



P. Akmens
A. Krēslinš

ĒKU APKURE
un
VENTILĀCIJA

I daļa



ZVAIGZNE ABC

Redaktore A. Stode

Grāmata izgatavota tipogrāfijā «Rota»

SATURS

Ievads	7
1. Iss vēsturisks apskats	9
2. Siltumtehnikie procesi mikroklimata inženiersistēmās	14
2.1. Termodinamika	14
2.1.1. Tehniskās termodinamikas pamatjēdzieni	15
2.1.2. Gāzu maisījumi	17
2.1.3. Ipatnējā gāzes siltumietilpība	18
2.1.4. Ūdens tvaiks. Iztvaikošana	19
2.1.5. Atmosfēra. Mitrs gaiss	20
2.1.6. Mitra gaisa diagrammas	24
2.1.7. Gaisa stāvokļa izmaiņu attēlošana $H-x$ diagrammā	26
2.2. Siltumapmaiņa	28
2.2.1. Siltumapmaiņas veidi un galvenie jēdzieni	28
2.2.2. Siltumvadīšanas pamatlīkums	30
2.2.3. Siltumvadīšana stacionārā režīmā	31
2.2.4. Siltuma konvekcija	33
2.2.5. Siltuma starošana	35
2.2.6. Saliktā siltumapmaiņa un siltuma pārvešana	37
3. Videsziņa	41
3.1. Apkārtējā vide. Klimatoloģija	41
3.2. Globālie klimatiskie mehānismi	42
3.3. Klimats	43
3.4. Cilvēka siltumreakcija	47
3.5. Metabolisms un siltuma bilance	48
3.6. Siltās un aukstās vides	49
3.7. Komforta sajūtu noteicošie apkārtējās vides faktori	51
3.8. Subjektīvie faktori. Apģērbs	54
3.9. Komforta rādītāji	55
3.10. Diskomforta sekas	56
4. Būvniecības siltumtehnika	57
4.1. Būvmateriālu siltumtehniskās īpašības	57
4.2. Ārējo norobežojošo konstrukciju siltumpārejas pretestība un virsmu temperatūra	60
4.3. Ārējo norobežojošo konstrukciju mitruma režīms	63
4.4. Ārējo norobežojošo konstrukciju gaiscaurlaidība	66
4.5. Grīdu virsmu siltumapgaves spēja	67
4.6. Ārējo norobežojošo konstrukciju siltumnoturība	68
4.7. Pamatformula siltuma zudumu aprēķināšanai caur norobežojošām konstrukcijām	69

4.8. Norobežojošo konstrukciju virsmas laukuma mērīšanas noteikumi	70
4.9. Atsevišķi siltuma zudumu aprēķina gadījumi	71
4.10. Papildu siltuma zudumu aprēķins un faktori, kas tos izraisa	72
4.11. Ēkas siltuma zudumu aptuvena noteikšana	74
4.12. Norobežojošo konstrukciju tehniski ekonomiskais pamatojums	75
4.13. Norobežojošo konstrukciju siltumtehnikais aprēķins	77
4.14. Atsevišķu telpu siltuma zudumu aprēķins	79
5. Apkure	82
5.1. Apkures sistēmu veidi	82
5.2. Sildķermeņi	84
5.2.1. Sildķermeņu veidi	85
5.2.2. Sildķermeņu izvēle un izvietošana	91
5.2.3. Sildķermeņu siltumatdeves regulēšana	94
5.3. Ūdens apkures sistēmas	94
5.3.1. Ūdens apkures sistēmu darbības princips	94
5.3.2. Ūdens apkures sistēmu klasifikācija un shēmas	98
5.3.3. Vajējās un slēgtās izplešanās tvertnes	106
5.3.4. Apkures sistēmu atgaisošana	108
5.3.5. Ūdens apkures sistēmu cauruļvadi un armatūra	110
5.3.6. Ūdens apkures sistēmu hidrauliskā aprēķina metodes	112
5.3.7. Dabiskās cirkulācijas ūdens apkures sistēma	115
5.4. Tvaika apkures sistēmas	123
5.4.1. Tvaika apkures sistēmu klasifikācija	124
5.4.2. Zemspiediena tvaika apkures sistēmas	126
5.4.3. Augstspiediena tvaika apkures sistēmas	129
5.4.4. Vakuuma tvaika apkures sistēmas	131
5.4.5. Tvaika apkures sistēmu elementi	131
5.5. Centralizētās un decentralizētās ūdens-ūdens un tvaika-ūdens apkures sistēmas	132
5.6. Gaisa apkures sistēmas	137
5.7. Saules enerģijas izmantošana ēku apkurē	140
5.8. Staru paneļu apkures sistēmas	143
5.9. Elektriskā apkure	146
5.10. Gāzes apkure	148
5.11. Apkures sistēmu montāža, pārbaude un apkalpošana	150
Pielikumi	
1. pielikums. Galveno siltumtehniko lielumu vienību sakarību tabulas	153
2. pielikums. Ēku norobežojošo konstrukciju siltumpārejas pretestības	156
3. pielikums. Būvmateriālu siltumtehnikie parametri	157
4. pielikums. Telpu mitruma režīms	159
5. pielikums. Dati siltumvadītspējas koeficienta aprēķina vērtību izvēlei atkarībā no konstrukcijas ekspluatācijas apstākļiem (A vai B)	159
6. pielikums. Klimatiskie dati dažādām pilsētām	160
7. pielikums. Āra gaisa aprēķina temperatūras t_A vērtības atkarībā no siltuma inerces raksturojuma D	160

8. pielikums. Koka rāmju logu un durvju siltumpārejas pretestības R_0 un koeficienta $1/R_0$ vērtības	161
9. pielikums. Ūdens blīvuma ρ , kg/m ³ , vērtības 40...99 °C temperatūrā	161
10. pielikums. Koeficienta β_1 vērtības	161
11. pielikums. Koeficienta β_2 vērtības atkarībā no sildķermeņa uzstādīšanas vietas	161
12. pielikums. Tabula ūdens apkures sistēmu hidrauliskajam aprēķinam, ja $t_k=95^\circ\text{C}$, $t_n=70^\circ\text{C}$ un caurules iekšējās virsmas absolūtais negludums $k=0,2$ mm	162
13. pielikums. Vietējās pretestības koeficienta ξ vērtības dažādiem apkures sistēmu elementiem	164
14. pielikums. Dabiskais spiediens Δp , Pa, cauruļvados dabiskās cirkulācijas divcauruļu apkures sistēmā ar augšējo sadali	165
15. pielikums. Dinamiskā spiediena p_d vērtības	165
16. pielikums. Izplešanās tvertnu (cilindrisku) izmēri	166

Latvijas enerģētikas saimniecībā ir notikušas un arī nākotnē paredzamas lielas pārmaiņas. Enerģijas ekonomija un apkārtējās vides aizsardzība kļūst arvien svarīgākas, projektējot un ekspluatējot apkures un ventilācijas iekārtas un sistēmas.

Mikroklimata uzturēšana lauksaimniecības ražotnēs ir svarīgs faktors mājdzīvnieku turēšanā un to produktivitātes paaugstināšanā, augu fizioloģisko procesu intensificēšanā un ražas palielināšanā, kā arī gatavās produkcijas uzglabāšanā.

Mūsdienu rūpniecības nozarēs (ķīmiskajā rūpniecībā, tekstilrūpniecībā, radioelektronikā u. tml.) produkcijas augstu kvalitāti var nodrošināt, tikai uzturot ražotnēs atbilstošu mikroklimatu.

Ēku apkures un ventilācijas kurss izklāstīts 9 nodaļās, kas sadalītas 2 grāmatās — I un II daļā.

Sajā grāmatā — I daļā (1.—5. nodaļa) iztirzāta termodinamika, siltumapmaiņa, videsziņa, būvniecības siltumfizika un apkure.

IEVADS

Apkures un ventilācijas iekārtas ir nepieciešamas mikroklimata uzturēšanai telpās. Mikroklimata uzturēšanu un regulēšanu sadzīves un ražošanas telpās var realizēt, izvēloties piemērotas būvkonstrukcijas, kas norobežo iekšējo vidi no ārējās vides un otrādi, vai lietojot attiecīgas inženieriekārtas un sistēmas nepieciešamo telpas gaisa parametru (temperatūras, mitruma, kustīguma un sastāva) un būvkonstrukciju pareiza ekspluatācijas režīma nodrošināšanai.

Grāmatā izklāstīti mitra gaisa termodinamikas un siltumtehnikas teorētiskie pamati nepieciešamā apjomā, sniegta īsa informācija par videsziņu, makroklimatu un vietējo klimatu, lietojamo inženieriekārtu un sistēmu darbības principiem, to lietošanu, izbūvi un aprēķinu. Ievietots izziņas materiāls mikroklimata uzturēšanas praktisko uzdevumu risināšanai. Aplūkoti dažādi jautājumi, kas saistīti ar siltuma iegūšanu un piegādi patērētājiem.

Latvijas enerģētikas saimniecībā ir notikušas un arī nākotnē paredzamas lielas pārmaiņas. Enerģijas ekonomija un apkārtējās vides aizsardzība kļūst arvien svarīgākas, projektējot un ekspluatējot apkures un ventilācijas iekārtas un sistēmas.

Mikroklimata uzturēšana lauksaimniecības ražotnēs ir svarīgs faktors mājdzīvnieku turēšanā un to produktivitātes paaugstināšanā, augu fizioloģisko procesu intensificēšanā un ražas palielināšanā, kā arī gatavās produkcijas uzglabāšanā.

Mūsdienu rūpniecības nozarēs (ķīmiskajā rūpniecībā, tekstilrūpniecībā, radioelektronikā u. tml.) produkcijas augstu kvalitāti var nodrošināt, tikai uzturot ražotnēs atbilstošu mikroklimatu.

Ēku apkures un ventilācijas kurss izklāstīts 9 nodaļās, kas sadalītas 2 grāmatās — I un II daļā.

Sajā grāmatā — I daļā (1.—5. nodaļa) iztirzāta termodinamika, siltumapmaiņa, videsziņa, būvniecības siltumfizika un apkure.

II daļā (6.—9. nodaļa) aplūkoti jautājumi, kas saistīti ar ventilāciju un gaisa kondicionēšanu, gaisa apmaiņu dažādās ēkās, kurināmo, siltuma avotiem un siltumapgādi.

Grāmata paredzēta kā mācību līdzeklis augstskolu arhitektūras un būvniecības specialitāšu studentiem. To var izmantot arī vidējo speciālo mācību iestāžu audzēkņi, apkures un ventilācijas sistēmu projektēšanas, ierīkošanas un ekspluatācijas inženiertehniskie darbinieki, kā arī individuālo ēku būvētāji.

Ievadu, 1.—4. un 6., 8., 9. nodaļu sarakstījis P. Akmens, 5. un 7. nodaļu — A. Krēsliņš.

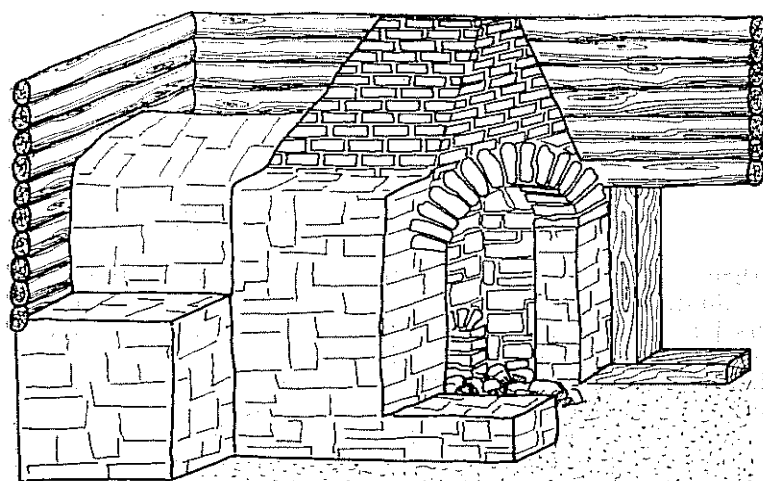
1. ISS VĒSTURISKS APSKATS

Pirmais cilvēku radītais siltumavots bija uz mītnes grīdas iededzinātais ugunskurs. Ugunskuru nomainīja akmens krāvums jeb pavards un dūmu istabas, kuru galvenā pazīme bija tā, ka degšanas produkti ieplūda apsildāmajā telpā un tos novadīja pa jumta seguma caurumu. Arheoloģiskie izrakumi liecina, ka šāda apkure sastopama vēl 9. gadsimtā.

Senlatviešu slietēņu un guļkoku mītnes sākumā apsildīja ar telpā novietotu ugunskuru — pavardu. Uz pavarda gatavoja ēdienu, tas deva siltumu mītnes iemītniekiem līdz tam laikam, kad sāka būvēt ar krāsni apkurināmas istabas. Pavardu (ugunskuru) sākumā veidoja sekla bedrē, kurinot uguni starp akmeņiem, uz kuriem varēja novietot ēdiena gatavošanas traukus. Sakarsētus akmeņus izmantoja arī kā siltuma akumulatorus, gatavojot ēdienus un dzērienus (pat vārīja koka traukos, iemetot tajos sakarsētus akmeņus). Pavardu tālāk uzlabojot, tam izveidoja paaugstinātu kuldū (piemēram, Lātgālē četrstūrainu cirsni), ko pildīja ar zemi un apmūrēja ar māliem. Lai celtne neaizdegtos no pavarda dzirkstelēm, virs tā ierīkoja pārsegumu — rovi. Tas 17. gadsimta aprakstā pieminēts kā izliekts egļu zaru pinums, kas apriests ar māliem, kuriem piejaukts kapāts siens. Apmesti koka konstrukcijas rovjī bija sastopami vēl pirms otrā pasaules kara. Tie parasti nepārsedza visu telpu, bet tikai pašu pavarda vietu. Šādu ēdiena gatavošanas vietu latviešu lauku mājā vēsturiski sauc arī par namu, jo senāk visa cilvēku mītne sastāvēja no vienas telpas ar pavardu. Vēlāk tika ieviesti mūrētie rovjī, kas velves veidā pārsedza nama aizņemto vietu celtņē, un pats nams arī bija no mūra. Konstruktiī rovjus bieži veidoja tā, lai dūmi varētu izplūst jumta telpā: vai nu rovjā augšējais gals bija nošķelts, vai arī nama priekšstelpa bija bez griestiem.

Izbūvējot virs mūrētām nama sienām konusveida dūmu novadu cauri jumtam, radās t. s. skursteņa nams jeb «mantel-skurstenis» (Kurzemē «dīzais skurstenis»), kas ilgi bija tipisks lauku dzīvojamām ēkām, it sevišķi Kurzemē un Zemgalē. Tas atradās ēkas centrā, un dienas gaisma namā (virtuvē) ieplūda tikai no augšas pa skursteņa caurumu un durvīm.

Neatņemama Latvijas lauku sētas sastāvdaļa ir rija ar rijas krāsni (1.1. att.). Rijas bija arī apdzīvojamās, it sevišķi



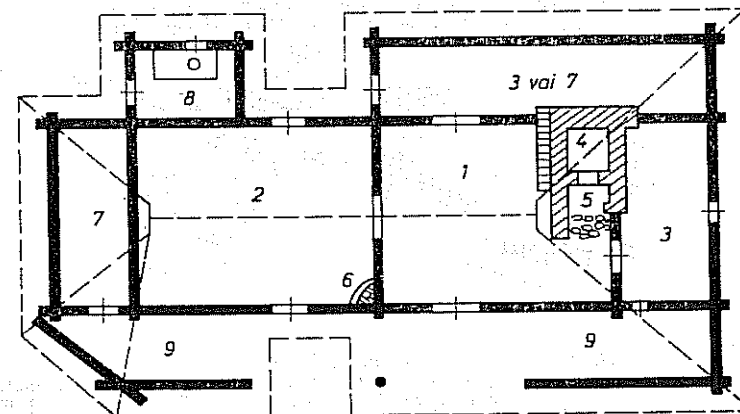
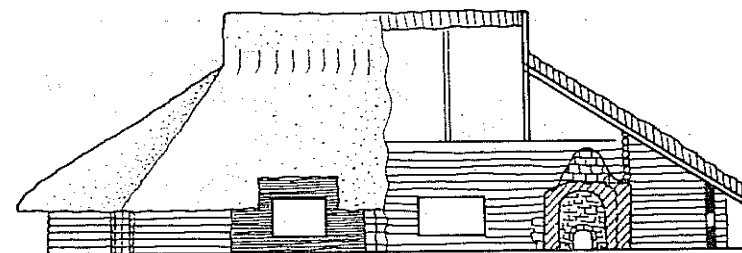
1.1. att. Rijas krāns.

austrumu un ziemeļu rajonos (1.2. att.). Pirmās ziņas par rījām baltu tautu novadā sniedza Pitejs* (apm. 320. g. pirms Kristus dzimšanas). Vācu ienākšanas laikā Latvijā un Igaunijā rijas minētas jau dokumentos (1240. g.).

Eiropas un Āzijas kontinentā, galvenokārt Ķīnā un Japānā, plaši lietoja pārnēsājamus ogļu traukus — vara pannas. Uz šādām pannām, kuras senāk pēc izpildījuma bija mākslas priekšmeti, sadedzināja koka ogles. 1.3. attēlā parādīta romiešu vara ogļu panna, kuras diametrs ir 500 mm, dziļums 120 mm un trijkāja augstums 1000 mm. Ar šādu ogļu pannu apsildīja telpu ar 1000 m³ tilpumu, kuras siltuma zudumi bija apmēram 10 000 W. Par to, cik šāds apsildes veids bija pieņemams, liecina fakts, ka vēl 1790. gadā Londonas parlamenta zāles apsildīja ar ogļu pannām, kaut gan tad jau lietoja samērā pilnveidotas centralizētas gaisa un tvaika apkures sistēmas. Anglija bija tvaika apkures sistēmu šūpulis. Senāk šādas ogļu pannas lietoja augstmaņu un bagātnieku mājās, bet mūsdienās šādu siltumavotu vēl var sastapt dažu Eiropas dienvidu rajonu nabadzīgo iedzīvotāju mītnēs.

Pirmās iebūvētās ēku apsildes sistēmas bija sastopamas apmēram pirms 2200 gadiem. Arheoloģiskie izrakumi Itālijā,

* Sengrieķu ģeogrāfs, kas dzīvoja Aleksandra Lielā laikā un sniedza pirmās ziņas par ģermāņiem un Baltijas jūras krastu, kur atrod dzintaru.



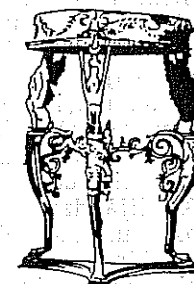
1.2. att. Rijas plāna shēma:

1 — rijas telpa; 2 — piedarbs; 3 — dzīvojamais kambaris; 4 — krāns; 5 — rovis; 6 — rūķis (ceplītis); 7 — gubenis; 8 — dzirnavu kambaris; 9 — piejums.

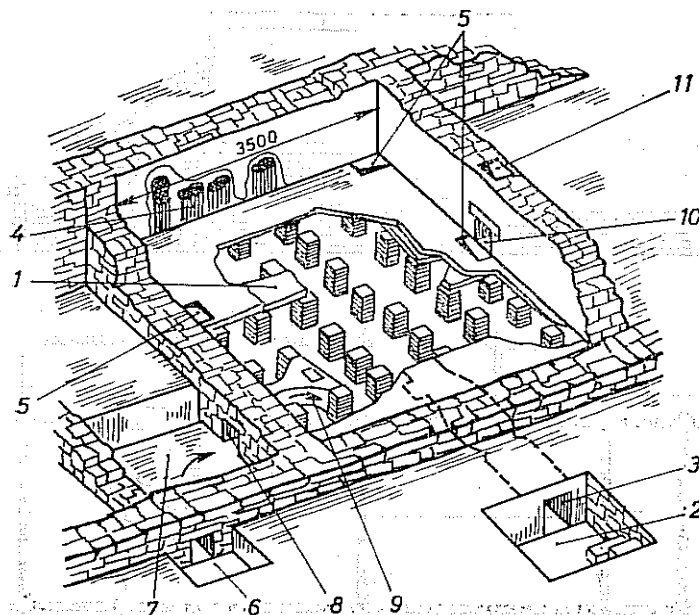
Francijā, Šveicē, Vācijā un Anglijā rāda ainu, kurā redzami tiem laikiem ievērojami sasniegumi ēku apkurē un pat ventilācijā. Tās ir uguns apkures sistēmas, kuras ievada telpā sākarsētu gaisu. Lai gan šādas sistēmas radās senajā Romā, tās nosauktas grieķu vārdā «hipokausts», kas nozīmē «no apakšas sasildītais».

Senās Romas slavenais kara inženieris Vitrūvijs (dzīvojis 1. gs. otrajā pusē pirms Kristus) savā sacerējumā «Par arhitektūru» devis šīs sistēmas detalizētu aprakstu.

Mūsdienu Vācijas teritorijā (Tīringenē) senajā romiešu kolonijā izdarītajos izrakumos



1.3. att. Ogļu panna.



1.4. att. Apkures sistēma ar hipokaustumiem:

1 — smilšakmens plātne (apkopes un remonta lūkas noreģināšanai); 2 — padziļinājums kurtuvei; 3 — kurtuve (koka ogļu sadedzināšanai); 4 — vertikāli apdedzinātā māla dūmvadi; 5 — ar plātnēm nosēgti atvērumi siltā gaisa ieplūdes regulēšanai; 6 — āra gaisa ieplūdes atvērums; 7 — āra gaisa priekšskamera; 8 — kanāls gaisa ieplūdei hipokaustumā; 9 — novirzītājsienas; 10 — kamīnveida padziļinājums; 11 — keramikas ventilācijas kanāls.

atrastas šādas sistēmas paliekas (1.4. att.). Seit, tāpat kā Vit-rūvija aprakstā, apsildāmās telpas grīda bija veidota no 50 mm biezām apdedzinātām māla plātnēm, virs kurām bija 150 mm biezs klona slānis. Hipokaustuma telpa tika sildīta ar deggāzēm (domājams, ka lietoja koka ogles, lai nebūtu sodrēju). Telpas apsilde sākās brīdī, kad aizsedza dūmvadu 4 atvērumus un pēc vajadzības atsedza siltā gaisa ieplūdes atvērumus 5. Kurnāmajā degšanas intensitāti un arī siltā gaisa ieplūdi telpā varēja regulēt, aizsedzot un atsedzot atvērumu 6.

Tamlīdzīgas apkures sistēmas romieši lietoja gan dzimtenē, gan ziemeļu provincēs — pašreizējā Francijā, Šveicē, Vācijā, Anglijā dzīvojamo, sabiedrisko un kara būvju, piemēram, cietskāņu, apsildei.

Atrokot senpilsētu Hērkulānu (Vezuva pakājē 7,5 km no Neapoles), kura gāja bojā vulkāna Vezuva izvirduma laikā 79. gadā pēc Kristus dzimšanas, ir redzams, ka hipokaustums tika lietots pat divstāvu ēkū apkurei. Vienā no šīs pilsētas

villām atrasta ietaise, ar kuru pa sienā iemūrētām apdedzinātām māla caurulēm siltā gaisa tika padots otrā stāva telpā. Gaisa izplūdes atvērumi bija nosēgti ar lauvas galvām, kuru rīklēs ierīkoti regulēšanas vārsti.

Paralēli hipokaustuma apkures sistēmām atstājās arī zemgrīdas kanālu apkures sistēmas, kuras darbojās tāpat kā pirmās. Romieši lietoja arī abu šo sistēmu kombinācijas.

Atšķirībā no aprakstītajiem paņēmieniem Efesas pilsētā (dināta II gadu tūkstoša 2. pusē pirms Kristus mūsdienu Turcijas teritorijā) telpu apkurei jau tajā laikā lietoja caurulišu sistēmu, kura padeva sasildītu ūdeni no pagrabā novietotiem katliem.

Romas impērijas krišana radīja ievērojamu kultūras un tehnikas attīstības kritumu, kad pilnīgi izsīka ziņas par apkures ierīcēm. Pie senģermāņiem atkal bija sastopami atklātas uguns siltumavoti (malkas ugunskuri), kuru dūmus nenovadīja skurstenī, bet izlaida caur griestu atvērumu.

Kamīnu apkure, kas ir telpas apsilde ar atklātu uguni, novadot dūmgāzes caur dūmeni, bija sastopama jau 820. gadā. Par to liecina Sanktgallenē klostera (Šveicē) rasējumi, kuri datēti ar šo laiku.

Pirmie dokumentālie pierādījumi par krāsnīm mūsdienu izpratnē attiecas uz 14. gadsimtu. Pirmās krāsnis parādījās Vācijā un Krievijā. Krāsns kā apkures iekārta ir seno laiku un viduslaiku uzkrātās pieredzes rezultāts, kurā apvienota cenšanās atdot telpai maksimālu siltuma daudzumu, izvadīt dūmgāzes no telpas, kā arī uzkrāt siltumu. Krāsns savā evolūcijā ir nogājusi ne mazāk kā 1000 gadu un ir sasniegusi zināmu pilnību. Šīs apkures veids atšķirībā no ogļu pannām ir gājis no «būdiņām uz pilīm». Sākumā (10.—14. gs.) krāsnis lietoja vienkāršā tauta. Tikai 14. gadsimtā tās ieviesa arī pilīs. Seit tās ar laiku pārvērtās arī par mākslas priekšmetiem, par interjera sastāvdaļu, vienlaikus uzlabojās to siltumtehnikās īpašības.

18. gadsimta beigās ēkās sāka lietot tvaika un ūdens centrālapkures sistēmas, bet 19. gadsimta sākumā izveidoja pirmās rajona siltumapgādes sistēmas.

Interesanti atzīmēt, ka centrālapkures sistēmas vispirms radīja oranžēriju un siltumnīcu vajadzībām. Dzīvojamās un sabiedriskajās ēkās tās ieviesa lēni un sākumā tikai paralēli tradicionālajiem apkures veidiem.

Mūsdienu apkures un ventilācijas iekārtās arvien biežāk izmanto tādas netradicionālas enerģijas (siltuma) avotus kā saule, apakšzemes termālie ūdeņi, vējš u. c.

2. SILTUMTEHNISKIE PROCESI MIKROKLIMATA INŽENIERSISTĒMĀS

Aplūkojot siltumtehniku no mikroklimata inženiersistēmu viedokļa, tā aptver ļoti plašu jautājumu loku, kas saistīts ar kurināmā ķīmiskās enerģijas pārveidošanu siltuma un mehāniskajā enerģijā, siltuma ieguvī, pārveidošanu un pārvadīšanu iekārtās un konstrukcijās, vielu siltumtehnikajām īpašībām un siltuma pārvietošanos tajās.

Siltumtehnikas teorētiskais pamats ir termodinamika un siltumapmaiņa.

Siltumu plaši izmanto rūpniecības un lauksaimniecības celtnī, dažādu transporta līdzekļu, sabiedrisko un dzīvojamo ēku inženieriekārtās un sistēmās (apkures, ventilācijas un gaisa kondicionēšanas iekārtās, karstā ūdens apgādes sistēmā), kā arī sadzīvē.

Siltumtehnikas pamati jāzina jebkuras nozares inženieriem.

2.1. TERMODINAMIKA

Termodinamika ir zinātne par enerģiju un tās īpašībām.

Ir trīs pamatlikumi, uz kuriem balstās termodinamika.

Tā pirmām kārtām balstās uz enerģijas nezūdamības likumu: enerģija nerodas no jauna un nezūd, bet tikai pārvēršas no viena veida otrā. Siltums un darbs ir savstarpēji pārveidojami. Jebkurā sistēmā izdalītās enerģijas daudzumam jābūt vienādam ar pievadītās enerģijas daudzumu.

Otrais termodinamikas pamatlikums nosaka, ka siltuma (vai enerģijas) pārveidāšana var notikt tikai vienā virzienā: no vairāk sasildīta ķermeņa uz mazāk sasildītu ķermeni jeb, vispārinot, no augstāka potenciāla uz zemāku potenciālu. Tas nozīmē, ka iekārta var atdot enerģiju tikai tad, ja tai enerģiju pievada. Bez tam šis likums nosaka, ka nav iespējams radīt tādu iekārtu, kura veiktu darbu (pārveidotu siltumu mehāniskā darbā) un kurā būtu tikai enerģijas uzkrājējs. Nepieciešams gan siltuma avots, gan arī dzesētājs. Citiem vārdiem, tikai daļu siltuma plūsmas var pārvērst darbā.

