudumi kopējā ēkas enerģijas bilancē ir ēkas siltuma ieguvumi.

Bezapkures periodā, kad viss siltumenerģijas patēriņš veidojas tikai karstā ūdens sistēmā, pētāmajās ēkās Rīgā raksturīgi siltumenerģijas zudumi karstā ūdens cirkulācijai bija robežās no 35 līdz 79 % (vidēji 56 %) no kopējā attiecīgā perioda enerģijas patēriņa jeb no 14,9 līdz 25,6 (vidēji 20,2) kWh/m² periodā.

Siltuma zudumiem karstā ūdens cirkulācijas sistēmā ciešākā sakarība veidojas pret dzīvokļu apkurināmo platību, taču sakarības ciešums siltuma zudumiem novērojams arī attiecībā pret dzīvokļu skaitu, kā arī cirkulācijas cilpu skaitu. Vienlaikus iegūtie rezultāti liecina, ka nepastāv ciešsakarības starp siltuma zudumiem karstā ūdens cirkulācijas cilpā un tādiem ēkas raksturlielumiem kā: dzīvokļu platība, dzīvokļu skaits, iedzīvotāju skaits, t. i., raksturlielumiem, kas veido ciešu savstarpēju korelāciju ar sadzīves karstā ūdens patēriņa daudzumu. Lai labāk demonstrētu to, ka starp karstā ūdens sistēmas energopatēriņu veidojošām komponentēm – 1) siltumenerģiju karstā ūdens patēriņš un 2) siltumenerģijas zudumi karstā ūdens cirkulācijas cilpā – neveidojas savstarpējas ciešsakarības, 1.5. attēlā dati sarindoti pēc siltumenerģijas patēriņa

karstā ūdens patēriņam augošā secībā. Attēlos informatīvi norādītas pētījumā ietverto ēku tipveida projekta sērijas apzīmējums.



1.5. att. Īpatnējais siltuma enerģijas patēriņš karstā ūdens patēriņam, siltuma zudumi karstā ūdens cirkulācijas cilpā (39 ēkām Rīgā).

1.4. Siltumenerģijas zudumu aprēķins, balstoties uz karstā ūdens cauruļvadu faktiskajām fizikālām īpašībām

Siltumenerģijas zudumu novērtējums karstā ūdens sadales sistēmā, kas novērtēts, balstoties uz faktiski izmērītajiem datiem par siltumenerģijas un karstā ūdens patēriņu ēkā (skat. 1.3. sadaļu), pētījumā salīdzināts ar rezultātiem, kas iegūti, izmantojot šādas standartmetodes:

- 1) siltumenerģijas zudumu aprēķins, balstoties uz standarta EN 15316-3-2 6.3.2. p. aprakstīto metodi, kas pamatojas uz karstā ūdens cauruļvadu fizikālām īpašībām, izmantojot standarta D pielikumā dotās standartvērtības;
- 2) siltumenerģijas zudumu aprēķins, balstoties uz standarta EN 15316-3-2 6.3.2. punktā aprakstīto metodi, kas pamatojas uz karstā ūdens cauruļvadu fizikālām īpašībām un autora piedāvātajām formulām un vērtībām, kas atšķiras no standarta D pielikumā dotajām standartvērtībām.

Kopējos siltumenerģijas zudumus karstā ūdens sistēmas cirkulācijas cilpā, ko veido cauruļvadu sekcijas i , nosaka saskaņā ar formulu:

$$Q_{w,dis,ls,col} = \sum_i Q_{w,dis,ls,col,i} = \sum_i \Psi_{w,i} L_{w,i} (\theta_{w,dis,avg,i} - \theta_{amb,i}) t_w, \quad (1.3)$$

kur $Q_{w,dis,ls,col,i}$ – cauruļvadu sekcijas i lineāra siltuma plūsma karstā ūdens cirkulācijas laikā, Wh (periodā); $\Psi_{w,i}$ – cauruļvadu sekcijas i lineārais siltuma caurlaidības koeficients,

($W/(m \cdot K)$); $L_{w,i}$ – cauruļvadu sekcijas i garums (m), $\Theta_{w,dis,avg,i}$ – vidējā karstā ūdens temperatūra cauruļvada sekcijā i ($^{\circ}C$); $\Theta_{amb,i}$ – vidējā temperatūra ap cauruļvada sekciju i ($^{\circ}C$); t_w – aprēķina perioda ilgums pie atbilstošās karstā ūdens temperatūras $\Theta_{w,dis,avg,i}$ (stundas).

Karstā ūdens cirkulācijas sistēmai pētāmajās ēkās ir šādas pazīmes: a) vertikāla sadale ar zināmu cirkulācijas cilpu skaitu katrā sekcijā (atšķiras atkarībā no ēkas sērijas tipveida projekta); b) cirkulācijas cilpa darbojas nepārtraukti visu diennakti; c) karstā ūdens cirkulācijas sistēmai katra dzīvokļa vannas istabā ir viens divieļu žāvētājs.

Karstā ūdens cirkulācijas cilpa sastāv no trīs dažādām sekcijām: V – sadales cauruļvadi no siltummaiņas pagrabstāvā līdz vertikālās sadales cauruļvadiem; S – sadales cirkulācijas cilpas cauruļvadi apkurināmajā ēkas zonā (dzīvokļos): vertikālie cirkulācijas cilpas cauruļvadi ($S1$) un individuālie divieļu žāvētāji dzīvokļos ($S2$); I – individuālie sadales cauruļvadi līdz ūdens lietošanas ierīcēm dzīvokļos. Siltuma zudumi individuālos sadales cauruļvados neietekmē kopējās cirkulācijas sistēmas zudumus. Siltumenerģijas zudumi ūdens lietošanas pievadā gala lietošanas punktā ir daļa no siltumenerģijas, kas nepieciešama karstā ūdens patēriņam.

