



Mājsaimniecībās izmantoto apkures
iekārtu apzināšana un risinājumu
izstrāde informācijas uzkrāšanai



2021, Rēzekne

Saturs

Ievads	4
1. Siltumapgādes risinājumi	5
1.1. Individuālā siltumapgāde	5
Individuālās apkures sistēmas	5
Karstā ūdens sagatavošanas sistēmas	6
1.2. Centralizētā siltumapgāde	7
2. Apkures iekārtas un kurināmo veidi	9
2.1. Biomasas apkures sistēmas	10
2.2. Dabsgāzes apkures katli	10
2.3. Citu fosilo kurināmo apkures katli	11
2.4. Siltumsūkņi	12
2.5. Saules kolektoru sistēmas	12
3. Siltumapgādes risinājumu ietekmes	13
3.1. Oglekļa dioksīda emisijas	14
3.2. Cietās daļiņas	14
3.3. Oglekļa monoksīds	15
3.4. Smagie metāli	15
3.5. Gaistošie organiskie savienojumi	16
3.6. Cita veida emisijas	16
4. Siltumapgādes risinājumu analīze Rēzeknē	18
4.1. Pilsētas saistošie noteikumi	18
4.2. Klimatiskie apstākļi	19
4.3. Pārskats par dzīvojamo fondu	20
4.4. Centralizētā siltumapgādes sistēma	22
4.5. Individuālās siltumapgādes risinājumi	25
4.6. Siltuma avotu ietekme	27
5. Rekomendācijas siltumapgādes ietekmes uz vidi mazināšanai Rēzeknes pilsētā	32

5.1.	Individuālo siltuma avotu monitoringa sistēma	32
5.2.	Veicināt efektīvāku apkures sistēmu izmantošanu mājāsaimniecībās	32
5.3.	Centralizētās siltumapgādes pāreja uz atjaunojamajiem energoresursiem.....	33
5.4.	Veicināt jaunu patērētāju pieslēgšanos centralizētajai siltumapgādei.....	34
	Izmantotā literatūra	35

Ievads

Pētījums “Mājsaimniecībās izmantoto apkures iekārtu apzināšana un risinājumu izstrāde informācijas uzkrāšanai” izstrādāts ar mērķi pilnveidot siltumapgādes sistēmu Rēzeknes pilsētā, lai sasniegtu maksimālu energoefektivitāti. Darba izpildei tika definēti sekojoši uzdevumi:

- Izvērtēt esošo stāvokli pilsētā. Balstoties uz informāciju par izmantoto kurināmo un to daudzumu, aprēķināt radīto piesārņojumu un izmešu daudzumu.
- Identificēt problēmas, kurām jāpievērš uzmanība.
- Sniegt ieteikumus, risinājumus un priekšlikumus problēmas risināšanai.
- Izstrādāt informācijas iegūšanas un uzkrāšanas sistēmu.
- Īstenošanai nepieciešamo pašvaldības saistošo noteikumu izskatīšana, izmaiņu aktualizēšana, rediģēšana.

Dokumentā izvērtēta esošās individuālās un centralizētās siltumapgādes situācija un problēmas, ietverot enerģijas avotu raksturojumu. Atskaitē analizēti dažādi apkures risinājumi un to ietekmes uz apkārtējo vidi un cilvēku veselību. Lai novērtētu individuālās apkures avotu darbību, apkopota informācija par kurināmā patēriņu un veikti emisiju aprēķini, nosakot radītās oglekļa dioksīda, oglekļa monoksīda, cieto daļiņu, slāpekļa un sēra oksīdu un citu kaitīgo vielu emisijas. Ņemot vērā iegūtos rezultātus, sniegta rekomendācijas optimālākiem siltumapgādes attīstības virzieniem.

1. Siltumapgādes risinājumi

Daudzās valstīs, arī Latvijā, ēku apkure un karstā ūdens sagatavošana ir viena no pamatvajadzībām. Pašlaik notiek diskusijas par to, kā optimizēt siltuma piegādi, lai mazinātu fosilo energoresursu izmantošanu, radīto vides piesārņojumu un nodrošinātu optimālu enerģijas izmaksu līmeni.

Meklējot optimālu risinājumu ēkas siltumslodzes segšanai, īpašniekam iespējams izvēlēties starp centralizēto siltumapgādi (ja tāda pieejama) vai dažādiem individuālajiem siltuma avotiem.

1.1. Individuālā siltumapgāde

Individuālajā siltumapgādes sistēmā katrs siltumenerģijas patērētājs ražo sev nepieciešamo siltumenerģiju, izmantojot dažādus siltumenerģijas avotus, piemēram, malkas katlus, malkas krāsnis, siltumsūkņus, elektriskos kaloriferus, dabasgāzes katlus u.tml.

Ēkas siltumapgādes sistēmas veic vairākas funkcijas:

- Nodrošina ēkas apkures slodzi, kompensējot siltuma zudumus caur ēkas norobežojošajām konstrukcijām;
- Nodrošina karstā ūdens apgādi;
- Nodrošina nepieciešamo siltumu ventilācijas gaisa sildīšanai.

Individuālās apkures sistēmas

Ēkas apkures sistēmas galvenās sastāvdaļas ir siltuma avots, sadales sistēma (cauruļvadi) un sildķermeņi. Apkures sildķermeņi nogādā siltumenerģiju telpās, kurās mākslīgi ir jāpaaugstina gaisa temperatūra. Sildķermeņiem jāspēj nodrošināt kvalitatīva gaisa temperatūra, bet to virsmas temperatūra nedrīkst pārsniegt noteiktas robežas drošības apsvērumu dēļ. Apkures sildķermeņi var būt gan pie sienas stiprināmu, gan iebūvēti konstrukcijās (piemēram, grīdas apkure), gan arī kā gaisa apkures sastāvdaļa. Ēkās sastopami dažādi sildķermeņu veidi, piemēram, sekciju jeb čuguna radiatori, tērauda radiatori, betona sildpaneļi, konvektori u.c.



1.att. Dažādu sildķermeņu piemēri

Apkures cauruļvadu uzdevums ir nogādāt siltumenerģiju (siltumnesēju) no siltumavota līdz sildķermeņiem. Tiem ir jābūt izgatavotiem no materiāla, kas nereaģē ar izmantoto siltumnesēju un jābūt iespējami viegliem, izturīgiem. Cauruļvadu materiālam jābūt pēc iespējas siltumu nevadošam un viegli montējamiem. Vietās, kur apkures cauruļvadi atrodas neapkurināmās telpās, tie ir jāizolē ar siltumizolācijas materiālu, taču daudzās ēkās cauruļvadu izolācija parasti ir novecojusi vai tās nav vispār.

Karstā ūdens sagatavošanas sistēmas

Karstā ūdens apgādi ēkā var nodrošināt, gan centralizēti no ēkā uzstādītā siltuma avota, gan lokāli pie katra karstā ūdens izvada. Karstā ūdens apgādi var nodrošināt ar akumulējošiem boileriem –termosa tipa tvertnē uzsilda ūdeni līdz vēlamajai temperatūrai un tad to turpina uzturēt, kas prasa mazāku pievadītās enerģijas daudzumu. Atšķirīgs risinājums ir izmantot caurteces sildītājus, kas silda caurplūstošo auksto ūdeni un elektroenerģiju patērē tikai lietošanas laikā.

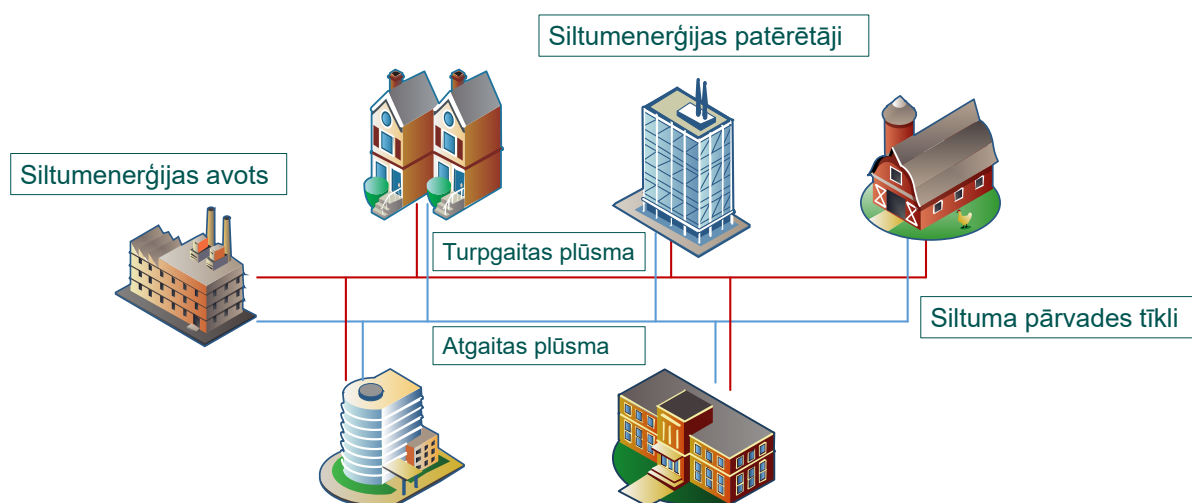
Karstā ūdens sagatavošanai var izmantot dažādus siltuma avotus un kurināmos- elektroenerģiju, biomasas, gāzes vai cita kurināmā katlus, saules kolektorus vai paneļus u.tml.

Svarīgs karstā ūdens sagatavošanas sistēmas faktors ir nepieciešamā karstā ūdens temperatūra. Saskaņā ar Latvijas būvnormatīvu prasībām ūdens ņemšanas vietā (pie krāna) tā temperatūrai jābūt augstākai par 55°C, bet tā nedrīkst pārsniegt 70°C. Karstā ūdens padeves temperatūrai nebūtu jāpārsniedz 65°C, lai izvairītos no apdeguma iespējām un katlakmens veidošanās cauruļvados. Piemērota temperatūra ir

55°C līdz 60°C. Lai nodrošinātu pēc iespējas mazākus siltumenerģijas zudumus, cauruļvadiem jābūt labi izolētiem.

1.2. Centralizētā siltumapgāde

Centralizētās siltumapgādes (CSA) sistēmas infrastruktūrai ir būtiska loma energoefektivitātes uzlabošanā un pieejamo atjaunojamo energoresursu (AER) izmantošanā enerģijas patēriņa segšanai. CSA siltumtīkli savieno ēkas dažādās apdzīvotu vietu daļās, tāpēc patērētājiem var piegādāt siltumu no vairākām centralizētajām katlumājām vai mazākiem siltuma avotiem. Šī pieeja ļauj izmantot jebkuru siltuma avotu, kas integrēts CSA sistēmā. CSA sastāv no trīs pamatelementiem – siltuma avota, siltumtīkliem un siltuma patērētājiem (sk. 2.att).



2.att. Vienkāršota centralizētās siltumapgādes shēma

Atšķirībā no individuālās siltumapgādes, centralizētās siltumapgādes būtiska sastāvdaļa ir siltumtīkli, kas pārvada siltumu no siltuma avota līdz siltuma patērētājam. Siltumtīklus iedala virszemes un pazemes siltumtīklos. Siltuma pārvades procesā rodas siltuma zudumi apkārtējā vidē. Ir vairāki aspekti, kas ietekmē siltuma zudumus:

- Cauruļvadu izmērs (diametrs un garums)
- Siltumizolācijas kvalitāte;
- Siltumnesēja temperatūra;
- Āra gaisa temperatūra.

Siltumenerģijas ražošanai ir pieejami dažādi fosilie un atjaunojamie siltuma avoti un tehnoloģijas. Enerģētikas nozares lēmumu pieņēmējiem ir daudz iespēju izvēlēties vispiemērotāko tehnoloģiju enerģijas ražošanai, analizējot dažādus faktorus, piemēram, konkrēto atrašanās vietu, resursu un investīciju pieejamību, pieprasījuma elastība utt.