Šie divi pamatlikumi jāzina, lai izprastu procesus, kuri notiek mikroklimata inženieriekārtās.

Trešais termodinamikas likums attiecas uz gadījumiem ar tik zemām temperatūrām, kādas nav sastopamas apskatītajās inženiersistēmās.

2.1.1. Tehniskās termodinamikas pamatjēdzieni

Tehniskās termodinamikas uzdevums ir šaurāks, tā aplūko dažu enerģijas veidu (siltuma, mehāniskās u. c.) savstarpējas pārvēršanās likumības, kā arī darba ķermeņu makroskopiskās īpašības. Procesu izpēti balstās uz minētajiem termodinamikas pamatlikumiem, un šo metodi sauc par termodinamisko metodi. Metodes būtība pamatojas uz enerģijas līdzsvaru, kura noteikšanā izmanto procesiem raksturīgās likumsakarības.

Mūsdienās šī metode ir kļuvusi par universālu izpēti metodi arī tādās sistēmās kā ražošana, ekonomika, informātika, bioloģija u. c. Siltumapgādes, apkures, ventilācijas un gaisa kondicionēšanas sistēmu izvēlē tā ir pamatmetode.

Termodinamiskā sistēma — ķermeņu kopa, kuri var enerģētiski iedarboties savā starpā vai uz apkārtējo vidi, kā arī apmainīties ar vielas masu. Termodinamikā aplūko sistēmas, kas sastāv no haotiskā kustībā esošām mikrodaļiņām. Gāzi vai tvaiku (sistēmu), ar kura palīdzību notiek enerģijas pārveidošana, sauc par *darba vielu* vai *darba ķermeni*. Gaiss ir darba viela ventilācijas sistēmā, ūdens vai tvaiks — apkures sistēmā utt. Var būt slēgtas sistēmas un atklātas sistēmas, kurām notiek masas apmaiņa ar apkārtējo vidi. Ja slēgtai sistēmai enerģiju nepievada vai nenovada, to sauc par izolētu sistēmu, ja tai nenotiek siltumapmaiņa, — par adiabatisku sistēmu. Homogēnām (viendabīgām) sistēmām ir vienādas īpašības visās to daļās, kuras nav atdalītas. Heterogēnās sistēmas sastāv no vairākām homogēnām daļām.

Viela var būt cietā, šķidrā, gāzveida vai plazmas stāvoklī. Sistēmas stāvokli nosaka neatkarīgi lielumi — parametri. To izmaiņa laikā norāda uz nestacionāru sistēmas stāvokli. Parametriem nemainoties, sistēmas stāvoklis ir stacionārs. Ja nav enerģijas un masas plūsmu, tad sistēma atrodas līdzsvara stāvoklī jeb termodinamiskā līdzsvarā.

Lai raksturotu šo sistēmas (darba ķermeņa) stāvokli, pieņem ar trim galvenajiem parametriem: spiedienu, temperatūru un blīvumu.

Spiediens — mikrodaļiņu triecienu uz trauka sienām rezultāts. To izsaka ar spēku, kas darbojas perpendikulāri sienai uz vienu laukuma vienību. Termodinamisko spiedienu pieņemts apzīmēt ar p .

Atmosfēras (barometrisko) spiedienu p_b mēra ar barometru. Aparātu virsspiediena (virsatmosfēras) jeb manometriskā spiediena p_m mērīšanai sauc par manometru. Retinājuma vai

vakuuma spiedienu p_v mēra ar vakuummetru; nelieliem retinājumiem lieto velkmes mērītāju. Jāievēro, ka vakuummetra rādījumi ir visai atkarīgi no apkārtējās vides (barometriskā) spiediena.

Pilnais jeb absolūtais spiediens

$$p_a = p_b + p_m; \quad p_a = p_b - p_v. \quad (2.1)$$

Tāad spiediens ir spēks, ar kuru darba ķermenis iedarbojas uz virsmas laukuma vienību. Starptautiskajā vienību sistēmā (SI) spēka vienība ir ņutons (N). Tad spiediena vienība ir N/m^2 , ko sauc par paskālu (Pa). Spiediena vienība 1 Pa ir visai mazs lielums, tādēļ praksē to lieto, pievienojot priedēklus deka (da), hekto (h), kilo (k), mega (M), t. i., $1 \text{ daPa} = 10 \text{ Pa}$, $1 \text{ hPa} = 10^2 \text{ Pa}$, $1 \text{ kPa} = 10^3 \text{ Pa}$, $1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa}$.

Praksē joprojām ir sastopami gadījumi, kad manometri graduēti tehniskajās atmosfērās — $1 \text{ at} = 9,81 \cdot 10^4 \text{ Pa}$.

Temperatūra raksturo sistēmas vai tās sastāvdaļu sasiluma pakāpi, un tā ir proporcionāla mikrodalīņu kustības vidējai kinētiskajai enerģijai.

Termodinamikā lieto termodinamisko jeb absolūto temperatūru T , kuras skalas sākumpunkts ir absolūtā nulle un kuras vienība ir Kelvina grāds — *kelvins* (K).

Praksē plaši izmanto starptautisko simtgrādu temperatūras skalu, kurā temperatūru apzīmē ar t un tās vienība ir Celsija grāds ($^{\circ}\text{C}$).

Viens kelvins ir skaitliski vienāds ar vienū Celsija grādu ($1 \text{ K} = 1^{\circ}\text{C}$).

Starp absolūto un simtgrādu temperatūru pastāv šādas sakarības:

$$T = t + 273,15; \quad t = T - 273,15. \quad (2.2)$$

Darba vielas *īpatnējais tilpums* ir viena masas kilograma ieņemtais tilpums, t. i.,

$$v = \frac{V}{m}, \quad (2.3)$$

kur v — darba vielas īpatnējais tilpums, m^3/kg ;

V — darba vielas kopējais tilpums, m^3 ;

m — darba vielas masa, kg .

Īpatnējā tilpuma apgrieztais lielums ir darba vielas *blīvums* ρ , kg/m^3 , t. i.,

$$\rho = \frac{1}{v} = \frac{m}{V}. \quad (2.4)$$

Lai salīdzinātu dažādas darba vielas, jāizvēlas noteikts stāvoklis, kuru raksturo spiediens un temperatūra. Darba vielas parametrus reducē uz t. s. normāliem apstākļiem: izšķir normālos fizikālos apstākļus un normālos tehniskos apstākļus.

Termodinamikā par darba vielas normāliem fizikāliem apstākļiem pieņemta temperatūra $T = 273,15 \text{ K}$ jeb $t = 0^{\circ}\text{C}$ un spiediens $p = 101325 \text{ Pa}$, kas atbilst vienai fizikālajai atmosfērai (atm), t. i., 760 mm Hg. Tilpuma vienību šādos apstākļos apzīmē ar nm^3 (normālkubikmetrs).

Normālie tehniskie apstākļi ir $t = 15^{\circ}\text{C}$ un $p = 1 \text{ at}$ (tehniskā atmosfēra) vai $t = 20^{\circ}\text{C}$ un $p = 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$. Normālos tehniskos apstākļus sauc arī par standartapstākļiem.

2.1.2. Gāzu maisījumi

Siltumtechnikā galvenokārt sastopas ar gāzu maisījumiem (daudzkomponentu): atmosfēras gaiss, kurināmā sadegšanas produkti utt. Tie ir mehāniski maisījumi, kuros starp komponentiem nenotiek ķīmiska reakcija.

Ja pieņem, ka maisījumu veido ideālas gāzes, tad katrā gāzē (komponentā) neatkarīgi no pārējām gāzēm pieņem trauka formu un rada spiedienu uz trauka sienām. Spiedienu, ko radītu atsevišķa gāze, ja tā viena pati dotajā temperatūrā ieņemtu visu trauka tilpumu, sauc par gāzes *parciālo spiedienu*. Saskaņā ar Daltona likumu gāzu maisījuma kopējais spiediens ir vienāds ar atsevišķo gāzu (komponentu) parciālo spiedienu summu:

$$p = p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n = \sum_{i=1}^n p_i, \quad (2.5)$$

kur $p_1, p_2, \dots, p_n$ — gāzu maisījuma komponentu parciālie spiedieni.

Gāzu maisījuma sastāvu izsaka arī masas vai tilpuma daļās. Ja atsevišķu komponentu masas ir $M_1, M_2, \dots, M_n$, tad kopējā masa

$$M = M_1 + M_2 + M_3 + \dots + M_n, \quad (2.6)$$

Biezāk maisījuma sastāvu dod kā masas daļu m summu:

$$\sum_{i=1}^n m_i = \sum_{i=1}^n M_i / M = 1 \text{ (vai } 100\%).$$

Analogiski tilpuma daļu r summa ir

$$\sum_{i=1}^n r_i = \sum_{i=1}^n V_i / V = 1 \text{ (vai } 100\%).$$

Par atsevišķas gāzes (komponenta) *parciālo tilpumu* V_i gāzu maisījumā sauc tilpumu, ko ieņemtu šī gāze, ja dotajā temperatūrā tā atrastos gāzu maisījuma radītā spiedienā. Tāpēc šo parciālo tilpumu sauc arī par reducēto tilpumu.

2.1.3. Īpatnējā gāzes siltumietilpība

Siltuma daudzumu, kas nepieciešams gāzes daudzuma vienības temperatūras paaugstināšanai par vienu K vai °C, sauc par īpatnējo gāzes siltumietilpību.

Atkarībā no vielas (gāzes) daudzuma vienības izšķir īpatnējo masas, tilpuma un molāro siltumietilpību.

Īpatnējo masas siltumietilpību c (attiecinātu uz 1 kg gāzes) aprēķina pēc formulas

$$c = \frac{Q}{m(T_2 - T_1)} = \frac{Q}{m(t_2 - t_1)}, \quad (2.7)$$

kur c — īpatnējā masas siltumietilpība, J/(kg·K) vai J/(kg·°C);

Q — gāzes masai pievadītais siltuma daudzums, J;

m — gāzes masa, kg;

$T_2 - T_1 = t_2 - t_1$ — gāzes beigu un sākuma temperatūru starpība, K vai °C.

Īpatnējo tilpuma siltumietilpību C (attiecinātu uz 1 nm³ gāzes) aprēķina pēc formulas

$$C = \frac{Q}{V_0(T_2 - T_1)} = \frac{Q}{V_0(t_2 - t_1)}, \quad (2.8)$$

kur C — īpatnējā tilpuma siltumietilpība, J/(nm³·K) vai J/(nm³·°C);

V_0 — gāzes tilpums, nm³.

Īpatnējo molāro siltumietilpību c_μ (attiecinātu uz 1 kmol gāzes) atrod šādi:

$$c_\mu = \frac{Q}{M_0(T_2 - T_1)} = \frac{Q}{M_0(t_2 - t_1)}, \quad (2.9)$$

kur c_μ — īpatnējā molārā siltumietilpība, J/(mol·K) vai J/(kmol·°C);

M_0 — gāzes molu skaits.

Tā kā gāzes blīvums ρ ir tās kilogramu daudzums vienā kubikmetrā, bet gāzes īpatnējais tilpums v ir viena gāzes kilograma tilpums, tad starp apskatītajām īpatnējām siltumietilpībām pastāv šādas sakarības:

$$c = c_\mu/\mu = Cv; \quad C = c_\mu/22,4 = c\rho; \quad C = c/v, \quad (2.10)$$

kur μ — gāzes molekulmasa.

Īpatnējā gāzes siltumietilpība ir atkarīga no termodinamiskā procesa.

Procesam notiekot pastāvīgā spiedienā ($p = \text{const}$), aprēķinos lieto īpatnējo siltumietilpību pastāvīgā (konstantā) spiedienā, kuru apzīmē attiecīgi ar c_p , C_p un $c_{\mu p}$.

Ja process noris nemainīgā tilpumā ($v = \text{const}$), aprēķinos lieto īpatnējo siltumietilpību pastāvīgā (konstantā) tilpumā, kuru apzīmē attiecīgi ar c_v , C_v un $c_{\mu v}$.

Lai aprēķinātu gāzu maisījuma īpatnējo siltumietilpību, nepieciešams zināt maisījuma sastāvu masas un tilpuma daļās. Ja zināmas maisījuma komponentu īpatnējās siltumietilpības, tad maisījuma īpatnējās siltumietilpības var aprēķināt pēc formulām

$$c = \sum_{i=1}^n c_i m_i; \quad C = \sum_{i=1}^n C_i r_i; \\ c_\mu = \sum_{i=1}^n c_{\mu i} r_i. \quad (2.11)$$

Noteiktos temperatūras intervālos parasti lieto vidējās īpatnējās siltumietilpības. To vērtības dotas rokasgrāmatu tabulās.

2.1.4. Ūdens tvaiks. Iztvaikošana

Ūdeni un ūdens tvaiku plaši lieto enerģētikā, apkurē, ventilācijā, karstā ūdens apgādē u. c. Tiem ir labas tehniskās un termodinamiskās īpašības. Pēc termodinamiskām īpašībām ūdens tvaiks ir reāla gāze. Paaugstinot spiedienu un pazeminot temperatūru, tā termodinamiskās īpašības arvien vairāk atšķiras no ideālu gāzu īpašībām.

Dabā visvairāk izplatītai vielai — ūdenim ir šādas svarīgas īpatnības jeb anomālijas:

1) maksimālais blīvums +4 °C temperatūrā;

2) cietā fāze — ledus ir mazāk blīvs nekā šķidrā fāze.

Šīm ūdens anomālijām ir liela nozīme gan dabā notiekošajos procesos, gan arī tehnikā.

Ūdens var būt cietā, šķidrā un tvaika (gāzveida) agregātstāvoklī.

Procesu, kurā šķidrā fāze uz robežvirsmas pāriet tvaika fāzē, sauc par *iztvaikošanu*, un tas ir saistīts ar siltuma enerģijas patēriņu. Ja šķidrumam siltumu nepievada, tā temperatūra pazeminās. Iztvaikošanas procesa intensitāte ir atkarīga no tvaika parciālā spiediena (daudzuma) telpā virs šķidruma virsmas un vides piesātinājuma ar tvaiku, kurš atkarīgs no temperatūras. Sasniedzot piesātinājumu, iestājas dinamisks līdzsvars, t. i., cik daudz šķidruma iztvaiko, tikpat daudz tvaika pārvēršas šķidrā fāzē un atgriežas šķidrumā.

Ja šķidruma temperatūra ir pietiekoši augsta, sākas tvaika intensīva veidošanās visā šķidruma tilpumā, ko sauc par *vārīšanos*. Jo augstāks spiediens, jo augstāka vārīšanās tempera-

tūra. Nemainoties spiedienam, vārišanās notiek pastāvīgā temperatūrā, ja nepārtraukti pievada siltumu.

Kondensācija ir process, kurā tvaiks pārvēršas šķidrumā. Kondensācijas temperatūra ir nemainīga, ja process notiek pastāvīgā spiedienā.

Sublimācija ir tvaika veidošanās no cietas vielas, izpaliekot šķidrai fāzei.

Desublimācija ir sublimācijai pretējs process. Abi procesi var norisināties tikai stingri noteiktos ārējos apstākļos.

Tvaiks var būt *piesātināts* un *pārkarsēts*.

Piesātināts tvaiks, iztvaikojot šķidrums, atrodas ar to fāzu līdzsvarā, t. i., tā temperatūra ir vienāda ar vāroša šķidruma temperatūru (resp. kondensācijas temperatūru) dotajā spiedienā. Šāds tvaiks var būt *sauss* piesātināts un *mitrs* piesātināts.

Sausā piesātinātā tvaikā visa šķidrā fāze ir iztvaikojusi, un tā temperatūra atbilst šķidruma vārišanās temperatūrai dotajā spiedienā. Mitrs piesātināts tvaiks satur šķidruma (ūdens) pilienus.

Sausa tvaika stāvokļa raksturošanai pietiek ar tā spiedienu vai temperatūru.

Tātad, pievadot mitram tvaikam (ja $p = \text{const}$) siltumu, tā temperatūra nepaaugstinās tik ilgi, līdz viss šķidrums ir iztvaikojis. Turpinot sildīšanu (ja $p = \text{const}$), tvaika temperatūra sāk paaugstināties virs iztvaikošanas, resp., piesātināšanās temperatūras un tvaiks kļūst pārkarsēts. Pārkarsēta tvaika stāvokļa noteikšanai nepieciešams zināt divus termodinamiskos parametrus, piemēram, spiedienu un temperatūru.

Tātad tvaika rašanās process sastāv no 3 galvenajiem posmiem:

- 1) ūdens sildīšana līdz vārišanās temperatūrai;
- 2) ūdens vārišanās;
- 3) tvaika pārkarsēšana.

Tvaika rašanās procesu var uzskatāmi attēlot diagrammās, kuru lietošana atvieglo daudzu praktisku uzdevumu risināšanu.

2.1.5. Atmosfēra. Mitrs gaiss

Apkures, ventilācijas un gaisa kondicionēšanas sistēmās par darbā vielu izmanto apkārtējo gaisu — atmosfēru. Tā ir sausa gaisa un ūdens tvaika maisījums. Par sausu gaisu sauc gaisu, kas nesatur ūdens tvaiku. Tā galvenās sastāvdaļas ir slāpeklis ($\approx 79\%$) un skābeklis ($\approx 21\%$), kā arī nelielā daudzumā citas dabā sastopamās gāzes. Atmosfēras gaiss ir mitrs gaiss, kurā vienmēr ir ūdens tvaiks — parasti pārkarsētā stāvoklī. Psihrometrija (sengrieķu *psychria* — aukstums + *metreo* — mērīju).

pēta mitru gaisu. Tās pamatu izpratnei ir būtiska nozīme, lai veiktu siltumtehniko procesu aprēķinus un to analīzi.

Viens no visbiežāk lietojamiem gaisa parametriem ir tā temperatūra.

Temperatūru, ko rāda termometrs, uz kura jutīgo daļu tieši iedarbojas apkārtējais gaiss, sauc par *sausā termometra temperatūru* (STT), un to apzīmē ar t . Ja ir dota gaisa temperatūra bez papildu nosacījumiem, tad ar to jāsaprot STT.

Par *mitrā termometra temperatūru* (MTT) sauc temperatūru, ko uzrāda termometrs, kura jutīgā daļa (piemēram, dzīvsudraba rezervuārs) ir aptīta ar plānu audumu (marle, batists), kura gals iegremdēts ūdens trauciņā. Šo temperatūru apzīmē ar t_m .

Mitru gaisu var tuvināti uzskatīt par ideālu gāzi, piemērojot tam likumus, kas attiecas uz ideālu gāzu maisījumiem. Viens no tādiem ir Daltona likums, pēc kura gaisa kopējais spiediens p ir sausa gaisa parciālā spiediena p_{sg} un gaisā esoša ūdens tvaika parciālā spiediena p_{tv} summa:

$$p = p_{sg} + p_{tv}. \quad (2.12)$$

Ventilācijas un gaisa kondicionēšanas sistēmās gaiss parasti atrodas atmosfēras spiedienā, tāpēc svarīgākais komponents vienādojumā (2.12) ir p_{tv} , t. i., ūdens tvaika parciālais spiediens.

Ūdens tvaikam, kas parasti atrodas gaisā pārkarsētā stāvoklī, parciālais spiediens mainās plašās robežās atkarībā no gaisa temperatūras. Tas var būt arī piesātinātā stāvoklī. Jo augstāka ir gaisa temperatūra, jo lielāks ir piesātinātā ūdens tvaika parciālais spiediens p'_{tv} (2.1. att.).

Kā redzams 2.1. attēlā, gaisa spēja saturēt ūdens tvaiku, paaugstinoties temperatūrai, strauji palielinās.

Ja gaisu, kas satur lielāku vai mazāku ūdens tvaika daudzumu, atdzesē pastāvīga spiediena apstākļos, tad stingri noteiktā temperatūrā šis tvaiks kļūst piesātināts. Sasniegto stāvokli sauc par *rasas punktu* un atbilstošo gaisa temperatūru — par *rasas punkta temperatūru* (RPT), ko apzīmē ar t_R .

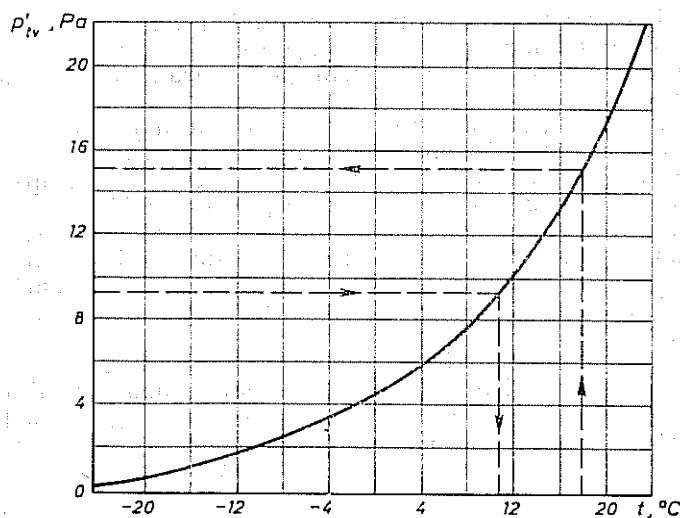
Gaisa mitrumu raksturo ar absolūto mitrumu, mitruma saturu un relatīvo mitrumu.

Par *absolūto gaisa mitrumu* sauc ūdens tvaika masu vienā kubikmetrā sausa gaisa. Tātad absolūtais gaisa mitrums skaitliski vienāds ar gaisā esoša ūdens tvaika blīvumu ρ_{tv} , kg/m³.

Par gaisa *mitruma saturu* sauc ūdens tvaika masas daudzumu vienā sausa gaisa daudzuma vienībā — 1 kg vai 1 m³.

Mikroklimata inženieriekārtu aprēķinos lietojamo mitruma saturu x , kg mitruma/(kg sausa gaisa), aprēķina pēc formulas

$$x = \frac{\rho_{tv}}{\rho_{sg}} \quad (2.13)$$



2.1. att. Piesātināta ūdens tvaika parciālā spiediena atkarība no gaisa temperatūras t .

Sākotnējs mitruma satura apzīmējums bija d , kg mitruma/(m^3 sausa gaisa). Šis parametrs nav ieviesies mikroklimata inženieriekārtu aprēķinos, jo, to lietojot, jāņem vērā gaisa ieņemtā tilpuma izmaiņas, mainoties gaisa temperatūrai.

Tomēr ar apzīmējumu d jāsastopas Austrumeiropas valstu tehniskajā literatūrā (arī krievu un latviešu valodā izdotās grāmatās), kurā tas ir mitruma saturs, g mitruma/(kg sausa gaisa), t. i.,

$$d = \frac{p_{tv}}{p_{sg}} \cdot 1000. \quad (2.14)$$

Izmantojot ideālu gāzu termodinamiskā stāvokļa vienādojumus un ievietojot gāzu konstantes skaitliskās vērtības, mitruma saturu var izteikt šādi:

$$x = 0,622 \frac{p_{tv}}{p_b - p_{tv}}, \quad (2.15)$$

$$d = 622 \frac{p_{tv}}{p_{sg}} = 622 \frac{p_{tv}}{p_b - p_{tv}} \quad (2.16)$$

vai pārveidojot

$$p_{tv} = \frac{p_b d}{622 + d} = \frac{p_b x}{0,622 + x}. \quad (2.17)$$

Tātad ūdens tvaika parciālo spiedienu gaisā, ja $p_b = \text{const}$, nosaka mitruma saturs, un tas nav atkarīgs no gaisa temperatūras.

Dotajā temperatūrā gaisā var būt tikai noteikts maksimālais mitruma daudzums, kas atbilst piesātināta tvaika koncentrācijai.

Par *relatīvo gaisa mitrumu* φ sauc faktiskā ūdens tvaika koncentrācijas attiecību pret piesātināta ūdens tvaika koncentrāciju dotajā gaisa temperatūrā. Koncentrāciju attiecību var izteikt ar attiecīgo blīvumu vai parciālo spiedienu attiecību:

$$\varphi = \frac{\rho_{tv}}{\rho'_{tv}} = \frac{p_{tv}}{p'_{tv}}, \quad (2.18)$$

kur ρ_{tv} un ρ'_{tv} — piesātināta ūdens tvaika blīvums un parciālais spiediens.

Par termodinamiskās sistēmas *entalpiju* sauc tās iekšējās enerģijas un tilpuma enerģijas summu. Entalpiju sauc arī par pilnu siltumsaturu.

Entalpijas daudzuma vienība ir J vai kJ.

Entalpijas īpatnējā vērtība h ir attiecināta uz vienu masas vienību — kg, un to izsaka J/kg vai kJ/kg. Tehniskajā literatūrā (galvenokārt Austrumeiropas, kā arī latviešu) ļoti izplatīts entalpijas apzīmējums ir I (J vai kJ) un i (J/kg vai kJ/kg).

Sausa gaisa īpatnējā siltumietilpība c_{sg} pastāvīga spiediena apstākļos ir atkarīga no temperatūras. Tomēr, ņemot vērā to, ka temperatūras izmaiņas ventilācijas un gaisa kondicionēšanas sistēmās nepārsniedz $-50 \dots +50^\circ\text{C}$, var pieņemt vidējo īpatnējo siltumietilpību $c_{sg} = 1,005 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$.

Pieņemot, ka 0°C temperatūrā sausa gaisa entalpija $h_{sg} = 0$, iegūst

$$h_{sg} = c_{sg} t. \quad (2.19)$$

Ūdens tvaika entalpija h_{tv} sastāv no ūdens entalpijas gaisa temperatūrā t un iztvaikošanas mitruma r :

$$h_{tv} = c_{H_2O} t + r, \quad (2.20)$$

kur c_{H_2O} — ūdens īpatnējā siltumietilpība ($4,1868 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$).

Ūdens iztvaikošanas siltums r , kJ/kg, savukārt ir atkarīgs no ūdens temperatūras, t. i.,

$$r = 2495 - 2,36t. \quad (2.21)$$

Tātad

$$h_{tv} = 4,1868t + 2495 - 2,36t = 2495 + 1,8268t. \quad (2.22)$$

Gaisa entalpija, kuru attiecina uz 1 kg sausa gaisa, sastāv no sausa gaisa entalpijas un ūdens tvaika entalpijas:

$$H = h_{sg} + h_{tv}. \quad (2.23)$$

Ievietojot attiecīgas vērtības, entalpiju H , kJ/kg, izsaka šādi:

$$H = 1,005t + (2495 + 1,8268t)x. \quad (2.24)$$

Iegūtie vienādojumi pilnīgi raksturo mitra gaisa termodinamisko stāvokli, ja ir doti divi tā parametri, piemēram, t un φ , t un x , H un x . Tomēr analītiskie aprēķini aizņem daudz laika. Lai atvieglotu dažādus aprēķinus, it sevišķi prognozēšanu un dažādu variantu salīdzināšanu, lieto grafoanalītisko metodi, izmantojot diagrammas.

2.1.6. Mitra gaisa diagrammas

Viena no mitra gaisa diagrammām ir H - x diagramma. Šo diagrammu plaši lieto dažādu kalšanas, ventilācijas un gaisa kondicionēšanas iekārtu izpētē, analizē un aprēķinos. Par abscisu pieņemts gaisa mitruma saturs x , bet par ordinātu — entalpija H . Lai racionāli izmantotu diagrammas laukumu, to konstruē slīpenķa koordinātu sistēmā ar $\alpha > 90^\circ$, kura gadījumā var izdarīt aprēķiniem pietiekoši precīzus nolāšījumus gaisa stāvokļiem, kādus sastop ventilācijas un gaisa kondicionēšanas tehnikā. Aukstumtehnikas aprēķinos lieto H - x diagrammas ar lielākām šī leņķa vērtībām, bet, aprēķinot procesus kaltes, — ar mazākām vērtībām. Uz vertikālās (ordinātu) ass atliek entalpijas vērtības izraudzītā mērogā, pieņemot par koordinātu sākumu absolūti sausa gaisa termodinamisko stāvokli 0°C temperatūrā.