Izvērtējot pēc tipveida projektiem būvētu dažādu sēriju daudzdzīvokļu dzīvojamo ēku tehniskās īpašības, aprēķinos pieņemti aprēķina parametri un unificētas formulas cauruļvadu garumu aprēķināšanai katrā karstā ūdens cirkulācijas cilpas sekcijās (1.2. tabula). Salīdzinājumam 1.2. tabulā norādītas arī standarta EN 15316-3-2 pielikumā D noteiktās standartvērtības un formulas.

Lai salīdzinātu dažādus aprēķina modeļus, pēc tiem aprēķināto rezultātu salīdzināšana veikta ar vienādiem temperatūru parametriem, t. i., izmantojot vienādas faktiskās ūdens temperatūras cauruļvadu sekcijās un vienādas vides temperatūras ap cauruļvadu sekcijām. Alternatīvā aprēķinā no standarta EN 15316-3-2 D pielikuma izmantotas tikai standartvērtības lineāram siltuma caurlaidības koeficientam cauruļvadu sekcijās un formulas cauruļvadu sekciju garumu aprēķinam. Šāda pieeja dod iespēju precīzāk salīdzināt autora piemēroto aprēķina metodi ar standarta EN 15316-3-2 metodi.

Pētāmām ēkām atbilstoši standarta nosacījumiem lineārais siltuma caurlaidības koeficients cauruļvadu sekcijā S ir jāpieņem vienāds ar $3,0 W/(m \cdot K)$. Aprēķini parādīja, ka ar šo vērtību iegūtie rezultāti būtiski (vidēji četras reizes pārsniedza ar mērījumiem pamatotus rezultātus) atšķīrās no faktiskajiem rezultātiem, kas pamatoti ar mērījumiem iegūtiem datiem. Rezultāti ļauj secināt, ka standartā EN 15316-3-2 metodē piedāvātās lineārā siltuma caurlaidības koeficienta vērtība nav piemērota cirkulācijas zudumu novērtēšanai karstā ūdens sistēmā. Šīs būtiskās neatbilstības novēršanai visos gadījumos lineārā siltuma caurlaidības

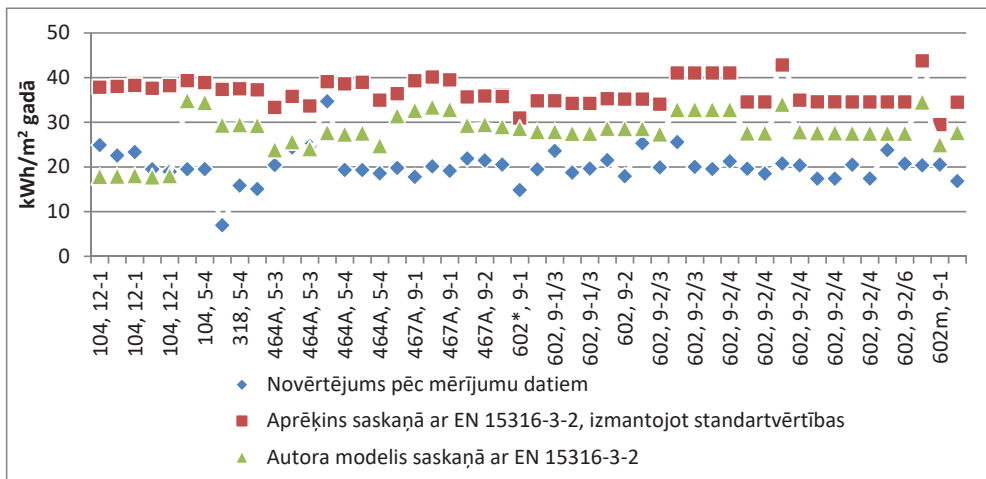
koeficienta cauruļvadu sekcijās S vērtība pieņemta $1,0 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, kas ir arī vistuvākā faktiskai vērtībai pētāmajās ēkās. Cauruļvadu sekciju garuma novērtējumā faktiskās un standarta modeļa atšķirības ir mazāk būtiskas – cauruļvadu posmiem (V) pagrabstāvā saskaņā ar standartu aprēķinātais garums ir 50 % līdz 90 % no faktiskā, savukārt pārējos posmos (S) konstatēta atšķirība ir 110 % līdz 320 % robežās.

1.2. tabula

Aprēķina parametri un formulas siltuma zudumu aprēķināšanai karstā ūdens sadales cauruļvadu cirkulācijas cilpas sekcijās