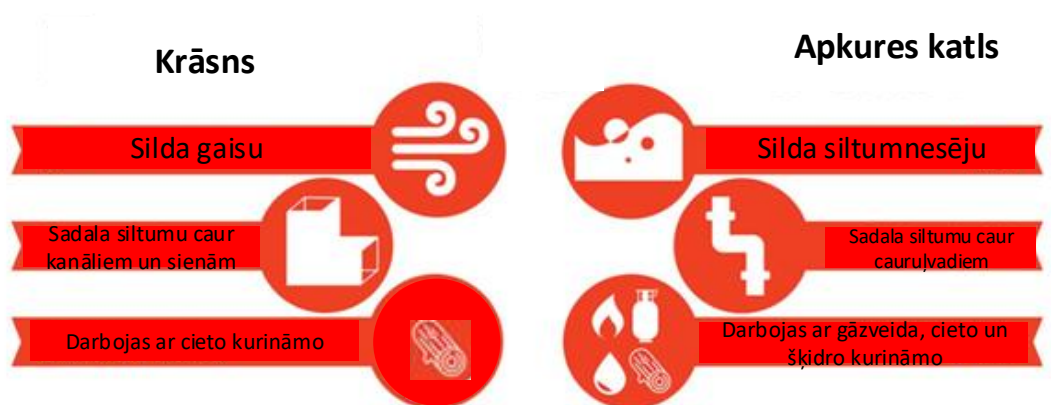
Vispiemērotākā enerģijas avota izvēle ir atkarīga no vairākiem kritērijiem un prioritātēm. Lai īstenotu ilgtspējīgu siltumapgādi pilsētvidē, kā prioritāte jāizmanto rūpniecības vai citu nozaru atkritumu siltums, kas savādāk netiktu izmantots un nonāktu apkārtējā vidē. Tomēr šie enerģijas avoti parasti ir nestabili vai īslaicīgi, galvenokārt ar zemu potenciālu (parasti zem 80 - 70 °C) ar lielām temperatūras izmaiņām. Tāpēc siltuma novadīšanai nepieciešams rūpīgs plānošanas process un kombinācija ar stabilākiem siltuma avotiem. [1]

Ja atkritumu siltums nav tehniski vai ekonomiski iespējama alternatīva, siltuma ražošanai var izmantot dažādus AER primāri analizējot saules vai ģeotermālās enerģijas izmantošanu. AER, tostarp saules enerģija, turpina palielināt savu lomu enerģētikas nozarēs lielākajā daļā Eiropas valstu [2]. Apsverot liela mēroga saules siltuma sistēmas, jānosaka pieejamā zemes platība kolektora laukam un akumulācijas sistēmai. Galvenās barjeras ģeotermālās enerģijas izmantošanā ir atļaujas, kas nepieciešamas šīs enerģijas izmantošanai, un zināšanu trūkums par pieejamo ģeotermālās enerģijas potenciālu. Ja CSA darbojas ar zemāku temperatūru, tas ļauj efektīvāk izmantot vides siltumu no gaisa, ūdens, notekūdeņiem vai zemes. Izmantojot siltumsūkņu tehnoloģiju, ir svarīgi novērtēt darbības parametrus, piemēram, enerģijas patēriņu, saistītās emisijas un darbības koeficientu (COP). [3]

Inovatīvs risinājums ir elektroenerģijas pārvēršanas siltumenerģijā (P2H) koncepcija siltuma ražošanai no vēja un saules elektroenerģijas, ja elektroenerģijas pieprasījums un cena ir zema [4]. Šāds risinājums palielina AER elastību un rentabilitāti. Siltumu var ražot no saules vai vēja elektroenerģijas, izmantojot elektriskos katlus vai siltumsūkņus.

2. Apkures iekārtas un kurināmo veidi

Mazas jaudas sadedzināšanas iekārtās tiek izmantotas dažādi kurināmo veidi un tiek izmantotas dažādas sadedzināšanas tehnoloģijas. Dzīvojamo māju apstākļos mazākām sadedzināšanas ierīcēm, it īpaši vecākām vienas mājsaimniecības iekārtām, ir ļoti vienkāršs dizains, savukārt dažas modernas iekārtas ir ievērojami uzlabotas.



3.att. Apkures katla un krāsns salīdzinājums

3.attēlā redzams krāsns un apkures katlu salīdzinājums. Krāsns darbības pamatā ir gaisa sildīšana, kas pēc tam tiek padots uz apkurināmo telpu caur kanāliem un krāsns sienām. Krāsnīs iespējams dedzināt cieto kurināmo. Savukārt katliekārtās tiek sildīts siltumnesējs, kas pēc tam caur cauruļvadiem tiek padots uz sildķermeņiem. Kaltiekārtas iespējams darbināt ar dažāda veida kurināmajiem.

Krāsnis ir slēgtas ierīces, kurās ar siltumu un konvekciju nodod lietderīgo siltumu apkārtnē. Tās var ievērojami atšķirties atkarībā no degvielas veida, pielietojuma, dizaina un būvniecības materiāliem, kā arī no sadegšanas procesa organizācijas. Tās parasti izmanto telpu apsildīšanai, bet var izmantot arī ēdiena gatavošanai un karstā ūdens sagatavošanai. Malkas krāsnis var klasificēt, pamatojoties uz sadegšanas principu, kas galvenokārt ir atkarīgs no gaisa plūsmas ceļa degšanas kamerā. Krāsnis var izgatavot kā saliekamās dzelzs vai tērauda ierīces vai mūra krāsnis, kuras parasti uz vietas montē no ķieģeļiem, akmens vai keramikas materiāliem. Attiecībā uz galveno siltuma pārnese veidu cietā kurināmā krāsnis var iedalīt divās galvenajās apakšgrupās, kas ir siltuma starojuma krāsnis, un siltumu krājošās vai siltumu akumulējošās krāsnis. Starojuma krāsnis parasti ir saliekamas dzelzs vai tērauda ierīces.

Kamīni ir visvienkāršākās sadedzināšanas ierīces, un tos bieži izmanto kā papildu apkures ierīces galvenokārt estētisku apsvērumu dēļ dzīvojamās mājās. Krāsnis var iedalīt atklātajās (kamīni), daļēji slēgtajās un slēgtajās krāsnīs. Pēc izmantotā celtniecības materiāla, tos var iedalīt akmens vai ķieģeļu (mūra), čuguna vai tērauda krāsnīs. Mūra kamīni parasti tiek būvēti uz vietas un integrēti ēkas

konstrukcijā, savukārt dzelzs vai tērauds ir iepriekš sagatavoti uzstādīšanai ar piemērotu skursteni vai dūmvadu [9].

Kamīni ir manuāli darbināmi fiksētās kurtuves sadedzināšanas ierīces. Lietotājs laiku pa laikam manuāli pievieno kurināmo. Atvērtā tipa krāsnis sastāv no pamata sadegšanas kamera, kas ir tieši savienota ar skursteni. Lielākajai daļai no tiem ir aizbīdņi virs degšanas zonas, lai ierobežotu telpas gaisa ieplūdi un radītos siltuma zudumus, ja krāsni neizmanto. Siltuma enerģija mājoklī tiek nodota galvenokārt siltuma starojuma veidā. Šādas krāsni parasti ir mūra tipa, un to efektivitāte ir ļoti zema, vienlaikus radot ievērojamu kopējo cieto daļiņu, CO, gaistošu organisko savienojumu un policiklisko aromātisko oglekļa dioksīda emisijas, kas rodas degvielas nepilnīgas sadedzināšanas rezultātā. Daļēji slēgtās krāsni aprīkotas ar aizvērtņiem vai stikla durvīm, lai samazinātu degšanas gaisa ieplūdi. Slēgtās krāsni un kamīni ir aprīkoti ar ieejas durvīm, tiem var būt sadedzināšanas gaisa sadale primārajā un sekundārajā, kā arī atsevišķa sistēma izplūdes gāzu novadīšanai. Šo krāšņu efektivitāte parasti pārsniedz 50%. To izmeši ir līdžīgi krāsnīm, t.i., zemāki par atvērtiem vai daļēji slēgtiem kamīniem. Šī iemesla dēļ tos var novērtēt pēc līdžīgas pamatiem kā krāsnīm.

2.1. Biomasas apkures sistēmas

Nozīmīgākais atjaunojamais energoresurss, kas tiek plaši izmantots gan centralizētajā, gan individuālajā siltumapgādē ir biomasa (koksnes granulas, šķelda, salmi u.c.). Biomasas izmantošana enerģijas ražošanai turpina pieaugt valstīs ar plašiem meža resursiem, tomēr tas prasa stratēģisku plānošanu vietējo resursu ilgtspējīgai izmantošanai [5]. Siltuma ražošanai parasti tiek izmantotas biomasas katli, malkas krāsnis un CSA arī koģenerācijas stacijas.

Plānojot biomasas izmantošanu siltuma ražošanai un jaudas palielināšanu, būtu jāņem vērā ilgtspējīgas attīstības un biotehnoloģijas principi. Bioresursi jāizmanto efektīvi un ar maksimālu labumu visā dzīves ciklā. Lauksaimniecības zeme galvenokārt jāizmanto kultivēto augu audzēšanai, nevis enerģijas kultūrām. [6] Turklāt biomasas resursi galvenokārt jāizmanto augstas vērtības produktu ražošanai, nevis enerģijas ražošanai [7]. Pētījumi rāda, ka biomasas izmantošana enerģijas ražošanā turpinās pieaugt, taču šie resursi ir ierobežoti galvenokārt zemes pieejamības dēļ [8]. Tāpēc enerģētikas nozarei būtu jāievieš dažāda veida atjaunojamās enerģijas tehnoloģijas, lai palielinātu kopējo noturību pret dažādiem nelabvēlīgiem ārējiem apstākļiem.

2.2. Dabsgāzes apkures katli

Dabsgāze ir no oglekļa dioksīda sastāvoša gāze, kas veidojusies un uzkrājusies Zemes garozā. Tās galvenā sastāvdaļa ir metāns un 0—20 % citi oglekļa dioksīdi. Dabsgāze ir viena no galvenajām tautsaimniecībā izmantojamām deggāzēm. Vairums dabsgāzes ir veidojusies divos mehānismos: biogēnajā un termogēnajā. Biogēnajā procesā gāzi izdala mikroorganismi purvos, organismu atlieku

sakopojumos, seklos nogulumos. Dziļāk Zemes dziļēs pie augstākas temperatūras un spiediena gāze termogēnajā procesā veidojas no nogulumos esošām organismu atliekām.

Dabaszgāzei, salīdzinot ar citiem kurināmā veidiem, priekšrocība ir samērā zemā cena un tas, ka to sadedzinot, nerodas cieta daļiņu izmeši, bet izdalās oglekļa dioksīds un tvana gāze.

Gāzes apkures katli pašlaik ir plaši izmantotas apkures iekārtas. Atkarībā no modeļa, klasisko gāzes apkures katlu efektivitāte ir no 83% līdz 98%. Gāzes apkures katli ir iedalāmi vairākās nosacītās grupās, un to izmaksas ir galvenokārt atkarīgas no apkures katla darbības efektivitātes, lietošanas ērtuma un funkcionalitātes.

Kondensācijas gāzes apkures katli ir apkures iekārtas, kas siltumenerģiju iegūst ne tikai no gāzes sadedzināšanas, bet arī no ūdens tvaika, kas tiek izdalīts degšanas ķīmiskajā procesā. Standarta gāzes apkures katli tvaiku un citus degšanas produktus izdala skurstenī, savukārt kondensācijas gāzes apkures katlos, tvaiks nosēžas kondensāta formā uz apkures katla siltummaiņa, kur tiek atbrīvota papildus siltuma enerģija. Šis darbības princips, ko izmanto kondensācijas gāzes apkures katli, nodrošina augstāki efektivitāti un gāzes ekonomiju.

2.3. Citu fosilo kurināmo apkures katli

Kā kurināmo iespējams izmantot arī citus fosilos energoresursu, piemēram, akmeņogles vai šķidro kurināmo.

Akmeņogles ir biogēnas izcelsmes degspējīgs iezis, kas pieder pie neatjaunojamiem dabas resursiem. Akmeņogles galvenokārt sastāv no oglekļa. To sastāvā bieži ir arī ūdeņradis, sērs, skābeklis un slāpekļis. Ogles, kā kurināmo, mūsdienā Eiropā cenšas nelietot, jo apkures katlā tās sadedzinot, rodas atmosfēras piesārņojums. Akmeņogles veidojušās no augu organiskajām atliekām paleozoja ērā apmēram pirms 300 līdz 350 miljoniem gadu apstākļos, kuros augu atliekas uzkrājas ātrāk, nekā notiek to sadalīšanās baktēriju iedarbībā.. Sākotnējā ogļu veidošanās stadija ir kūdra. Tai nokļūstot zem citiem nogulumiežiem, spiediena iedarbībā no kūdras izdalās ūdens un gāzes. Zemāka spiediena ietekmē veidojas brūnogles, augstāka spiediena un temperatūras ietekmē — akmeņogles un antracīts. Akmeņogļu sadedzināšanas rezultātā rodas vairākas galvenās emisijas [10]:

- Sēra dioksīds (SO_2), kas veicina skābo lietu un elpošanas ceļu slimības;
- Slāpekļa oksīdi (NO_x), kas veicina smogu un elpošanas ceļu slimības;
- Cietās daļiņas, kas veicina smogu, dūmaku, elpceļu slimības un plaušu slimības;
- Oglekļa dioksīds (CO_2);
- Dzīvsudrabs un citi smagie metāli, kas saistīti gan ar cilvēku, gan citu dzīvnieku neiroloģiskiem un attīstības bojājumiem;

- Pelni.

Šķidrā kurināmā, mazuta vai dīzeļdegvielas katli ir līdzīgi gāzes katliem, tomēr tajos ir pievienots eļļas iztvaicēšanas solis, kas pārvērš šķidro kurināmo smalkā miglā, kas sajaukta ar gaisu. Pēc tam eļļas/gaisa degvielas maisījumu izmanto, lai aizdedzinātu degļus sadegšanas kamerā. Tad radītais siltums nonāk siltummainī, pārnesot siltumu gaisā un paaugstinot telpas temperatūru līdz termostata noteiktajam līmenim.