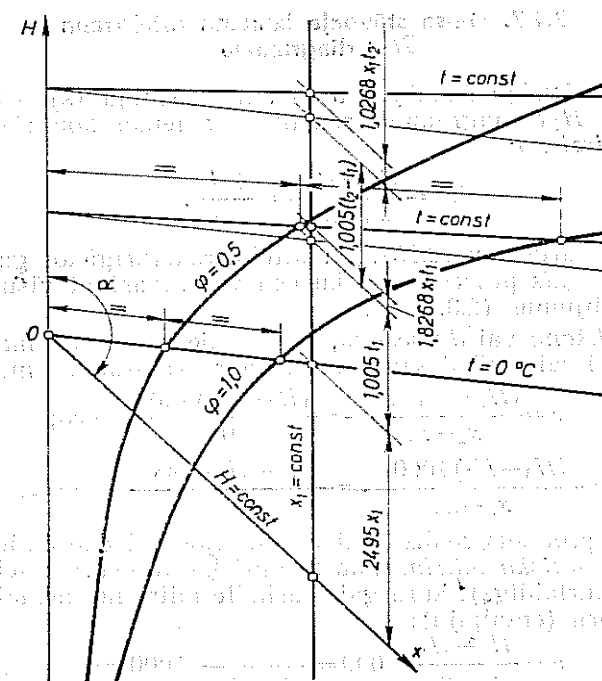
Izmantojot vienādojumus (2.16), (2.18), (2.24) un attiecīgus piesātināta mitra gaisa parametrus, koordinātu H un x tiklā attēlo izotermas un relatīvā mitruma izolīnijas (2.2. att.).

Izotermas nav paralēlas, bet veido staru kūli, jo, kā redzams 2.2. attēlā, palielinoties mitruma saturam un temperatūrai, attālums starp tām palielinās.

Relatīvā mitruma izolīniju novietojums diagrammā ir atkarīgs no barometriskā spiediena: jo lielāks tas ir, jo zemāk novietota līkne $\varphi=1,0$. Tāpēc mitra gaisa H - x diagrammas sastāda kādam noteiktam spiedienam. Latvijā vēlams lietot H - x diagrammas atmosfēras spiedienam 101,325 GPa, jo Rīgai aprēķinos lietojamais barometriskais spiediens pieņemts 760 mm Hg.

H - x diagrammas laukums, kas atrodas zem līknes $\varphi=1,0$, attēlo pārsātināta gaisa termodinamisko stāvokli — miglu. Migla ir divfāzu sistēma, kas sastāv no piesātināta mitra gaisa un sīkiem pilieniņiem vai ledus kristāliem.

Jebkuru gaisa termodinamisko stāvokli H - x diagrammā attēlo punkts. Bez jau apskatītajiem parametriem — temperatūras t , entalpijas H , relatīvā mitruma φ , mitruma satura x , ūdens



2.2. att. H - x diagrammas.

tvaika parciālā spiediena p_{tv} — diagrammā var nolasīt arī RPT, piesātināta ūdens tvaika parciālo spiedienu un MTT.

RPT atrodas izolīniju x un $\varphi=1,0$ krustpunktā.

Piesātināta ūdens tvaika parciālais spiediens p_{tv} dotajā gaisa temperatūrā ir izotermas un izolīnijas $\varphi=1,0$ krustpunktā.

MTT var nolasīt ar precizitāti, kāda nepieciešama ventilācijas un gaisa kondicionēšanas aprēķinos. To atrod dotā gaisa stāvokļa punkta izoentalpas H un līknes $\varphi=1,0$ krustpunktā. Precīzākos aprēķinos, piemēram, aprēķinot kaltes, lieto H - x diagrammas, kurās ir līnijas $t_M = \text{const}$.

Ārzemju literatūrā par siltumtehniku jāsastopas ar mitra gaisa diagrammu, kuru sauc par psihometrisku diagrammu jeb karti. Pie mums šī diagramma nav izplatīta. Ar psihometriskās diagrammas uzbūvi un lietošanu var iepazīties speciālā literatūrā.

2.1.7. Gaisa stāvokļa izmaiņu attēlošana H - x diagrammā

Gaisa stāvokļa izmaiņu no sākuma stāvokļa (s) beigu stāvoklī (b) H - x diagrammā raksturo ar leņķa koeficientu jeb procesa virzienu:

$$\varepsilon = \frac{H_b - H_s}{x_b - x_s} = \frac{\Delta H}{\Delta x} \quad (2.25)$$

Lietojot attiecību (2.25), var attēlot raksturīgākos gaisa stāvokļa izmaiņas procesus, no kuriem var atvasināt visus iespējamus gadījumus (2.3. att.).

1. *Sildīšana* vai *dzesēšana*, kura notiek bez mitruma satura izmaiņas, izraisa tikai sausā termometra rādījumu izmaiņu:

$$\varepsilon = \frac{(H_2 - H_1) 1000}{x_2 - x_1} = \frac{(H_2 - H_1) 1000}{0} = +\infty; \quad (2.26)$$

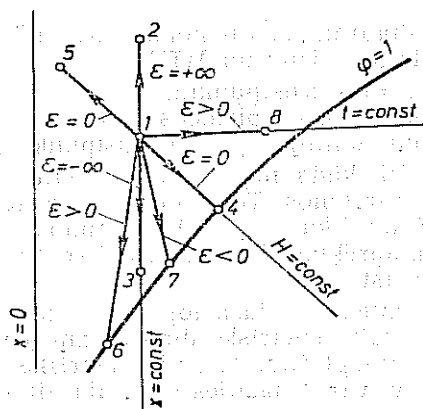
$$\varepsilon = \frac{(H_3 - H_1) 1000}{x_2 - x_3} = \frac{(H_3 - H_1) 1000}{0} = -\infty. \quad (2.27)$$

Šādus procesus realizē gaisa sildītājos vai dzesētājos.

2. *Adiabatiskā mitrināšana* (sengrieķu *adiabatos*: šeit — siltumu necaurlaidīgs), kurā gaiss asimilē mitrumu, nemainot siltuma saturu (entalpiju):

$$\varepsilon = \frac{H_4 - H_1}{x_4 - x_1} 1000 = \frac{0}{x_4 - x_1} 1000 = 0. \quad (2.28)$$

Šādus procesus var realizēt, iztvaicējot ūdeni gaisa plūsmā, — tā saucamās rasiņātavās.



2.3. att. Gaisa stāvokļa izmaiņas procesu attēlojošā stara virziena atkarība no ε vērtības.

3. *Adiabatiskā sausināšana*, kurā, gaisam atdodot mitrumu, izdalās iztvaikošanas siltums:

$$\varepsilon = \frac{H_5 - H_1}{x_5 - x_1} 1000 = \frac{0}{x_5 - x_1} 1000 = 0. \quad (2.29)$$

Šādus procesus realizē, laižot gaisa plūsmu caur ķīmiskiem sorbentiem (piem., silikagels), kuri absorbē ūdens tvaiku. Tvaikam kondensējoties, izdalās iztvaikošanas siltums.

4. *Dzesēšana ar sausināšanu*, kura realizējas, kad

turpina gaisa atdzesēšanu vēl pēc relatīvā mitruma $\varphi=1$ sasniegšanas. Turpinot atdzesēšanu, no gaisa uz dzesētāja virsmas izdalās kondensāts. Šo gaisa sausināšanas paņēmieni sauc arī par *izsaldēšanu*. Seit

$$\varepsilon = \frac{H_6 - H_1}{x_6 - x_1} 1000 = \frac{-(\Delta H)}{-(\Delta x)} 1000 > 0. \quad (2.30)$$

Ja šādu gaisa apstrādi realizē, turpinot otrajā punktā aprakstīto režīmu pēc $\varphi=1$ sasniegšanas, tad iegūst procesus ar mīnusa zīmi, kuros notiek gaisa dzesēšana un mitrināšana, t. i.,

$$\varepsilon = \frac{H_7 - H_1}{x_7 - x_1} 1000 = \frac{-(\Delta H)}{(\Delta x)} 1000 < 0. \quad (2.31)$$

5. *Sildīšana ar mitrināšanu* ir process ar plusa zīmi:

$$\varepsilon = \frac{H_8 - H_1}{x_8 - x_1} 1000 = \frac{\Delta H}{\Delta x} 1000 > 0. \quad (2.32)$$

Šādus procesus realizē, pievienojot gaisam tvaiku gatavā veidā. Kontaktējot ar piesātinātu vai pārkarsētu ūdens tvaiku, gaisa parametru izmaiņas procesa virziens praktiski sakrīt ar izotermu, kaut gan teorētiski gaisa temperatūra nedaudz paaugstinās.

Iepriekš minētos procesus var realizēt vienā aparātā vai ar vienu ierīci.

6. *Sajaukšana*. Pēc H - x diagrammas var noteikt sajauktu gaisa plūsmu rezultējošās plūsmas parametrus, kā arī aprēķināt sajaukamo plūsmu parametrus nepieciešamās rezultējošās plūsmas iegūšanai. No tā izriet, ka, zinot siltuma un mitruma izdalījumus jeb asimilējumus ventilējamā tilpumā, var noteikt, kādiem jābūt pieplūdes gaisa parametriem un masai, lai attiecīgi pievadītu vai novadītu šos siltuma un mitruma daudzumus.

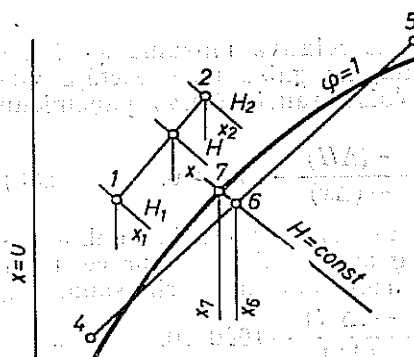
Jebkurus divus punktus (2.4. att.), kas raksturo gaisa plūsmu termodinamisko stāvokli, var savienot ar taisni. Maisījuma parametrus var noteikt pēc formulām

$$\frac{H_2 - H}{H - H_1} = \frac{x_2 - x}{x - x_1} = \frac{M_1}{M_2}; \quad (2.33)$$

$$\frac{H_2 - H}{H_2 - H_1} = \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} = \frac{M_1}{M},$$

kur M_1 , M_2 un M — sausā gaisa masa attiecīgos komponentos un maisījumā, kg.

Sajaucot divas dažādu stāvokļu gaisa plūsmas (4. un 5. punkts), var iegūt procesu ar daļēju mitruma kondensāciju (2.4. att.). Process, kurā maisījums iegūst stabilu stāvokli, notiek temperatūrā $t_M = \text{const}$, un $x_6 - x_7$ izsaka procesā kondensējušos mitruma daudzumu.



2.4. att. Gaisa sajaukšanas procesu attēli H - x diagrammā.

Procesus, kuros neviens parametrs nesaglabā savu sākotnējo vērtību, sauc par politropiskiem.

Kad ir zināms gaisa sākuma stāvoklis (pieplūdes gaisa stāvoklis), tad, nosakot tā beigu stāvokli (noplūdes gaisa stāvokli), rīkojas šādi. Pēc attiecīgas formulas nosaka procesa virzienu e , atrod to H - x diagrammā un ar divu trīsstūru palīdzību novelk tam paralēlu taisni caur punktu, kas raksturo pieplūdes gaisa stāvokli (punkts ar koordinātām H_s ; x_s).

Ja procesa virzienu precīzi iezīmē diagrammā, tad izoentālpai H_b un mitruma satūra izolīnijai x_b jākrustojas uz procesa virziena taisnes. Šo triju taisņu krustpunkts raksturo noplūdes gaisa stāvokli, un no diagrammas var nolasīt visus tā parametrus.

2.2. SILTUMAPMAIŅA

Siltumapmaiņa ir siltuma enerģijas izplatīšanās ķermeņos vai to kopās — sistēmās neatkarīgi no to agregātstāvokļa.

Siltumapmaiņa ir sarežģīts process, kas sastāv no trim būtiski atšķirīgiem siltuma izplatīšanās veidiem — siltumvadīšanas, konvekcijas un siltuma starošanas.

2.2.1. Siltumapmaiņas veidi un galvenie jēdzieni

Ar siltumvadīšanu saistītos procesos enerģija tiek pārnesta tiešas vielu daļiņu (molekulu, atomu, elektronu) saskaršanās rezultātā. Šāds siltumapmaiņas process var notikt jebkuros ķermeņos, bet pats mehānisms atkarīgs no to agregātstāvokļa. Šķidrumu un atsevišķu gāzu siltumvadītspēja ir nenožīmīga. Cietu ķermeņu siltumvadītspēja mainās ļoti plašās robežās.

Siltuma pārvešana konvekcijas veidā notiek tikai gāzēs un šķidrumos, pārvietojoties un sajaucoties vielas daļām ar dažādām temperatūrām.

Konvektīvā kustība var notikt divējādi — dabiskās (gravitācijas) un piespiedu konvekcijas veidā.

Ja šķidruma vai gāzes daļiņu pārvietošanās notiek masu blīvuma starpības dēļ, tad šādu procesu sauc par dabisko (gravitācijas) konvekciju. Tā, piemēram, centrālapkures sistēmas sildķermenis sasilta telpas gaisu, saskaroties ar to. Sasilušo gaisu izspiež aukstais telpas gaiss, pārvietojot to uz augšu. Tādā veidā siltums ar gaisu tiek pārvests no sildķermeņa uz citām telpas vietām.

Piespiedu konvekcijas gadījumā šķidrums vai gāze tiek pārvietota un sajaukta, izmantojot sūkni, ventilatoru vai citas ierīces. Šajā gadījumā siltumapmaiņa notiek intensīvāk nekā dabiskajā konvekcijā.

Siltuma starošanā siltumapmaiņa notiek no viena ķermeņa uz otru ar elektromagnētisko viļņu starpniecību. Elektromagnētiskie viļņi no ķermeņa virsmas izplatās visos virzienos. Sāduroties ar citiem ķermeņiem, daļa starojuma enerģijas var absorbēties, pārvērsties no jauna siltuma (paaugstinot ķermeņu temperatūru) enerģijā.

Reālās sistēmās siltuma enerģija vienlaikus tiek pārnesta visos trijos vai divos veidos. Tā, piemēram, centrālapkures sildķermeņa (radiatori, konvektori u. c.) ārējā virsma izstaro un konvekcijas veidā atdod siltumu, ko tā saņem siltumvadīšanas veidā no siltumnesēja (ūdens, tvaiks u. c.).

Siltumapmaiņu no cietā ķermeņa uz gāzi vai šķidrumu un otrādi sauc par siltumatdevi.

Siltumapmaiņu starp divām vidēm (gāzēm vai šķidrumiem) caur norobežozošu (atdalošu) sienīņu sauc par siltumpāreju.

Visu siltumapmaiņas veidu izpēte saistīta ar šādu jēdzienu lietošanu.

1. Siltums pāriet no viena ķermeņa uz citu ķermeni vai no vienas tā daļas uz citu daļu tikai tad, ja šo ķermeņu vai atsevišķo daļu temperatūras ir dažādas, turklāt siltumpāreja vienmēr notiek zemākās temperatūras virzienā.

2. Siltuma daudzumu, kuru pārnes laika vienībā, sauc par siltuma plūsmu Q . Ipatnējā siltuma plūsma q , W/m^2 , ir siltuma plūsmas lielums uz laukuma A vienību:

$$q = \frac{Q}{A}. \quad (2.34)$$

3. Temperatūru vērtību sadalījumu vielā raksturo ar temperatūras lauku, kurš izsaka temperatūru vērtību kopumu pētāmā vielas apjomā jebkurā laika momentā.

Vispārīgā gadījumā

$$t = f(x, y, z, \tau).$$

Temperatūras lauku, kurš mainās laikā, sauc par nestacionāru lauku.

Ja temperatūras lauks nemainās laikā, to sauc par *stacionāru lauku*:

$$t = f(x, y, z).$$

Visvienkāršākais ir stacionārais vienkoordinātas temperatūras lauks, t. i.,

$$t = f(x), \quad (2.35)$$

kuram būvju siltumfizikā ir vislielākā nozīme.

4. Temperatūras lauku pētāmā ķermenī vai sistēmā raksturo ar *izotermiskām virsmām*, kuras apvieno punktus ar vienādu temperatūru. Šķēļot izotermiskās virsmas ar plakni, iegūst *izotermiskās līnijas* (2.5. att.).

Temperatūras pieauguma ātrumu raksturo ar temperatūras gradientu grad t . *Temperatūras gradients* ir vektors, kas vērsts pa izotermiskās virsmas normāli temperatūras pieauguma virzienā. Tā vienība ir K/m.

2.2.2. Siltumvadīšanas pamatlikums

Siltumvadīšanas pamatlikums nosaka tiešu proporcionalitāti starp īpatnējo siltuma plūsmu un temperatūras gradientu:

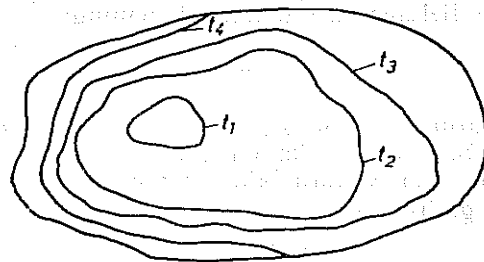
$$q = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n} = -\lambda \text{ grad } t, \quad (2.36)$$

kur λ — siltumvadītspējas koeficients, W/(m·K).

So vienādojumu 1822. gadā formulēja franču zinātnieks Furjē.

Mīnusa zīme norāda, ka siltuma plūsmas vektors vērsts pa izotermiskās virsmas normāli temperatūras samazināšanās virzienā.

Siltumvadītspējas koeficientam ir liela nozīme būvju siltumtehnikajos aprēķinos. Tā skaitliskās vērtības dažādiem materiāliem atšķiras, un tās nosaka eksperimentāli. Savukārt



2.5. att. Izotermu līnijas.

dotajam materiālam λ mainās atkarībā no temperatūras, mitruma, apstrādes veida un citiem faktoriem. Daudzi būvniecībā lietojamie materiāli ir poraini, sastāv no šķiedrām. Šādos materiālos tukšumus aizpilda gāzes vai šķidrumi, un tāpēc to siltumvadītspējas koeficients ir atkarīgs no blīvuma un mitruma.

2.2.3. Siltumvadīšana stacionārā režīmā

Apskatīsim siltumvadīšanu plakanā vienslāņa sienā, kuras siltumvadītspējas koeficients λ ir pastāvīgs lielums, virsmu temperatūras τ_1 un τ_2 , pie tam $\tau_2 < \tau_1$ (2.6. att.). Siltums izplatās x ass virzienā. Ar šādiem noteikumiem temperatūras lauks sienā ir vienkoordinātas un izotermiskās virsmas ir plaknes, kas paralēlas sienas virsmām.

Siltumvadīšanas vienādojums slānim ar biezumu dx pēc Furjē likuma ir

$$q = -\lambda \frac{dt}{dx} \quad (2.37)$$

jeb

$$dt = -\frac{q}{\lambda} dx. \quad (2.38)$$

Integrējot vienādojumu (2.38), iegūst

$$t = -\frac{q}{\lambda} x + C. \quad (2.39)$$

No vienādojuma (2.39) redzams, ka temperatūra sienas biezumā mainās lineāri.

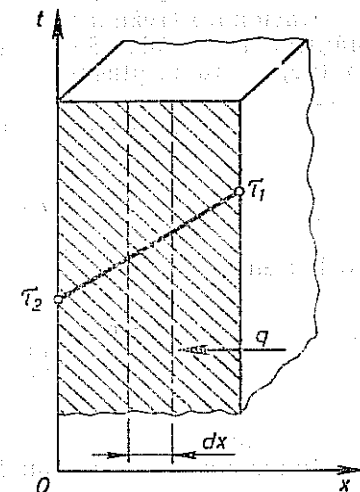
Integrēšanas konstantes atrod no robežnosacījumiem temperatūras vērtībām uz sienas virsmām: ja $x=0$, tad $t=\tau_1$, no kurienes $C=\tau_1$; ja $x=\delta$, tad $t=\tau_2$ un iegūst

$$\tau_2 = -\frac{q}{\lambda} \delta + \tau_1.$$

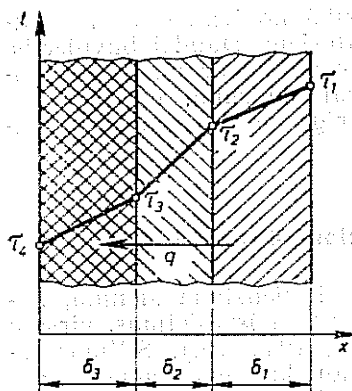
Rezultātā

$$q = \frac{\lambda}{\delta} (\tau_1 - \tau_2). \quad (2.40)$$

No vienādojuma (2.40) redzams, ka īpatnējā siltuma plūsma



2.6. att. Siltumvadīšana plakanā vienslāņa sienā.



2.7. att. Siltumvadīšana planknā daudzslāņu sienā.

ir tieši proporcionāla temperatūras kritumam $\Delta\tau = \tau_1 - \tau_2$, un tāpēc

$$q = \frac{\lambda}{\delta} \Delta\tau$$

jeb

$$q = \frac{\Delta\tau}{\delta/\lambda} = \frac{\Delta\tau}{R} \quad (2.41)$$

Attiecību $\delta/\lambda = R$ sauc par *termisko pretestību*.

Zinot īpatnējo siltuma plūsmu q , kopējo siltuma daudzumu, kas vienas stundas laikā izplūst caur virsmu A , var aprēķināt pēc formulas

$$Q = qA \quad (2.42)$$

Kopējais siltuma daudzums, kas tiek pārnesti caur vienslāņu sienā, ir proporcionāls īpatnējai siltuma plūsmai q un sienas virsmas laukumam A .

Apskatīsim siltumvadīšanu daudzslāņu sienā, kurā slāņi cieši pieguļ cits citam. Katram slānim ir noteikts biezums δ_i un siltumvadītspējas koeficients λ_i (2.7. att.). Tā, piemēram, ēku sienas un pārsegumi ir daudzslāņu konstrukcijas.

Stacionārā režīmā siltuma plūsma caur visiem sienas slāņiem ir vienāda. Saskaņā ar formulu (2.40) katram slānim īpatnējā siltuma plūsma

$$q = \frac{\lambda_1}{\delta_1} (\tau_1 - \tau_2); \quad q = \frac{\lambda_2}{\delta_2} (\tau_2 - \tau_3);$$

$$q = \frac{\lambda_3}{\delta_3} (\tau_3 - \tau_4),$$

no kurienes

$$\tau_1 - \tau_2 = q \frac{\delta_1}{\lambda_1}; \quad \tau_2 - \tau_3 = q \frac{\delta_2}{\lambda_2};$$

$$\tau_3 - \tau_4 = q \frac{\delta_3}{\lambda_3}.$$

Summējot šo vienādību labās un kreisās puses, iegūst

$$\tau_1 - \tau_4 = q \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right),$$

no kurienes

$$q = \frac{\tau_1 - \tau_4}{\delta_1/\lambda_1 + \delta_2/\lambda_2 + \delta_3/\lambda_3} = \frac{\Delta\tau}{R}, \quad (2.43)$$

kur $\Delta\tau$ — sienas ārējo virsmu temperatūru starpība;

$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$ — daudzslāņu sienas termiskā pretestība.

Kopējo siltuma plūsmu Q caur daudzslāņu sienā izsaka formula

$$Q = \frac{\tau_1 - \tau_{n+1}}{\sum_{i=1}^n R_i} A \quad (2.44)$$

2.2.4. Siltuma konvekcija

Siltuma daudzumu Q , ko pārnes konvekcijas veidā, izsaka ar Ņūtona formulu:

$$Q = \alpha A (t_{sk} - \tau), \quad (2.45)$$

kur α — proporcionalitātes koeficients, kuru sauc par siltumatdeves koeficientu;

t_{sk} — siltumnesēja temperatūra, °C;

τ — siltuma avota sienas temperatūra, °C;

A — siltumnesēja un siltuma avota sienas saskarvirsmas laukums, m².

Pieņemot $A = 1$ m², var noteikt īpatnējo siltuma plūsmu:

$$q = \alpha (t_{sk} - \tau). \quad (2.46)$$

No vienādojuma (2.46) var izteikt temperatūru starpību $t_{sk} - \tau$ un sienas temperatūru τ , t. i.,

$$\tau = t_{sk} - \frac{q}{\alpha}, \quad (2.47)$$

kur $\frac{1}{\alpha}$ — sienas termiskā pretestība siltumatdevei.

Formulu (2.45) var lietot gan siltumatdevei no šķidruma (gāzes) uz sienā, gan arī pretēji. Abos gadījumos pieņem absolūto temperatūru starpību.

Siltumatdeves koeficients α , kura vienība ir W/(m²·K), rāda, cik daudz siltuma pārvietojas laika vienībā no šķidruma (gāzes) uz 1 m² sienas virsmu (un pretēji), ja sienas virsmas un šķidruma temperatūru starpība ir 1°. Atšķirībā no siltumvadītspējas koeficienta λ siltumatdeves koeficients α ir ļoti daudzpusējs parametrs, kurš atkarīgs no daudziem faktoriem:

šķidruma (gāzes) kustības rakstura (lamināra vai turbulenta plūsma) un cēloņa; šķidruma (gāzes) kustības ātruma v ; šķidruma (gāzes) fizikālajiem parametriem (siltumvadītspējas koeficients λ , viskozitāte, blīvums ρ , siltumietilpība c_p , tilpuma izplešanās koeficients β); šķidruma (gāzes) un sienas temperatūrām t_{sk} , τ ; formas virsmas, kuru apskalo šķidrums (gāze), un tās izmēriem $l_1, l_2, l_3, \dots$.

Tātad

$$\alpha = f(v, \lambda, \rho, c_p, \beta, t_{sk}, \tau, l_1, l_2, l_3, \dots).$$

Koeficienta α noteikšanai lieto empīriskas formulas, kurām ir ierobežots lietošanas apjoms.

Precīzākus rezultātus iegūst, izmantojot *dimensiju* un *līdzības teoriju*, ar kuru var pierādīt, ka α ir atkarīgs nevis no katra minētā faktora atsevišķi, bet gan no noteiktu faktoru grupējumiem. Šie grupējumi ir bezdimensiju lielumi, t. s. līdzības skaitļi, kas nosaukti to zinātnieku vārdos, kuriem ir lieli nopelni attiecīgo problēmu risinājumos (sk. [6]).

Tā, piemēram, gāzes (gaisa) kustību virs ūdens virsmas raksturo ar *Reinoldsa skaitli*

$$Re = \frac{vL}{\nu},$$

kur v — gāzes kustības ātrums, m/s;

L — virsmas garums gāzes kustības virzienā, m;

ν — gāzes kinemātiskā viskozitāte, m²/s.

Brīvās konvekcijas apstākļos masas (ūdens tvaika) apmaiņu starp gaisu un ūdens virsmu izsaka ar *Arhimēda skaitli*

$$Ar = \frac{L^3 g}{\nu^2} \cdot \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1},$$

kur g — brīvās krišanas paātrinājums, m/s²;

ρ_1 un ρ_2 — mitrā gaisa blīvums attiecīgi uz ūdens virsmas un apkārtējā telpā, kg/m³.

Procesa intensitāti, galvenokārt masas apmaiņu palielina arī ūdens tvaika parciālo spiedienu atšķirība tuvu ūdens virsmai un apkārtējā gaisā. To ievēro, lietojot *Stefana skaitli*

$$Sp = \frac{p_b}{p_{tv\tau} - p_{tv}} \ln \frac{p_b - p_{tv}}{p_b - p_{tv\tau}},$$

kur $p_{tv\tau}$ — tvaika parciālais spiediens uz šķidruma virsmas.

Mitra gaisa fizikālo īpašību raksturošanai lieto termisko un difūzijas *Prandta skaitli*

$$Pr = \frac{\nu}{a} \quad \text{un} \quad Pr' = \frac{\nu}{D},$$

kur a — mitra gaisa siltumvadītspējas koeficients, m²/s;
 D — difūzijas koeficients, m²/s.

Apkārtējā gaisa siltuma un mitruma izmaiņas, iztvaikojot šķidrumam, raksturo attiecīgi ar termisko un difūzijas *Nuselta skaitli*

$$Nu = \frac{\alpha L}{\lambda} \quad \text{un} \quad Nu' = \frac{\beta_m L}{D},$$

kur β_m — masas apmaiņas koeficients, m/s.

Bez šeit aplūkotojiem ir arī citi līdzības skaitļi, kurus lieto speciālos gadījumos. Līdzības teorijas lietojums aprakstīts arī 2. daļā — 6.2. sadaļā.

2.2.5. Siltuma starošana

Visi ķermeņi jebkurā temperatūrā izstaro un absorbē siltumu. Ar siltuma starošanu sastopamies arī ēku apkures un ventilācijas sistēmās, katlos, žāvēšanas ierīcēs u. tml. Siltuma starojums var būt vienmērīgs vai koncentrēts.