Standarta EN 15316-3-2 pielikumā D noteiktās standartvērtības	Promocijas darbā izstrādātais aprēķina modelis
Cauruļvadu tehniskās īpašības pa sekcijām,	
V – siltināta, $\Psi = 0,4 \text{ (W/m}\cdot\text{K)}$ S – nesiltināta, neiebūvēta, $\Psi = 1,0\text{--}3,0 \text{ (W/m}\cdot\text{K)}$ (aprēķinos izmantota vērtība $\Psi = 1,0 \text{ (W/m}\cdot\text{K)}$)	V – tērauda, siltināta, $\Psi = 0,4 \text{ (W/m}\cdot\text{K)}$ $S_1, S_{1,up}, S_{1,down}$ – tērauda, nesiltināta, $\Psi = 1,0 \text{ (W/m}\cdot\text{K)}$ S_2 – tērauda, nesiltināta (divieļu žāvētāji), $\Psi = 1,0 \text{ (W/m}\cdot\text{K)}$
Cauruļvadu garums cirkulācijas cilpas sekcijās (m)	
Visām ēku sērijām: $L_V = 2L_B + 0,0125 L_B B_B$ $L_S = 0,075 L_B B_B n_f h_f$	Visām ēku sērijām, izņemot divpadsmitstāvu 104. sēriju: $L_V = 2L_B + B_B n_{B,dis,col}$ $L_{S,1} = 2L_B n_f h_f n_{B,dis,col}$ $L_{S,2} = n_{dwelling} L_{towel rail}$ Divpadsmitstāvu 104. sērijas ēkai: $L_V = L_B + B_B n_{B,dis,col}$ Augšupejošs (viens) stāvvads $L_{S1,up}$ $L_{S1,up} = L_B n_f h_f 1$ Lejupejoši stāvvadi $L_{S1,down}$ $L_{S1,down} = L_B n_f h_f n_{B,dis,col}$ $L_{S2} = n_{dwelling} L_{towel rail}$
Ψ – lineārais siltuma caurlaidības koeficients ($\text{W/m}\cdot\text{K}$); L_B – ēkas lielākais ārējais garums (m), B_B – ēkas lielākais ārējais platums (m), n_f – apdzīvojamo (apkurināmu) stāvu skaits; $n_{B,dis,col}$ – cirkulācijas cilpu skaits ēkā; h_f – apkurināma stāva augstums (m); $n_{dwelling}$ – dzīvokļu skaits ēkā; $L_{towel rail}$ – vidējais divieļu žāvētāja cauruļvada garums dzīvoklī (m).	
Aprēķinos izmantotā karstā ūdens vidējā temperatūra cirkulācijas cilpā $52 \text{ }^\circ\text{C}$, vidējā vides temperatūra ap sekcijas cauruļvadiem $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Aprēķina periods: 24 stundas x 162 dienas. Standartā noteiktā karstā ūdens temperatūra $60 \text{ }^\circ\text{C}$ aprēķinos nav izmantota, un temperatūra ap sekcijas cauruļvadiem $22 \text{ }^\circ\text{C}$ aprēķinos nav izmantotas.	

Pēc visām trim metodēm iegūto rezultātu salīdzinājums sniegts 1.6. attēlā. Pētījumā konstatēts, ka pēc dažādu sēriju tipveida projektiem būvētām ēkām siltuma zudumi karstā ūdens cirkulācijas cilpā ir atšķirīgi.



1.6. att. Karstā ūdens sistēmas cirkulācijas siltuma zudumu novērtējums pēc dažādām vērtēšanas metodēm ēkām Rīgā.

Autoraprāt, visprecīzākie novērtējuma rezultāti iegūstami, balstoties uz faktiski izmērītajiem siltumenerģijas un karstā ūdens tilpuma patēriņa datiem, kas ēkām Rīgā robežojās no 14,9 līdz 25,6 (vidēji 20,1) kWh/ m²/periodā (162 dienas bezapkaures periodā), ēkām Bauskā no 12,8 līdz 36,7 (vidēji 23,7) kWh/ m²/periodā.

Aprēķinos iegūtie rezultāti, kas pamatoti ar karstā ūdens sistēmas tehniskajiem standartparametriem, vairumā gadījumu būtiski atšķirās no faktiskajiem (eksperimentālajiem). Gan izmantojot faktiskos KŪ sistēmas tehniskos raksturlielumus, gan arī standartā noteiktās vērtības, karstā ūdens cirkulācijas sistēmā aprēķinātie siltuma zudumi ir lielāki nekā aprēķināti pēc metodes, kas ņem vērā faktiski izmērītos siltumenerģijas un karstā ūdens tilpuma patēriņa datus.

Teorētiskajos aprēķinos pēc autora metodes iegūtie rezultāti ir tuvāki novērtējumam, kas iegūts, balstoties uz izmērītajiem siltumenerģijas patēriņa un karstā ūdens patēriņa datiem. Dažādām ēku sērijām autora modelis atšķiras no „izmērītā” robežās no 1 % līdz 88 % (vidēji 44 %), salīdzinājumam, izmantojot standartā dotās standartvērtības un formulas, atšķirības bija robežās no 13 % līdz 147 % (vidēji 81 %) ēkām Rīgā un no 11 % līdz 274 % (vidēji 98 %) ēkām Bauskā.

Autoraprāt, lielāko cirkulācijas siltuma zudumu novērtējuma rezultātu atšķirības veidojas aprēķinos izmantoto standartos doto vērtību lineāro siltuma caurlaidības koeficientu dēļ dažādās cauruļvadu sekcijās. Lineārais siltuma caurlaidības koeficients cauruļvadu sekcijās aprēķina nolūkos būtu jākorrigē, jo, piemēram, vertikālās cauruļvadu sekcijas var būt daļēji vai pilnībā iebūvētas ēkas iekšējās konstrukcijās, un tā dēļ faktiskā temperatūru starpība cauruļvadā un ap to, ārējā vidē, var būtiski atšķirties no aprēķinos izmantotās. Papildus zināms, ka atsevišķās ēku sērijās slēgtās šahtās izvietoti gan ūdens cauruļvadi, gan arī kanalizācijas cauruļvadi, kas arī ietekmē temperatūru ap cirkulācijas cauruļvadu. Autoraprāt, šo neatbilstību var ņemt vērā, koriģējot (samazinot) lineāro siltuma caurlaidības koeficientu vertikālo cauruļvadu sekcijās. Pētījums parāda, ka dažādām ēku sērijām nepieciešamā korekcija var būtiski atšķirties.