2.4. Siltumsūkņi

Elektriskais siltumsūknis siltuma ražošanai izmanto elektrību. Siltums tiek “paņemts” no siltuma avota, kas var būt zeme, virszemes ūdeņi, jūra vai apkārtējās vides gaiss. Elektroenerģija tiek izmantota kompresora darbināšanai, kas paaugstina siltumnesēja (piemēram, etanola/ūdens šķīduma) temperatūru, to saspiežot. Tad augstas temperatūras siltumnesējs var piegādāt siltumu caur siltummaini, piem. ēkai vai centralizētās siltumapgādes tīklam. Siltumnesēju atdzesē siltummainī un pēc tam izpleš caur vārstu vai citu ierīci. Mērķis ir samazināt spiedienu, kas samazina arī siltumnesēja temperatūru. Siltumnesēja - tagad ar ļoti zemu temperatūru - tiek novadīti pie ārējā siltuma avota. Šeit tas iegūst augstāku temperatūru, pirms atkal tiks saspīests un izvadīts ēkas/centralizētās siltumapgādes tīklā.

Lai izmantotu siltumsūkni, zemas temperatūras siltuma avota temperatūrai pēc izplešanās jābūt augstākai par siltumnesēja temperatūru. Turklāt siltumnesēja temperatūrai jābūt augstākai par pieprasīto temperatūru. Siltumsūknis var darboties tikai tad, ja ir izpildīti šie kritēriji. Siltuma avota piemēri var būt zeme, kuras temperatūra ir apm. 10°C un nepieciešamā siltumapgādes temperatūra var būt 55°C, kā ieklūdes temperatūra ēkas iekšējā ūdens sadales tīklā. Siltumsūknim var būt ļoti augsta efektivitāte. Efektivitāti sauc par veiktspējas koeficientu (COP), un siltumsūknī tā parasti var būt 3-4.

2.5. Saules kolektoru sistēmas

Saules siltuma enerģija tiek ražota, izmantojot saules kolektorus. Saules kolektora darbības princips ir saules enerģijas pārvēršana siltuma enerģijā ar lielāku potenciālu. Saules kolektorus iedala plakanajos un vakuuma cauruļu kolektoros. Siltumnesējs saņem saules siltuma enerģiju un nodod to siltummainim, kur siltums tiek pārnestas un izmantots.

Saražoto siltumu var uzglabāt akumulācijas tvertnē siltuma veidā, un, kad nepieciešams, tas tiek izmantots apkurei vai karstā ūdens nodrošināšanai. Tādējādi siltuma uzkrāšanās sistēmā darbojas kā balasts starp siltuma avotu un siltuma pieprasījumu, nodrošinot pilnīgāku saules enerģijas potenciāla izmantošanu, samazinot siltuma zudumus un starpību starp saražotā un pieprasītā siltuma daudzumu.

3. Siltumapgādes risinājumu ietekmes

Emisijas no mājsaimniecību sadedzināšanas iekārtām ir nozīmīgs vides piesārņojuma avots to lielā skaita, dažādu izmantoto sadedzināšanas iekārtu, efektivitātes un emisiju diapazona dēļ. Lielākajai daļai no šīm iekārtām nav uzstādītas dūmgāzu attīrīšanas iekārtas vai ir zema efektivitāte.

Pasaules Veselības organizācijas (PVO) pētījumi rāda, ka pilsētās āra gaisa piesārņojums rada 1,3 miljonu nāves gadījumu pasaulē katru gadu. Samazinot gaisa piesārņojuma līmeni, var tikt samazināta elpošanas ceļu infekciju, sirds slimību un plaušu vēža globālā slimību slodze. PVO vadlīnijas norāda, ka, piemēram, samazinot daļiņu PM_{10} piesārņojuma koncentrāciju no 70 uz 20 mg/m^3 , iespējams samazināt nāves gadījumu skaitu par 15%. PVO pētījumi rāda, ka smalkās daļiņas $PM_{2.5}$ saīsina paredzamo dzīves ilgumu Eiropas Savienībā par vairāk nekā astoņiem mēnešiem [11].

Emisijas ir ļoti atkarīgas no degvielas, sadedzināšanas tehnoloģijām, kā arī no ekspluatācijas prakses un apkopes. Šķidrā un gāzveida kurināmā sadedzināšanai izmantotās tehnoloģijas ir līdzīgas tām, kas paredzētas siltumenerģijas ražošanai lielākās sadedzināšanas darbībās, izņemot vienkāršas tādas mazākas ierīces kā kamīni un krāsnis. Cietā kurināmā un biomasas izmantošanas tehnoloģijas ir ļoti atšķirīgas dažādu degvielas īpašību un tehnisko iespēju dēļ. Mazās sadedzināšanas iekārtās galvenokārt tiek izmantota sadedzināšanas tehnoloģija ar fiksētu kurtuvi, t.i., cietā kurināmā sadedzināšana uz režģiem.

Sadedzināšanas procesā radušies galvenie piesārņotāji ir SO_2 , NO_x , oglekļa monoksīds jeb tvana gāze (CO), gaistošie organiskie savienojumi (NMVOC), dažāda izmēra cietās daļiņas (PM), smagie metāli, polihlorētie dibenzodioksīni un furāni (PCDD/F) un heksahlorbenzols. Cietajam kurināmajam nepilnīgas sadedzināšanas radītās emisijas parasti ir daudzkārt lielākas mazās mājsaimniecību sadedzināšanas iekārtās nekā lielākās iekārtās. Tas jo īpaši attiecas uz manuāli vadāmajām krāsnīm un slikti kontrolētām automatiskajām iekārtām. Gan gāzveida, gan šķidrā kurināmā gadījumā piesārņotāju emisijas nav ievērojami augstākas kā rūpnieciskā mēroga katlos degvielas kvalitātes, degļu un katlu konstrukcijas dēļ, izņemot gāzveida un šķidrās kurināmā krāsnis to vienkāršās organizācijas dēļ sadegšanas procesā. [12]

Nepilnīgas sadegšanas radītās emisijas galvenokārt ir saistītas ar nepietiekamu sadegšanas gaisa un degvielas sajaukšanos degšanas kamerā (sadedzināšanas zonā, kas bagāta ar kurināmo), vispārēja pieejamā skābekļa trūkuma, pārāk zemas temperatūras, īsa uzturēšanās laika un pārāk lielu radikāļu koncentrācijas dēļ. Nepilnīgas sadedzināšanas rezultātā mazās sadedzināšanas iekārtās atmosfērā tiek emitēti CO, PM un NMVOC, NH_3 , PAH, kā arī PCDD/F.

3.1. Oglekļa dioksīda emisijas

Ogļskābā gāze jeb oglekļa dioksīds (CO_2) ir smaga, bezkrāsaina gāze, kas veidojas visu oglekli saturošo vielu degšanā. Oglekļa dioksīds nelielos daudzumos (ap 0,04%) ir sastopams Zemes atmosfērā. Palielināta oglekļa dioksīda koncentrācija izraisa siltumnīcas efektu. Lielākā daļa atmosfērā nonākušā oglekļa dioksīda tur nonāk sadedzinot oglekli saturošu kurināmo un no vulkānu izvirdumiem.

Dažādi kurināmie rada atšķirīgu CO_2 daudzumu attiecībā pret enerģiju, ko tās ražo sadedzinot. Sadedzinot kurināmo, saražotā CO_2 daudzums ir atkarīgs no oglekļa satura degvielā. Siltuma saturu vai saražotās enerģijas daudzumu, sadedzinot kurināmo, galvenokārt nosaka oglekļa (C) un ūdeņraža (H) saturs. Siltums rodas, kad C un H sadegšanas laikā apvienojas ar skābekli (O). Dabā gāze galvenokārt ir metāns (CH_4), kuram ir augstāks enerģijas saturs salīdzinājumā ar citām degvielām, un tāpēc tajā ir salīdzinoši mazāks CO_2 uz enerģijas saturu. Ūdens un dažādi elementi, piemēram, sērs un nedegoši elementi dažās degvielās, samazina to sildīšanas vērtības un palielina to CO_2 emisiju potenciālu.

3.2. Cietās daļiņas

Daļiņas (PM_{10} un $\text{PM}_{2.5}$) ir viens no galvenajiem gaisa piesārņojuma faktoriem Latvijā. Cietās daļiņas dūmgāzēs, kas rodas, sadedzinot kurināmo (jo īpaši ogles un biomasu), var definēt kā oglekļa daļiņas, kvēpus, cietos vai izkausētos pelnus. Emitētās daļiņas var klasificēt trīs degvielas sadegšanas produktu grupās. Pirmā grupa veidojas gāzveida fāzes sadegšanas vai pirolīzes rezultātā, nepilnīgas sadegšanas rezultātā. Kondensētie smagie ogļūdeņraži (darva) ir būtisks un dažos gadījumos arī galvenais daļiņu emisiju piesārņojums maza mēroga cietā kurināmā sadedzināšanas iekārtās, piemēram, kamīnos, krāsnīs un novecojuša dizaina katlos. Nākamās cieto daļiņu grupas var saturēt pelnu daļiņas vai cenosfēras, kuras galvenokārt rodas no kurināmajā esošajām minerālvielām; tie satur Ca, Mg, Si, Fe, K, Na, P, smago metālu oksīdus un sāļus (S, Cl) un nesadedzinātu oglekli, kas veidojas, nepilnīgi sadedzinot oglekli saturošu kurināmo. Cieto daļiņu emisiju izmēru sadalījums lielā mērā ir atkarīgs no sadegšanas apstākļiem. Cietā kurināmā sadedzināšanas procesa optimizācija, ieviešot nepārtraukti kontrolētus apstākļus (automātiska degvielas padeve, degšanas gaisa sadale) noved pie cieto daļiņu emisiju samazināšanās un PM sadalījuma izmaiņām. Vairāki pētījumi ir parādījuši, ka mūsdienīgu un “maz emisiju” sadzīves biomasas sadedzināšanas tehnoloģiju izmantošana izraisa daļiņu emisijas, kurās dominē submikronu daļiņas ($<1 \mu\text{m}$). Daļiņu masas koncentrācija, kas lielāka par $10 \mu\text{m}$, parasti ir zem 10% nelielas jaudas iekārtās [13]

Degšanas procesos radušās daļiņas ir atkarīgas no degvielas/kurināmā sastāva un degšanas apstākļiem. Sadegot kurināmajam (piem., oglēm vai naftas produktiem) stacionārās iekārtās, emisijās ir lielāks neorganisko elementu (t.sk. pārejas metālu) saturs salīdzinot ar mobiliem emisijas avotiem (transporta). Akmeņogļu sadedzināšanas procesos metāli parasti ir kondensējušies uz PM_1 virsmas, līdz ar to

atrodami $PM_{2,5}$ frakcijā. Metālu kompozicionālais sastāvs, šķīdība un reaģētspēja ir atkarīga no degšanas procesa apstākļiem. Pētījumos laboratoriski pierādīts, ka dīzeļdzinēju izplūdes gāzes izraisa plaušu audzēju žurkām un tiek uzskatīts, ka šis piesārņojums ir potenciāli kancerogēns cilvēkiem.

3.3. Oglekļa monoksīds

Oglekļa monoksīds jeb tvana gāze (CO) ir bezkrāsaina, bez smaržas, indīga gāze, kas rodas, nepilnīgi sadedzinot oglekli saturošu degvielu. Oglekļa monoksīds ir atrodams visu oglekli saturošu kurināmo sadegšanas produktos kā degšanas procesa starpprodukts. Nepareizi uzstādītas, slikti uzturētas vai slikti vēdinātas sadedzināšanas iekārtas ir galvenie tvana gāzes avoti.

CO ir vissvarīgākais starpprodukts degvielas pārveidošanā par CO_2 ; tas tiek oksidēts līdz CO_2 pie atbilstošas temperatūras un skābekļa pieejamības. Tādējādi CO degšanas procesā var uzskatīt par labu degšanas kvalitātes rādītāju. Emisijas līmenis ir atkarīgs arī no gaisa pārpalikuma, kā arī no degšanas temperatūras un degšanas produktu uzturēšanās sadegšanas zonā. Tādējādi mazas sadedzināšanas iekārtas ar automātisku padevi (un, iespējams, ar skābekļa sensoriem) nodrošina labvēlīgus apstākļus zemākas CO emisijas sasniegšanai. Piemēram, CO emisijas mājsaimniecībām paredzētām cietā kurināmā sadedzināšanas iekārtām var būt vairāki tūkstoši ppm salīdzinājumā ar 50–100 ppm rūpnieciskās sadedzināšanas kamerās, ko izmanto centralizētā siltumapgādē.