Atkarībā no virsmas fizikālajām īpašībām, formas un stāvokļa daļa starojuma enerģijas absorbējas, bet pārējā daļa atstarojas vai daļēji iziet cauri apstarotajam ķermenim.

Ja ķermenis pilnīgi absorbē saņemto starošanas enerģiju, to sauc par absolūti melnu ķermeni. Absolūti melnu ķermeņu dabā nav. Īpašības, kuras tuvas absolūti melniem ķermeņiem, piemīt naftas kvēpiem, ūdenim un ledum, melnai vadmālai, melnam samtam.

Ja ķermenis pilnīgi atstaro saņemto starošanas enerģiju, to sauc par absolūti baltu ķermeni. Pie ķermeņiem, kas tuvi absolūti baltiem ķermeņiem, pieskaita daļu pulētu metālu (zelts, varš u. c.). Balts ārējais apmetums labi atstaro redzamos saules starus, bet intensīvi absorbē neredzamos siltuma starus.

Ķermeņus sauc par absolūti caurspīdīgiem jeb diatermiskiem, ja tie visu ar starošanu saņemto enerģiju laiž sev cauri. Tā, piemēram, gaiss praktiski ir caurspīdīgs attiecībā uz siltuma stariem. Cieti ķermeņi un šķidrumi turpretī ir necaurspīdīgi, jo praktiski absorbē siltuma starus plānā virskārtiņā. Daudzi ķermeņi ir caurspīdīgi noteiktiem viļņu garumiem. Tā, piemēram, logu stikls laiž cauri redzamās gaismas starus, bet ir gandrīz necaurspīdīgs ultravioletajiem un infrasarkanajiem viļņiem.

Jozefs Stefans 1879. gadā eksperimentāli atrada un Ludvigs Bolcmans 1881. gadā teorētiski pierādīja sakarību starp absolūti melna ķermeņa starojuma plūsmas blīvumu jeb intensitāti E_0 un tā temperatūru:

$$E_0 = \sigma_0 T^4, \quad (2.50)$$

kur σ_0 — absolūti melna ķermeņa starošanas konstante, kuras aprēķinātā vērtība ir $5,670 \cdot 10^{-8} \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K}^4)$, bet eksperimentāli noteiktā — $5,729 \cdot 10^{-8} \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K}^4)$.

Aprēķinos lieto Stefana—Bolcmaņa likumu šādā formā:

$$E_0 = C_0 (T/100)^4, \quad (2.51)$$

kur $C_0 = 10^{-8} \sigma_0$ — absolūti melna ķermeņa starošanas koeficients.

Stefana—Bolcmaņa likums ir spēkā arī reāliem ķermeņiem — tā saucamiem pelēkiem ķermeņiem:

$$E = C/(T/100)^4;$$

reālu ķermeņu melnuma pakāpe

$$\varepsilon = E/E_0 = C/C_0, \quad (2.52)$$

kur E — pelēka ķermeņa starojuma plūsmas blīvums;

C — pelēka ķermeņa starošanas koeficients.

Jā zināma ķermeņa melnuma pakāpe, tad siltuma daudzumu, ko laika vienībā izstaro tā virsmas laukuma vienība (starojuma plūsmas intensitāti), var aprēķināt pēc formulas

$$E = \varepsilon E_0 = \varepsilon C_0 (T/100)^4 = 5,73 \varepsilon (T/100)^4. \quad (2.53)$$

Ķermeņa melnuma pakāpe ir $0 \dots 1$. Tā atkarīga no materiāla, virsmas temperatūras un virsmas tīrības. Metāliem tā palielinās līdz ar temperatūru, bet nemetāliskiem materiāliem, temperatūrai pieaugot, tā parasti samazinās.

Melnuma pakāpes skaitliskās vērtības atrodamas rokasgrāmatu tabulās.

Siltuma plūsmu Q_s , kuru izstaro ķermenis ar virsmu A , atrod šādi:

$$Q_s = EA = 5,73A (T/100)^4. \quad (2.54)$$

Apskatīsim starošanas siltumapmaiņu starp divām paralēlām nelielā attālumā novietotām sienām (2.8. att.) ar noteikumu, ka viss vienas sienas starojums ir vērsts uz pretējo sienīgu un to melnuma pakāpes un virsmu laukumi ir vienādi ($A_1 = A_2 = A$). Sienīgu temperatūras T_1 un T_2 ir nemainīgas, turklāt $T_1 > T_2$. Izmantojot Stefana—Bolcmaņa likumu, iegūst formulu

$$Q_s = 5,73 \varepsilon A ((T_1/100)^4 - (T_2/100)^4). \quad (2.55)$$

No formulas (2.55) var izteikt siltumatdeves koeficientu, kas raksturo starošanas veidā pārvadīto siltumu, t. i.,

$$\alpha_s = 5,73 \varepsilon \frac{(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4}{T_1 - T_2}. \quad (2.56)$$

2.8. att. Divu paralēlu virsmu savstarpējā apstarošanās.

Tātad izstarotā siltuma plūsma

$$Q_s = \alpha_s A (T_1 - T_2). \quad (2.57)$$

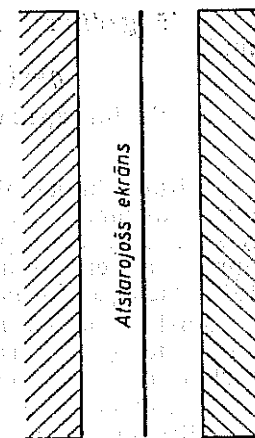
Siltumatdeves koeficients α_s ir atkarīgs no virsmu savstarpējā stāvokļa, formas un izmēriem. Tā noteikšanai var lietot grafoanalītiskās metodes, bet komplicētām virsmām izmanto eksperimentālas metodes.

Būvniecībā dažreiz rodas nepieciešamība paaugstināt konstrukciju termisko pretestību, nepalielinot to biezumu. Efektīgs paņēmieni šādos gadījumos var būt atstarojošu ekrānu uzstādīšana (2.9. att.), kurus izgatavo no materiāliem ar mazu absorbcijas spēju un lielu atstarošanas spēju (atstarojošā izolācija).

Jā ekrāns un sienas, starp kurām tas novietots, materiāla un apstrādes ziņā neatšķiras, tad viens ekrāns samazina siltuma plūsmu 2 reizes, divi paralēli ekrāni — 3 reizes un n ekrāni — $n+1$ reizi.

Jā turpretī ekrānam ir ļoti maza absorbcijas spēja un tas labi atstaro starojuma enerģiju kā, piemēram, niķelēta plāksne vai plāna pulēta alumīnija plāksne, tad viens ekrāns samazina siltuma plūsmu $10 \dots 30$ reizes.

Ieteicams lietot ekrānus ārējās norobežojošās konstrukcijās, kurās siltumapmaiņa starošanas veidā sastāda $70 \dots 80\%$.



2.9. att. Atstarojošs ekrāns starp paralēlām sienām.

2.2.6. Saliktā siltumapmaiņa un siltuma pārvešana

Apskatītie elementārie siltumapmaiņas veidi (siltumvadīšana, konvekcija un siltuma izstarošana) praksē parasti notiek vienlaicīgi. Tā, piemēram, konvekcija vienmēr notiek vienlaicīgi ar siltumvadīšanu, izstarošana bieži noris kopā ar konvekciju. Tamlīdzīgas atšķirīgu siltumapmaiņas veidu kombinācijas var būt ļoti dažādas, un to loma kopējā procesā nav vienāda. Siltumapmaiņa starp sienīgu un to apskalojošu gāzi ir tipisks šāda salikta procesa piemērs, kad vienlaicīgi notiek konvekcija, siltuma pārvešana siltumvadīšanas un izstarošanas veidā.

Saliktā siltumapmaiņas procesa siltumtehnikajos aprēķinos bieži lieto kopējo siltumatdeves koeficientu α , kas ir konvektīvā koeficienta α_k un starošanas koeficienta α_s summa:

$$\alpha = \alpha_k + \alpha_s. \quad (2.58)$$

Šajā gadījumā īpatnējo siltuma plūsmu aprēķina pēc formulas

$$q = (\alpha_k + \alpha_s) (t_{sk} - \tau) = \alpha (t_{sk} - \tau). \quad (2.59)$$

Ja sieniņu apskalo šķidrums, piemēram, ūdens, tad

$$\alpha_s = 0; \quad \alpha = \alpha_k.$$

Siltumtechnikā bieži siltums no viena šķidruma (gāzes) uz otru šķidrumu (gāzi) pāriet caur sieniņu. Šādu siltumapmaiņas procesu sauc par siltuma pārvešanu. Siltuma pārvešanas aprēķina vienādojuma veids ir atkarīgs no siltumnesēju atdalās sieniņas formas.

Apskatīsim siltuma pārvešanu caur izotropu plāksni (plakanu sieniņu), kura atdala vides ar dažādām temperatūrām, turklāt $t_{sk1} > t_{sk2}$. Sieniņas virsmu temperatūras, kuras nav zināmas, apzīmēsim attiecīgi ar τ_1 un τ_2 (2.10. att.).

Siltuma pārvešana apskatāmajā piemērā ir saliktās siltumapmaiņas process, kas sastāv no trim posmiem: siltumatdeve no sasildītās vides (t_{sk1}) sieniņas kreisajai virsmai, siltumvadīšana caur sieniņu un siltumatdeve no sieniņas labās virsmas nesasildītai videi (t_{sk2}).

Ja siltumapmaiņas process ir stacionārs, tad īpatnējā siltuma plūsma šajos trijos posmos ir vienāda.

Uzrakstīsim trīs zināmos īpatnējās siltuma plūsmas vienādojumus.

1. Vienādojums siltumatdevei no sasildītās vides sieniņai

$$q = \alpha_1 (t_{sk1} - \tau). \quad (2.60)$$

2. Vienādojums siltumvadīšanai caur sieniņu:

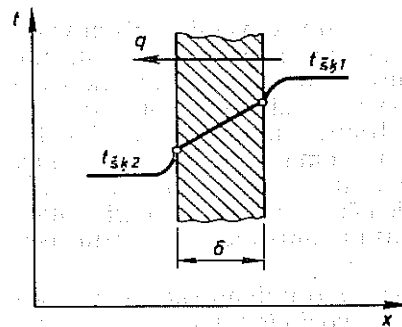
$$q = \frac{\lambda}{\delta} (\tau_1 - \tau_2). \quad (2.61)$$

3. Vienādojums siltumatdevei no sieniņas nesasildītai videi:

$$q = \alpha_2 (\tau_2 - t_{sk2}). \quad (2.62)$$

Izsakot no šiem vienādojumiem temperatūru kritumus, iegūst

$$\left. \begin{aligned} t_{sk1} - \tau &= q \frac{1}{\alpha_1}; \\ \tau_1 - \tau_2 &= q \frac{\delta}{\lambda}; \\ \tau_2 - t_{sk2} &= q \frac{1}{\alpha_2}. \end{aligned} \right\} \quad (2.63)$$



2.10. att. Siltumpāreja caur homogēnu sieniņu.

Summējot šos vienādojumus, atrod pilno temperatūras kritumu:

$$t_{sk1} - t_{sk2} = q \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right), \quad (2.64)$$

no kurienes īpatnējā siltuma plūsma

$$q = \frac{t_{sk1} - t_{sk2}}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = k (t_{sk1} - t_{sk2}). \quad (2.65)$$

Lielumu k sauc par *siltumpārejas (transmisijas) koeficientu*, un tas izsaka siltuma plūsmu, kura pāriet no vides ar augstāku temperatūru uz vidi ar zemāku temperatūru caur 1 m² lielu sieniņas virsmu vienā stundā, ja temperatūru starpība ir 1 K. Siltumpārejas koeficientam apgriezto lielumu sauc par *siltumpārejas pretestību* un apzīmē ar R_0 , m²K/W.

Saskaņā ar k un R_0 formulējumu

$$\frac{1}{k} = R_0 = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}. \quad (2.66)$$

Šī formula rāda, ka kopējā siltumpārejas pretestība ir atsevišķu saskaitāmo summa.

No vienādojumiem (2.63) iegūst

$$\left. \begin{aligned} \tau_1 &= t_{sk1} - \frac{q}{\alpha_1}; \\ \tau_2 &= \tau_1 - q \frac{\delta}{\lambda}; \\ t_{sk2} &= \tau_2 - \frac{q}{\alpha_2}. \end{aligned} \right\} \quad (2.67)$$

Izmantojot šos vienādojumus, var aprēķināt temperatūras siltuma plūsmas virzienā caur vienslāņa sieniņu.

Ja sieniņa nav vienslāņa, bet sastāv no vairākiem slāņiem ar dažādiem biezumiem $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \dots, \delta_n$ un siltumvadītspējas koeficientiem $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$, tad analogiski formulām (2.65) un (2.66) var rakstīt šādi:

$$q = \frac{t_{sk1} - t_{sk2}}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}}; \quad (2.68)$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}}; \quad (2.69)$$

$$\frac{1}{k} = R_0 = \frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}, \quad (2.70)$$

kur $\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}$ — plakanas daudzslāņu sienas atsevišķu slāņu termisko pretestību summa.

Siltuma daudzums Q , kas pāriet no vienas vides uz otru vidi caur jebkuras sienas laukumu A vienas stundas laikā, ir

$$Q = kA(t_{s_{k1}} - t_{s_{k2}}) = \frac{A(t_{s_{k1}} - t_{s_{k2}})}{R_0}. \quad (2.71)$$

3. VIDESZIŅA

Apkārtējo vidi veido to norobežojošās virsmas un atmosfēra. Izšķir iekšējo apkārtējo vidi, kas ir slēgta telpa, un ārējo apkārtējo vidi; tās vienmēr atrodas savstarpējā iedarbībā.

Apkārtējā vide uz cilvēkiem, tehnoloģiskajām iekārtām un materiālajām vērtībām iedarbojas kompleksi. Cilvēku labsajūtu ietekmē ne vien gaisa temperatūra, bet arī apkārtējo virsmu (sienu, griestu, grīdu) temperatūra un citi faktori.

Apkārtējās vides, tās sastāvdaļu un savstarpējās iedarbes izziņai ir svarīga nozīme telpu mikroklimatu veidojošu inženiersistēmu izpratnē un radīšanā.

3.1. APKĀRTĒJĀ VIDE. KLIMATOLOĢIJA

Klimatoloģija ir zinātne par klimatu, tā tipiem, sadalījumu uz Zemes, pārmaiņām laikā un klimatu veidojošiem faktoriem. Apkārtējās vides siltums — viens no klimatoloģijas kā zinātnes galvenajiem izpētes priekšmetiem.

Atmosfēras stāvoklis noteiktā brīdī nosaka laika apstākļus dotajā apvidū. Siltuma komforta sajūtu visvairāk ietekmē četri apkārtējos laika apstākļus veidojoši faktori: gaisa temperatūra, mitrums, kustīgums un siltuma starojums. Ar klimatu saistot laika apstākļus ilgstošā laika periodā, tas ir raksturīgs dotajam ģeogrāfiskajam punktam.

Zemeslodi kopā ar atmosfēru var uzskatīt par noslēgtu sistēmu. Tai vienīgā vēra nemamā pievadītā enerģija ir saules radiācija, kura līdzsvarojas ar to enerģijas daudzumu, ko zemes virsma atdod ar zemas temperatūras starojumu (infra-sarkanais starojums). Šis starojums ir praktiski vienmērīgs no visas zemes virsmas. Turpretī saules radiācija koncentrēta galvenokārt ekvatoriālajā zonā (starp ziemeļu un dienvidu tropiem atbilstoši 23,5°Z un 23,5°D).

Enerģijas pārvešanai no ekvatoriālās zonas polu virzienā ir nepieciešams lielas jaudas mehānisms. Šāda mehānisma loma ir atmosfērai, kurā pārvietojas gaisa masas, mazākā mērā — okeāna straumēm.

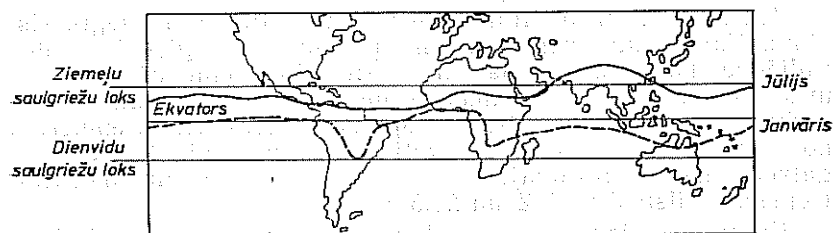
Tādi faktori kā mākoņainība un atmosfēras piesārņotība izraisa lokālas svārstības uz zemes virsmas krītošā starojuma plūsmā.

Ar atmosfērā notiekošo fizikālo procesu, tās struktūras un īpašību izpēti nodarbojas zinātne, ko sauc par meteoroloģiju.

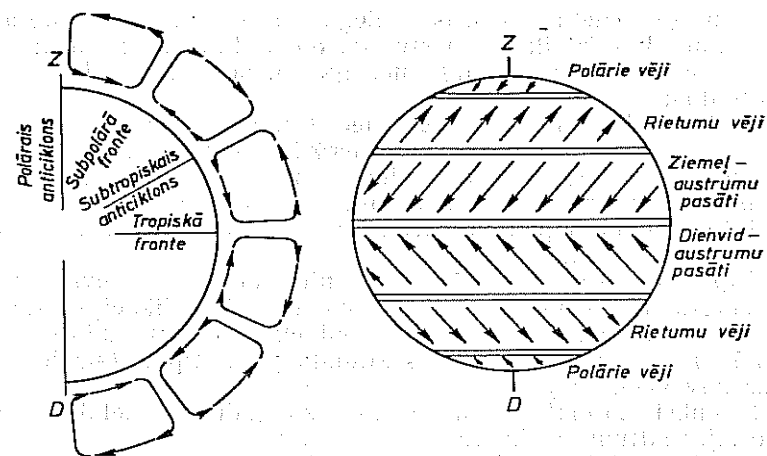
3.2. GLOBĀLIE KLIMATISKIE MEHĀNISMI

Vēji būtībā ir konvektīvas gaisa plūsmas atmosfērā, kuras rodas, izlīdzinoties dažādu zonu sasiluma pakāpei. Gaisa kustību iespaido Zemes griešanās. Gaisa maksimālā sasiluma zonās tas vēl papildus sasilst no zemes virsmas un, vertikāli paceļoties lielā augstumā, pārvietojas auksto rajonu virzienā. Daļa no šī gaisa lielā augstumā atdziest un pārvietojas zemes virsmas virzienā subtropiskajos rajonos. Pie zemes virsmas šāds atdzisis un smagāks gaiss pārvietojas maksimālā sasiluma zonu virzienā. Ziemeļu un dienvidu gaisa plūsmas sastopoties veido tropisko fronti, kuru sauc par iekšējo tropisko konverģences zonu. Atkarībā no gadalaika šī zona pārvietojas rajonā starp ziemeļu un dienvidu tropiem, kā parādīts 3.1. attēlā.

3.2. attēlā parādīta globālā gaisa kustība siltuma faktora ietekmē. Ja gaisa kustība būtu atkarīga tikai no siltuma faktora, tad veidotos tikai ziemeļu vai dienvidu vējš. Tomēr inerces iespaidā gaiss, iedarbojoties Koriolisa spēkiem, novirzās uz austrumiem vai rietumiem. Tā, piemēram, gaisa daļiņa, kas atrodas augsta spiediena dienvidu subtropiskajā zonā, pārvietojas ar noteiktu aploces ātrumu kopā ar Zemi. Siltuma izraisīto spēku ietekmē tā pārvietojas uz ziemeļiem, bet līdz ar to palielinās paralēles diametrs un tādā veidā arī aploces garums. Daļiņai turpretī ir tieksme saglabāt aploces ātrumu. Rezultātā tā atpaliek no Zemes virsmas attiecīgajiem punktiem. Tā kā Zeme griežas no rietumiem uz austrumiem, gaisa plūsma novirzās uz rietumiem, t. i., dienvidu vējš pārvēršas dienvid-



3.1. att. Iekšējās tropiskās konverģences zonas pārvietošanās atkarībā no gadalaika.



3.2. att. Globāla vēju aina.

austrumu vējā. Ar daļiņu, kas virzās uz Ziemeļpolu, notiek pretējais. Tā tāpat cenšas nemainīt savu aploces ātrumu un, pārvietojoties uz paralēli ar mazāku diametru, apdzēn attiecīgus zemes virsmas punktus. Rezultātā gaisa plūsma veido ziemeļrietumu vēju.

Šī kopējā gaisa kustības aina izmainās vietējo apstākļu — spiediena svārstību un reljefa īpatnību — iespaidā. Spiediena svārstības uz vienas paralēles parādās kā augsta un zema spiediena zonas (saliņas). Ziemeļu puslodē ap augsta spiediena zonām notiek virszemes gaisa slāņu cirkulācija pulksteņa rādītāju kustības virzienā, bet dienvidu puslodē — pretējā virzienā. Zema spiediena zonām šis process ir pretējs.

Šāds vēju sadales mehānisms iespaido atmosfēras nokrišņu raksturu. Vislielākā varbūtība lietainam laikam ir tad, ja atmosfērā pārsvarā ir augšupejošas gaisa plūsmas. Lejupplūstošas gaisa masas nekādos apstākļos neizraisa lietu. Tas ir viens no iemesliem, kāpēc tuksneši ir izvietoti gar augsta spiediena subtropiskajām zonām.

3.3. KLIMATS

Klimata parametri, kurus parasti reģistrē un lieto aprēķinos, ir šādi:

- gaisa temperatūra ēnā 1,2...1,8 m virs zemes virsmas līmeņa;
- relatīvais gaisa mitrums;
- gaisa kustības ātrums un virziens 10 m augstumā;

nokrišņu (lietus, krusas, sniega, rasas, sarmas, miglas) daudzums, kas izteikts mm stundā, diennaktī, mēnesī utt.; mākoņainība, kas izteikta nosegtās debess desmitdaļās vai astotdaļās;

saules radiācija, kas fiksēta pēc ilguma vai arī mērīta, ņemot vērā intensitāti, W/m^2 , vai enerģijas daudzumu, J/m^2 .

Aprēķinos lieto dažādas vidējās temperatūras pa sezonām, kuras aprēķinātas uz daudzu gadu novērojumu pamata. Ņem vērā to, kādam objektam paredzēta aprēķināmā mikroklimata uzturēšanas inženiersistēma.

Tāpēc klimatu klasificē. No arhitektūras un būvniecības projektēšanas viedokļa vispiemērotākā ir klasifikācija, kuras pamatā ir faktori, kas nosaka arī cilvēka komforta izjūtu. Saskaņā ar to var izdalīt četrus klimata pamattipus (šis iedalījums nav vienīgais).

1. Auksts klimats, kurā cilvēks visu gadu vai lielāko gada daļu izjūt siltuma trūkumu.

2. Mērens klimats, kuram raksturīga cilvēka ķermeņa pārmērīga atdzišana vienā gada periodā un pārmērīga sasilšana citā gada periodā.

3. Karsts, sauss klimats, kuram raksturīga cilvēka ķermeņa pārmērīga sasilšana, kas tomēr kompensējas ar iztvaikošanu sausā gaisā.

4. Silts, mitrs klimats, kurā arī notiek cilvēka ķermeņa pārmērīga sasilšana, bet grūtības rada traucētā atdzišana, samazinoties iztvaikošanai mitrā gaisā.

Veicot arhitektūras un būvniecības projektēšanas darbus, nepieciešams izdarīt arī celtniecības vietas klimata analīzi, lai atrastu ekonomiski izdevīgākos risinājumus (kapitālieguldījumi un ekspluatācijas izdevumi bieži ir atkarīgi no pareiza klimata novērtējuma).

Klimatiskie dati parasti ataino vesela reģiona klimatu, ko bieži sauc par makroklimatu. Sākus datus iegūst meteoroloģiskajās stacijās, kuras izvieto tā, lai vietēja rakstura īpatnības tos neiespaidotu.

Tomēr pilsētu rūpniecības rajonos pat atsevišķam apbūves laukumam var būt tādas īpatnības, ka tur var veidoties vietējais mikroklimats.

Jēdzienam mikroklimats ir samērā plašs lietojums arī citās nozarēs. Arhitektūras un celtniecības specialitātē visbiežāk (vismaz šajā mācību grāmatā) ar mikroklimatu saprot atmosfēras stāvokli norobežotā telpā, bet atkarībā no aplūkojamā rajona lieluma lieto jēdzienus klimats un vietējais klimats.

Vietējā klimata atšķirību no dotā reģiona klimata nosaka trīs grupās iedalāmi faktori:

topogrāfija, t. i., apbūves gabala orientācija pēc debesspēsēm un atrašanās uz kalna vai paugura attiecīgas nogāzes vai tās tuvumā, kā arī augstums virs jūras līmeņa;

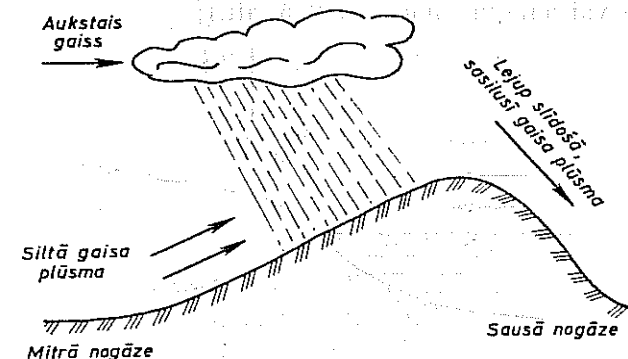
vietējie dabas apstākļi — meži, krūmāji, purvi, ūdens tilpnes, arī cilvēku roku radīti ceļi, ūdenskrātuves. Uz vietējo klimatu var atstāt iespaidu zemes virsmas temperatūra, tās siltumabsorbēcijas un atstarošanas spēja;

dažādi objekti, kuri var dot ēnu, izmainīt vēju virzienu, — atsevišķi lieli koki, mežu joslas, nožogojumi, celtnes utt.

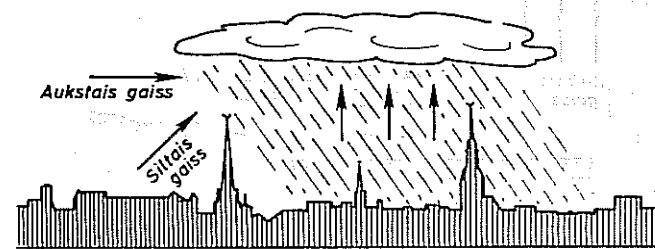
Pirms projektēšanas darbu sākuma jāapskata apbūves vieta un jāsavāc dati par vietējo klimatu ne vien no meteoroloģiskā dienesta, bet arī no vietējiem iedzīvotājiem.

Augšupejošās silta, mitra gaisa masas biežāk izraisa atmosfēras nokrišņus. Tā, piemēram, viena un tā paša mitra vēja virziena gadījumā kalna (200...300 m augstumā) virsvēja pusē ir lielāks nokrišņu daudzums nekā vidēji dotajā rajonā un tajā pašā laikā aizvēja pusē nokrišņu daudzums ir mazāks (3.3. att.). Analōģisku situāciju var novērot virs pilsētām (3.4. att.). Veidojas augšupejošās gaisa plūsmas.

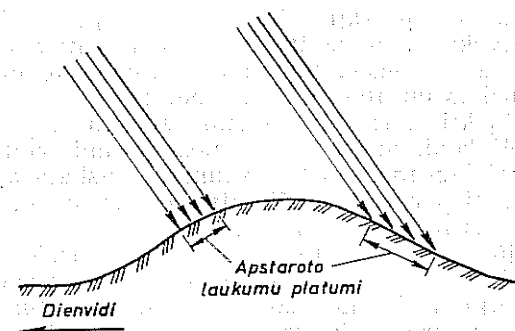
Saules radiācijas intensitāti un daudzumu var iespaidot trīs faktori:



3.3. att. Lietus veidošanās uz kalna nogāzes.