1.5. Siltuma zudumu sadalījums karstā ūdens cirkulācijas cilpas sekcijās

Pētījumā papildus novērtēts siltuma zudumu sadalījums karstā ūdens cirkulācijas sistēmas dažādās sekcijās (pa ēku sērijām) bezapkures un apkures periodiem. Sadalījums veikts, pamatojoties uz fizikālo datu modeli, izmantojot faktiskos karstā ūdens cirkulācijas sistēmas tehniskos parametrus. Aprēķiniem apkures un bezapkures periodiem izmantoti identiski nosacījumi, izņemot vidējo vides temperatūru cauruļvadiem pagrabstāvā: bezapkures periodam šī temperatūra pieņemta $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$, apkures periodam $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Gan apkures, gan bezapkures periodā karstā ūdens cirkulācijas cilpas siltuma zudumi ārpus apkures zonas (V sekcija) ir nelietderīgi zudumi, bet var uzskatīt, ka siltuma zudumi no divieļu žāvētājiem (S2 sekcija) ir lietderīgi visa gada laikā, jo nodrošina komfortu vannas istabās. Savukārt siltuma zudumi vertikālajos sadales cauruļvados (S1 sekcija) ir nelietderīgi bezapkures periodā, bet lietderīgi apkures periodā.

Pēc autora metodes novērtētie siltuma zudumi karstā ūdens cirkulācijas cilpas dažādās sekcijās: 1) cauruļvadiem neapkurināma pagraba zonā – no 10 % līdz 13 % bezapkures periodā un no 12 % līdz 16 % apkures periodā piecu līdz divpadsmitstāvu ēkās, 19 % līdz 24 % bezapkures periodā un 24 % līdz 29 % apkures periodā trīsstāvu ēkās un modificētās 103. sērijas četru un piecu stāvu ēkās Bauskā; 2) cauruļvadiem vertikālās sadales sekcijās no 50 % līdz 60 % trīsstāvu ēkās, no 55 % līdz 60 % piecstāvu ēkās, no 64 % līdz 67 % deviņstāvu ēkās, no 48 % līdz 49 % divpadsmitstāvu ēkās; 3) individuāliem divieļu žāvētājiem dzīvokļos no 16 % līdz 27 % trīsstāvu ēkās, no 30 % līdz 33 % piecstāvu ēkās, no 22 % līdz 24 % deviņstāvu ēkās, 38 % divpadsmitstāvu ēkās.

Ņemot vērā kopējos neatgūstamos siltuma zudumus sadzīves karstā ūdens cirkulācijas cīlpā kopā apkures un bezapkures periodā, t. i., pagrabstāvā visa gada garumā, sadales cīlpās bezapkures periodā un, pieņemot, ka sadzīves karstā ūdens cīlpas divieļu žāvētajos siltuma izdalīšanās ir lietderīga visa gada garumā, var aprēķināt, ka daudzdzīvokļu dzīvojamām ēkām karstā ūdens cīlpā nelietderīgu siltuma zudumu raksturīgi rādītāji ir robežās 16–24 kWh/m²/gadā, bet vidēji 20 kWh/m²/gadā.

1.6. Papildenerģijas novērtējums sadzīves karstā ūdens sistēmā

Papildenerģija (jeb palīgenerģija) ir viens no rādītājiem, ko aprēķina, veicot ēkas energoefektivitātes novērtēšanu. Papildu enerģijas aprēķinu karstā ūdens sistēmai var veikt saskaņā ar *CEN* vai *DIN* standartos aprakstītām metodēm: 1) DIN V 18599-8:2007-02¹; 2) EN 15316-3-2:2008 (standartā dotas divas metodes: vienkāršotā un detalizētā); 3) Eiropas standartos EN 15316-1:2017 un EN 15316-3:2017.

Pētāmajās ēkās papildu enerģija karstā ūdens atdeves apakšsistēmai, sadales apakšsistēmai un uzglabāšanas/akumulācijas apakšsistēmām ir nulle, un pētījumā detalizēts aprēķins veicams tikai papildu enerģijai karstā ūdens sadales apakšsistēmai.

Pēc vienkāršotas metodes papildenerģiju cirkulācijas sūkņa darbībai aprēķina periodā nosaka kā sūkņa jaudas un darbības laika reizinājumu. Saskaņā ar detalizēto metodi papildenerģijas novērtējumam ūdens sistēmās ņem vērā hidrauliskās enerģijas prasības darbības laikā, cirkulācijas sūkņu veiktspējas rādītājus, kopumā ņemot vērā vairāk nekā 20 konkrētās ēkas tehniskos parametrus.

Novērtējot standartā EN 15316-3-2 piedāvātās vienkāršotās un detalizētās metodes papildu elektroenerģijas aprēķiniem sadzīves karstā ūdens sistēmām, secināts, ka pēc dažādām metodēm veiktie ēku energoefektivitātes rādītāju aprēķini daudzdzīvokļu ēkās dod līdzīgus rezultātus – dažādām ēku sērijām papildenerģijas novērtējums pēc vienkāršotās metodes ir no 1,1 līdz 1,9 (vidēji 1,5) kWh/m²/gadā, pēc detalizētās metodes – no 1,5 līdz 1,8 (vidēji 1,6) kWh/m²/gadā. Autoraprāt, detalizēts aprēķins ir pārāk darbietilpīgs, un ēku energosertificēšanas nolūkos papildenerģijas novērtēšanai jāizmanto vienkāršotā metode vai arī jānosaka noklusējuma standartvērtība, piemēram, 2,0 kWh/m²/gadā.