3.4. Smagie metāli

Smago metālu emisija ir ļoti atkarīga no to satura kurināmajā. Ogļu un to atvasinājumu sastāvā parasti ir daudz vairāk smago metālu, nekā šķidrā kurināmajā un dabasgāzē. Arī visa veida ‘neapstrādātajā’ biomasā ir smagie metāli un to saturs ir atkarīgs no biomasas veida. Lielākā daļa aplūkoto smago metālu (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se un Zn) parasti izdalās kā savienojumi, kas saistīti un/vai adsorbēti ar daļiņām (piemēram, sulfīdi, hlorīdi vai organiskie savienojumi). Tvaika fāzē vismaz daļēji atrodas Hg, Se, As un Pb. Mazāk gaistošo metālu savienojumi mēdz kondensēties uz mazāku daļiņu virsmas izplūdes gāzēs. Akmeņogļu un biomasas sadedzināšanas laikā daļiņas piedzīvo sarežģītas izmaiņas, kas izraisa gaistošu elementu iztvaikošanu. Smago metālu savienojumu iztvaikošanas ātrums ir atkarīgs no tehnoloģijas īpašībām (katlu tips; degšanas temperatūra) un no degvielas īpašībām (to metālu saturs, neorganisko sugu, piemēram, hlora, kalcija utt.). Emitētā dzīvsudraba ķīmiskā forma var būt īpaši atkarīga no hlora savienojumu klātbūtnes. Ietekme būs arī izmantotās sadedzināšanas ierīces un ar to saistīto samazināšanas iekārtu raksturam [14]

Apstrādāts biomasas kurināmais, piemēram, piesūcināta vai krāsota koksne, var izraisīt ievērojami lielāku izdalīto smago metālu daudzumu (piemēram, Cr, As). Smago metālu emisijas var samazināt, veicot sekundārus (daļiņu) emisiju samazināšanas pasākumus (izņemot Hg, As, Cd un Pb, kuriem ir būtiska gaistošā sastāvdaļa).

3.5. Gaistošie organiskie savienojumi

Nelielas jaudas iekārtās gaistošo organisko savienojumu (NMVOC) emisijas var rasties ievērojamā daudzumā. Tie ir dažādu organisko savienojumu kopa, kas pēc sava ķīmiskā sastāva ļoti atšķiras, bet atmosfērā izturas līdzīgi. NMVOC izplūst atmosfērā no daudziem avotiem, ieskaitot sadedzināšanas iekārtas, šķīdinātāju izmantošana un ražošanas procesos. NMVOC veicina zemes līmeņa (troposfēras) ozona veidošanos. Turklāt daži NMVOC vai to grupas, piemēram, benzols un 1,3 butadiēns, ir bīstamas cilvēku veselībai.

Šīs emisijas lielākoties izdalās no neefektīvi strādājošām krāsnīm (piemēram, malkas krāsnis). NMVOC ir visi starpprodukti degvielu oksidēšanās laikā. Tie var adsorbēties, kondensēties un veidot daļiņas. Līdzīgi kā CO gadījumā, arī NMVOC emisija ir zemas degšanas temperatūras, īsa uzturēšanās laika oksidācijas zonā un/vai nepietiekamas skābekļa pieejamības rezultāts. NMVOC emisijām ir tendence samazināties, palielinoties sadedzināšanas iekārtas jaudai, jo lielākām iekārtām parasti raksturīga uzlabota sadedzināšanas efektivitāte.

3.6. Cita veida emisijas

SO₂ emisijas ir atkarīgas no sēra saturs degvielā, ja nav uzstādītas emisiju samazināšanas iekārtas. Sadedzināšanas tehnoloģija var ietekmēt SO₂ izdalīšanos ar lielāku sēra saturu pelnos, nekā tas parasti ir lielākās sadedzināšanas iekārtās.

NO_x emisija parasti ir slāpekļa oksīda (NO) formā, un neliela daļa ir slāpekļa dioksīda (NO₂) formā. NO_x gāzes parasti rodas, reaģējot starp slāpekli un skābekli, degot degvielai vai augstās temperatūrās, piemēram, automobiļu dzinējos. Vietās, kur ir intensīva mehānisko transportlīdzekļu satiksme, piemēram, lielajās pilsētās, emitētie slāpekļa oksīdi var būt nozīmīgs gaisa piesārņojuma avots. NO_x gāzes dabiski rodas arī zibens ietekmē. Ir pārliecinoši pierādījumi, ka NO_x ieelpošana var izraisīt un saasināt esošos astmas simptomus un pat izraisīt ilgāku astmas attīstību. Kaut arī mājsaimniecību sadedzināšanas iekārtu NO_x emisijas ir zemas salīdzinājumā ar lielākām iekārtām (daļēji zemākas krāsns temperatūras dēļ), tiek uzskatīts, ka primārā NO₂ daļa ir lielāka.

Dioksīnu un furānu emisijas (PCDD/F) ir ļoti atkarīgas no apstākļiem, kādos notiek sadegšanas process un izplūdes gāzu dzesēšana. PCDD/F veidošanai ir nepieciešams ogleklis, hlors, katalizators un skābekļa pārpalikums. Īpaši izmantojot akmeņogļu krāsnis, izdalās ļoti augsts PCDD/F līmenis [15]. PCDD/F emisija ievērojami palielinās mājsaimniecību sadedzināšanas iekārtās, ja dedzina plastmasas atkritumus vai ja tiek izmantota piesārņota/apstrādāta koksne. PCDD/F emisijas var samazināt, ieviešot jaunākas cietā kurināmā sadedzināšanas metodes [16].

Policiklisko aromātisko ogļūdeņražu (PAO) emisija rodas nepilnīgas kurināmā sadegšanas rezultātā. PAO emisijas ir atkarīgas no degšanas procesa, it īpaši no temperatūras (pārāk zema temperatūra palielina

emisiju daudzumu), uzturēšanās laiku sadegšanas kamerā un skābekļa pieejamības. Ogļu sadedzināšanas krāsnīs un novecojušos katlos (manuāli darbināmos) izdalās vairākas reizes lielāks PAO daudzums salīdzinājumā ar jauniem katliem.

Visu slāpekli saturošo cieto kurināmo nepilnīgas sadegšanas rezultātā var izdalīties neliels daudzums amonjaka. Tas notiek gadījumos, kad degšanas temperatūra ir ļoti zema (kamīnos, krāsnīs, vecas konstrukcijas katlos). NH_3 emisijas parasti var samazināt ar primāriem pasākumiem, kuru mērķis ir samazināt nepilnīgas sadegšanas produktus un palielināt efektivitāti.

4. Siltumapgādes risinājumu analīze Rēzeknē

4.1. Pilsētas saistošie noteikumi

Šobrīd pilsētā nav pieņemti atsevišķi saistošie noteikumi, kas regulētu individuālo siltumapgādes risinājumu izvēli pilsētā kopumā vai kādā atsevišķā teritorijā

“Rēzeknes pilsētas ilgtspējīgas attīstības stratēģijas 2030.gadam” [17] virziens IP4 paredz “Rēzekne – cilvēkam un videi draudzīga, droša un mūsdienīga pilsēta”. Galvenās rīcības paredz:

- 109.1. māju energoefektivitātes uzlabošana un alternatīvo enerģijas veidu pielietojuma veicināšana;
- 109.3. vecpilsētas vēsturisko ēku saglabāšana un atjaunošana;
- 109.4. pilsētas ūdenssaimniecības un siltumtīklu uzturēšana labā stāvoklī;
- 109.5. pasākumi labas vides kvalitātes saglabāšanai;
- 109.12. iedzīvotāju izglītošana mājokļu un teritorijas apsaimniekošanas jomās.

“Rēzeknes pilsētas attīstības programma 2014.-2022.gadam” [18] definē, ka “Rēzeknes pilsētas siltumapgādes attīstības stratēģija vērsta uz centralizētās siltumapgādes sistēmas energoefektivitātes paaugstināšanu, kā arī uz apkārtējās vides piesārņojuma un siltumnīcefektu radošo gāzu emisijas samazināšanu atmosfērā. Pašvaldību dzīvojamā fonda tehniskais stāvoklis ir nepietiekams, tādēļ tiek plānots turpināt darbu pie ēku energoefektivitātes uzlabošanas, piesaistot papildus finanšu līdzekļus”. Tomēr prioritātes” VTP 5 Kvalitatīva dzīves telpa īstenošanai” rīcības virziens “RV15 Ilgtspējīga vide” neiekļauj atsevišķus pasākumus siltumapgādes sistēmas uzlabošanai vai radītā piesārņojuma mazināšanai.

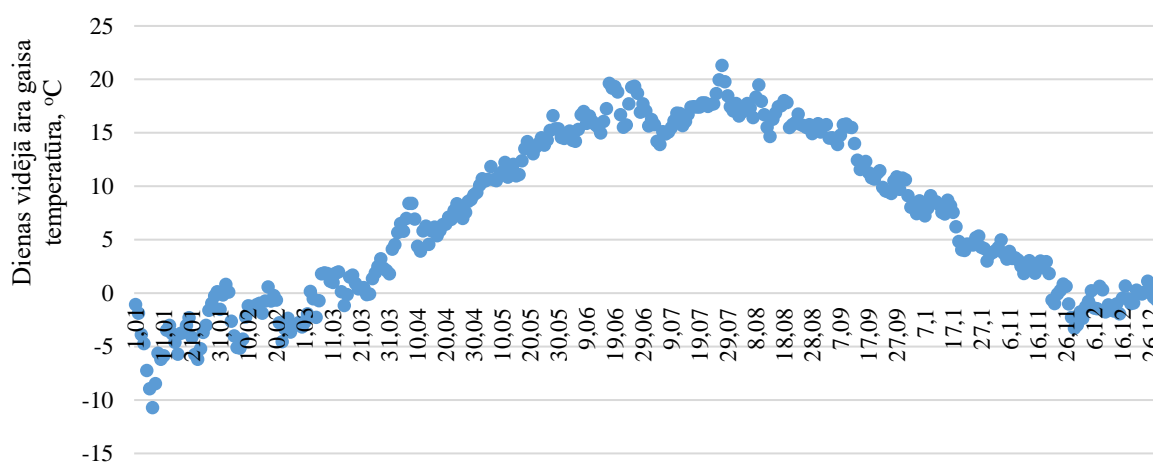
Rēzeknes pilsētas domes saistošie noteikumi Nr. 9 “Rēzeknes pilsētas teritorijas kopšanas un būvju uzturēšanas saistošie noteikumi” (no 2019. gada 28. martā (prot. Nr. 56, 4. p.)) nosaka kārtību, kādā kopjama Rēzeknes pilsētas administratīvā teritorija un uzturamas tajā esošās būves, nodrošinot sanitāro tīrību, teritorijas sakoptību un aizsardzību, taču nenosaka siltumapgādes sistēmu uzturēšanas kārtību.

Rēzeknes pilsētas domes saistošie noteikumi Nr.28 Nekustamā īpašuma nodokļa piemērošanas kārtība Rēzeknes pilsētā (no 2013.gada 13.septembrī (prot. Nr.11, 2.p.)), kas izdoti saskaņā ar likuma "Par nekustamā īpašuma nodokli" nosaka nekustamā īpašuma nodokļa piemērošanas kārtību Rēzeknes pilsētā attiecībā uz nodokļa parādu piedziņas termiņiem, nodokļa aprēķināšanu par vidi degradējošām, sagruvušām vai cilvēku drošību apdraudošām būvēm un tām piekrītošo zemi, nodokļa apmēra pieauguma ierobežojuma piemērošanu zemei, dzīvojamo māju palīgēku (izņemot garāžas) neaplikšanu

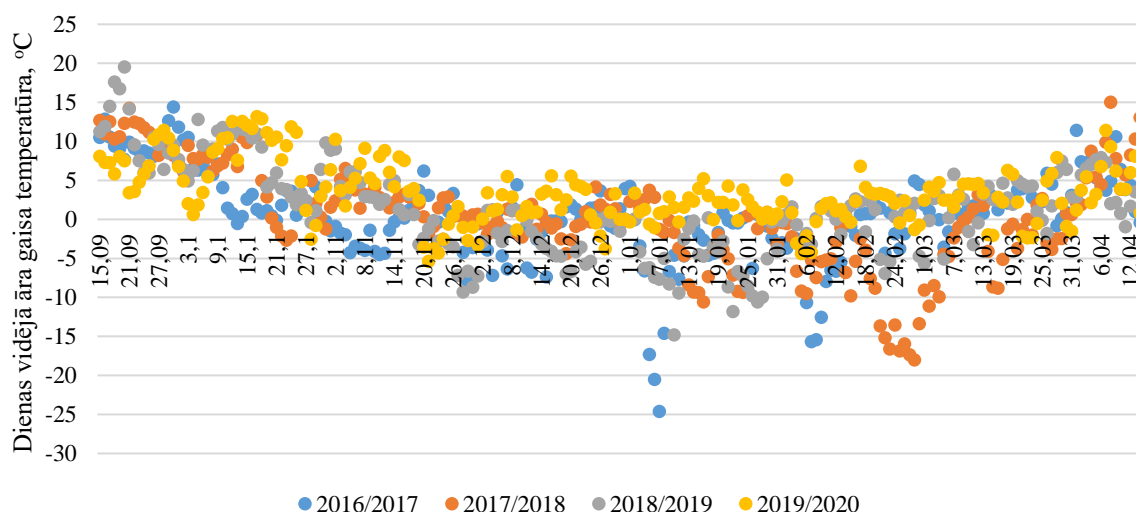
ar nodokli. Šie noteikumi neparedz nodokļa palielināšanu neefektīvām iekārtām vai samazināšanu tehnoloģijām ar mazāku piesārņojumu.