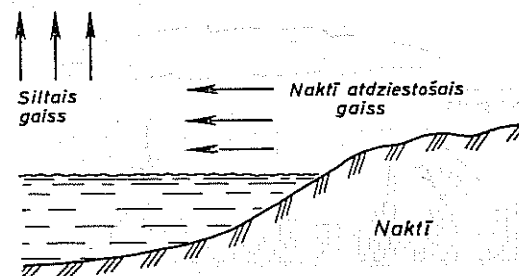
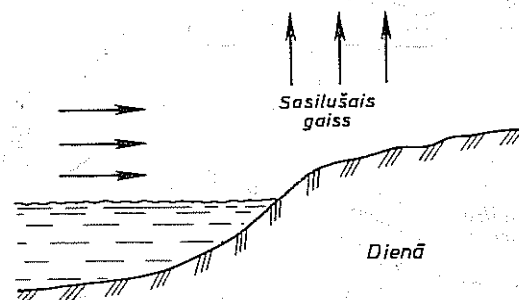


3.4. att. Pastiprināta lietus veidošanās virs pilsētas.

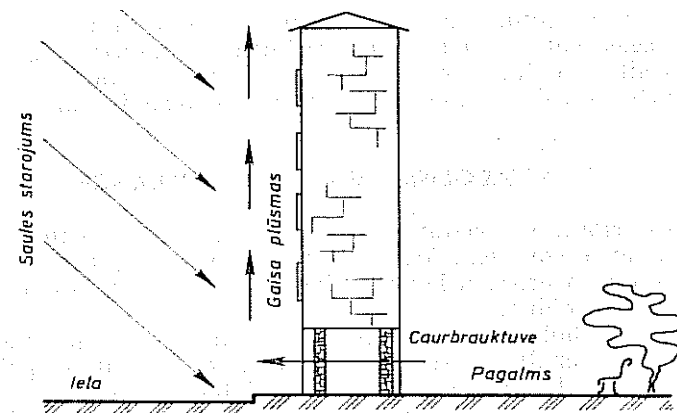


3.5. att. Saules radiācijas intensitātes atšķirības uz paugura nogāzēm ziemeļu puslodē.

atmosfēras dzidrums, kuru ietekmē piesārņojums un mākoņainība;
apbūves gabala orientācija pēc debespusēm un novietojums uz kalna vai paugura nogāzes (3.5. att.);



3.6. att. Ūdenstilpņu iespaids uz vietējiem vējiem.



3.7. att. Vietēju vēju veidošanās apbūvētās vietās.

vietas reljefs, kas var izraisīt saules starojuma daudzuma izmaiņas (agrāka vai vēlāka saules lēkšana un rietšana, vēra ņemamu ēnu veidošanās no celtnēm un citiem objektiem).

Lielas platības ūdenstilpnes var radīt vietēja rakstura vējus (3.6. att.). Dažādus efektus var izraisīt atsevišķas celtnes (3.7. att.) un to grupas.

3.4. CILVĒKA SILTUMREAKCIJA

Telpās, kur uzturas cilvēki, jāuztur noteikts mikroklimats. Cilvēka organisma siltuma līdzsvars nosaka viņa labsajūtu un darbaspējas. Organisma izdalītais siltums ir atkarīgs no cilvēka vecuma, masas, izdarītām kustībām utt. Cilvēka āda reaģē uz pieskārieniem, temperatūras izmaiņām un sāpīgu iedarbību. Tā visjutīgākā ir apmēram 34°C temperatūrā, kurā tiek uztvertas samērā mazas temperatūras izmaiņas vai atšķirības. Robežgadījumos galēji izturamās temperatūrās ādas izšķiršanas spēja strauji samazinās. Tā, piemēram, ja iegremdē roku ūdenī, kura temperatūra tuva sasaldšanas punktam, vai ļoti karstā ūdenī ar temperatūru apmēram 46°C , tā var izturēt tikai pāris sekundes. Zinātni, kas pēta šos jautājumus, sauc par psihotermiku. Tā ir atsevišķa psihofizikas nodaļa.

Apkārtējās vides siltums cilvēka ķermeni sasniedz jebkurā no trim siltumapmaiņas veidiem gan atsevišķi, gan jebkurā kombinācijā. Cilvēka āda uztver kopējo siltuma iedarbi. Siltuma apzināta uztvere ir tikai daļa no saņemtās informācijas. Neapzināti darbojas cilvēka termiskās pašregulācijas mehā-

nisms. Tāpēc siltuma uztvere nav vienkāršs, vienusējs un pasīvs process, bet ir saistīta ar sarežģītu un precīzu organisma darbību siltuma līdzsvara uzturēšanā. Ķermenis ne vien reaģē uz apkārtējās vides siltumu, bet arī pats iedarbojas uz to.

3.5. METABOLISMS UN SILTUMA BILANCE

Dzīvs organisms pastāvīgi izdala siltumu, mainot intensitāti atkarībā no apstākļiem. Metabolisms ir cilvēka ķermenī notiekošo bioloģisko procesu kopums, kas rada siltumu. Izšķir divus metabolisma veidus:

— pamatmetabolisms — siltuma izdalīšanās reakcijas veģetatīvu procesu rezultātā, kuri notiek nepārtraukti un neapzināti; muskuļu metabolisms — siltuma izdalīšanās reakcijas muskuļu fiziska darba rezultātā. Šis metabolisma veids ir pakļauts apzinātai kontrolei.

Pieauguša vīrieša izdalītā siltuma skaitliskās vērtības atkarībā no darbības veida norādītas 3.1. tabulā.

3.1. tabula
Pieauguša vīrieša izdalītā siltuma vidējās vērtības, W

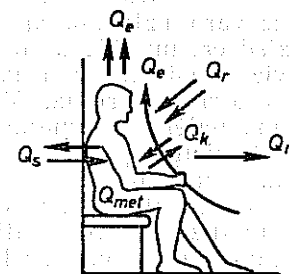
Darbības veids	Pamatmetabolisms	Muskuļu metabolisms	Lietderīgā jauda	Izdalītais siltums	Summa
Dziļš miegs	70	—	—	70	70
Gulēšana gultā	88	—	—	88	88
Mierīga sēdēšana	92	23	—	115	115
Lēns gājiens	92	68	22	138	160
Viegls darbs	93	142	40	195	235
Vidēji smags darbs	93	172	50	215	265
Smags darbs ar vienmērīgu slodzi 8 h ilgi	94	346	88	352	440
Smags darbs ne ilgāk par 30 min	94	1404	340	1160	1500

Ja viss siltums izdalās apkārtējā vidē, tad iestājas siltuma līdzsvars. Siltums, kas veidojas ķermeņa dziļākajos audos, nepārtraukti tiek pievadīts ādas ārusei (arī plaušām), no kurienes tas izstarošanas un konvektīvās siltumatdeves (iespējams arī siltumvadīšanas), kā arī iztvaikošanas veidā nokļūst apkārtējā vidē.

Siltuma un aukstuma sajūtu organisms uztver ar ādu. Tāpēc arī komforta vai diskomforta sajūta ir atkarīga no ādas temperatūras. No siltuma komforta viedokļa ieteicamā ādas temperatūra ir 31...34 °C (vidēji ķermeņa virsmai). Šī ādas temperatūra var pastāvēt tikai tad, ja tiek saglabāts līdzsvars starp ādai pieplūstošo siltuma daudzumu un ādas zaudēto vai

no tās aizvadīto siltuma daudzumu. Siltuma bilancē ietilpst šādas siltuma plūsmas sastāvdaļas (3.8. att.):

- Q_{met} — metabolisma rezultātā pieplūdušais siltuma daudzums;
- Q_s — siltumvadīšanas (saskares ar siltiem priekšmetiem) veidā pieplūdušais siltuma daudzums;
- Q_k — konvektīvā siltumapmaiņā (ja gaiss siltāks par ādu) pārnestais siltuma daudzums;
- Q_r — saules, karstu priekšmetu izstarotais siltuma daudzums;
- $-Q_s$ — siltumvadīšanā (saskarē ar aukstiem priekšmetiem) noplūdušais siltuma daudzums;
- $-Q_k$ — konvektīvā siltumapmaiņā (ja gaiss aukstāks nekā āda) noplūdušais siltuma daudzums;
- $-Q_r$ — siltuma starojumā (uz naksnīgu debesi, aukstiem priekšmetiem) noplūdušais siltuma daudzums;
- Q_e — iztvaikošanā (elpojot, svīstot) noplūdušais siltuma daudzums.



3.8. att. Siltumapmaiņas procesi starp cilvēka ķermeni un apkārtējo vidi.

Siltuma bilances vienādojums ir šāds:

$$Q_{met} - Q_e \pm Q_s \pm Q_k \pm Q_r = 0.$$

Ja šī summa ir lielāka par nulli, tad siltums uzkrājas un ķermeņa temperatūra paaugstinās. Šī paaugstināšanās nedrīkst pārsniegt 1 °C.

Nekustīgā gaisā ar temperatūru apmēram 18 °C, ja nav saskare ar aukstiem priekšmetiem, t. i., nav siltuma zudumu siltumvadīšanas veidā, siltumatdeve sadalās šādi: 45% — izstarošanas siltums, 30% — konvektīvais siltums, 25% — iztvaikošanas siltums. Ja siltuma līdzsvars tiek izjaukts ar mainīgam organismā vai apkārtējā vidē, tad iedarbojas organisma siltumregulācijas sistēma.

3.6. SILTĀS UN AUKSTĀS VIDES

Ja siltajās vidēs paātrinās metabolisms vai izmainās apkārtējie apstākļi, bet izdalītais siltums netiek pilnīgi izkliedēts, tad ādas tuvumā esošie asinsvadi izplešas. Tā rezultātā siltuma pieplūde ķermeņa ārusei palielinās, ādas temperatūra paaugstinās un palielinās siltumatdeve starošanas un konvektijas veidā.

Ja asinsvadu paplašināšanās izrādās nepietiekoša siltuma līdzsvara uzturēšanai vai atjaunošanai, sāk darboties sviedru dziedzeri un līdz ar to iztvaikošanas-atdzesēšanas mehānisms. Sviedri īslaicīgi var izdalīties ar ātrumu līdz 4 l/h, taču tas ļoti ātri nogurdina. Mitruma iztvaikošana ir saistīta ar siltuma patēriņu apmēram 2400 kJ uz 1 kg (l) šķidruma.

Īslaicīga piemērošanās tiek sasniegta pēc 20...30 minūtēm, tomēr ir arī ilgstošāki endokrīnās piemērošanās procesi, piemēram, ilgāk par pusgadu. Kopumā šādu procesu sauc par aklimatizāciju. Aklimatizācija iedarbojas uz mehānismiem, kas regulē kā vazomotorisko darbību, tā arī iztvaikošanu. Karsta klimata apstākļos asins daudzums asinsrites sistēmā var palielināties par 20%, kompensējot pastāvīgo asinsvadu izplešanos un tādā veidā paātrinot siltuma pārnesanu no iekšējiem orgāniem un muskuļu audiem uz ādu. Svīšanas intensitāte tāpat pieaug periodā, kurš ilgst vairākas nedēļas. Uzskata, ka šīs izmaiņas ar sarežģītu neiroendokrīnu procesu palīdzību regulē hipotalamusa priekšējā daļa.

Ja izrādās, ka nosauktie regulēšanas mehānismi nav spējīgi atjaunot siltuma līdzsvaru, tad iestājas hipertermija — ķermeņa pārkaršana. Paaugstinoties temperatūrai ķermeņa iekšienē apmēram līdz 40°C, var notikt siltuma dūriens — asinsrites izjaukšana (samazinās venozo asiņu pieplūde sirdij), kas noved pie gīboņa. Siltuma dūriena iepriekšējās pazīmes ir nogurums, galvassāpes, reiboņi stāvot, apetītes zudums, slikta dūša, vemšana, apgrūtināta elpošana, ātrs pulss līdz 150 sitieniem minūtē, stiklainas acis un psihiski traucējumi. Ievērojami ātrāk var parādīties siltuma krampji — sāpīgas muskuļu spazmas, ko izraisa sāļu zaudēšana ilgstošas svīšanas rezultātā. Iestājoties siltuma dūrienam, strauji ceļas temperatūra virs 41°C, izbeidzas svīšana, iestājas koma un nāve.

Aukstajās vidēs, kur siltumatdeves intensitāte pārsniedz tā izdalīšanās ātrumu, pirmā fizioloģiskā reakcija ir asinsvadu sašaurināšanās ādas virspusē. Siltuma pieplūde no iekšējiem orgāniem samazinās, un ādas temperatūra pazeminās. Tā rezultātā samazinās siltuma zudumi kā starojuma, tā arī konvekcijas veidā. Ķermeņa iekšpusē temperatūra paliek pastāvīga — apmēram 37°C, jo ārējo audu siltumizolācijas spēja pieaug. Turklāt asins pieplūde roku un kāju pirkstiem, ausīm var samazināties un to temperatūra ievērojami pazemināties. Tas izraisa šo orgānu nosaldēšanu pirms temperatūras izmaiņās ķermeņa iekšienē.

Asinsvadu sašaurināšanās var izraisīt arī tādu parādību kā «zosāda». Tā ir atavistiska reakcija. Ja būtu vērā ņemams apspalvojums, tad palielinātos siltumizolācija.

Ja asinsvadu sašaurināšanās nespēj pietiekoši samazināt siltuma zudumus, tad sāk darboties metaboliskais regulēšanas mehānisms. Sākas trīsas un drebuļi, kas pastiprina muskuļu

metabolismu. Isā laika sprīdī drebuļi var izraisīt desmitkārtīgu metaboliskā siltuma palielināšanos.

Uzskata, ka adaptāciju aukstumam regulē hipotalamusa mugurējā daļa. Tajā pašā laikā sāk darboties vairogdziedzeris, kura izstrādātie hormoni palielina metabolisma kopējo intensitāti. Pilna aklimatizācija iestājas apmēram pēc 21 dienas.

Ja fizioloģiskās regulēšanas mehānismi izrādās nespējīgi atjaunot siltuma līdzsvaru, iestājas hipotermija (neizbēgama ķermeņa pārdzesēšana). Ķermeņa temperatūra iekšienē noslīd zem 35°C. Intervālā no 25°C līdz 30°C iestājas nāve. Mākslīgajā atdzesēšanā, kuru veic ārstu uzraudzībā operāciju laikā, iespējama ķermeņa atdzesēšana arī līdz zemākām temperatūrām. Ja arī hipotermija nesākas, ilgstoša aukstuma iedarbe uz ķermeni, kas prasa vazomotoriskās darbības un metabolisma mehānismu maksimālu sasprindzinājumu, var izraisīt psihiskus traucējumus: gribasspēks atslābst un apzinīga kontrole atdod vietu halucinācijām, miegainībai un sastinguma stāvoklim.

3.7. KOMFORTA SAJŪTU NOTEICOŠIE APKĀRTĒJĀS VIDES FAKTORI

Atkarībā no cilvēka ķermeņa iekšējo audu temperatūras dzīvība pastāv robežās no 35°C līdz 40°C; normāla audu temperatūra ir apmēram 37°C. Ādas temperatūrai vienmēr jābūt zemākai par iekšējo audu temperatūru, jo siltumam jāpārvietojas virzienā no iekšpuses uz ārpusi. Apkārtējās vides temperatūrai savukārt jābūt zemākai par ādas temperatūru, lai siltums varētu izkliedēties. Apkārtējās vides temperatūras diapazonu, kas nodrošina pietiekošu (ne pārmērīgu) siltuma izkliedēšanos, sauc par komforta zonu.

Nosakot komforta apstākļus, vissvarīgākais (bet ne vienīgais) faktors ir gaisa temperatūra pēc sausā termometra. Siltumapmaiņas process uz ādas virsmas ir saistīts arī ar ārējās vides faktoriem, no kuru savstarpējās iedarbības atkarīga komforta vai diskomforta sajūta. Izšķir četrus šādus faktorus: gaisa temperatūra, relatīvais gaisa mitrums, gaisa kustīgums, starošanas siltumapmaiņa.

Atmosfēras mitrums, ja tikai tas nav pārāk augsts vai zems, neatstāj gandrīz nekādu ietekmi uz siltuma komforta sajūtu komforta temperatūrās un to tuvumā, kā arī zonu robežās ar vazomotorisko siltumapmaiņas regulēšanu. Toties tam ir liela nozīme zonā ar siltumapmaiņas regulāciju iztvaikojot.

No mitrumu raksturojošiem lielumiem šādā skatījumā vissvarīgākais ir relatīvais gaisa mitrums ϕ , jo tas reglamentē iespējamo iztvaikošanas ātrumu. Mitrums no ādas virsmas sausā gaisā iztvaiko daudz ātrāk nekā mitrā gaisā. Komforta

temperatūrās nav nepieciešama atdzesēšana iztvaikojot, tomēr augstākās temperatūrās tai ir svarīga nozīme liekā siltuma izkliedēšanā. Piesātināts gaiss ar 100% mitrumu samazina atdzesēšanu iztvaikojot līdz minimumam. Maksimāli pieļaujamā apkārtējā gaisa temperatūra, kurā ir iespējama pietiekoši efektīva organisma siltuma līdzsvara uzturēšana ar atdzesēšanu iztvaikojot, ir attiecīgi šāda: ja $\phi=100\%$, — 31°C ; ja $\phi=50\%$, — 38°C ; ja $\phi=18\%$, — 45°C ; ja $\phi=0$, — 52°C . Šādos apstākļos augstāku temperatūru cilvēka organisms spēj izturēt tikai īsu laika sprīdi.

Galēji zems un augsts mitrums atstāj kaitīgu ietekmi uz cilvēka organismu. Ja relatīvais mitrums ir zem 20%, izkalst gļotāda un palielinās uzņēmība pret infekciju. Ļoti zemās temperatūrās sauss gaiss pastiprina aukstuma sajūtu, jo osmozes dēļ ādas virsma vienmēr ir nedaudz mitra un iztvaikošana izraisa nevēlamo aukstuma sajūtu. Siltā apkārtējā vidē mitrs gaiss ($\phi=60\%$) liekas siltāks, nekā tas ir faktiski. Šis efekts ir vēl jūtamāks, ja $\phi=80\%$. Sviedru izdalīšanās notiek, tomēr tie nevar pietiekoši iztvaikot. Sekas ir pazīstamā «lipīguma» sajūta.

Gaisa kustīgums arī ietekmē siltuma sajūtu, pat ja tā temperatūra nemainās. Tas pastiprina siltuma izkliedi no ādas virsmas divos veidos:

ja kustīgā gaisa temperatūra ir zemāka nekā ādas temperatūra, palielinās konvektīvā siltumatdeve. Karsta klimata apstākļos temperatūra var būt 40°C un lielāka; šādos apstākļos kustīgais gaiss faktiski sasilta ādā;

paātrinot iztvaikošanu, notiek fizioloģiskā atdzišana. Šis efekts ir maznozīmīgs zema mitruma (zem 30%) apstākļos, jo šajā gadījumā iztvaikošana nekustīgā gaisā notiek neierobežoti. Augsta mitruma (apmēram 85%) apstākļos iztvaikošana ir ierobežota tā, ka pat kustīgs gaiss nevar pietiekoši pastiprināt dzesējošo iedarbi. Visvairāk vēra ņemama iztvaikošanas paātrināšanās ir vērojama vidēja mitruma (40...50%) apstākļos. Šajā gadījumā iztvaikošanas potenciālās iespējas ir pietiekoši lielas. Tomēr, ja gaiss ir nekustīgs, tā slānis, kurš tieši saskaras ar ādu, ātri piesātinās, kavējot turpmāko iztvaikošanu. Gaisa kustība sagrauj šo piesātinātu mitra gaisa starpkārtiņu un nodrošina nepārtrauktu iztvaikošanu ar maksimālu ātrumu.

Kustīga gaisa izmantošanu atdzesēšanai ierobežo tā izraisītās sajūtas, kuras nav saistītas ar siltuma sajūtām. Vidējās subjektīvās sajūtas, ko izraisa dažāda kustīguma gaiss, ir šādas: gaisa ātrums līdz 0,25 m/s — gaisa kustību nesajūt; ātrums 0,25...0,5 m/s — patīkama sajūta; ātrums 0,5...1,0 m/s — gaisa kustību sajūt; ātrums 1,0...1,5 m/s — caurvēja sajūta; ātrums virs 1,5 m/s — nepatīkama caurvēja sajūta.

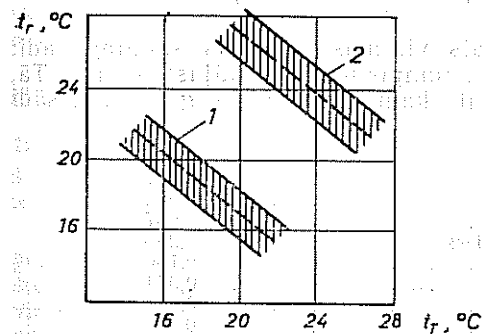
Karstajos rajonos gaisa kustības ātrums 1 m/s parasti skaitās patīkams, bet ātrums līdz 1,5 m/s var būt pieņemams. Lielāka ātruma gadījumā ar vēju var tikt aiznesti viegli priekšmeti. Turklāt gaiss ar šādu ātrumu var atstāt uzbudinošu iespaidu. Aukstajos rajonos gaisa kustības ātrums apkurināmās telpās nedrīkst pārsniegt 0,25 m/s. Tomēr pat šādā gadījumā nekustīgs gaiss vai kustīgs gaiss ar ātrumu, kas mazāks par 0,1 m/s, izraisa smacīguma sajūtu.

Pēc iespaيدا pakāpes uz siltuma sajūtām otrajā vietā aiz gaisa temperatūras atrodas starošanas siltumapmaiņa.

No telpas iekšējo virsmu (konstrukciju, mēbeļu utt.) temperatūras t_T ir atkarīga to siltumatdeve izstarojot. Tā kā dažādiem priekšmetiem tā nav vienāda, tad lieto vidējo temperatūru jeb apkārtējās vides vidējo radiācijas temperatūru $t_r=f(t_T)$ (3.9. att.).

Uz cilvēka ķermeņa virsmu vērtais siltuma starojums iedarbojas uz tiem pašiem sajūtu orgāniem, uz kuriem darbojas apkārtējā gaisa siltums. Krītot uz starpvirsmu (piem., apģērbs), starojuma siltums pārvēršas jūtamā siltumā (molekulārā kustībā), kas pēc tam siltumvadīšanas veidā caur apģērbu tiek pievadīts ādas virsmai. Savukārt, ja cilvēka ķermenis vērsts pret aukstām virsmām, ievērojama siltuma daļa tiek izstarota šo virsmu virzienā. Tāda izstarošana izraisa aukstuma sajūtu. Atrodoties pie aukstas loga virsmas, šī parādība var izraisīt mēģiņu auksta caurvēja sajūtu.

Dažādos literatūras avotos ir izteikts pieņēmums, ka gaisa temperatūras izmaiņa par 1°C var tikt kompensēta, izmainot uz pretējo pusi vidējo radiācijas temperatūru par 0,5...0,8 $^{\circ}\text{C}$. Ir noskaidrots, ka apstākļi ir viskomfortablākie tad, kad vidējā radiācijas temperatūra t_r ir apmēram par 2°C augstāka nekā gaisa temperatūra t_T . Ja turpretī vidējā radiācijas temperatūra ir par 2°C zemāka nekā gaisa temperatūra, apstākļi tomēr paliek pieņemami, jo ķermeņa siltuma starojums visos virzienos ir vienāds. Aukstas grīdas temperatūra var būt zemāka nekā telpas gaisa temperatūra ne vairāk par 2...2,5 $^{\circ}\text{C}$, jo ar to saskaras cilvēka pēda, kas pret aukstumu ir sevišķi jutīga.



3.9. att. Attiecība starp temperatūrām t_T un t_r :

1 — komforta zona ziemas periodā; 2 — komforta zona vasaras periodā.

3.8. SUBJEKTĪVIE FAKTORI. APĢĒRBS

Izvēloties piemērotu apģērbu, cilvēkam ir iespējams zināmā mērā kontrolēt lielāko daļu siltumapmaiņas veidu starp sava ķermeņa virsmu un apkārtējo vidi. Caur apģērbu pārnēstā siltuma aprēķināšana ir ļoti sarežģīta. Lai aprēķinus vienkāršotu, apģērba siltumizolācijai ieteikta vienība «clo» (no angļu vārda *chlothes* — apģērbs). 1 clo ir vienāds ar $0,155 \text{ m}^2\text{K/W}$, kas atbilst ķermeņa virsmas vidējam siltumpārejas koeficientam $6,45 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Izmantojot vienību *clo*, var spriest par dažādiem apģērbu veidiem: kails ķermenis — 0; peldbikšes — 0,01; šorti — 0,1; šorti, vaļējs krekls ar īsām piedurknēm, viegla apakšveļa — 0,3...0,5; garas plānas bikses, vaļējs krekls ar īsām piedurknēm, viegla apakšveļa — 0,5; vasaras uzvalks — 0,8; parasts uzvalks — 0,8...1; darba apģērbs, apakšveļa — 1,25; uzvalks ar vesti — 1,5; ziemas apģērbs, ieskaitot mēteli, — 1,5...2,2; silts ziemas apģērbs, ieskaitot žaketi un vesti, — 1,95; silts apģērbs zemām temperatūrām — 3...4; ziemu tipa apģērbs — 4,5 clo.

Kad cilvēks, piemēram, strādā sēžot un apkārtējais gaiss ir nekustīgs, apģērba novirze par vienu *clo* var tikt kompensēta ar apkārtējās vides temperatūras izmaiņu apmēram par 7°C . Vējā (vai cilvēkam darot smagāku darbu) šis efekts izpaužas vēl krasāk.

Pastāv rinda nekvalificējamu subjektīvu faktoru, kuri iespaido individuālo izvēli attiecībā uz siltuma komfortu. Tie izmaina metabolisma intensitāti vai iedarbojas uz mehānismiem, kas regulē siltuma izkliedi. Šādi faktori ir aklimatizācija, vecums un dzimums, ķermeņa forma, zemādas tauku kārtiņas biežums, veselības stāvoklis, profesija, lietoto pārtikas produktu atšķirības.

Cilvēka ķermeņa vidējais virsmas laukums sadalās šādi: galva — 7%, rokas — 21%, rumpis — 31%, kājas — 41%. Tā, piemēram, 170 cm garam cilvēkam ar masu 70 kg var būt šādi parametri, m^2 :

seja	0,042
galva	0,052
kakls	0,057
krūtis, mugura, vēders	0,290
iegurnis	0,166
abi pleci	0,074
abi apakšdelmi	0,076
abas rokas	0,197
abi gurni (augšstilbi)	0,298
abi apakšstilbi	0,223
abas pēdas	0,130

Kopā 1,605

Aklmatizācija kādas vietas apstākļiem vai gadalaikam iedarbojas kā uz metabolisma intensitāti, tā arī uz asinsriti un līdz ar to iespaido individuālās sajūtas.

Vecākiem cilvēkiem metabolisms ir mazāk intensīvs, tāpēc viņi parasti dod priekšroku nedaudz paaugstinātai apkārtējās vides temperatūrai. Tā kā sievietēm metabolisma intensitāte ir nedaudz zemāka kā vīriešiem, viņas dod priekšroku temperatūrai vidēji par 1°C augstākai nekā vīrieši.

Garam, kalsnējam cilvēkam ķermeņa virsmas laukuma attiecība pret tilpumu ir lielāka nekā zema auguma pilnīgam cilvēkam, tāpēc viņa siltuma zudumi ir lielāki. Līdz ar to kalsnēji cilvēki parasti dod priekšroku augstākai temperatūrai. Zemādas tauki pilda siltumizolatora lomu, samazinot siltumvadīšanas veidā pārnēsto siltumu no dziļākiem audiem uz ādas virsmu. Lai nodrošinātu apmierinošu siltuma izkliedi, pilnīgiem cilvēkiem nepieciešams vēsāks gaiss.

Ja cilvēks ir slims, metabolisma intensitāte var paaugstināties, izmainot līdz ar to siltumapmaiņas režīmu. Tomēr vienkopus var būt traucēta termoregulācijas mehānisma normāla darbība. Rezultātā apmierinošo temperatūru diapazons var sašaurināties un var būt nepieciešama ārēju regulēšanas līdzekļu lietošana parasto iekšējo regulatoru vietā. Metabolisma intensitāti iespaido arī dažu veidu dzērieni un pārtika. Lai saglabātu siltuma līdzsvaru, apkārtējās vides temperatūru nepieciešams izmainīt apgrieztai proporcionāli metabolisma intensitātei.