¹ Vācijas standartizācijas institūta (*DIN – Deutsches Institut für Normung*) standarts.

2. Ieteikumi sadzīves karstā ūdens sistēmas energoefektivitātes aprēķina modelim

Ēku energoefektivitātes novērtēšanas nolūkos visprecīzāko rezultātus karstā ūdens sistēmas novērtēšanai ēkām, kurām ir kopīga uzskaites apkures un karstā ūdens sistēmai, var iegūt, veicot detalizētus aprēķinus pēc šāda algoritma:

1) no ikmēnešu uzskaites datiem nosaka:

- a. bezapkures perioda ilgumu $t_{bezapk.uzsk}$ par pilniem mēnešiem, kuros nav apkures;
- b. kopējo bezapkures perioda ilgumu t_{bezapk} , un apkures perioda ilgumu t_{apk} ;
- c. bezapkures uzskaites mēnešos m patērēto enerģiju Q_m un to kopējo summu $Q_{bezapk.uzsk} = \sum Q_m$ (kWh);
- d. bezapkures uzskaites mēnešos m izlietoto sadzīves karstā ūdens tilpumu V_m un to kopējo summu $V_{bezapk.uzsk} = \sum V_m$ (litri), daudzdzīvokļu ēkās patērētā ūdens daudzuma noteikšanai ieteicams izmantot ēkas kopējā skaitītāja rādījumus nevis atsevišķu dzīvokļu iedzīvotāju sniegto rādījumu summu;

2) nosaka karstā ūdens patēriņam nepieciešamo enerģiju bezapkures perioda atsevišķos mēnešos $Q_{W,m,bezapk}$, kuros enerģija nav izmantota apkurei (izmantojot 1.3. nodaļā aprakstīto formulu (1.2) un summu periodā $Q_{W,bezapk.uzsk} = \sum Q_{W,m,bezapk}$;

3) nosaka siltumenerģijas zudumus karstā ūdens cirkulācijas cilpā $Q_{W,dis,bezapk,uzsk}$ bezapkures perioda pilniem mēnešiem, kuros enerģija nav izmantota apkurei, saskaņā ar formulu:

$$Q_{W,dis,bezapk.uzsk} = Q_{bezapk.uzsk} - Q_{W,bezapk.uzsk} \quad . \quad (2.1)$$

4) lai bezapkures periodam noteiktu karstā ūdens patēriņam nepieciešamo enerģiju $Q_{W,bezapk}$ un siltumenerģijas zudumus karstā ūdens cirkulācijas cilpā $Q_{W,dis,bezapk}$, veic lineāru interpolāciju uz visu bezapkures periodu pēc formulām:

$$Q_{W,bezapk} = Q_{W,bezapk.uzsk} \frac{t_{bezapk}}{t_{bezapk.uzsk}} \quad , \quad (2.2)$$

$$Q_{W,dis,bezapk} = Q_{W,dis,bezapk.uzsk} \frac{t_{bezapk}}{t_{bezapk.uzsk}} \quad . \quad (2.3)$$

5) nosakot karstā ūdens patēriņam nepieciešamo enerģiju apkures periodā $Q_{w,apk}$, jāņem vērā atšķirība starp karstā ūdens temperatūru ($\theta_{w,o}$, °C) un aukstā ūdens piegādes temperatūru apkures periodā ($\theta_{w,del,apk}$) un bezapkures periodā ($\theta_{w,del,bezapk}$):

$$Q_{W,apk} = Q_{W,bezapk.uzsk} \frac{t_{apk}}{t_{bezapk.uzsk}} \cdot \frac{(\theta_{w,o} - \theta_{w,del,apk})}{(\theta_{w,o} - \theta_{w,del,bezapk})} \quad . \quad (2.4)$$

6) savukārt siltumenerģijas zudumus karstā ūdens cirkulācijas cilpā $Q_{W,del,apk}$ apkures un bezapkures periodos ietekmē vidējā karstū ūdens temperatūra cauruļvada sekcijās i ($\theta_{w,dis,avg,i}$), kas parasti apkures un bezapkures periodos iestatīta konstanta, kā arī vidējā temperatūra ap cauruļvada sekcijām i ($\theta_{amb,i}$), ko cauruļvadiem ēkas apkures zonā var pieņemt vienādu gan apkures, gan bezapkures periodam, bet atšķirības veidojas cauruļvadiem ārpus apkurināmās zonas, t. i., piemēram, neapkurināmos pagrabos un bēniņos.

$$Q_{W,del,apk} = Q_{W,dis,bezapk.uzsk} \frac{t_{apk}}{t_{bezapk.uzsk}} \cdot \frac{\sum_i \Psi_{W,i} L_{W,i} (\theta_{W,cirk,i} - \theta_{amb,i,apk})}{\sum_i \Psi_{W,i} L_{W,i} (\theta_{W,cirk,i} - \theta_{amb,i,bezapk})}. \quad (2.5)$$