4.2. Klimatiskie apstākļi

Siltumapgādes sistēmu tieši ietekmē klimatiskie apstākļi – vidējā āra gaisa temperatūra un apkures sezonas ilgums. 4.attēlā redzamas dienas vidējās āra gaisa temperatūras pēdējo 5 gadu periodā. Redzams, ka zemākā dienas vidējā āra gaisa temperatūra ir – 10,7 °C. 5.attēlā redzams dienas vidējā āra gaisa temperatūru salīdzinājums pēdējo gadu apkures sezonās. Redzams, ka gaisa temperatūra, kas zemāka par - 15°C bijusi tikai dažas dienas.

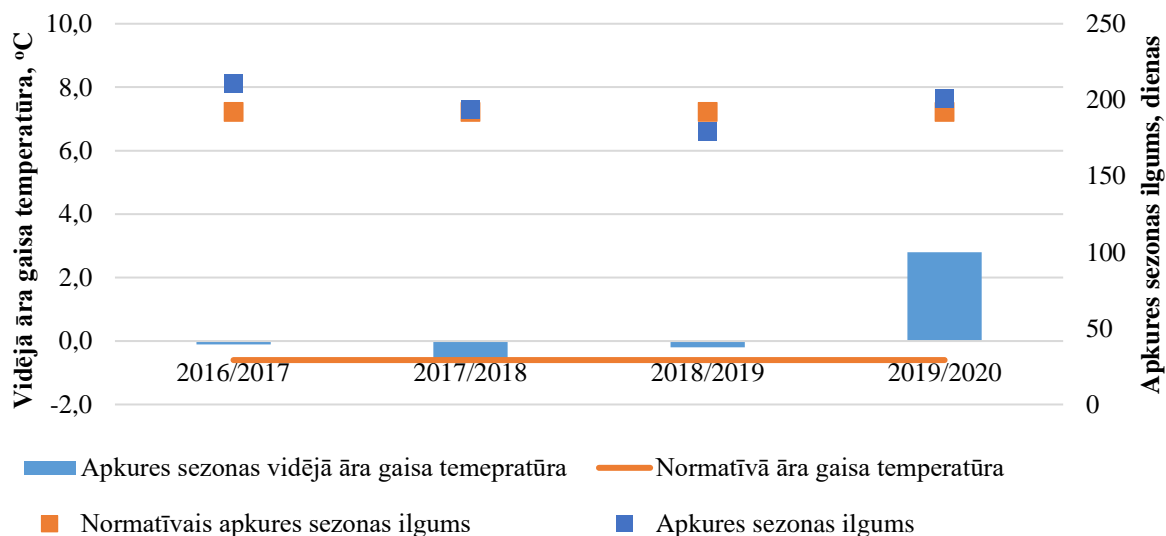


4.att. Piecu gadu vidējā āra gaisa temperatūra Rēzeknē



5.att. Dienas vidējās āra gaisa temperatūras salīdzinājums apkures sezonās

6.attēlā sniegts salīdzinājums starp normatīvo un reālo apkures sezonas temperatūru un ilgumu pēdējās apkures sezonās. Normatīvais apkures sezonas ilgums saskaņā ar MK noteikumiem Nr.432“Noteikumi par Latvijas būvnormatīvu LBN 003-15 "Būvklimatoloģija" [19] Rēzeknē ir 192 dienas, bet vidējā āra gaisa temperatūra -0,6°C. Apkures sezonas ilgums noteikts, pieņemot, ka apkure ēkās tiek pieslēgta, kad piecu dienu vidējā āra gaisa temperatūra ir zemāka par 8°C un attiecīgi atslēgta, kad piecu dienu vidējā temperatūra ir augstāka par 8°C.



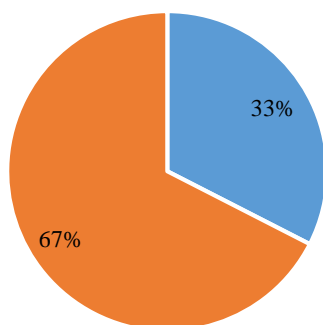
6.att. Apkures sezonas vidējās temperatūras un ilguma salīdzinājums

Garākā apkures sezona bijusi 2016./2017.gadā, sasniedzot 211 dienas, bet īsākā 2018./2019.gadā. Apkures sezonas zemākā temperatūra bijusi 2017./2018.gadā (-0,6°C), bet visaugstākā 2019./2020.gadā (2,8°C). Apkures sezonas ilgums un vidējā āra gaisa temperatūras izmaiņas jāņem vērā, salīdzinot kurināmā patēriņu un saražotās siltumenerģijas daudzumus dažādās apkures sezonās, lai objektīvi novērtētu siltumenerģijas ražošanas izmaiņas.

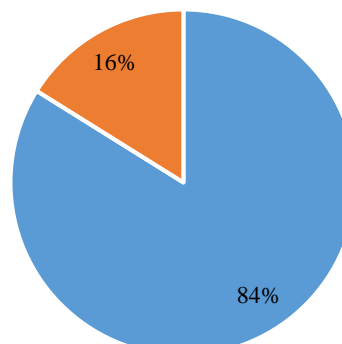
4.3. Pārskats par dzīvojamo fondu

Lai analizētu dzīvojamo fondu Rēzeknes pilsētā, izmantot Rēzeknes pilsētas būvvaldes 2020.gadā sniegtā informācija par dažāda veida ēkām. Kopumā apkopota informācija par 3052 dažāda veida dzīvojamajām ēkām. Kā redzams 7.attēlā, lielākā daļa jeb 2549 ēku ir viengimeņu vai divu ģimeņu ēkas ar ēkas vidējo platību 113 m². Savukārt lielāko dzīvojamo platību pilsētā sastāda daudzīvokļu ēkas (kopumā 490), kuru kopējā lietderīgā platība ir 593 544 m². Daudzīvokļu ēkas vidējā platība ir 1 226 m².

Ēku kopējā platība



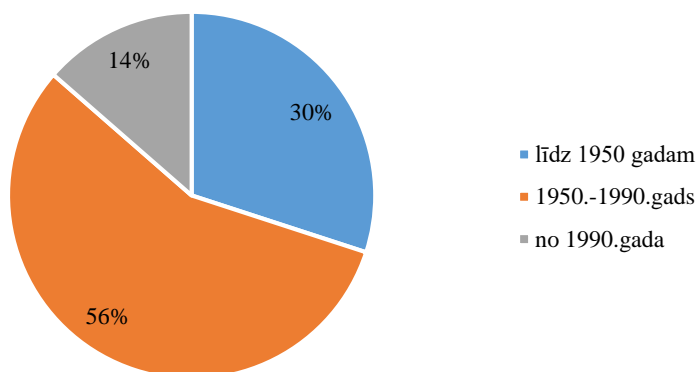
Ēku skaits



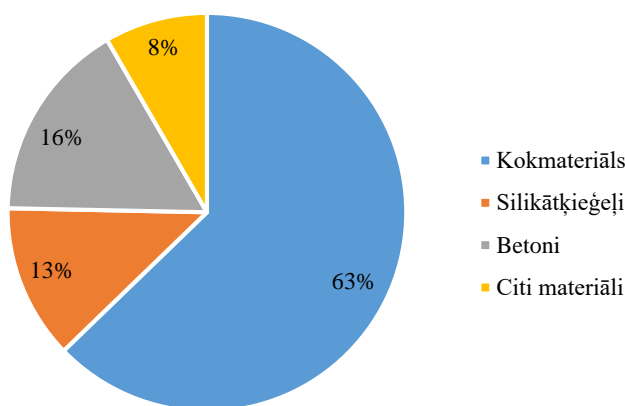
■ Vienģimeņu un divģimeņu ēkas ■ Daudzīvokļu ēkas ■ Vienģimeņu un divģimeņu ēkas ■ Daudzīvokļu ēkas

7.att. Dzīvojamā fonda sadalījums pēc ēku veida (pēc kopējās platības un ēku skaita)

Lielākā daļa jeb 56% no pilsētas vienģimeņu un divu ģimeņu ēkām ir celtas Padomju laikos, laika posmā no 1950. līdz 1990.gadam. Salīdzinoši lielu īpatsvaru sastāda arī pirms 1950.gada celtās ēkas. Savukārt tikai 14% ēku ir celtas pēc 1990.gada. Ēku vecuma struktūra jāņem vērā plānojot siltumenerģijas patēriņu nākotnē, jo lielai daļai ēku tuvākajos gados nepieciešama kompleksā renovācija un energoefektivitātes paaugstināšana.



8.att. Vienģimeņu un divģimeņu ēku iedalījums pēc ekspluatācijas uzsākšanas perioda



9.att. Vienģimeņu un divu ģimeņu ēku iedalījums pēc ārsienu materiāla

Siltumenerģijas patēriņu būtiski ietekmē arī ēku norobežojošo konstrukciju materiāli. 9.attēlā redzams, ka būtisku Rēzeknes pilsētas apbūvi veido koka ēkas. Kokmateriāli izmantoti 63% privātmāju ārsienu konstrukcijām, 16% ēku celtas no dažāda veida betona materiāliem, bet 13% celtas no ķieģeļiem.

4.4. Centralizētā siltumapgādes sistēma

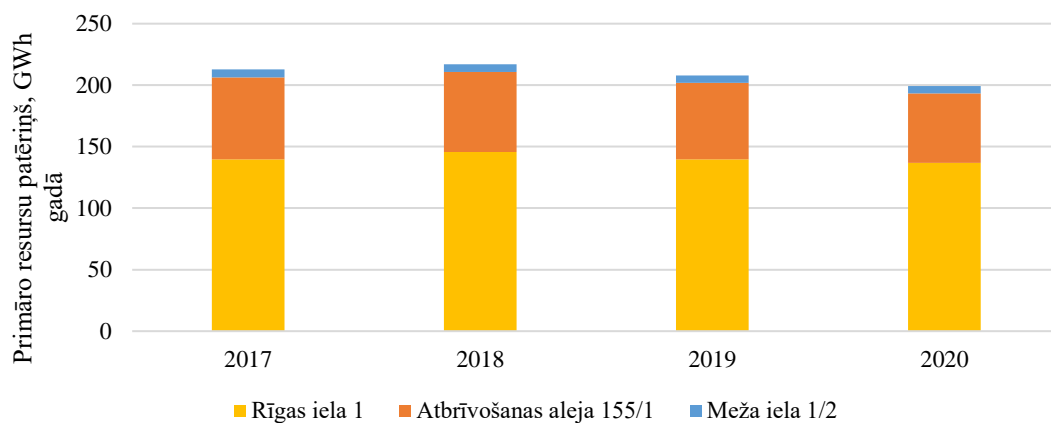
AS „Rēzeknes siltumtīkli” ir vienģigais siltumapgādes pakalpojumu sniedzģjs Rģzeknes pilsģtģ. Uzģģmums pģrveda un sadala visu Rģzeknes pilsģtģs centralizģtģs siltumapgģdes sistģmģ saraģoto siltumenerģģju, kas nepiecieģama esoģajiem siltumenerģģjas patģrģtģjiem. Lielģkģ daģa no tģs tiek izmantota publisko ēku un dzģvojamo mģju apkurei un karstģ ūdens sagatavoģšanai. Centralizģtģs siltumapgģdes sistģmai pieslģģtas 257 daudzģvokģu ēkas, 15 privģtmģģas un 141 juridisko personu ēkas, tai skaitģ paģvaldģbas ēkas. 1.tabulģ sniegts pģrskats par Rģzeknes pilsģtģs katlu mģģģs uzstģdģtajģm sadedģzinģģšanas iekģrtģm

1.tabula

Pģrskats par Rģzeknes pilsģtģs katlu mģģģs uzstģdģtajģm iekģrtģm

Katlu mģģģ	Uzstģdģtģs iekģrtģs veids	Jauda
Meģģa iela 1/2	Vitoplex 200	1,3
	Grandeg Turbo (2)	0,49
Atbrģvoģģanas aleģģa 155/1	Vitomax 200	2,9
	Buderus SB 825	12,6
	Koģģenerģcijas iekģrta TCG2020	1,428
	Binder RRK 4M	7,22
Rģģģas iela 1	Buderus SB 825-M (3)	49,2
	Koģģenerģcijas iekģrta MWM TCG2020V20 (2)	8,982

Izmantojot dabasgāzi, tiek saražota siltumenerģija un elektroenerģija, kas par tīkliem tiek nodota tālāk patērētājiem. 10.attēlā redzams, ka lielākā daļa siltumenerģijas tiek saražota katlu mājā Rīgas ielā 1 un katlu mājā Atbrīvošanas alejā 155/1. Elektroenerģija tiek saražota koģenerācijas režīmā. Ziemeļu rajona (Atbrīvošanas aleja 155a) un centra rajona (Rīgas iela 1/N.Rancāna iela 5) vasaras periodā koģenerācijas režīmā tiek izmantota siltumenerģijas akumulācija.