3.9. KOMFORTA RĀDĪTĀJI

Ir daudzi mēģinājumi izteikt komforta pakāpi ar vienu skaitlisku rādītāju, kas ņemtu vērā mainīgos lielumus vai vismaz daļu no tiem. Ieteiktos rādītājus var iedalīt divās grupās:

empīriskos rādītājos, kuri pamatoti ar socioloģisku apsekojumu datiem;

analītiskos rādītājos, kuri aprēķināti, pamatojoties uz siltuma pārneses veidu izsekošanu un ievērojot dažādus šķēršļus siltuma pāršanai, kuri rodas apkārtējās vides faktoru iedarbības rezultātā.

Viens no empīriskiem komforta rādītājiem ir efektīvā temperatūra. Tā ir tāda nekustīgas, piesātinātas ($\phi=100\%$) atmosfēras temperatūra, kura, ja nenotiek izstarpšana (apkārtējo virsmu temperatūra vienāda ar gaisa temperatūru), rada tādu pašu termoregulācijas aparāta sasprindzinājumu kā apskatāmā atmosfēra. Tāpēc to sauc arī par ekvivalenti efektīvo temperatūru. Ekvivalenti efektīvās temperatūras līnijas var konstruēt uz psihrometriskām diagrammām, tomēr ērtākai lietošanai ir izstrādātas diagrammas, kurās ekvivalenti efektīvā tempera-

tūra ir funkcija no sausā un mitrā termometra rādījumiem un gaisa kustīguma.

Starojuma ietekmi var ievērot, ja sausā termometra temperatūras (STT) vietā ņem vidējo starojuma temperatūru, kas aprēķināta atkarībā no izstarojošo virsmu temperatūru un laukumu lielumiem. Šajā gadījumā iegūto rādītāju sauc par rezultējošo jeb korigēto efektīvo temperatūru.

Ir noskaidrots, ka apstākļos, kuri visvairāk atbilst komforta līmenim, STT vērtības uzrāda vislielāko korelāciju ar aptaujāto vērtējumiem. Diskomforta pakāpes vērtēšanai var izmantot jebkuru no jau dotajiem rādītājiem. Rādītāja izvēle ir atkarīga no konkrēto apstākļu īpatnībām.

3.10. DISKOMFORTA SEKAS

Pētījumi rāda, ka pārkaršana samazina darba ražīgumu. Tomēr, ievērojot izmantoto komforta rādītāju dažādību un darba ražīguma novērtēšanas atšķirības, šo pētījumu rezultātu apkopšana sagādā grūtības. Analizējot dažādu pētījumu rezultātus, var izdarīt šādus vispārīgus secinājumus:

cilvēka fiziskās un garīgās darbības kopumā samazinās efektīvā temperatūrā no 28°C līdz 31°C;

paaugstinot gaisa temperatūru pēc sausā termometra no 28°C līdz 34°C, darba ražīgums kritīs par 40%.

Mēģinājumi izdarīt secinājumus, ka klimats ir svarīgs faktors civilizācijas attīstībā, sastopami t.s. klimatisko deterministu darbos. Labākie apstākļi esot mērena klimata zonās. Šādi teorētiskie secinājumi gan nav praktiski apstiprinājušies. Apgalvojums, ka enerģiskie baltās rases pārstāvji karstā klimatā degenerēties, neatbilst praksē novērotajam.

Cilvēka fizioloģiskā spēja piemēroties, kā redzams, ir tik liela, ka jebkurš mēģinājums noteikt komforta līmeni ir bezcerīgs. Vienīgais, ko var darīt, — aptuveni noteikt komforta apstākļu diapazonu jeb komforta zonu un dot iespēju patērētājam pašam regulēt zināmās robežās stāvokli pēc siltuma sajūtas.

4. BŪVNICĪBAS SILTUMTEHNIKA

4.1. BŪVMATERIĀLU SILTUMTEHNISKĀS ĪPAŠĪBAS

Būvmateriālu siltumtehniskās īpašības ir atkarīgas no to tilpummasas, porainības un mitruma.

Tilpummasa ρ_t ir materiāla 1 m³ masa (kg) dabiskā stāvoklī. Tilpummasu nedrīkst jaukt ar blīvumu ρ — vielas 1 m³ masu (kg) absolūti blīvā stāvoklī (bez porām). Būvmateriālu tilpummasa var būt no 2800 kg/m³ (granītam) līdz 20 kg/m³ (porolonam).

Porainība $\frac{\rho - \rho_t}{\rho} \cdot 100\%$ būvmateriāliem var būt no 0,5... 1,5% (granītam) līdz 98% (porolonam).

Materiāla *mitrumu* W , %, nosaka mitruma saturs, kas attiecināts pret materiāla masu sausā stāvoklī. Materiāla mitrums ir atkarīgs gan no paša materiāla īpašībām (porainības, higroskopiskuma), gan arī no apkārtējās vides (no gaisa mitruma, saskares ar ūdeni).

Tādēļ materiāla īpašību raksturošanai lieto jēdzienu *ūdensuzsūce*. Par *ūdensuzsūci* sauc materiāla īpašību uzsūkt ūdeni un saglabāt to. Izšķir tilpuma ūdensuzsūci (piesātināta parauga masas un sausa parauga masas starpība attiecināta pret parauga tilpumu) un masas ūdensuzsūci (šo masu starpību attiecināta pret sausa parauga masu). Tilpuma ūdensuzsūci U_t un masas ūdensuzsūci U_m izsaka procentos un aprēķina pēc šādām formulām:

$$U_t = ((m - m_s) / V \rho_{\text{ūda}}) / m \cdot 100\%; \quad (4.1)$$

$$U_m = ((m - m_s) / m) \cdot 100\%, \quad (4.2)$$

kur m — mitra (piesātināta) materiāla parauga masa, kg;

m_s — tā paša parauga masa pēc izžāvēšanas, kg;

$\rho_{\text{ūda}}$ — ūdens blīvums, kg/m³;

V — parauga tilpums dabiskā stāvoklī, m³.

Masas ūdensuzsūce vienādu tilpumu paraugiem var būt dažāda atkarībā no materiāla tilpummasas.

Attiecība starp tilpuma ūdensuzsūci un masas ūdensuzsūci ir vienāda ar materiāla tilpummasu. Vieglāk ir noteikt masas

ūdenssūsi un, ja nepieciešams, aprēķināt tilpuma ūdenssūsi pēc formulas

$$\bar{U}_t = \frac{U_{m\rho}}{\rho_{ud}} = \frac{U_{m\rho}}{1000} \%.$$

Dažādu materiālu ūdenssūsi var būt plašās robežās. Tā, piemēram, masas ūdenssūsi grīdu keramikas plāksnītēm nepārsniedz 4%, keramiskajiem ķieģeļiem — 8...20%, smagajam betonam — 2...3%, granītam — 0,5...0,8%, bet poraino siltumizolācijas materiālu (kūdras plātņu) masas ūdenssūsi ir lielāka par 100%.

Materiālu piesātinājums ar ūdeni negatīvi ietekmē to siltumtehnikas īpašības. Mitri materiāli siltumu vada labāk nekā sausi materiāli. Tā, piemēram, pareizi izgatavota ķieģeļa ūdenssūsi jābūt ne mazākai par 8%. Mazāka ūdenssūsi nozīmē, ka tas labāk vadīs siltumu.

Ēku konstrukcijas nekad nav pilnīgi sausas. Jauniem betona paneļiem $W=12\ldots 20\%$, ķieģeļu sienām $W=5\%$, bet normāls mitrums $W=1,5\%$ iestājas tikai pēc pāris gadiem, ja konstrukcijas ir pareizi aprēķinātas un tiek normāli ekspluatētas. Būvmateriālu mitruma vērtības dotas 4.1. tabulā.

4.1. tabula

Maksimāli pieļaujamais mitrums W
būvkonstrukciju materiāliem

Būvkonstrukciju materiāls	$W, \%$
Māla ķieģeļu vai keramikas mūris	1,5
Putustikls	1,5
Silikātķieģeļu mūris	2
Smagie betoni	2
Minerālvates plātnes un paklāji	3
Keramzīta, šungizīta, izdedžu siltumizolācijas slānis	3
Keramzīta, šungizīta, perlīta, pempas un citi vieglie betoni	5
Gāzbetons, putubetons, gāzes silikātbetons un citi šūnbetoni	6
Cementa fibrolīts	7,5
Putu polistirols un putu poliuretāns	2,5

Būvmateriālu siltumvadītspējas koeficients λ var būt no 0,04 W/(m·K) (porolonam) līdz 3,5 W/(m·K) (granītam). Metāliem tas ir vēl lielāks: tēraudam $\lambda=58$ W/(m·K), alumīnijam $\lambda=220$ W/(m·K).

Jo mazāk materiālā poru, proti, jo lielāka tā tilpummasa, jo lielāka arī siltumvadītspēja. Tas viegli izskaidrojams ar to, ka koeficients λ materiālam ir apmēram 100 reizu lielāks nekā poru gaisam ($\lambda=0,023\ldots 0,031$ W/(m·K)).

Mitriem būvmateriāliem λ ir lielāks nekā sausiem. Tā, piemēram, ķieģeļu mūra siltumvadītspēja atkarībā no mitruma mainās šādi:

$W, \%$	0,1	0,7	2,4	4	9
$\lambda, \text{W/(m}\cdot\text{K)}$	0,53	0,72	0,81	1,01	1,37

Ja ūdens porās sasilst, koeficients λ palielinās lēcienveidā, jo ledum λ ir 4 reizes lielāks nekā ūdenim.

Konstrukcijas temperatūrai paaugstinoties, nedaudz pieaug arī būvmateriālu siltumvadītspēja. Siltumvadītspējas koeficienta atkarība no temperatūras t ir šāda:

$$\lambda_t = \lambda_0 (1 + 0,0025t), \quad (4.3)$$

kur λ_0 — siltumvadītspējas koeficients 0°C temperatūrā, W/(m·K).

Koksne šķiedru virzienā siltumu vada apmēram 2 reizes labāk nekā šķērsvirzienā. Tas pats novērojams, ja lieto būvkonstrukcijās dažādus presētus un šķiedrveida izolācijas materiālus.

Rokasgrāmatās būvmateriāliem dotas trīs koeficienta λ vērtības — sausam materiālam, normālos apstākļos un mitrā klimatā. Latvijas teritorijā atrodas normāla un mitra klimata joslā.

Siltumietilpība c , kJ/(kg·K), rāda, cik kJ siltuma jāpievada 1 kg materiāla, lai paaugstinātu tā temperatūru par vienu grādu. Būvmateriālu siltumietilpība var būt no 0,75 kJ/(kg·K) (minerālvatei) līdz 2,3 kJ/(kg·K) (kokam). Visaugstākā siltumietilpība $c=4,19$ kJ/(kg·K) ir ūdenim.

Siltumietilpības atkarību no mitruma izsaka formula

$$c = \frac{c_0 + 0,04W}{1 + 0,04W}, \quad (4.4)$$

kur c_0 — sausa materiāla siltumietilpība, kJ/(kg·K).

Siltumapgaves spēju raksturo materiāla siltumapgaves koeficients S , W/(m²·K). Tas rāda, par cik J jāmaina siltuma plūsma sekundē, lai materiāla virsmas 1 m² temperatūru izmainītu par 1°C.

Siltumapgaves koeficientu S , W/(m²·K), aprēķina pēc formulas

$$S = \sqrt{2\pi c \lambda \rho / T}. \quad (4.5)$$

Ja svārstību periods $T=24$ stundas,

$$S = 0,27 \sqrt{\lambda \rho (c_0 + 0,0419W)}.$$

Betonam $S=19 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, priežu dēļiem $S=4,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Metāliem siltumapgūves koeficients ir ievērojami lielāks, bet siltumizolācijas materiāliem — vēl mazāks nekā kokam.

Materiāla siltumapgūves spēju var noteikt subjektīvi, piešķaroties tā virsmai: metāli, akmeņi un betons šķiet auksti, bet koks un audumi — silti, jo siltuma plūsma no cilvēka ķermeņa, ieplūstot materiāla virsmā, materiālu ar mazu siltumapgūves koeficientu ātri sasilda.

Materiāla ūdens tvaika caurlaidību raksturo tvaika caurlaidības koeficients μ , $\text{mg}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$, kas rāda, cik miligramu ūdens tvaika izplūst caur 1 m bieza materiāla slāņa 1 m^2 sekundē, ja ūdens tvaika daļējais spiediens starpība uz pretestībām sienām ir 1 Pa. Koeficients μ stiklam un metāliem ir 0, dzelzsbetonam — 0,008, izdedžu betonam — 0,021, minerālvatei — 0,15, nekustīgam gaisam — 0,17, gaisam, kurā pārvietojas konvektīvas plūsmas, — 0,28 $\text{mg}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$.

4.2. ĀRĒJO NOROBEŽOJOŠO KONSTRUKCIJU SILTUMPĀREJAS PRETESTĪBA UN VIRSMU TEMPERATŪRA

Apsildāmas ēkas ekspluatācijā liela nozīme ir siltumpārejas procesam ārējās norobežojošās konstrukcijās (ārsienu, pagrabu un bēniņu pārsegumos utt.). Pareizi izraudzītas konstrukcijas nodrošina to ekonomiskumu un vēlamo mikroklimatu apsildāmās telpās. Visās apkurināmās ēkās norobežojošo konstrukciju, izņemot stiklojumu, siltumpārejas pretestībām jābūt tādām, lai cilvēkiem, kas atrodas ārējo norobežojošo konstrukciju tuvumā, nepalielinātos starojuma siltumapmaiņa starp ķermeni vai drēbēm un norobežojošām konstrukcijām.

Piemērojot vienādojumu (2.70) ārējām norobežojošām konstrukcijām, var rakstīt aprēķina formulu siltumpārejas pretestībai:

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_T} + \Sigma R + \Sigma R_{gs} + \frac{1}{\alpha_A}, \quad (4.6)$$

kur α_T — telpas norobežojošās konstrukcijas iekšējās virsmas siltumatdeves koeficients, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;

α_A — norobežojošās konstrukcijas ārējās virsmas siltumatdeves koeficients, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;

ΣR — norobežojošās konstrukcijas slāņu termisko pretestību summa, $\text{m}^2 \text{K}/\text{W}$;

ΣR_{gs} — gaisa starpslāņu termisko pretestību summa, $\text{m}^2 \text{K}/\text{W}$.

Atsevišķu slāņu termiskās pretestības aprēķina pēc formulas

$$R = \frac{\delta}{\lambda}, \quad (4.7)$$

kur δ — daudzslāņu norobežojošās konstrukcijas aprēķināmā slāņa biezums, m;

λ — slāņa materiāla siltumvadītspējas koeficients.

Daudzslāņu konstrukcijai, kurā viendabīgi slāņi izvietoti cits aiz cita perpendikulāri siltuma plūsmai, termisko pretestību nosaka kā atsevišķu slāņu termisko pretestību summu

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n + \dots + R_{gs}. \quad (4.8)$$

Norobežojošām konstrukcijām, kurās materiāls nav viendabīgs, aprēķina tā saucamo reducēto termisko pretestību.

Daži posmi var būt no viendabīga materiāla, citi posmi — no atšķirīgiem materiāliem (4.1. att.). Tad atsevišķi aprēķina viendabīgo un neviendabīgo posmu termiskās pretestības un ar speciālām aprēķina metodēm atrod reducēto termisko pretestību, ņemot vērā dažādo slāņu savstarpējo iedarbību.

Telpu mikroklimats ir atkarīgs no norobežojošo konstrukciju iekšējās virsmas temperatūras. Tās pazemināšanās var izraisīt ūdens kondensāta rašanos uz telpu sienām un griestiem.

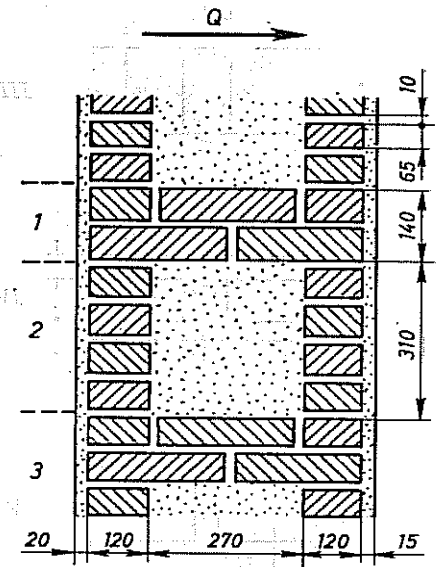
Gaisā vienmēr ir ūdens tvaiks. Tā daudzumu var izteikt ar ūdens tvaika daļējo spiedienu, kas rāda, kādu daļu no kopējā atmosfēras spiediena rada ūdens tvaiks. Maksimāli iespējamais ūdens tvaika daļējais spiediens p'_{tv} , Pa, iestājas, ja gaisa relatīvais mitrums $\phi = 100\%$, kas ir atkarīgs no temperatūras (sk. 2.1. att.). Ja gaisa relatīvais mitrums $\phi < 100\%$, tad ūdens tvaika daļējais spiediens

$$p_{tv} = \frac{p'_{tv} \phi}{100}. \quad (4.9)$$

Pēc šīs formulas, zinot gaisa relatīvo mitrumu un STT, var aprēķināt faktisko ūdens tvaika daļējo spiedienu un pēc grafika (sk. 2.1. att.) atrast RPT. Ja norobežojošo konstrukciju virsmas temperatūra ir zemāka par RPT, tad no gaisa uz aukstajām virsmām izdalās kondensāts un tās kļūst mitras.

Tā kā

$$\frac{t_T - t_A}{R_0} = (t_T - t_T) \alpha_T,$$



4.1. att. Kombinēta mūra šķērsgrīzums.

tad norobežojošās konstrukcijas iekšējās virsmas temperatūra

$$\tau_T = t_T - \frac{t_T - t_A}{R_0 \alpha_T}, \quad (4.10)$$

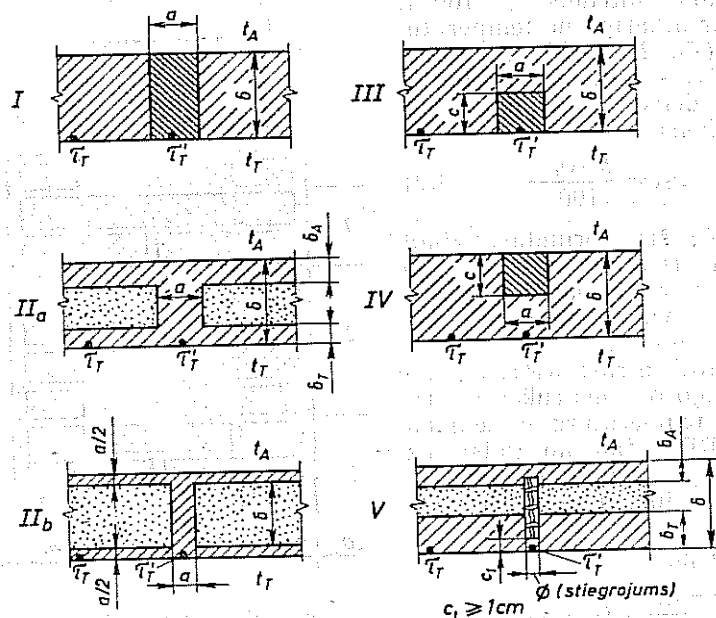
kur t_A — āra gaisa vai aukstākās telpas aprēķina temperatūra, kas atbilst konstrukcijas siltuma inercei.

Visbiežāk sienas noraso un uz tām veidojas pelējums vietās, kur sienu konstrukcijā ir kāds labs siltumvadītājs (tā saucamais «aukstuma tilts»). 4.2. attēlā parādītas dažas modernajai celtniecībai raksturīgas sienu konstrukcijas, kurām atsevišķās vietās siltumpārejas pretestība ir jūtami mazāka nekā visā pārējā sienas laukumā.

Lai uz norobežojošo konstrukciju iekšējās virsmas neizdalītos kondensāts, tās jāprojektē tā, lai būtu $t_n < \tau_T$. Ja pārbaudes aprēķins rāda, ka $t_n \geq \tau_T$, tad jāpalielina R_0 vai α_T .

Siltumpārejas pretestību R_0 var palielināt, palielinot atsevišķu slāņu biezumu vai izvēloties materiālu ar mazāku siltumvadītspējas koeficientu λ .

Lai palielinātu siltumatdeves koeficientu α_T , gar norobežojošās konstrukcijas virsmu jārada konvektīva gaisa plūsma. Šādu gaisa plūsmu var izveidot, novietojot pie ārienes apkures sildķermeņus, stāvvadus vai virzot uz auksto virsmu gaisa



4.2. att. «Aukstuma tiltu» shēmas ēku norobežojošās konstrukcijās.

strūklu no ventilatora (tā rīkojas, piemēram, lai neaizsvīstu un neaizsaltu veikala vitrīnas). Ārsienas nedrīkst noklāt ar segām, paklājiem un pie ārīenām nedrīkst novietot mēbeles, kas pilnīgi pārtrauc gaisa kustību un stipri samazina sienas siltumuztveri, līdz ar to strauji pazeminot ārīenas iekšējās virsmas temperatūru.

4.3. ĀRĒJO NOROBEŽOJOŠO KONSTRUKCIJU MITRUMA REŽĪMS

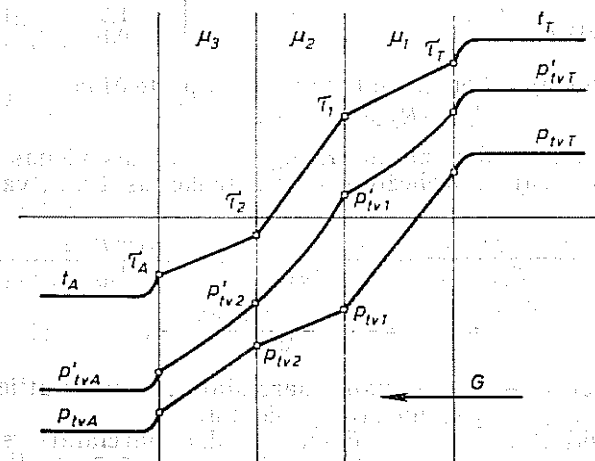
Celtņu normāla ekspluatācija ir atkarīga no to konstrukciju mitruma režīma.

Tā kā āra un telpas gaisā vienmēr ir ūdens tvaiks, tad, pastāvot ūdens tvaika daļējam spiedienam atšķirībai āra un telpas gaisā, notiek tvaika difūzija caur norobežojošām konstrukcijām, pārvarot to pretestību. Šīs pretestības dēļ ūdens tvaika daļējais spiediens p_{iv} samazinās.

Ziemā ūdens tvaika daļējais spiediens telpas gaisam vienmēr ir augstāks nekā āra gaisam. Tādēļ ūdens tvaiks pastāvīgi izplūst no telpas caur norobežojošām konstrukcijām. To var attēlot grafiski (4.3. att.).

Norobežojošās konstrukcijas atsevišķu slāņu *mitrumpārejas pretestības* $R_{M1}, \dots, R_{Mn}$, $m^2 \text{hPa/mg}$, aprēķina šādi:

$$R_{M1} = \frac{\delta_1}{\mu_1}; \quad R_{M2} = \frac{\delta_2}{\mu_2}; \quad \dots; \quad R_{Mn} = \frac{\delta_n}{\mu_n},$$



4.3. att. Ūdens tvaika daļējā spiediena sadalījums trīs slāņu sienā.

kur $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n$ — atsevišķu slāņu biezumi, m;
 $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$ — slāņu materiālu ūdens tvaika caurlaidības koeficienti, $\text{mg}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{Pa})$.

4.2. tabulā dotas dažādu materiālu mitrumpārejas pretestības.

4.2. tabula

Lokšņu materiālu un mitrumizolācijas kārtu
mitrumpārejas pretestība R_M

Materiāls	Kārtas biezums, mm	R_M , $\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa} / \text{mg}$
Parastais kartons	1,3	0,016
Mīkstās kokšķiedras lokšnes	12,5	0,05
Cietās kokšķiedras lokšnes	10	0,11
Gipsa apdares lokšnes (sausais apmetums)	10	0,12
Līmēts trīskārtu saplāksnis	3	0,15
Karsta bitumena pārklājums (krāsots vienu reizi)	2	0,3
Jumta pergamins	0,4	0,33
Jumta pape	1,9	0,4
Karsta bitumena pārklājums (krāsots divas reizes)	4	0,48
Emaljas krāsas pārklājums	—	0,48
Eļļas krāsas pārklājums (krāsots divas reizes pēc spaktelēšanas un gruntēšanas)	—	0,64
Kukersīta bitumena mastikas pārklājums vienā kārtā	1	0,64
Kukersīta bitumena mastikas pārklājums divās kārtās	2	1,1
Ruberoids	1,5	1,1
Polietilēna plēve	0,16	7,3

Konstrukcijas kopējā mitrumpārejas pretestība

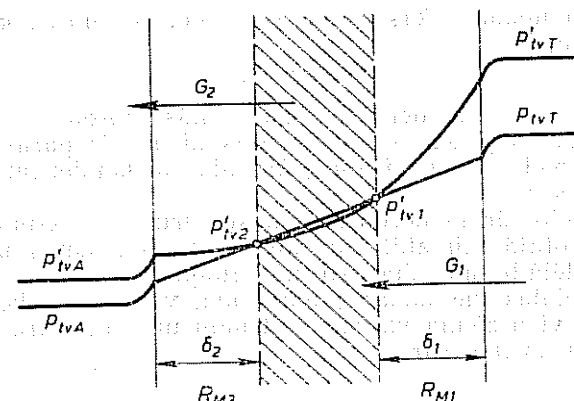
$$R_{M0} = R_{M1} + R_{M2} + \dots + R_{Mn}. \quad (4.11)$$

Ūdens tvaika daudzumu G , $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, kas vienas stundas laikā izplūst caur norobežojošās konstrukcijas 1 m^2 , var izteikt šādi:

$$G = \frac{p_{tvT} - p_{tvA}}{R_{M0}} = \frac{p_{tvT} - p_{tv1}}{R_{M1}} = \frac{p_{tv1} - p_{tv2}}{R_{M2}} = \dots = \frac{p_{tv,n-1} - p_{tvA}}{R_{Mn}}, \quad (4.12)$$

kur p_{tvT}, p_{tvA} — ūdens tvaika parciālais spiediens attiecīgi telpas un āra gaisā, Pa;

$p_{tv1}, p_{tv2}, \dots, p_{tvn}$ — ūdens tvaika parciālais spiediens konstrukcijas masīvā aiz 1, 2, ..., n slāņa (skaitot pēc kārtas no iekšējās virsmas), Pa.



4.4. att. Kondensācijas zonas veidošanās norobežojošā konstrukcijā.

Ja ir zināms telpas vai āra gaisa relatīvais mitrums ϕ , %, un temperatūra t , °C, tad pēc 2.1. attēla nosaka maksimāli iespējamo ūdens tvaika parciālo spiedienu p'_{tv} dotajā temperatūrā t un ūdens tvaika parciālo spiedienu p_{tv} aprēķina pēc formulas (4.9).

Vienlaikus ar p_{tv} pazeminās temperatūra τ un maksimāli iespējamais ūdens tvaika parciālais spiediens p'_{tv} (4.3. att.). Līnijas, kas attēlo p'_{tv} un p_{tv} , nav paralēlas, jo dažādu būvmateriālu koeficientu λ un μ vērtības nav proporcionālas.

Ja grafiskajā attēlā p_{tv} un p'_{tv} līnijas krustojas, tad tas nozīmē, ka būvkonstrukcijas masīvā notiks kondensāta izdalīšanās: rajonā, kur $p_{tv} > p'_{tv}$, būvkonstrukcijas temperatūra ir zemāka nekā RPT. 4.4. attēlā parādīta šāda situācija. Iesvītrotā zonu, kurā notiek kondensāta izdalīšanās, sauc par kondensācijas zonu. Apzīmējot ūdens tvaika parciālo spiedienu kondensācijas zonas sākumā ar p_{tv1} , bet kondensācijas zonas beigās ar p_{tv2} , un pieņemot, ka δ_1 metru biežam konstrukcijas slānim līdz kondensācijas zonai mitrumpārejas pretestība ir R_{M1} , bet δ_2 metru biežam slānim aiz kondensācijas zonas — R_{M2} , ūdens tvaika daudzumu, kas ieplūst konstrukcijā, aprēķina pēc formulas

$$G_1 = (p_{tvT} - p_{tv1}) \frac{\mu}{\delta_1} = \frac{p_{tvT} - p_{tv1}}{R_{M1}}, \quad (4.13)$$

bet ūdens tvaika daudzumu, kas izplūst no konstrukcijas, — pēc formulas

$$G_2 = (p_{tv2} - p_{tvA}) \frac{\mu}{\delta_2} = \frac{p_{tv2} - p_{tvA}}{R_{M2}}. \quad (4.14)$$

Ūdens daudzums, kas kondensējas norobežojošās konstrukcijas masīvā, ir

$$G = G_1 - G_2.$$

Ūdens tvaika kondensāta uzkrāšanās norobežojošo konstrukciju masīvos ziemas aukstākajās dienās ir parasta parādība. Tā ir pieļaujama, ja aprēķini rāda, ka kondensāts pilnīgi iztvaikos vasarā.