Izmantojot šo formulu pētījumā aplūkotajām daudzdzīvokļu dzīvojamām ēkām, konstatēts, ka apkārtējā temperatūras atšķirības apkures un bezapkures periodos cauruļvadiem ārpus apkurināmās zonas kopējos cirkulācijas zudumus var ietekmēt robežās no 2 % divpadsmitstāvu ēkām līdz 5 % piecstāvu ēkām. Šis secinājums ļauj vienkāršot formulu, aizstājot formulā summas izteiksmju dalījumu ar empīrisku koeficientu K (ar vērtībām robežās no 1,02 līdz 1,05).

$$Q_{W,del,apk} = Q_{W,dis,bezapk.uzsk} \frac{t_{apk}}{t_{bezapk.uzsk}} K. \quad (2.6)$$

Pēc šādā aprēķina iegūti rezultāti ļauj precīzi noteikt ēkas sadzīves karstā ūdens sistēmas energoefektivitātes rādītājus, kā arī novērtēt iespējamo sadzīves karstā ūdens sistēmas uzlabošanas pasākumu lietderību.

Ēkas sadzīves karstā ūdens sistēmas efektivitātes uzlabošanas nolūkos ēkas energoaudītā izvērtējama šādu pasākumu realizācija:

- kontroles un vadības optimizācija, izmantojot nakts režīmu, t. sk. atslēgšanu nakts stundās (atsevišķu tipu ēkām iespējama atslēgšana arī brīvdienų periodos), karstā ūdens piegādes temperatūras samazināšanu nakts periodā;
- metāla (tērauda vai vara) cauruļvadu aizstāšana pret caurulēm ar mazāku siltumvadītspēju;
- sadales cauruļvadu siltināšana (efektīva jebkura materiāla caurulēm);
- cirkulācijas sadales cauruļvadu tīkla optimizācija, piemēram, visus vai vairākus turpgaitas cauruļvadus aizstājot ar vienu lielāka diametra siltinātu turpgaitas cauruļvadu;
- hidrauliskās plūsmas regulatoru uzstādīšana katrā karstā ūdens cirkulācijas cilpā, lai nodrošinātu sabalansētu plūsmu vadību;
- konstantas jaudas sūkņu aizstāšana ar maināmas jaudas sūkņiem, kas automātiski pielāgojas hidrauliskajai plūsmai un temperatūras režīmam;

- ēkās ar lielu kopējo karstā ūdens patēriņu ekonomiski pamatota var būt notekūdeņu siltuma atgūšanas iekārtu uzstādīšana.

3. Sadzīves karstā ūdens sistēmu siltuma zudumu ekonomiskais novērtējums

Ēku sadzīves karstā ūdens sistēmās sadales cirkulācijas cauruļvados nelietderīgus siltuma zudumus veido: zudumi pagrabstāvā visa gada garumā; zudumi vertikālās sadales cilpā bezapkures periodā; savukārt karstā ūdens cilpas divieļu žāvētajos siltuma izdalīšanās var būt lietderīga visa gada garumā. Kā secināts 1.5. nodaļā, pēc tipveida projektiem būvētu daudzdzīvokļu dzīvojamo ēku sadzīves karstā ūdens cirkulācijas cilpā raksturīgi siltuma zudumi vidēji ir 20 kWh/m²/gadā. Šādi rādītāji ir raksturīgi ēkām, kurās saglabājusies sākotnēji izbūvētā sadzīves karstā ūdens sadales sistēma ar tērauda cauruļvadiem.

Pēc tipveida projekta būvētai daudzdzīvokļu ēkai, kuras dzīvokļu platība ir 4000 m² un karstā ūdens sistēmās nelietderīgi siltuma zudumi ir 20 kWh/m²/gadām, ēkā kopā ir 80 MWh gadā, kas ēkas dzīvokļu īpašniekiem ik gadu izmaksā 4032 euro². Veicot sadzīves karstā ūdens cauruļvadu siltināšanu (10 mm līdz 20 mm biezumā ar siltumizolācijas slāņa vērtību 0,04 W/(m²·K)), var nodrošināt, ka sadales cauruļvadiem tiek sasniegta lineārā termiskā koeficienta vērtība 0,1–0,2 W/(m·K) vai mazāk. Veicot šādu pasākumu, var samazināt siltuma zudumus sadzīves karstā ūdens sistēmas cirkulācijas cilpā par 70 % vai par 14 kWh/m²/gadā, kas gadā ļautu ietaupīt 56 MWh siltumenerģijas un 2784 euro.

Saskaņā ar AS “Rīgas siltums datiem” par tās siltumtīkliem pieslēgtām ēkām, Rīgā ir ap 4000 daudzdzīvokļu dzīvojamo ēku ar kopējo apkurināmo platību 12 miljoni m², kurās siltumenerģiju izmanto apkures un karstā ūdens sistēmās. Vairumam šo ēku karstā ūdens sistēmas uzlabojumi nav veikti kopš ēku ekspluatācijas sākuma. Var aprēķināt, ka šo ēku karstā ūdens sistēmās nelietderīgi siltuma zudumi ir 240 GWh gadā, kas dzīvokļu īpašniekiem ik gadu izmaksā 12,2 miljonus euro. Veicot šo ēku sadzīves karstā ūdens cauruļvadu siltināšanu, šajās ēkās kopumā var ietaupīt 168 GWh siltumenerģijas un 8,5 miljonus euro.

² AS “Rīgas Siltums” tarifs 2018. g. 45,00 EUR par MWh

<https://www.sprk.gov.lv/lapas/Siltumenerija-lietotajiem#Tarifi84>.