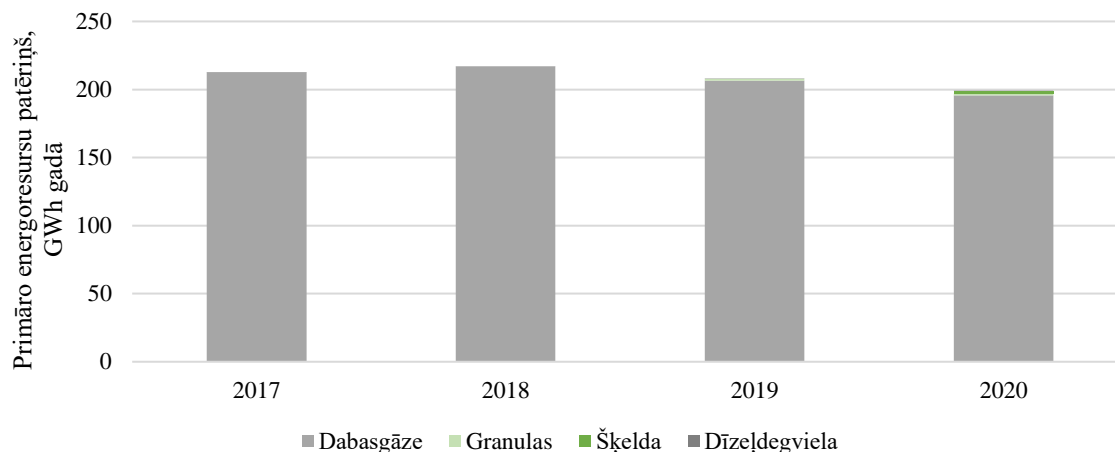
10.att. Primāro resursu patēriņš AS “Rēzeknes siltumtīkli” katlu mājās

2019.gadā tik īstenots projekts energoefektivitātes paaugstināšanai un vietējo energoresursu izmantošanai Rēzeknes pilsētas Vīpingas centralizētajā siltumapgādes sistēmā, rekonstruēt Rēzeknes pilsētas Vīpingas centralizētās siltumapgādes sistēmas siltumavotu, kas atrodas Meža ielā 1 B, uzstādot divus jaunus ar granulām kurināmos katlus, kur katra katla jauda ir 490 kW, veidojot kopējo jaudu līdz 980 kW.

2018.gadā tika uzsākts un 2020.gada beigās pabeigts katlu mājas energoefektivitātes paaugstināšanas projekts “Rēzeknes pilsētas Ziemeļu rajona katlu mājas efektivitātes paaugstināšana, aizvietojo ar fosilā kurināmā siltumavotu ar atjaunojamos energoresursus izmantojošu siltumavotu”, veicot siltumjaudu palielināšanu, ražošanas procesa modernizēšanu un siltumnīcefekta gāzu emisiju samazināšanu. Ziemeļu rajona centralizētās siltumapgādes sistēmai kopumā pievienotas 75 dzīvojamās mājas, 12 valsts vai pašvaldības iestādes un 17 citi objekti ar kopējo aprēķina slodzi 37 MW (tai skaitā karstajam ūdenim aptuveni 15MW). Projekta ietvaros tika veikta šķeldas katlu mājas izbūve. Katlumājā 2019.gadā tika uzstādīti divi jauni šķeldas katli, katrs ar 3MW jaudu ar apsaisti un pieslēgumu pie esošās Ziemeļu rajona katlumājas līdzšinējā gāzes katla “Vitomax 100” ar jaudu 2,9 MW aizvietošanai. Esošā katlumāja, kur uzstādīti ūdens sildīšanas katli, kas darbojas ar dabasgāzi, nodrošina siltuma pīķa slodzi nasegšanu.

Saskaņā ar Gaiss -2 datu bāzē iesniegtajiem kurināmā patēriņa pārskata datiem, kā galvenais kurināmais Rēzeknes pilsētas centralizētajā siltumapgādē tiek izmantota dabasgāze. 11.attēlā redzams kurināmo

patēriņš pa dažādiem kurināmā veidiem. Kopš 2020.gada daļa siltumenerģijas tiek saražota arī ar šķeldu, kad uzsākta Ziemeļu rajona šķeldas katlu mājas ekspluatācija. Paredzams, koksnes kurināmā patēriņa īpatsvara pieaugums turpmākajos gados.



11.att. Primāro resursu patēriņš pa kurināmo veidiem

Centralizētās siltumapgādes sistēmas kopējais maģistrālo un sadales siltumtīklu garums ir 42,273 km, tajā skaitā 11 km siltumtīklu, kas izbūvēti no rūpnieciski izolētām caurulēm pēc bezkanāla tehnoloģijas. Ņemot vērā esošo siltuma pārvades sistēmas tehnisko stāvokli, būvniecības laiku un nolietojumu, uzņēmums mērķtiecīgi veic ieguldījumus siltumenerģijas ražošanas procesa modernizēšanā un pārvades sistēmas tehniskā stāvokļa un efektivitātes uzlabošanā.

4.5. Individuālās siltumapgādes risinājumi

Lai noteiktu kurināmā patēriņu privātmājās, 2021.gadā tika veikta mājsaimniecību aptauja, kuras laikā mājsaimniecību īpašnieki tikai aicināti iesniegt informāciju par izmantoto ēku apkures tehnoloģiju un gadā vidēji patērēto kurināmā daudzumu. Aptaujas laikā tika iegūta informācija par 1713 ēkām, kas sastāda aptuveni 62% no identificētajām privātmājām un daudzīvokļu ēkām ar individuālo siltumapgādi. Respondentu atbildes apkopotas 2.tabulā.

2.tabula

Pārskats par kurināmo patēriņu privātmājās

Sadedzināšanas iekārta	Izmantotais kurināmais	Mājsaimniecību skaits	Patērētais kurināmā daudzums, m ³
Krāsns	Malka no dažādu veidu koksnes	760	7315
Individuālais apkures katls	Malkas no dažādu veidu koksnes	594	13750
	Šķidrās kurināmais	35	150
	Ogles	132	693
	Koksnes granulas	192	1122

Lai salīdzinātu kurināmā patēriņu enerģētiskajās vienībās un noteiktu saražotās siltumenerģijas daudzumu, izmantoti pieņēmumi par dažāda veida kurināmajiem, kas apkopoti 3.tabulā. Pieņēmumi par kurināmā blīvumu un zemāko sadegšanas siltumu balstīti uz vidējajiem kurināmā rādītājiem. Reālie rādītāji var atšķirties dažādas kvalitātes kurināmajiem, piemēram, ja tiek izmantoti koksnes atgriezumi, nekvalitatīvas koksnes granulas vai mitra malka.

3.tabula

Izmantotie pieņēmumi par dažāda veida kurināmajiem

Kurināmā veids	Blīvums, tonnas/m ³	Zemākais sadegšanas siltums, MWh/tonnu
Malka	0,6	3,65
Koksnes granulas	0,7	5,00
Šķidrās kurināmais	0,8	11,80
Ogles	0,8	6,70
Dabaszāze	-	9,50*

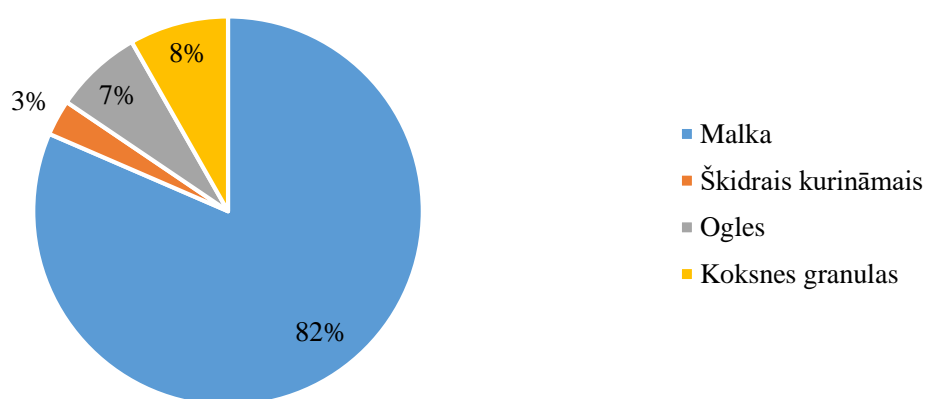
*MWh/t.nm³

Primāro energoresursu patēriņš enerģētiskajās vienībās aprēķināts, reizinot kurināmā patēriņu ar vidējo blīvumu un zemākā sadegšanas siltuma faktoru. 4.tabulā apkopoti aprēķinātie rādītāji dažādiem kurināmā veidiem. Veikts pārrēķins kurināmā patēriņam visās Rēzeknes pilsētas māsaimniecībās, ņemot vērā tās ēkas, kuras netika aptaujātas. Lai noteiktu saražotās siltumenerģijas daudzumu, ņemta vērā arī sadedzināšanas iekārtas efektivitāte, pieņemot, ka malkas krāsnīm un katliem tā ir salīdzinoši zemāka. Kā redzams 4.tabulā, kopējais primāro energoresursu patēriņš privātmāju un daudzīvokļu ēku individuālajai siltumapgādei ir 139 GWh gadā, bet saražotā siltumenerģija 96 GWh gadā.

4.tabula

Aprēķinātie rādītāji primāro resursu patēriņam un saražotajai siltumenerģijai

Apkures iekārta	Izmantotais kurināmais	Efektivitāte, %	Primāro resursu patēriņš, MWh		Saražotā siltumenerģija, MWh	
			Aptaujātajās mājsaimn.	Visās mājsaimn.	Aptaujātajās mājsaimn.	Visās mājsaimn.
Krāsns	Malka	65 %	15818	21949	10282	14267
Individuālais apkures katls	Malkas	70 %	29734	41257	20814	28880
	Šķidrās kurināmais	80 %	1416	1965	1133	1572
	Ogles	75 %	3713	5152	2785	3864
	Granulas	80 %	3927	5449	3142	4359
Kopā			100 160	138978	69250	96089



12.att. Privātmājās saražotās siltumenerģijas sadalījums pēc kurināmā veida

Kā redzams 12.attēlā, lielākā daļa individuālās siltumapgādes tiek nodrošināta ar malkas apkuri, izmantojot malkas katlus un krāsnis. Salīdzinoši mazāks siltumenerģijas daudzums tiek saražots izmantojot koksnes granulas, šķidro kurināmo vai ogles.

Jāatzīmē, ka neviena no aptaujātajām mājsaimniecībām nav norādījusi, ka siltumenerģijas ražošanai tiek izmantota dabasgāze vai elektroenerģija, izmantojot siltumsūkņus vai elektriskos sildītājus. Ņemot vērā šo siltumapgādes risinājumu plašo izmantošanu citās pilsētās, iespējams, ka šie kurināmie tiek izmantoti, bet aptaujas laikā respondenti tos nav norādījuši.

4.6. Siltuma avotu ietekme

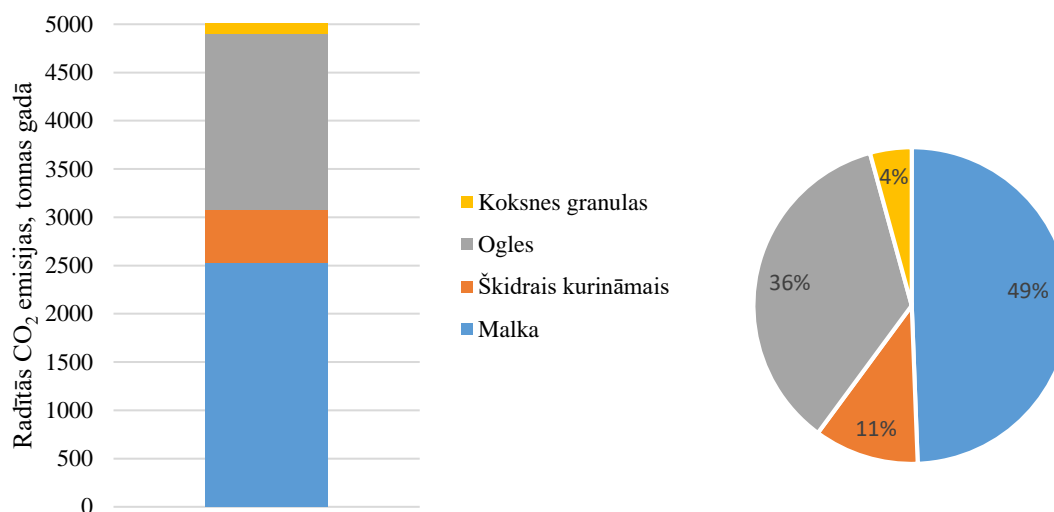
Lai noteiktu pilsētas centralizētās un individuālās siltumapgādes ietekmi uz apkārtējo vidi, noteikti dažādi radīto emisiju veidi. 5.tabulā apkopota informācija par CO₂ emisiju faktoriem no dažāda veida kurināmajiem, saskaņā ar spēkā esošajiem likumdošanas aktiem [20]. Redzams, ka augstākais CO₂ emisiju faktors ir oglēm un šķidrajam kurināmajam.