Prognozējot ārējo norobežojošo konstrukciju ekspluatācijas apstākļus dotajā klimatā, var novērst to bojāšanos un caursalšanu, tādējādi samazinot siltuma zudumus.

Pēc speciālas metodikas jāpārbauda, vai konstrukcija spēj uzsūkt sevī visu ziemā uzkrāto mitrumu un vai uzkrātais mitrums spēj izžūt vasarā.

4.4. ĀRĒJO NOROBEŽOJOŠO KONSTRUKCIJU GAISCAURLAIDĪBA

Ēkas norobežojošās konstrukcijas parasti nav absolūti blīvas, tās laiž cauri gaisu. No higiēniskā viedokļa to vērtē pozitīvi, jo telpās notiek zināma gaisa apmaiņa. No siltumtehnikā viedokļa gaiscaurlaidība ir negatīva parādība, jo aukstā gaisa sasildīšanai, kurš infiltrējas zemu āra gaisa temperatūru gadījumā, jāpatērē papildu siltums.

Gravitācijas spēku ietekmē daudzstāvu ēku apakšējos stāvos novērojama gaisa infiltrācija, bet augšējos — eksfiltrācija, t. i., tā cirkulācija caur norobežojošo konstrukciju neblīvumiem. Vēja iedarbībā šie procesi pastiprinās.

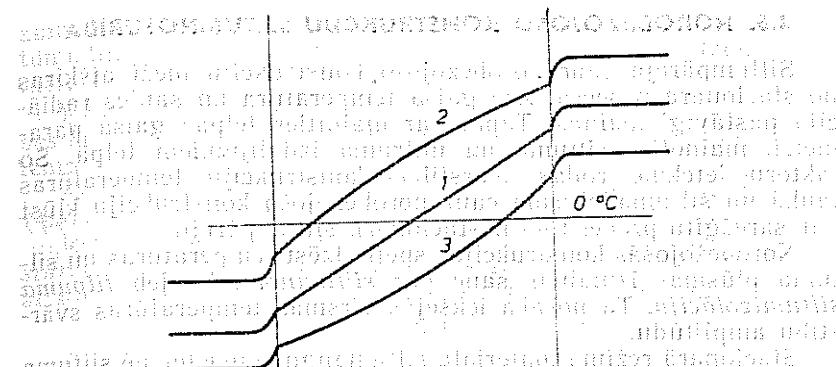
Infiltrācijas gadījumā aukstais āra gaiss atdzesē norobežojošās konstrukcijas masīvu, bet eksfiltrācijas gadījumā siltais telpas gaiss to sasilda. Rezultātā mainās konstrukcijas atsevišķu slāņu temperatūra (4.5. att.) un tās siltumpārejas pretestība.

Daudzslāņu norobežojošās konstrukcijas gaiscaurlaidības pretestība

$$R_G = R_{G1} + R_{G2} + \dots + R_{Gn}, \quad (4.16)$$

kur $R_{G1}, R_{G2}, \dots, R_{Gn}$ — norobežojošās konstrukcijas atsevišķu slāņu gaiscaurlaidības pretestības, m^2hPa/kg .

Būvkonstrukciju gaiscaurlaidības pretestība jāizvēlas atkarībā no gaisa spiedienu starpības norobežojošās konstrukcijas iekšpusē un ārpusē un pieļaujamās gaiscaurlaidības. Aprēķinot gaisa spiedienu starpību, ņem vērā ne tikai gaisa blīvumu starpību, bet arī vidēji vislielāko vēja ātrumu janvārī.



4.5. att. Temperatūras sadalījums norobežojošās konstrukcijā:

1 — konstrukcija ir gaisnecaurlaidīga; 2 — eksfiltrācijas gadījumā; 3 — infiltrācijas gadījumā.

4.5. GRĪDU VIRSMU SILTUMAPGUVES SPĒJA

Grīdu virsmu siltumapgaves spēju izsaka ar efektīvo siltumapgaves koeficientu, kuram ir tāda pati vienība kā būvmateriālu siltumapgaves koeficientam S , bet skaitliskā vērtība atkarīga no grīdas konstrukcijas.

Efektīvais siltumapgaves koeficients dzīvojamām ēkām, medicīniskajām iestādēm, skolām, bērnudārziem un mazbērnu iestādēm nedrīkst pārsniegt $12 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$; sabiedriskajām ēkām, rūpniecības uzņēmumu palīgēkām un palīgtelpām, kā arī fiksētām darba vietām ražošanas telpās, kurās veic vieglu darbu, tas nedrīkst būt lielāks par $14 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$; fiksētām darba vietām ražošanas telpās, kurās veic vidēji smagu darbu, tas nedrīkst pārsniegt $17 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$.

Grīdu virsmu siltumapgaves spēja nav normēta ražošanas telpām, kurās veic smagu darbu, ievērojot noteikumu, ka fiksētajās darba vietās uz grīdas ir koka vairogā vai silti paklāji. Tā nav normēta arī sabiedrisko ēku telpām, kurās cilvēki uzturas īsu brīdi, piemēram, muzeju un izstāžu zālēm, teātru un kinoteātru vestibiliem.

Efektīvā siltumapgaves koeficienta faktisko vērtību nosaka atkarībā no grīdas slāņa vai slāņu siltuma inerces raksturojuma (sk. formulu (4.17)).

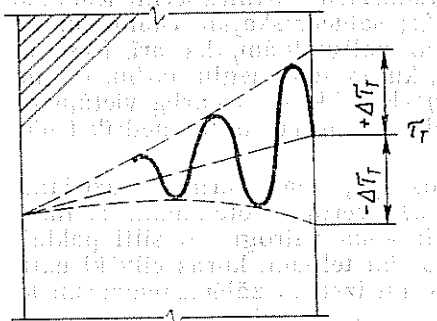
4.6. NOROBEŽOJOŠO KONSTRUKCIJU SILTUMNOTURĪBA

Siltumpāreja caur norobežojošo konstrukciju bieži atšķiras no stacionāra procesa. Āra gaisa temperatūra un saules radiācija pastāvīgi mainās. Tāpat var mainīties telpas gaisa parametri, mainoties siltuma un mitruma izdalījumiem telpā. Šo faktoru ietekmē rodas svārstības konstrukciju temperatūras laukā un siltuma plūsma caur norobežojošo konstrukciju kļūst par sarežģītu procesu — nestacionāru siltumpāreju.

Norobežojošās konstrukcijas spēju dzēst temperatūras un siltuma plūsmas izmaiņas sauc par *siltumnoturību* jeb *tilpuma siltumizolāciju*. Tā nosaka iekšējās virsmas temperatūras svārstību amplitūdu.

Stacionārā režīmā materiāla siltumapgūve neietekmē siltuma plūsmas lielumu caur norobežojošo konstrukciju, piemēram, vienkārtas ķieģeļu siena (250 mm bieza) laiž cauri apmēram tikpat lielu siltuma daudzumu kā 10 mm bieza poliuretāna putuplasta plāksne. Tāpēc veikt norobežojošās konstrukcijas siltumtehniko aprēķinu tikai stacionārā režīmā, neņemot vērā, materiāla siltumapgūvi, būtu nepareizi.

Kad sienā caur vienu tās virsmu ieplūst siltums, tad kādu daļu no šī siltuma akumulē sienas pirmais slānis (siltumapgūve), bet kādu citu tā daļu uzņem nākošais slānis. Šis process uz siltumpāreju iedarbojas bremzējoši. Stacionārā režīmā konstrukcijas masīvā iestājas noteikts (pastāvīgs) temperatūras sadalījums un siltuma plūsma ir atkarīga tikai no sienas termiskās pretestības (siltumvadītspējas). Ja bremzējošā iedarbība ir kvantitatīvi salīdzināma ar temperatūras izmaiņu ciklu vienā vai abās sienas pusēs, tad iespējams, ka siltuma pieplūdes maksimālais periods vienā sienas pusē beigsies, pirms temperatūras vilnis būs sasniedzis sienas otru pusi (4.6. att.). Tādā veidā



4.6. att. Temperatūras svārstības viendabīga materiāla sienā, mainoties virsmas temperatūrai τ_T .

daļa siltuma, kura ir akumulēta sienas masīvā, var sākt pārvietoties uz sienas virsmu: notiek rimšanas vai izlīdzināšanās process, kas izmaina sienas siltumizolējošās īpašības.

Tāpēc, veicot norobežojošo konstrukciju siltumtehnikos aprēķinus, jāņem vērā ne vien būvmateriālu siltumvadītspēja, bet arī to tilpummasa un siltumietilpība, kā arī dažādu materiālu slāņu izvietojums konstrukcijā. Ja sienas materiālam ir liela siltumvadītspēja, tā visā bie-

zumā sasils ātrāk. Ja turpretī tam ir liela tilpummasa un siltumietilpība, tad siltuma plūsmas pārvietošanās ātrums būs mazāks.

Kvadrātsakni $\sqrt{\lambda \rho c}$ sauc par materiāla *ipatnējo siltumapgūves koeficientu*. Reālais siltumapgūves koeficients ir atkarīgs no temperatūras izmaiņām.

Aprēķinos lieto siltumapgūves koeficientu S (sk. formulu (4.5)), kas attiecināts uz diennakts cikla svārstībām.

Reizinājumu RS sauc par konstrukcijas *siltuma inerces raksturojumu* D . Tas ir bezdimensijas lielums, kuru konstrukcijai ar dažādiem slāņiem (1, ..., n) aprēķina pēc formulas

$$D = R_1 S_1 + R_2 S_2 + \dots + R_n S_n. \quad (4.17)$$

Atkarībā no D skaitliskās vērtības spriež par konstrukcijas masivitāti un izvēlas attiecīgas telpas un āra gaisa, konstrukciju virsmu temperatūras siltumtehnikajos aprēķinos. Līdz ar to tiek ievērota arī siltuma plūsmas bremzēšanās efekta ietekme uz siltuma zudumiem caur norobežojošām konstrukcijām.

Pastāv uzskats, ka siltuma inerces praktiski nav, ja $D \geq 1,5$, inerce ir maza, ja $1,5 < D \leq 4$, inerce ir vidēja, ja $4 < D \leq 7$, un tā ir liela, ja $D > 7$.

4.7. PAMATFORMULA SILTUMA ZUDUMU APRĒĶINĀŠANAI CAUR NOROBEŽOJOŠĀM KONSTRUKCIJĀM

Telpas kopējos siltuma zudumus, kurus izmanto apkures sistēmas jaudas aprēķināšanai, atrod, summējot visu norobežojošo konstrukciju siltuma zudumus, kas noteikti pēc formulas

$$Q = \frac{A}{R_0} (t_T - t_A) (1 + \Sigma \eta), \quad (4.18)$$

kur A — norobežojošās konstrukcijas virsmas laukums, m^2 ;
 R_0 — norobežojošās konstrukcijas siltumpārejas pretestība, $m^2 K/W$;
 t_T — telpas gaisa aprēķina temperatūra, $^{\circ}C$;
 t_A — āra gaisa vai aukstākās telpas aprēķina temperatūra, $^{\circ}C$;
 $\Sigma \eta$ — papildu siltuma zudumu koeficientu summa.

Siltuma zudumus caur norobežojošām konstrukcijām ražošanas telpām ar ievērojamiem siltuma izdalījumiem aprēķina, ņemot vērā siltumapmaiņu starošanas veidā starp siltuma avotu un norobežojošām konstrukcijām.

Aprēķinot siltuma zudumus dzīvojamās ēkās, jāņem vērā sadzīves siltums. Sai nolūkā telpas siltuma zudumi jāsamazina, ņemot vērā grīdas laukumu (kvadrātmetrus).

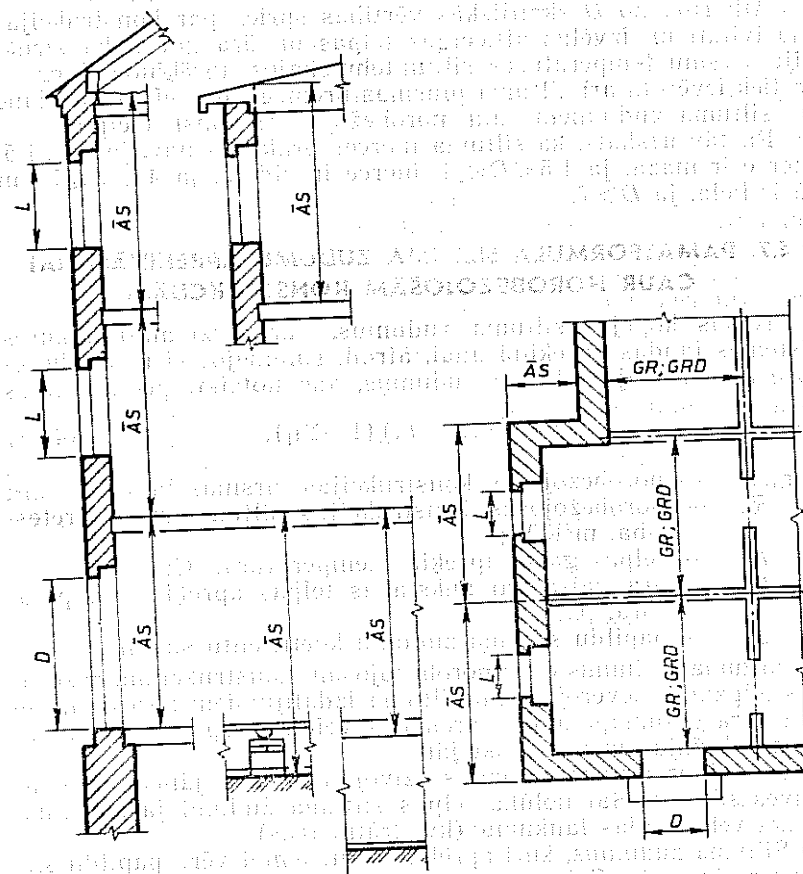
Siltuma zudumus, kuri aprēķināti, neņemot vērā papildu siltuma zudumu koeficientu summu, pieņemts saukt par galvenajiem zudumiem.

4.8. NOROBEŽOJOŠO KONSTRUKCIJU VIRSMAS LAUKUMA MĒRĪŠANAS NOTEIKUMI

Ārsienu, pārsedžu, logu un durvju virsmas laukumu A siltuma zudumu aprēķinam mēra, kā parādīts 4.7. attēlā.

Ārsienu augstumu pirmā un pēdējā stāvā mēra attiecīgi no grīdas un bēniņu pārseguma konstrukcijas (4.7. att.). Starpstāvos ārsienu augstumu mēra starp tīro grīdu augstuma atzīmēm. Pagarinot sienas, kas veido ēkas ārējos stūrus, kompensē papildu siltuma zudumus šajās vietās.

Iekšējo starpsienu virsmas laukumu mēra pa iekšējo perimetru.

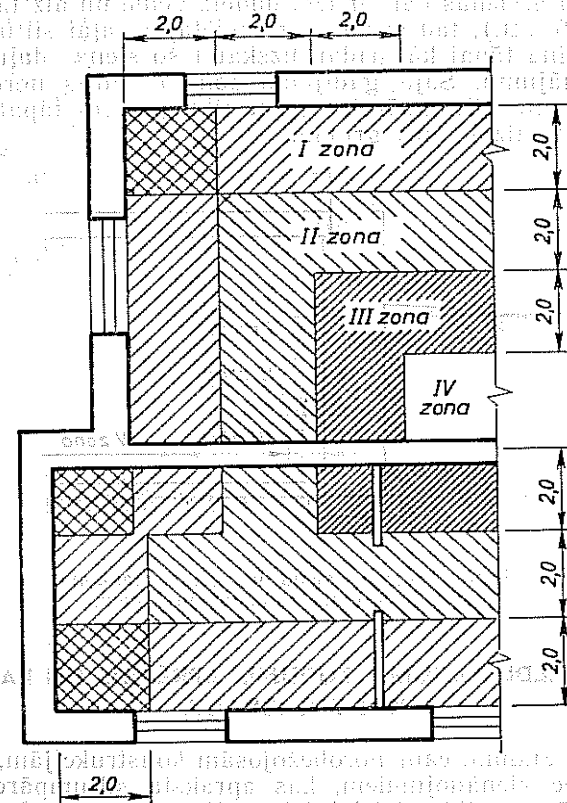


4.7. att. Norobežozošo konstrukciju laukumu mērīšanas noteikumi siltuma zudumu aprēķinam.

4.9. ATSEVIŠKI SILTUMA ZUDUMU APRĒKINA GADĪJUMI

Siltuma zudumus caur grīdām, kas balstās tieši uz grunts, kā arī caur pagrabstāvu un tehnisko pagrabu sienām, kuras izbūvētas zemāk par zemes līmeni, aprēķina, lietojot nosacītās siltumpārejas pretestības.

Siltumpārejas process caur grīdas konstrukciju un pieguļošo grunti pakļauts sarežģītām likumsakarībām. Tā kā siltuma zudumi caur šādu grīdu sastāda nelielu daļu no telpas kopējiem siltuma zudumiem, tad aprēķinam lieto vienkāršotu metodiku. Grīdas laukumu sadala 2 m platās zonās (4.8. att.), kuras paralēlas ārsienām. IV zonā ietilpst viss pārējais grīdas laukums. Siltuma zudumus katrai zonai aprēķina atsevišķi pēc formulas (4.18).



4.8. att. Uz grunts balstītas grīdas laukuma mērīšanas noteikumi siltuma zudumu aprēķinam.

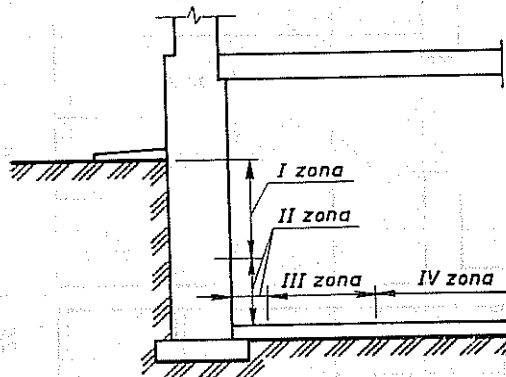
Nesiltinātām grīdām, kurām siltumvadītspējas koeficients $\lambda \geq 1,2 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$, iesaka lietot šādas nosacītās siltumpārejas pretestības:

I zonai	—	2,1 m ² K/W;
II zonai	—	4,3 m ² K/W;
III zonai	—	8,6 m ² K/W;
IV zonai	—	14,2 m ² K/W.

Siltinātām (siltumizolētām) grīdām, kurām siltumvadītspējas koeficients $\lambda < 1,2 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$, saglabā minētās pamatslāņa zonu siltumpārejas pretestības, izvēloties siltumizolāciju ar atbilstošu siltumpārejas pretestību.

I zonas grīdas laukumu kaktā pie ārējā ēkas stūra aprēķina ņem 2 reizes.

Ja kāda ārienes daļa ir iegremdēta zemē un aiz tās atrodas grunts (4.9. att.), tad sienas iegremdētajai daļai siltuma zudumus aprēķina tāpat kā grīdai, uzskatot šo sienas daļu par grīdas turpinājumu. Šajā gadījumā zonām, kuras norobežo ār-siena, nosacīto siltumpārejas pretestību pieņem tāpat kā siltinātām (siltumizolētām) grīdām.



4.9. att. Pagraba sienu un grīdas laukumu mērīšana siltuma zudumu aprēķinam.

4.10. PAPILDU SILTUMA ZUDUMU APRĒKINS UN FAKTORI, KAS TOS IZRAISA

Siltuma zudumi caur norobežojošām konstrukcijām, kuri aprēķināti pēc vienādojumiem, kas apraksta siltumpārejas procesu, izrādās mazāki nekā faktiskie siltuma zudumi. Ievērojama ietekme uz siltuma zudumu lielumu ir gaisa eksfiltrācijai un infiltrācijai caur norobežojošo konstrukciju masīvu un neblīvu-

miem tajās. Tāpat jāņem vērā saules starojums un vēja stiprums. Telpu siltuma zudumi var ievērojami palielināties, ieplūstot aukstam gaisam caur ārdurvīm.

Papildu siltuma zudumus caur jebkuras nozīmes telpas norobežojošām konstrukcijām aprēķina kā daļu no galvenajiem siltuma zudumiem, lietojot koeficientu η (sk. formulu (4.18)), kura vērtības ir šādas:

a) jebkuras nozīmes ēkas telpu vertikālo un slīpo (vertikālā projekcijā) ārsienu, durvju un logu galvenos siltuma zudumus, kas vērsti uz ziemeļiem, austrumiem, ziemeļaustrumiem un ziemeļrietumiem, palielina par 10%, bet uz dienvidaustrumiem un rietumiem vērstos galvenos siltuma zudumus palielina par 5% (4.10. att.);

b) ja ārdurvis nav aprīkotas ar gaisa vai silta gaisa aizka-riem, galvenajiem siltuma zudumiem izdara pieskaitījumus, ņe-mot vērā ēkas augstumu H :

0,2H — trīskāršām durvīm ar diviem vējtveriem starp tām;

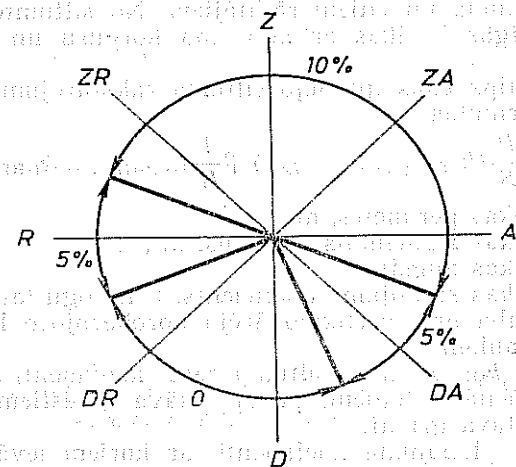
0,27H — dubultdurvīm ar vējtveri starp tām;

0,34H — dubultdurvīm bez vējtvera;

0,22H — vienkāršām durvīm.

Rezerves un vasaras durvīm un vārtiem papildu siltuma zu-dumi nav jāņem vērā.

Ēkām, kurām nerēķina speciāli gaisa infiltrāciju un eksfil-trāciju, vertikālo konstrukciju siltuma zudumus palielina par 5%, ja vidējais vēja ātrums janvārī mazāks nekā 5 m/s; palie-lina par 10%, ja šis vēja ātrums ir 5...10 m/s, un palielina par 15%, ja tas lielāks nekā 10 m/s.



4.10. att. Pieskaitījumi galvenajiem siltuma zudumiem atkarībā no konstrukcijas orientācijas pret debespusēm.

4.11. ĒKAS SILTUMA ZUDUMU APTUVENĀ NOTEIKŠANA

Projektējot centralizētu siltumapgādi, plānojot iepriekšējos pasūtījumus apkures sistēmas iekārtām un kurināmajam, jāzina ēku aptuvenie siltuma zudumi.

Vadoties no siltumtehnikā viedokļa, ēku var novērtēt pēc īpatnējā siltuma raksturojuma q_0 , W/(m³·K), ko aprēķina pēc formulas

$$q_0 = \frac{\Sigma Q}{V(t_T - t_{A5})a}, \quad (4.19)$$

kur ΣQ — kopējie ēkas siltuma zudumi, W;
 V — ēkas apkurināmais tilpums pēc ārējiem izmēriem, m³;

t_T — apkurināmo telpu vidējā temperatūra vai pārsvarā esošo telpu aprēķina temperatūra, °C;

t_{A5} — piecu visaukstāko diennakšu vidējā temperatūra, °C;

a — koeficients, kura vērtība atkarīga no t_{A5} :

$t_{A5}, ^\circ\text{C}$	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-50
a	1,45	1,29	1,17	1,08	1,0	0,95	0,9	0,82

Ar koeficientu a ievēro to, ka aukstāko klimatisko zonu ēkām paredz lielāku siltumaizsardzību.

Īpatnējais siltuma raksturojums q_0 ir atkarīgs no ārējo norobežojošo konstrukciju virsmas laukuma attiecības pret ēkas apkurināmās daļas ārējo tilpumu, no logu daudzuma, pārseguma laukuma un citiem rādītājiem. No siltumtehnikā viedokļa izdevīgas ir ēkas ar kubveida korpusu un daudzstāvu ēkas.

Jebkura tipa ēkas īpatnējo siltuma raksturojumu var aprēķināt pēc formulas

$$q_0 = \frac{P}{S}(k_{AS} + \rho_0(k_L - k_{AS})) + \frac{1}{H}(n_1 k_{GR} + n_2 k_{GRD}), \quad (4.20)$$

kur P — ēkas perimetrs, m;

S — ēkas aizņemtais laukums, m²;

H — ēkas augstums;

ρ_0 — ēkas stiklojuma koeficients, t. i., logu laukuma attiecība pret vertikālo ārējo norobežojošo konstrukciju laukumu;

k_{AS} , k_L , k_{GR} , k_{GRD} — siltumpārejas koeficienti attiecīgi ār-sienām, logiem, pēdējā stāva griestiem un pirmā stāva grīdai;

n_1 , n_2 — labojuma koeficienti, ar kuriem ievēro attiecīgi pēdējā stāva griestu un pirmā stāva grīdas novietojumu attiecībā pret āra gaisu ($n_1 = 0,75 \dots 1$; $n_2 = 0,4 \dots 0,7$).

Kāpņu telpām q_0 parasti pieņem ar koeficientu 1,6. Pārveidotu formulu (4.19) var lietot perspektīvai plānošanai:

$$\Sigma Q = q_0 a (t_T - t_{A5}) V. \quad (4.21)$$

Tādā gadījumā koeficienta q_0 vērtības ņem no rokasgrāmā-tām atkarībā no ēkas rakstura. 4.3. tabulā doti dažādu apkuri-nāmu ēku īpatnējie siltuma raksturojumi q_0 , W/(m³·K).

4.3. tabula
 Ēku īpatnējais siltuma raksturojums q_0 , W/(m³·K)

Ēkas veids	Ēkas kubatūra, tūkst. m ³					
	0,5	1	3	5	10	20
Dzīvojamā	0,76	0,58	0,49	0,44	0,38	0,34
Administratīvā	—	—	—	0,5	0,44	0,37
Skola	—	—	—	0,45	0,41	0,38
Slimnīca	—	—	—	0,47	0,42	0,35
Rūpniecības	—	—	—	0,7	0,58	0,52

Pēc formulas (4.21) var noteikt atsevišķu telpu aptuvenus siltuma zudumus Q , W, ieviešot koeficientu k , t. i.,

$$Q = q_0 k a V_T (t_T - t_{A5}), \quad (4.22)$$

kur k — labojuma koeficients, kura vērtība atkarīga no attiecīgās telpas izvietojuma plānā un no stāva (4.4. tab.);

V_T — telpas tilpums, m³;

q_0 — ēkas īpatnējā siltuma raksturojuma normatīvā vērtība (4.3. tab.).

4.4. tabula

Labojuma koeficienta k vērtības

Telpas izvietojums plānā	Stāvs			Vienstāva ēka
	apakšējais	vidējais	augšējais	
Vidējs	1,1	0,8	1,3	0,9
Stūra	1,9	1,5	2,2	1,5

4.12. NOROBEŽOJOŠO KONSTRUKCIJU TEHNISKI EKONOMISKAIS PAMATOJUMS

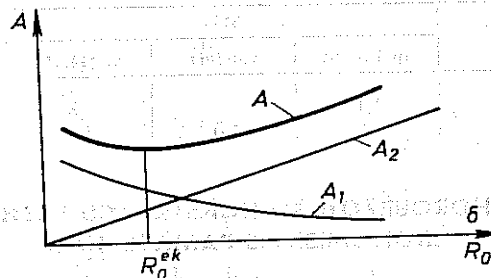
Norobežojošo konstrukciju nepieciešamo stiprību, siltumpārejas pretestību, mitruma režimu un gaisa caurlaidību var nodrošināt, dažādi variējot materiālus un to izvietojumu

konstrukciju masīvā. Iespējamie norobežojošo konstrukciju varianti jāsalīdzina un jāizvēlas tas variants, kuram ir vismazākā kapitālieguldījumu (konstrukciju, transporta un montāžas izmaksu) un ekspluatācijas izdevumu (galvenokārt kurināmā izmaksu) summa.