Siltumenerģijas piegādei mājokļiem piemērojot samazināto pievienotās vērtības nodokļa likmi 12%, tarifa cena ar nodokļiem ir 50,77 EUR par MWh.

Secinājumi

1. Promocijas darbā konstatēts, ka daudzdzīvokļu dzīvojamās ēkās karstā ūdens sistēmas energopatēriņu veidojošās komponentes – 1) siltumenerģija karstā ūdens patēriņam un 2) siltumenerģijas zudumi karstā ūdens cirkulācijas cilpā – neveido savstarpējas ciešsakarības. Vienlaikus minētās komponentes veido korelatīvas ciešsakarības ar ēku tehniskajiem raksturlielumiem, ko pierāda dažādām tipveida ēku sērijām iegūtās determinācijas koeficienta vērtības: 1) karstā ūdens patēriņam un tā uzsildīšanai nepieciešamajai siltumenerģijai: pret iedzīvotāju skaitu ($R^2 = 0,94$), pret dzīvokļu apkurināmo platību ($R^2 = 0,84-0,93$), pret dzīvokļu skaitu ($R^2 = 0,81-0,88$); 2) siltumenerģijas zudumiem sadzīves karstā ūdens cilpā: pret dzīvokļu apkurināmo platību ($R^2 = 0,91-0,92$), pret dzīvokļu skaitu ($R^2 = 0,86-0,88$), pret cirkulācijas posmu dzīvokļos skaitu ($R^2 = 0,82-0,91$).

2. Daudzdzīvokļu dzīvojamās ēkās konstatētie karstā ūdens patēriņa rādītāji no 24 līdz 60 (vidēji 41) litriem uz iedzīvotāju diennaktī ir mazāki nekā noteikts Latvijas būvnormatīvā LBN 221-15 (no 85 līdz 105 litri diennaktī uz iedzīvotāju), kā arī no 40 līdz 143 litriem diennaktī uz mājsaimniecību (dzīvokli), vidēji 91,4 litri ēkās Rīgā un vidēji 71,5 litri ēkās Bauskā ir mazāki nekā noteikts standartā EN 15316-3-1 (no 100,2 līdz 199,8 litri diennaktī uz dzīvokli), tādēļ ir ieteicams pārskatīt Latvijas būvnormatīvā noteiktās karstā ūdens patēriņa vērtības un standartā EN 15316-3-1 piemērošanai izstādāt standarta pielikumu ar Latvijas apstākļiem piemērotākām standartvērtībām. Karstā ūdens patēriņam nepieciešamās siltumenerģijas daudzumu uz dzīvokļu platību rakstoro vērtības no 19,8 līdz 48,2 (vidēji 34,5) kWh/m² gadā.

3. Siltumenerģijas zudumus karstā ūdens sadales sistēmā visprecīzāk var novērtēt, balstoties uz faktiski izmēritajiem datiem par siltumenerģijas un karstā ūdens patēriņu ēkā. Salīdzinot tos ar vērtībām, kas aprēķinātas saskaņā ar standartā EN 15316-3-2 aprakstīto metodi un izmantojot standarta D pielikumā dotās standartvērtības (cauruļvadu garumiem, lineāriem siltuma caurlaidības koeficientiem, karstā ūdens vidējai temperatūrai), konstatēts, ka ar standartvērtībām iegūtie rezultāti būtiski atšķiras no faktiskajiem. Lielāko kļūdu (vidēji 400 %) veido standartā noteikto lineāro siltuma caurlaidības koeficientu nepiemērotās standartvērtības cauruļvadiem, taču arī ar formulām iegūstamās cauruļvadu sekciju garumu standartvērtības dažādiem karstā ūdens cirkulācijas cilpas posmiem atšķiras no faktiskajām robežās no 50 % līdz 320 %.

Ņemot vērā standarta EN 15316-3-2 D pielikumā doto standartvērtību un formulu nepiemērotību karstā ūdens sadales sistēmu siltumenerģijas zudumu novērtējumam, promocijas darbā piedāvāts aprēķina modelis, kurā piedāvātas Latvijas apstākļiem piemērotas precizētas

standartvērtības un formulas. Salīdzinot uz faktiski izmērītajiem datiem iegūtos rezultātus un pēc autora piedāvātās metodes iegūtos rezultātus dažādām tipveida ēku sērijām, rezultāti atšķirās robežās no 1 % līdz 88 % (vidēji 43 %), kas ir ievērojami precīzāk nekā pēc standartā piedāvātās metodes.

4. Izvērtējot ēku energoefektivitātes standartus, promocijas darbā konstatēts, ka standartos nav aprakstīti paņēmieni, kā novērtēt sadzīves karstā ūdens sistēmu energoefektivitātes rādītājus ēkās, kurās ir kopīga siltumenerģijas uzskaitē apkurei un karstā ūdens sistēmai. Promocijas darbā piedāvāta aprēķina metode, saskaņā ar kuru, izmantojot ikmēnešu datus par siltumenerģijas un karstā ūdens patēriņu ēkā un definējot apkures un bezapkures periodu ilgumus, standartvērtības karstā ūdens temperatūrai, aukstā ūdens piegādes temperatūrai apkures periodā un bezapkures periodā, temperatūras ap cauruļvada sekcijām, var precīzi novērtēt siltumenerģijas sadalījumu karstā ūdens patēriņam un siltumenerģijas zudumus karstā ūdens cirkulācijas cilpā apkures un bezapkures periodos.