5.tabula

Izmantotie pieņēmumi par dažāda veida kurināmajiem

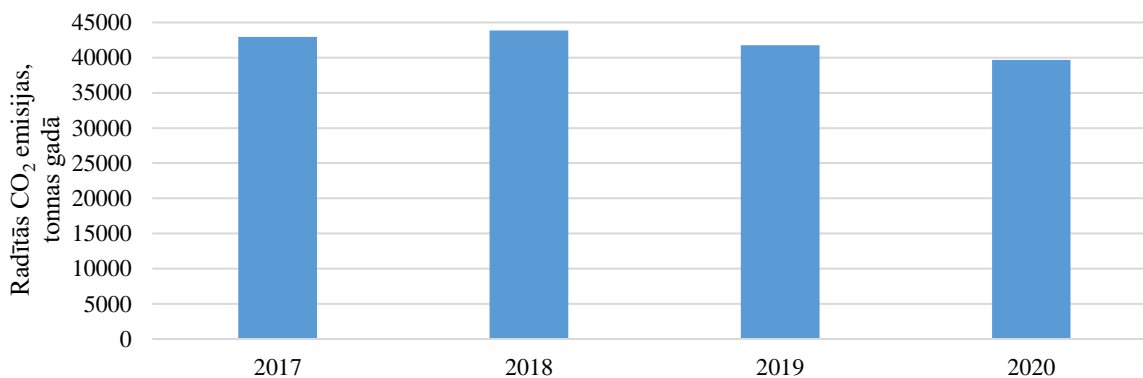
Kurināmā veids	CO ₂ emisiju faktors, kg/MWh
Malka	40
Koksnes granulas	40
Šķidrāis kurināmais	279
Ogles	354
Dabasgāze	202

Ņemot vērā kurināmo primārās enerģijas patēriņu un 5.tabulā norādītos CO₂ emisiju faktoros, noteiktas radītās CO₂ emisijas no individuālās siltumapgādes Rēzeknes pilsētā. Kopējais emisiju daudzums ir 5117 tonnas CO₂ emisiju gadā. Ja saskaņā ar likumdošanas aktiem tiek pieņemts, ka koksnes izmantošana nav CO₂ neitrāla, tad lielākā daļa CO₂ emisiju tiek radīts no malkas sadedzināšanas. 13.attēlā redzams, ka, lai gan ogles tiek izmantotas salīdzinoši nedaudz, tās rada 36% no individuālajā siltumapgādē radītajām CO₂ emisijām.



13.att. Individuālās siltumapgādes radītās CO₂ emisijas pēc kurināmā veida

14.attēlā apkopota informācija par centralizētajā siltumapgādē radītajām CO₂ emisijām, kas aprēķinātas, ņemot vērā kurināmā patēriņu. Tā kā siltuma ražošanai lielākoties tiek izmantota dabasgāze, tad CO₂ emisiju daudzums ir ievērojams. Redzams, ka līdz ar koksnes izmantošanu 2019. un 2020.gadā, CO₂ emisiju daudzums samazinās.



14.att. Centralizētajā siltumapgādē radītās CO₂ emisijas

Siltumenerģijas ražošana, sadedzinot dažāda veida kurināmos, rada arī cita veida emisijas. 6.tabulā un 7.tabulā apkopoti pieņēmumi par cita veida radītajām emisijām dažāda veida kurināmajiem un sadedzināšanas tehnoloģijām. Radīto emisiju daudzums atšķiras mazas jaudas stacijās un lielas jaudas iekārtās centralizētajā siltumapgādē, kas aprīkotas ar labākām automatiskās vadības sistēmām, dūmgāzu monitoringa sistēmām un attīrīšanas iekārtām, kā arī nodrošina labāku dūmgāzu izkliedi.

6.tabula

Emisiju faktori dažāda veida emisijām no mazas jaudas mājsaimniecību iekārtām, g/MWh [12]

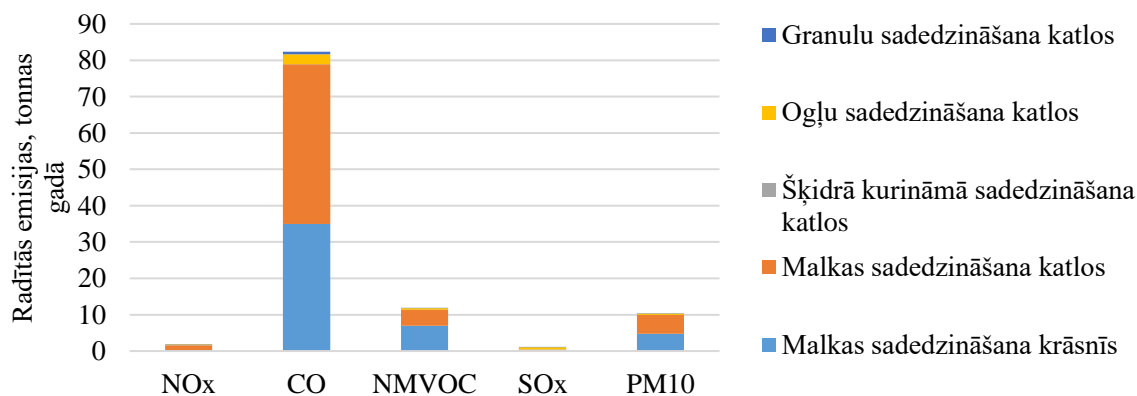
	NO _x	CO	NMVOC	SO _x	PM
Malkas sadedzināšana krāsnīs	14	1667	333	3	225
Malkas sadedzināšana katlos	33	1111	111	8	132
Šķidrā kurināmā sadedzināšana katlos	19	11	4	39	1
Ogļu sadedzināšana katlos	42	556	83	125	67
Granulu sadedzināšana katlos	25	139	6	6	21

7.tabula

Emisiju faktori dažāda veida emisijām no lielas jaudas sadedzināšanas iekārtām, g/MWh [12]

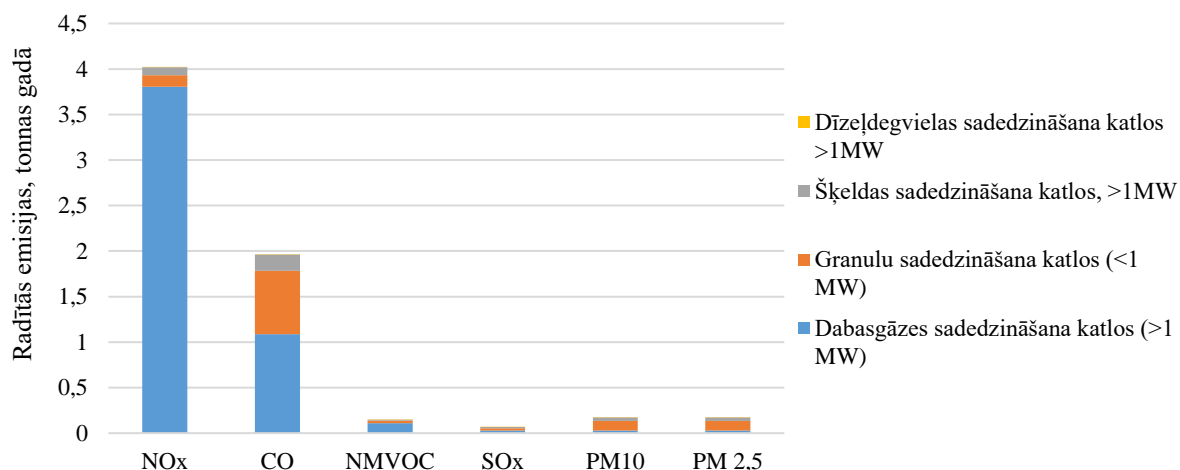
	NO _x	CO	NMVOC	SO _x	PM
Dabaszgāzes sadedzināšana katlos, >1 MW	19.4	5.6	0.6	0.1	0.1
Granulu sadedzināšana katlos, <1 MW	90.0	500.0	20.0	20.0	76.0
Šķeldas sadedzināšana katlos, >1MW	41.7	83.3	5.6	5.6	18.3
Dīzeļdegvielas sadedzināšana katlos, >1MW	70.0	40.0	15.0	140.0	3.0

15.attēlā redzamas aprēķinātās cita veida emisijas (NO_x, CO, NMVOC, SO_x un cieto daļiņu emisijas) no dažādiem kurināmā veidiem un sadedzināšanas iekārtām. Kā redzams, individuālā siltumapgāde šobrīd rada lielu daudzumu CO emisiju no malkas sadedzināšanas un salīdzinoši augstu NMVOC un cieto daļiņu emisiju īpatsvaru.



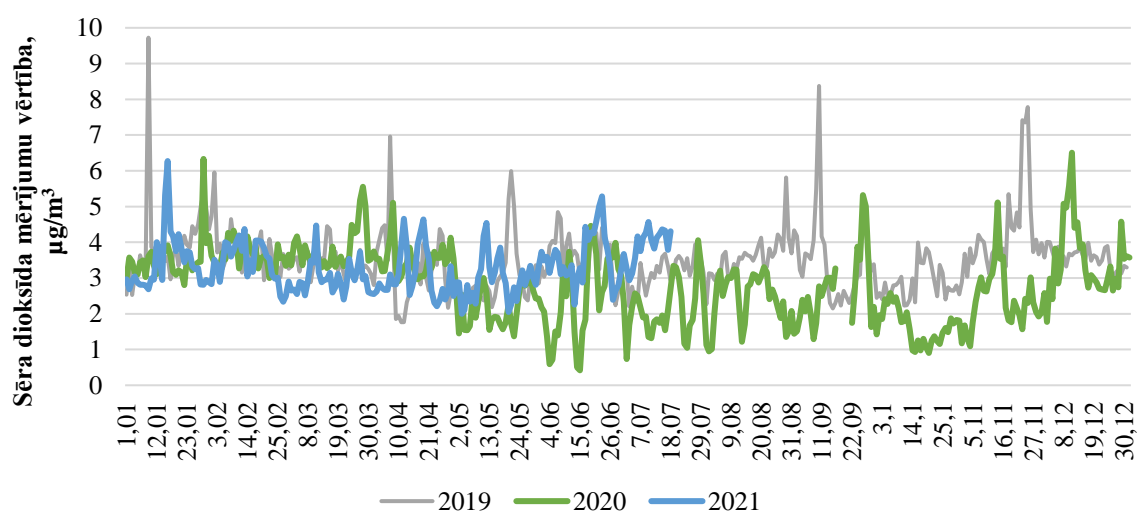
15.attēls. Radītās emisijas no individuālajām siltumapgādes iekārtām

16.attēlā redzamas cita veida radītās emisijas no centralizētās siltumapgādes katlu mājām. Redzams, ka lielāko īpatsvaru sastāda slāpekļa emisijas no dabasgāzes sadedzināšanas, kā arī CO emisijas no dabasgāzes un koksnes sadedzināšanas.



16.attēls. Radītās emisijas no centralizētās siltumapgādes iekārtām

Kopš 2001.gada Rēzeknes pilsēta iekļauta 7 lielāko Latvijas pilsētu sarakstā, kur tiek regulāri organizēti gaisa kvalitātes novērojumi [21]. Pilsētā uzstādīta diferenciālās optiskās absorbcijas spektroskopijas monitoringa stacija un izstrādāta gaisa kvalitātes monitoringa programma. Gaisa kvalitātes novērojumu staciju galvenais uzdevums ir sniegt informācija par ārtelpas gaisa kvalitāti troposfērā un salīdzināt faktisko stāvokli ar noteiktajiem kvalitātes normatīviem. Gaisa kvalitātes mērījumi tiek nodrošināti nepārtrauktā automatiskā režīmā.



17.att. Dati par sēra dioksīda mērījumiem Rēzeknes monitoringa stacijā

Rēzeknes pilsētā nepārtrauktas darbības gaisa piesārņojuma mērīšanas stacija „Rēzekne 2.stars” atrodas Atbrīvošanas alejā 108, kurās tiek veikti SO_2 , NO_2 , O_3 , benzola, toluola, PM_{10} , NO mērījumi, kontrolējot gaisa kvalitāti Rēzeknes pilsētā. Tomēr ilgtermiņa mērījumu dati pieejami tikai par dažām no mērītajām piesārņojuma vielām. Gaisa kvalitātes dati par Sēra dioksīda līmeni Rēzeknē redzami 17. attēlā. Trīs gadu periodā augstākā sēra dioksīda vērtība ir $34,71 \mu\text{g}/\text{m}$. Gaisa kvalitātes mērījumi liecina, ka sēra dioksīda vērtības nepārsniedz robežu, pie kuras gaisa kvalitāte uzskatāma par sliktu ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

5. Rekomendācijas siltumapgādes ietekmes uz vidi mazināšanai Rēzeknes pilsētā

Iegūtie rezultāti liecina, ka Rēzeknes pilsētas centralizētā siltumapgāde rada lielāku īpatsvaru CO₂ un slāpekļa savienojumu emisiju, savukārt esošie individuālās siltumapgādes risinājumi saistīti ar lielu daudzumu CO emisijām. Lielākā daļa dažādu piesārņojošo vielu emisijas gaisā tiek radītas no nepilnīga sadegšanas procesa, ko rada novecojušas un automātiski nevadāmas apkures iekārtas. Lai uzlabotu vides kvalitāti un samazinātu primāro energoresursu patēriņu, identificētas sekojošas rekomendācijas siltumapgādes sistēmas uzlabošanā.

5.1. Individuālo siltuma avotu monitoringa sistēma

Ieviest individuālo siltuma avotu monitoringa sistēmu, periodiski identificējot māsjsaimniecību apkures sistēmu tehnoloģiskos risinājumus un kurināmā patēriņu. Veicot māsjsaimniecību aptaujas, ieteicams identificēt arī uzstādīto sadedzināšanas iekārtu vecumu un patērētā kurināmā kvalitātes rādītājus, lai precīzāk noteiktu saražotās siltumenerģijas daudzumu un radītās emisijas.

Ieteicams uzturēt siltumavotu datubāzi, kurā norādīti būtiskākie ēku rādītāji (adrese, ekspluatācijas un renovācijas gads, platība, norobežojošo konstrukciju materiāls un stāvoklis, siltuma avots, kurināmā patēriņš) un veikt siltuma avotu kartēšanu, lai identificētu mikrorajonus ar augstākiem piesārņojošo vielu rādītājiem.

Adrese	Kadastra apz.	Kopējā platība	Lietderīgā	Apkures veids	Apkures iekārta	Apkures iekārtas uzstādīšanas/ražc.	Patērētā kurināmā veids	Vidējais patērētā	Kurināma patēriņš
18. novembra 13	2100 004 0801 001	144.60	116.80	Individuālā siltumapgāde	Katls	2012	Granulas	6	tonnas
18. novembra 15A	2100 004 0824 001	501.10	354.40	Individuālā siltumapgāde					

18.att. Siltuma avotu reģistra paraugs

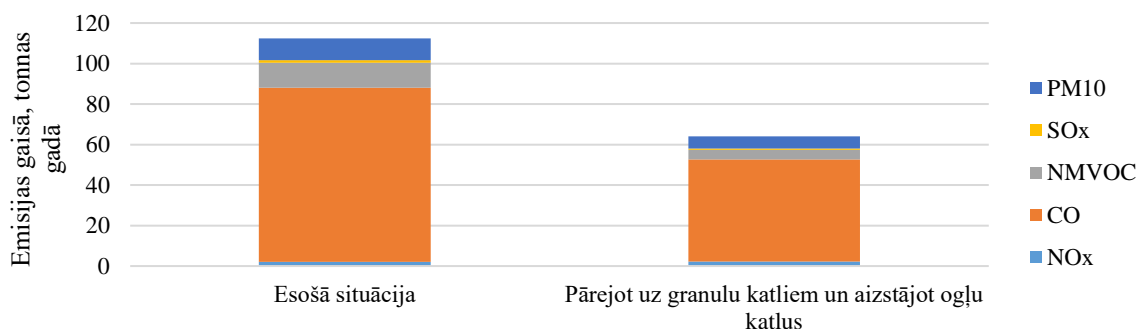
Siltumavotu datubāzi iespējams papildināt arī ar cita veida objektu siltuma avotiem (pakalpojuma un publiskajām ēkām, rūpniecības ēkām), lai iegūtu visaptverošu pilsētas stacionāro piesārņojuma avotu reģistru.

Ēkām, kas pieslēgtas centralizētajai siltumapgādei, datubāzē ieteicams norādīt ikgadējo siltumenerģijas patēriņu, lai identificētu ēkas ar lielāko energoefektivitātes paaugstināšanas potenciālu.

5.2. Veicināt efektīvāku apkures sistēmu izmantošanu māsjsaimniecībās

Veiktā māsjsaimniecību aptauja rāda, ka lielā daļā ēku kā galvenais siltuma avots ir malkas krāsnis, kurām ir zema sadedzināšanas efektivitāti, nav iespējas vadīt sadegšanas procesu un nodrošināt pilnīgu kurināmā sadegšanu, lai neradītu kaitīgas emisijas vidē.

Lai samazinātu individuālo siltumapgādes avotu ietekmi uz vidi, nepieciešams īstenot informatīvas kampaņas par dažādu siltumenerģijas ražošanas risinājumu ietekmi uz vidi, ieviest īpašuma nodokļa atlaides efektīvu iekārtu izmantošanas gadījumā vai noteikt ierobežojumus, neefektīvu sadedzināšanas iekārtu izmantošanai.

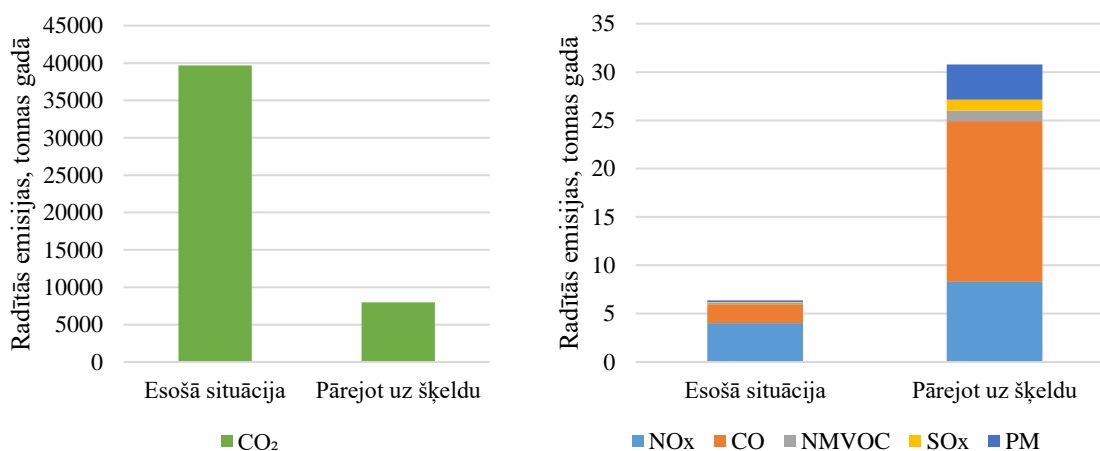


19.att. Radīto emisiju salīdzinājums individuālās siltumapgādes risinājumiem

19.attēlā redzams radīto emisiju salīdzinājums, ka esošās malkas krāsnis un ogļu katlus aizstātu ar automātiski vadāmiem granulu apkures katliem. Šāds risinājums būtiski samazinātu radītās CO, gaistošo organisko savienojumu un cieto daļiņu emisijas. Papildus ieguvumu sniegtu maza izmēra dūmgāzu attīrīšanas iekārtu uzstādīšanas mājāsaimniecībās.

5.3. Centralizētās siltumapgādes pāreja uz atjaunojamajiem energoresursiem

Lai samazinātu centralizētās siltumapgādes radītās kopējās emisijas, jāturpina pāreja uz atjaunojamo energoresursu izmantošanu siltumenerģijas ražošanai. 20.attēlā aprēķināts radīto emisiju apjoms, ja visu kurināmā patēriņu aizstātu ar šķeldas izmantošanu. Kā redzams, radītās CO₂ emisijas samazinātos par 80%, savukārt cita veida emisijas pieaugtu. Jāatzīmē, ka CO₂ emisiju daudzums ir daudz kārt lielāks.



20.att. Centralizētās siltumapgādes radītās emisijas, pārejot uz šķeldas izmantošanu

Aprēķinu rezultāti rāda, ka palielinot šķeldas izmantošanu, pieaugtu cita veida radīto emisiju daudzums, ko daļēji iespējams novērst, uzstādot efektīvas dūmgāzu attīrīšanas iekārtas. Alternatīva ir izvēlēties siltuma ražošanai kādu no bez-emisiju tehnoloģijām, piemēram, saules kolektorus vasaras siltumslodzes segšanai, integrēt siltumenerģijas pārpalikumus no rūpniecības objektiem vai izmantot siltumsūkņus, kas izmanto apkārtējās vides siltumu.

5.4. Veicināt jaunu patērētāju pieslēgšanos centralizētajai siltumapgādei

Ja esošā centralizētā siltumapgādes kļūst efektīvāka un plašāk izmanto atjaunojamus energoresursus, tad izmantojot dažādus stimulējošos pasākumus, piemēram, līdzmaksājumus pieslēgumu izbūvei vai nekustamā īpašuma nodokļu atlaides, būtu iespējams veicināt jaunu patērētāju pieslēgšanos centralizētās siltumapgādes sistēmai.

AS “Rēzeknes siltums” identificējis, ka aptuveni 253 pilsētas mājsaimniecības būtu iespējams pieslēgt pie centralizētās siltumapgādes sistēmas. Pieņemot vidējo ēku platību un siltumenerģijas patēriņu uz vienu m², noteikts, ka šādu ēku kopējais siltumenerģijas patēriņš būtu ap 7690 MWh gadā.

Izmantotā literatūra

1. Olsthoorn D., Haghghat F., Mirzaei P. A. (2016). Integration of storage and renewable energy into district heating systems: A review of modelling and optimization. *Solar Energy*, 136, 49–64
2. Carpaneto E., Lazzeroni P., Repetto M. (2015). Optimal integration of solar energy in a district heating network. *Renewable Energy*, 75, 714–721
3. Averfalk H., Ingvarsson P., Persson U., Gong M., Werner S. (2017). Large heat pumps in Swedish district heating systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 1275–1284
4. Ehrlich L.R., Klamka J., Wolf A. (2015). The potential of decentralized power-to-heat as a flexibility option for the German electricity system: A microeconomic perspective. *Energy Policy*, 87, 417-428
5. Vallios I., Tsoutsos T., Papadakis G. (2009). Design of biomass district heating systems. *Biomass and Bioenergy*, 33, 659–678
6. Muizniece I., Blumberga D. (2017). Wood resources for energy sector in Latvia. Is it a sustainable solution? *Energy Procedia*, 128, 287–291
7. Muizniece I., Gravelsins A., Brauners I., Blumberga A., Blumberga D. (2017). Innovative bioproducts from forest biomass. Method of analysis. *Energy Procedia*, 113, 434–441
8. United Nations. (2011). The European Forest Sector Outlook Study II 2010-2030. Publishing Service, United Nations, Geneva. Available at: <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/timber/publications/sp-28.pdf> [Accessed 20.12.2019]
9. CITEPA, (2003). ‘Wood Combustion in Domestic Appliances’. Final background document on the sector, 30.06.2003.
10. Kubica K. (2002/3). ‘Low emission coal boilers as alternative for oil and gas boilers for residential and communal sectors; Coal hasn’t to contaminate’ Katalog ochrony środowiska — Ekoprofit nr 1 (61)/2002, Katowice, 2002 (Polish).
11. Valsts SIA “Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs”, Valsts rīcības programma, lai samazinātu smalko daļiņu PM2.5 emisiju valstī un to radīto negatīvo ietekmi uz cilvēku veselību. Pieejams tiešsaistē: https://www.meteo.lv/fs/CKFinderJava/userfiles/files/Vide/Gaiss/Gaisa_kvalitate/Parskati/P_M25_RicibasProgramma_LVGMC.pdf
12. European Environmental Agency. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook – 2009. 1.A.4 Small combustion. Pieejams tiešsaistē: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission->

[inventory-guidebook-2009/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-4-small-combustion-tfeip-endorsed-draft.pdf/view](https://www.rezekne.lv/wp-content/uploads/2017/08/inventory-guidebook-2009/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-4-small-combustion-tfeip-endorsed-draft.pdf/view)

13. Boman C., Nordin A., Öhman M., Boström D. (2005). 'Emissions from small-scale combustion of biomass fuels — Extensive quantification and characterization'. Energy Technology and Thermal Process Chemistry Umeå University, STEM-BHM (P12648-1 and P21906-1), Umeå, February 2005.
14. Pye S., Jones G., Stewart R., Wood field M., Kubica K., Kubica R., Pacyna J. (2005/1). 'Costs and environmental effectiveness of options for reducing mercury emissions to air from small-scale combustion installations', AEAT/ED48 706/Final report v2, December 2005.
15. Quass U., Fermann M., Bröker G.; (2000). 'The European Dioxin Emission Inventory — Stage II Desktop studies and case studies'. Final report 31.12.2000, Vol. 2, pp. 115–120, North Rhine Westphalia State Environment Agency.
16. Kubica K., J. Rańczak J. (2003/3). 'Co-firing of coal and biomass in mechanical great boilers'; Procc., of Int., Conf., Combustion of alternative fuels in power and cement industry, 20–21.2.2003, Opole, Poland, pp. 81–97.
17. Rēzeknes pilsētas ilgtermiņa attīstības stratēģija līdz 2030.gadam. Pieejama tiešsaistē: <https://rezekne.lv/wp-content/uploads/2017/08/rezeknes-pilsetas-ilgtspējigas-attistibas-strategija-lidz-2030-gadam.pdf>
18. Rēzeknes pilsētas attīstības programma 2014.-2022.gadam Pieejama tiešsaistē: <https://rezekne.lv/wp-content/uploads/2017/08/rezeknes-pilsetas-attistibas-programma-2014-2020-gadam.pdf>
19. Ministru kabineta noteikumi Nr. 432 "Noteikumi par Latvijas būvnormatīvu LBN 003-19 "Būvklimatoloģija"", Rīgā 2019. gada 17. septembrī (prot. Nr. 42 3. §)
20. Ministru kabineta noteikumi Nr. 222 "Ēku energoefektivitātes aprēķina metodes un ēku energosertifikācijas noteikumi", Rīgā 2021. gada 8. aprīlī (prot. Nr. 32 27. §)
21. LVĢMC, Gaisa kvalitātes mērījumi, 2021.