5. Aprēķinātie siltumenerģijas zudumi karstā ūdens cirkulācijas cilpā dažādās ēku sērijās ir robežās no 0,10 MWh līdz 0,28 MWh uz dzīvokli mēnesī, bet vidējā vērtība ir 0,19 MWh uz dzīvokli mēnesī. Raksturīgās vērtības būtiski pārsniedz Rīgas domes (24.08.2010. instrukcija Nr. 9.) norēķinos par karstā ūdens cirkulāciju dzīvojamās mājās ieteikto vērtību 0,1 MWh uz dzīvokli mēnesī.

6. Novērtējot siltumenerģijas zudumus karstā ūdens cirkulācijai, iegūti rādītāji no 16 līdz 24 (vidēji 20) kWh/m²/gadā, ņemot vērā kopējos neatgūstamos siltuma zudumus sadzīves karstā ūdens cirkulācijas cilpā kopā apkures un bezapkures periodā, t. i., pagrabstāvā visa gada garumā, sadales cilpās bezapkures periodā un, pieņemot, ka sadzīves karstā ūdens cilpas divieļu žāvētajos siltuma izdalīšanās ir lietderīga visa gada garumā.

Sadzīves karstā ūdens cauruļvadu sistēmas pārbūves un siltināšanas tehniski ekonomiskie rādītāji liecina, ka pēc sistēmu pārbūves var samazināt siltuma zudumus sadzīves karstā ūdens sistēmas cirkulācijas cilpā par 70 % vai par 14 kWh/m²/gadā, un pārbūves pasākumi ir rentabli un atmaksājas līdz 10 gadu laikā.

7. Novērtējot standartā EN 15316-3-2 piedāvātās vienkāršotās un detalizētās metodes papildu elektroenerģijas novērtējumam sadzīves karstā ūdens sistēmām, secināts, ka pēc dažādām metodēm veiktie ēku energoefektivitātes rādītāju aprēķini daudzdzīvokļu ēkās dod līdzīgus rezultātus – dažādām ēku sērijām papildenerģijas novērtējums pēc vienkāršotās metodes ir no 1,1 līdz 1,9 (vidēji 1,5) kWh/m²/gadā, pēc detalizētās metodes – no 1,5 līdz 1,8 (vidēji 1,6) kWh/m²/gadā. Autoraprāt, detalizēts aprēķins ir pārāk darbietilpīgs, un ēku

energocertificēšanas nolūkos papildenerģijas novērtēšanai jāizmanto vienkāršotā metode vai arī jānosaka noklusējuma standartvērtība, piemēram, 2,0 kWh/m²/gadā.

Pateicība

Autors izsaka pateicību savai ģimenei par pacietību un laiku, ko autors nevarēja veltīt ģimenei darba tapšana laikā.

Publikāciju saraksts

Promocijas darba rezultāti atspoguļoti deviņās zinātniskajās publikācijās.

1. Grasmanis, Dz., Sovetnikov, D. O., Baranova, D. V., Energy performance of domestic hot water systems. Magazine of Civil Engineering., St. Petersburg, 2017, No. 8., p. 140–155, doi: 10.18720/MCE.76.13.
2. Grasmanis, Dz., Talcis, N., Greķis, A., Heat Consumption Assessment of the Domestic Hot Water Systems in the Apartment Buildings, Proceedings of REHVA Annual Conference 2015, Riga, 2015, p. 167-176, ISBN 978-9934-10-685-9. e-ISBN 978-9934-10-717-7. doi:10.7250/rehvaconf.2015.024.
3. Grasmanis, Dz., Talcis, N., Greķis, A., Heat Consumption Assessment of the Domestic Hot Water Systems in the Apartment Buildings, Scientific Journal of Riga Technical University – Construction Science, Riga, 2013, p. 38–43, ISSN 14077329. doi: 10.2478/cons-2013-0006.
4. Grasmanis, Dz., Talcis, N., Greķis, A., Heat Consumption Assessment of the Domestic Hot Water Systems in the Apartment Buildings, Riga Technical University 53rd International Scientific Conference dedicated to the 150th anniversary and The 1st Congress of World Engineers and Riga Polytechnical Institute / RTU Alumni, Latvia, Riga, 2012, p. 414, ISBN 978-9934-10-360-5.
5. Grasmanis, Dz., Energoefektivitātes rādītāju novērtējums ēku sadzīves karstā ūdens sistēmām, REA Vēstnesis, Nr.34, Rīga, 2017., 5–14 lpp.
6. Grasmanis, Dz., EPBD implementation in Latvia, Status at end of 2012, in: ‘Book of National Reports 2012’, 2013, Porto, p. 237-246, ISBN 978-972-8646-27-1.
7. Grasmanis, Dz., Mālnieks A., Jēkabsons A., Implementation of the EPBD in Latvia, Status in November 2010, in: ‘Implementation of the Energy Performance of Building Directive (EPBD), Featuring Country Reports 2010’, Brussels, 2011, III: p. 223–234.
8. Grasmanis, Dz., Lemšs, I., Nikolajevs, A., Implementation of the EPBD in Latvia: Status and planning - July 2008, in: ‘Implementation of the Energy Performance of Building Directive, Country Reports 2008’, Brussels, 2008, p. 120–124.
9. Grasmanis Dz., 9.5. Ēku energoefektivitātes normatīvais regulējums, no: ‘Būvniecības vadības rokasgrāmata’, 2016-04, Dienas Bizness Rokasgrāmatu daļa, 2016, 44 lpp.