Pēc stiprības aprēķinātās konstrukcijas siltumpārejas pretestība parasti ir nepietiekoša no siltumtehnikā viedokļa. Ja šī konstrukcija sastāv no viena slāņa, kura materiāls kalpo arī kā siltumizolācija, tad nepieciešamo siltumpārejas pretestību iegūst, palielinot konstrukcijas biezumu. Ja konstrukciju veido vairāki slāņi (parasti viens materiāls nodrošina stiprību, pārējie ir siltumizolācijas un apdares materiāli), tad stiprības un apdares materiālu siltumpārejas pretestības pieņem par nemainīgām un aprēķina nepieciešamo siltumizolācijas slāņa biezumu. Tāpēc aprēķinu formulās jāievēro arī pamatmateriāla un izolācijas materiālu izmaksas. Bez tam aprēķinos ievēro arī konstrukcijas (būves) ekspluatācijas laiku, kas rūpniecības ēkām ir mazāks nekā dzīvojamām ēkām.

4.11. attēlā grafiski attēlota kapitālieguldījumu A_1 palielināšanās un ekspluatācijas izdevumu A_2 samazināšanās, palielinot norobežojošās konstrukcijas masivitāti, respektīvi, palielinot tās siltumpārejas pretestību R_0 . Summāro izdevumu $A = A_1 + A_2$ līknes minimālajai vērtībai atbilst no ekonomiskā viedokļa optimālā siltumpārejas pretestības vērtība R_0^{ek} .

Siltumpārejas pretestību R_0 var pieņemt lielāku par nepieciešamo vērtību R_{0N} (sk. 4.13. sadaļu), ja tas ir ekonomiski izdevīgi, t. i., apkurei patērētās siltuma enerģijas ekonomija kompensē papildu kapitālieguldījumus, kas saistīti ar konstrukcijas masivitātes palielināšanu.



4.11. att. Optimālās siltumpārejas pretestības izvēle atkarībā no kapitālieguldījumu un ekspluatācijas izdevumu attiecības.

4.13. NOROBEŽOJOŠO KONSTRUKCIJU SILTUMTEHNISKAIS APRĒKINS

Norobežojošo konstrukciju siltumpārejas pretestībai jāapmierina sanitāri higiēniskās prasības un jābūt optimālai no tehniski ekonomiskā viedokļa.

Ziemas apstākļos minimāli pieļaujamo siltumpārejas pretestību, kas apmierina sanitāri higiēniskās prasības, sauc par nepieciešamo siltumpārejas pretestību R_{0N} .

Ja nav speciālu normatīvo aktu (sk. 2. pielikumu) par ēku norobežojošo konstrukciju siltumpārejas pretestības vērtībām, tad, nosakot R_{0N} , par pamatu var ņemt temperatūras sadalījuma vienādojumu (4.10) šādā veidā:

$$R_0 = R_T \frac{t_T - t_A}{t_T - t_T} \quad (4.23)$$

Seit ievieto reglamentētas lielumu R_T , t_T , t_A un $t_T - t_T$ vērtības, kuras atkarīgas no telpas uzdevuma un citiem faktoriem.

Norobežojošo konstrukciju, izņemot logus, durvis un virsgaismas, aprēķins sākas ar to nepieciešamās siltumpārejas pretestības R_{0N} , m^2K/W , noteikšanu, kuru atrod pēc formulas

$$R_{0N} = \frac{t_T - t_A}{\Delta t_N \alpha_T} \quad (4.24)$$

kur Δt_N — temperatūru starpība $t_T - t_T$, kas atkarīga no gaisa mitruma telpā: dzīvojamā ēku sienām tā ir 6, bēniņu pārsegumiem — 4, pagrabu pārsegumiem — $2^\circ C$.

Siltumpārejas koeficientu α_T un α_A skaitliskās vērtības ir atkarīgas no daudziem faktoriem, it īpaši no siltumapmaiņas procesa šķidruma (mūsu gadījumā gaisa) robežslānī uz konstrukcijas iekšējās (α_T) un ārējās (α_A) virsmas, kuru savukārt nosaka gaisa kustīgums un virsmas forma (sk. 2.2.6. sadaļu).

So koeficientu skaitliskās vērtības parasti ir reglamentētas, piemēram, Vācijā pieņemts $\alpha_T = 8,14 W/(m^2 \cdot K)$ un $\alpha_A = 23,3 W/(m^2 \cdot K)$, ASV — $\alpha_T = 8,29 W/(m^2 \cdot K)$, bet α_A pieņem atkarībā no vēja ātruma šādu: ja vēja ātrums $v = 3,3 m/s$, tad $\alpha_A = 22,7 W/(m^2 \cdot K)$; ja $v = 6,5 m/s$, — $\alpha_A = 34,1 W/(m^2 \cdot K)$.

Pašlaik Latvijā aprēķinos lietotās koeficientu α_T un α_A vērtības dotas 4.5. un 4.6. tabulā.

Telpas gaisa temperatūru izvēlas atbilstoši tās nozīmei. Tā, piemēram, t_T dzīvojamā ēku istabām pieņem $18 \dots 20^\circ C$, virtuvēm — $15^\circ C$, vannas istabām — $25^\circ C$, kāpņu telpām, tualetes telpām, gaitenīiem, priekštelpām — $16^\circ C$.

Āra gaisa temperatūru t_A izvēlas atkarībā no ārējās norobežojošās konstrukcijas siltuma inerces raksturojuma (7. pielikums). Aprēķinot iekšējo norobežojošo konstrukciju nepieciešamo siltumpārejas pretestību, āra gaisa aprēķina temperatūras t_A vietā jālieto aukstākās telpas aprēķina temperatūra.

4.5. tabula
Siltumpārejas koeficienta α_T vērtības

Norobežojošās konstrukcijas iekšējā virsma	α_T , W/(m ² · K)
Sienu, grīdas, gludu griestu virsma un ribotu griestu virsma, ja attiecība $h/a \leq 0,3$, kur h — ribu augstums, a — attālums starp ribām	8,7
Ribotu griestu virsma, ja attiecība $h/a > 0,3$	7,6
Griestu ar kesoniem virsma, ja attiecība $h/a > 0,3$, kur a — attālums starp kesonu malām, h — kesonu augstums	6,0

4.6. tabula
Siltumpārejas koeficienta α_A vērtības ziemas aptākļos

Norobežojošās konstrukcijas ārējā virsma	α_A , W/(m ² · K)
Ārsienu virsma	23
Neapkurināmu pagrabu, ar āra gaisu saskarē esošu pārsegumu virsma	17
Bēniņu pārsegumu un neapkurināmu pagrabu ar logiem pārsegumu virsma	12
Neapkurināmu pagrabu bez logiem pārsegumu virsma	6

Tātad, lai lietotu formulu (4.24), vispirms orientējoši jāpieņem, ar kādu siltuma inerces raksturojumu būs norobežojošā konstrukcija (brīvs pieņēmums, ko aprēķina gaitā pārbauda). Ja celtniecības vieta, piemēram, ir Rīga, tad, pieņemot ārsienas siltuma inerces raksturojumu $D > 7$, tās siltumpārejas pretestībai jābūt ne mazākai par

$$R_{0N} = \frac{18 + 20}{8,7 \cdot 6} = 0,73 \text{ m}^2\text{K/W.}$$

Tālākos aprēķinus var veikt, kad ir izraudzīts ārsienas materiāls. Tā, piemēram, izvēlamies ķieģeļu ($\rho = 1800 \text{ kg/m}^3$) sienu ar iekšējo un ārējo apmetumu (attiecīgi 5 mm un 15 mm biežumā) no smilšu-kaļķu javas ($\rho = 1800 \text{ kg/m}^3$).

Saskaņā ar formulu (4.6) uzraksta vienādojumu, ar kura palīdzību nosaka ķieģeļu mūra siltumpārejas pretestību R_{km} , m²K/W, pielīdzinot $R_0 = R_{0N}$, t. i.,

$$R_{0N} = \frac{1}{\alpha_T} + \left(\frac{\delta}{\lambda} \right)_{apm} + R_{km} + \frac{1}{\alpha_A} \quad (4.25)$$

Izrakstā no 3. pielikuma aprēķinā nepieciešamos materiālu siltumtehnikos parametrus. Lai to izdarītu, jāzina konstrukcijas ekspluatācijas apstākļi, 4. pielikumā atrod, ka, izvēloties dzīvojamā istabā normālu mitruma režīmu, telpas relatīvajam gaisa mitrumam ϕ jābūt 50-60%. 5. pielikumā atrod, ka telpām ar nominālu mitruma režīmu, ja ēka atrodas normālā klimatiskajā zonā (kā tas ir Rīgai 6. pielikumā), ārsienu materiālam siltumtehnikajos aprēķinos jāizvēlas siltumvadītspējas un

siltumapgaves koeficientu vērtības ekspluatācijas apstākļiem B. Tad

$$\frac{1}{8,7} + \frac{0,005}{0,814} + R_{km} + \frac{0,015}{0,814} + \frac{1}{25} = 0,73,$$

$$R_{km} = (0,73 - 0,18) = 0,55 \text{ m}^2\text{K/W.}$$

Pārbauda sākuma pieņēmumu par konstrukcijas siltuma inerces raksturojumu:

$$D = R_{apm} S_{apm} + R_{km} S_{km} + R_{apm} S_{apm} = 0,0006 \cdot 9,75 + 0,55 \cdot 10,15 + 0,018 \cdot 9,75 = 5,76.$$

Ārsiena ir ar siltuma inerces raksturojumu $4 < D \leq 7$, tātad aprēķinos jālieto āra gaisa aprēķina temperatūra (7. pielikums)

$$t_A = \frac{-20 + (-25)}{2} = -22,5^\circ\text{C.}$$

Ar jauno t_A vērtību

$$R_{0N} = \frac{18 + 22,5}{8,7 \cdot 6} = 0,78 \text{ m}^2\text{K/W.}$$

Ķieģeļu mūra minimālais biezums

$$\delta_{km} = (0,78 - 0,18) 0,814 = 0,49 \text{ m.}$$

Saskaņā ar noteikumiem par ķieģeļu mūru biezumu pieņem, ka tas ir 2 ķieģeļu biezumā, t. i., $\delta_{km} = 0,51 \text{ m}$. Tad faktiskā siltumpārejas pretestība

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_T} + \frac{\delta_{apm}}{\lambda_{apm}} + \frac{\delta_{km}}{\lambda_{km}} + \frac{1}{\alpha_A} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,814} + \frac{0,51}{0,814} + \frac{1}{23} = 0,81 \text{ m}^2\text{K/W.}$$

Tātad izpildīts nosacījums $R_0 \geq R_{0N}$.

Norobežojošās konstrukcijas iekšējās virsmas pārbaude saistīta ar iekšējās virsmas temperatūras τ_T noteikšanu. Ja telpas temperatūra $t_T = 18^\circ\text{C}$, tad pēc formulas (4.10)

$$\tau_T = 18 - \frac{18 + 22,5}{0,81} = 0,115 = 12,3^\circ\text{C.}$$

Ar formulas (4.9) un 2.1. attēlā parādītās diagrammas palīdzību nosaka $t_R = 10,5^\circ\text{C}$, ja $\phi = 60\%$. Tātad $\tau_T > t_R$ un ir izslēgta tvaika kondensācija uz iekšējās virsmas.

4.14. ATSEVIŠĶU TELPU SILTUMA ZUDUMU APRĒĶINS

Telpas siltuma zudumus, kurus izmanto apkures sistēmas jaudas aprēķināšanai, atrod, summējot visu norobežojošo konstrukciju siltuma zudumus.

Zinot visu norobežojošo konstrukciju siltumpārejas pretestības, var veikt siltuma zudumu aprēķinu.

Siltumapmaiņu caur norobežojošo konstrukciju starp apsildāmām telpām un āra gaisu vai neapsildāmām telpām ievēro tad, ja temperatūru starpība norobežotās vidēs ir lielāka par $3...5^{\circ}\text{C}$.

Atsevišķu telpu siltuma zudumus aprēķina pēc formulas (4.18) un rezultātus apkopo 4.7. tabulas veidā.

4.7. tabula

Siltuma zudumu aprēķins

Telpas Nr.	Telpas nosaukums un $t_T, ^{\circ}\text{C}$	Norobežojošās konstrukcijas				$k, \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$(t_T - t_{\text{ārs}}), ^{\circ}\text{C}$	Galvenie siltuma zudumi, W	Papildu siltuma zudumi				Kopējie siltuma zudumi, W
		apzīmējums	orientācija pēc debespusēm	skaitis un izmēri, m	virsmas laukums A, m^2				atkarībā no debespusēm	atkarībā no vēja stipruma	pārējie	$1 + \Sigma \eta$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

Katrai telpai, kurai aprēķina siltuma zudumus, piešķir kārtas numuru (sākot no Nr. 101, telpām pirmajā stāvā; sākot no Nr. 201, telpām otrajā stāvā utt.), ko ieraksta tabulas 1. ailē. Numerāciju izdara pa stāviem no kreisās uz labo pusi, sākot ar stūra istabu. Kāpņu telpas apzīmē ar burtiem vai romiešu cipariem un neatkarīgi no ēkas stāvu skaita tās uzskatāmas par vienu telpu. Rasējumā numuri jāieraksta aplītī telpas centrā.

2. ailē uzrāda telpas nosaukumu (dzīvojamā istaba, virtuve utt.) un telpas gaisa temperatūru. Telpām ar divām āra sienām (stūra istabas) ieteicams t_T vērtību palielināt par 2°C vai siltuma zudumus palielināt par 5%.

3. ailē atzīmē norobežojošo konstrukciju, caur kuru aprēķina siltuma zudumus: AS — ārsiena, IS — iekšējā siena, DL — logs ar dubultstiklojumu, VL — logs ar vienkārtas stiklojumu, BD — balkona durvis, VD — vienkāršas durvis, DD — dubultdurvis, GRD — grīda, GR — griesti.

4. ailē uzrāda norobežojošās konstrukcijas orientāciju pēc debespusēm (Z — ziemeļi, ZA — ziemeļaustrumi, DR — dienvidrietumi utt.).

5. ailē raksta norobežojošo konstrukciju izmērus, vadoties pēc mērīšanas noteikumiem (sk. 4.8. sadaļu), kā arī vienkārša norobežojošo konstrukciju skaitu. Norobežojošo konstrukciju izmērus noapaļo ar precizitāti līdz $0,1 \text{ m}$.

6. ailē atzīmē norobežojošo konstrukciju virsmas laukumu A , m^2 , ar precizitāti līdz $0,1 \text{ m}^2$. Laukumu ārsienām, kurās ir logi un durvis, parasti pieraksta, neatņemot logu un durvju laukumus.

7. ailē raksta siltumpārejas pretestību attiecīgajai norobežojošajai konstrukcijai. Logiem un durvīm tās vērtību samazina par ārsienas siltumpārejas koeficienta vērtību, jo caur ārsienu siltuma zudumi tiek aprēķināti, neatņemot logu un durvju laukumus (sk. norādījumu 6. ailei).

8. ailē uzrāda aprēķina temperatūru starpību.

9. ailē raksta galvenos siltuma zudumus, kurus iegūst, sareizinot 6., 7. un 8. ailes datus.

10., 11. un 12. ailē raksta koeficientus η .

13. ailē uzrāda $1 + \Sigma \eta$.

14. ailē raksta norobežojošo konstrukciju kopējos siltuma zudumus, kurus aprēķina, sareizinot 9. un 13. ailes rezultātus.

Siltuma zudumus ($300...400 \text{ W}$ robežās) no telpām, kurām nav ārsienu (priekštelpas, vannas istabas, sanitārie mezgli), pieskaita pie apsildāmo blakustelpu siltuma zudumiem.

Telpu siltuma zudumu aprēķinus veic ar precizitāti līdz 10 W .

Aprēķinot telpu siltuma zudumus, jāņem vērā arī siltuma plūsmas no tajās uzstādītām elektroiekārtām, apgaismes ķermeņiem, siltiem cauruļvadiem u. tml.

Dzīvojamām ēkām telpu siltuma zudumu aprēķinā ievēro tā saucamo sadzīves siltumu, kurš izdalās istabās un virtuvē. Šai nolūkā telpu siltuma zudumus samazina atkarībā no grīdas laukuma lieluma.

5. APKURE

Telpās, kurās uzturas cilvēki, to skaitā arī ražošanas telpās jebkurā gadalaikā jāuztur attiecīga gaisa temperatūra.

Jā āra gaisa temperatūra ir tik zema, ka nepietiek ar telpu mikroklimata uzturēšanas pasīvo elementu — ārējo norobežojošo konstrukciju siltumnoturību, jāierīko attiecīgas inženiersistēmas, kuras sauc par aktīvo elementu.

Visizplatītākā aktīvā mikroklimata uzturēšanas inženiersistēma, it sevišķi telpās, kurās uzturas cilvēki, ir apkure.

Apkurei jāatbilst šādām vispārīgām galvenajām prasībām:

- 1) sanitāri higiēniskām — nepieciešamā telpas gaisa temperatūra jāuztur, nepazeminot gaisa kvalitāti;
- 2) ekonomiskām — ierīkošanas darbu (darbietilpības) un materiālu patēriņa (galvenokārt metālietilpības) izmaksām jābūt pēc iespējas zemām;
- 3) montāžas — jānodrošina industriālas montāžas metodes, izmantojot rūpnieciski izgatavotus unificētus mezglus;
- 4) būvniecības — sildķermeņu izvietojums jāparedz saskaņā ar celtnes plānojuma un konstruktīviem risinājumiem;
- 5) ekspluatācijas — jāievēro darbināšanas un remonta vienkāršība, mazs trokšņu līmenis un drošība;
- 6) estētiskām — jāiekļaujas telpas iekšējā interjera.

Apkures iekārtai jāatdod telpai tikai tik daudz siltuma, lai kompensētu tās siltuma zudumus, un šai iekārtai jābūt spējīgai reagēt uz ārējo un iekšējo faktoru izmaiņu.

5.1. APKURES SISTĒMU VEIDI

Apkures sistēmas trīs galvenās sastāvdaļas: siltuma ģenerators; sildķermeni, kas atdod siltumu telpas gaisam; caurules, vadi vai kanāli, pa kuriem siltumu no ģeneratora piegādā sildķermeņiem. Atkarībā no minēto trīs sastāvdaļu izvietoējuma izšķir vietējās un centrālās apkures sistēmas.

Ja visas trīs apkures sistēmas sastāvdaļas apvienotas vienā agregātā, piemēram, apkures krāsnī, tad to sauc par *vietējās apkures sistēmu*.

Centrālās apkures sistēmas var būt ļoti dažādas. Ir sistēmas, kuras uzstāda atsevišķos dzīvokļos vai nelielās mājās. Tās pa-

rasti sauc par *centrālāpkures sistēmām*. Sistēmas, kurās no viena siltuma ģenerators (rajona katlu māja vai TES) apsilda rajonu vai veselu pilsētu, sauc par *centralizētās siltumapgādes sistēmām*. To darbības princips vienmēr ir vienāds, tomēr konstrukcijās var būt atšķirības, kuras nosaka sistēmu izmēri.

Atkarībā no siltumnesēja veida izšķir dūmgāzu, gaisa, ūdens, tvaika, elektriskās un gāzes apkures sistēmas.

Dūmgāzes par siltumnesēju izmanto, piemēram, krāsns apkurē, bet centrālāpkures un centralizētās apkures sistēmās ar tām silda siltumnesēju (ūdeni, tvaiku).

Gaisu par siltumnesēju parasti izmanto tikai vienas ēkas robežās. Tā pārvietošana pa kanāliem saistīta ar lielu enerģijas patēriņu, bet paši kanāli aizņem daudz vietas.

Ūdens ir visplašāk lietotais siltumnesējs. Izšķir ūdens apkures sistēmas ar dabisku (gravitācijas spēku ietekmē) un piespiedu (ar sūkņiem) cirkulāciju.

Tvaiku var daudz vieglāk pārvietot pa caurulēm nekā ūdeni, un tvaikam nepieciešamo cauruļu diametri ir mazāki. Tomēr tvaiku apkurei lieto salīdzinoši maz — tikai atsevišķās rūpniecības un lauksaimniecības ēkās. Tas ir tāpēc, ka tvaika apkure ir grūti regulējama un nehygiēniska, jo tās sildķermeņu virsmas temperatūra ir pārāk augsta un uz virsmas, sadeg organiskas izcelsmes putekļi, izdalot kaitīgas gāzes.

5.1. tabulā salīdzināšanai doti galveno siltumnesēju parametri, kad ūdens temperatūra apkures sistēmā pazeminās no 150°C līdz 70°C, gaisa sākotnējais spiediens ir 1,7 MPa un gaiss atdziest no 60°C līdz 15°C.

Elektrisko apkures sistēmu ekspluatācija pagaidām ir dārga, bet to izmantošana ir ļoti perspektīva. Tās ir higiēniskas, lēti izbūvējamas un viegli regulējamas.

5.1. tabula

Apkures sistēmu siltumnesēju salīdzinājums

Parametrs	Siltumnesējs		
	ūdens	tvaiks	gaiss
Temperatūru starpība, °C	80	130	45
Blīvums, kg/m ³	917	1,5	1,03
Ipatnējā masas siltumietilpība, kJ/(kg·K)	4,31	2175*	1,0
Apkures sistēmā izdalītais siltuma daudzums, kJ/m ³	316 370	3263	46,4
Pārvietošanas ātrums apkures sistēmā, m/s	1,5	80	15
Cauruļvadu šķērsgriezuma laukumu attiecība	1	1,8	680

* Ipatnējais kondensācijas siltums, kJ/kg.

Gāzes apkuri lieto atsevišķās rūpnīcu un lauksaimniecības ēku telpās. Dzīvojamās un sabiedriskās ēkās to nav ieteicams izmantot sanitāri higiēnisku un drošības apsvērumu dēļ.

Gadījumos, kad mūsu rīcībā ir siltumnesējs ar tādiem parametriem, ka tā tiešu lietošanu neatļauj sanitāri higiēniskās prasības, rodas nepieciešamība izmantot tā saucamās kombinētās apkures sistēmas. Tās var būt šādas: tvaika-ūdens, tvaika-gaisa, ūdens-ūdens, ūdens-gaisa, liesmu-gaisa un elektriskās gaisa sistēmas.

Lai novadītu siltumu no primārā siltumnesēja, kura parametri neapmierina (ir pārāk augsti) apkures sistēmām uzstādītās prasības, uz sekundāro siltumnesēju, kas nogādā siltumu apsildāmās telpās, lieto siltumapmaiņas aparātus vai speciālas maisītājiekārtas ūdenim un spiediena pazemināšanās iekārtas tvaikam.

Bez jau aplūkotā iedalījuma ūdens un tvaika apkures sistēmas un atsevišķos gadījumos arī citas sistēmas atkarībā no siltumnesēja pārvadīšanas veida, siltumnesēja padeves shēmas sildķermenī un citām specifiskām īpatnībām iegūst precīzākus nosaukumus. Daļa no tām apskatīta turpmāk.

Apkures sistēmas klasificē arī pēc siltumatdeves veida pārsvara sildķermeņos. Ja sildķermenis siltumu atdod pārsvarā ar konvekciju, tad tādu sistēmu sauc par *konvektīvo*, ja turpretī pārsvarā ir siltumatdeve starojuma veidā, tad to sauc par *starojuma sistēmu*.

Konvektīvās apkures sistēmas gadījumā telpas gaisa temperatūra vienmēr ir augstāka nekā telpas norobežojošo konstrukciju vidējā temperatūra. Ja turpretī sildķermeņi (tādi var būt tikai plakani paneļi) lielāko daļu siltuma atdod starojuma veidā, tad gaisa temperatūra telpā ar attiecīgu paneļu izvietošanu un ventilāciju var būt zemāka nekā visu norobežojošo virsmu temperatūra un apkuri vajadzētu saukt par starojuma apkuri. Šāda kombinācija realizējas ne vienmēr, un tāpēc tādas apkures sistēmas, kurās sildķermeņi ir plakani paneļi, pieņemts saukt par *staru paneļu apkures sistēmām*.

5.2. SILDĶERMEŅI

Viens no apkures sistēmas pamatelementiem ir sildķermenis, kas ar siltumnesēja starpniecību pievada siltumu apkurināmajām telpām. Sildķermenim ir vistiešākā ietekme uz komforta apstākļiem telpā. Ar sildķermeņu tipu un izvietošanu ir saistīti telpu plānojuma risinājumi un to interjers. Tāpēc attiecīgus sildķermeņus izvēlas, ņemot vērā to atbilstību siltumtehnikām, sanitāri higiēniskām, tehniski ekonomiskām prasībām un telpas interjeram.

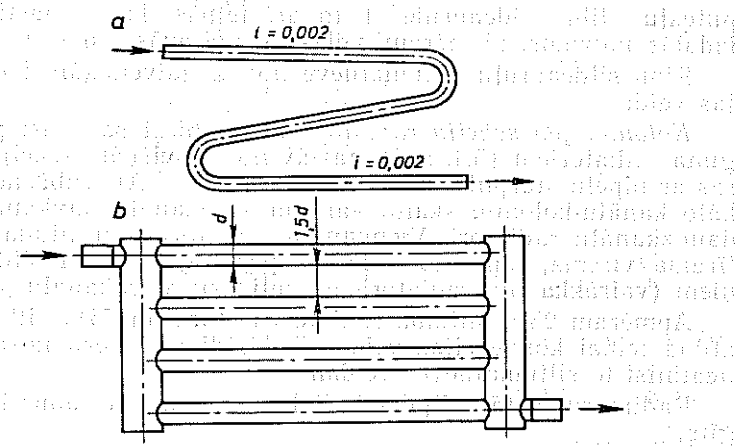
Sildķermeņi siltumu telpai atdod starojuma un konvekcijas veidā. Ja siltumu telpai pievada konvekcijas veidā, sasilušais gaiss ceļas uz augšu un silda telpas augšējo daļu. Ja pārsvarā ir starojuma siltumatdeve, labāk sasilst telpas apakšējā zona un gaiss telpā sasilst vienmērīgāk. Tātad priekšroka dodama sildķermeņiem, kuri siltumu telpā izstaro.

5.2.1. Sildķermeņu veidi

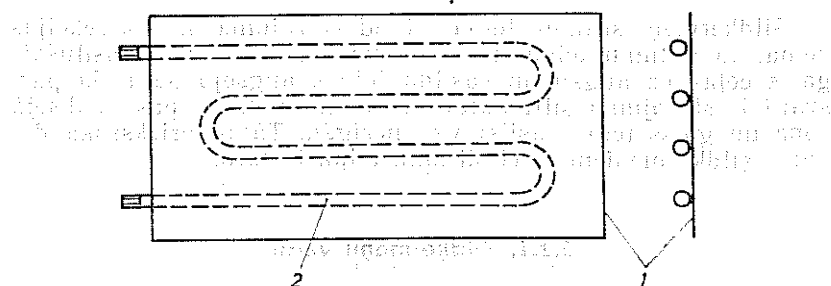
Vienkāršākie centrālapkures sistēmās lietojamie sildķermeņi ir no gludām caurulēm izlocītas (glodenes) vai režģu veidā sametinātas konstrukcijas (5.1. att.). Gludās sildcaurules ir viegli tirāmas, tāpēc tās uzstāda putekļainās rūpnīcu telpās (piemēram, kokapstrādes un pulēšanas iecirkņos), siltumnīcās, oranžerijās, veikalu vitrīnās u. tml.

Gludām sildcaurulēm ir samērā liels siltumpārejas koeficients, kas samazinās, palielinoties cauruļu skaitam un diametram režģī. Šo sildķermeņu galvenais trūkums ir relatīvi nelielā sildvirsmā. To var ievērojami palielināt, piemētot caurules pie metāla plāksnes (5.2. att.) vai aprīkojot tās ar ribām.

Ribu sildcaurules izgatavo no pelēkā čuguna (5.3. att.). To sildvirsmā ir daudz lielāka nekā tāda paša diametra gludu cauruļu sildvirsmā, bet to virsmas temperatūra ir zemāka. Ribu sildcaurules ir grūti tirāmas, nehigiēniskas, tāpēc tās uzstāda telpās, kur cilvēki uzturas īslaicīgi, vai telpās, kurās ir maz

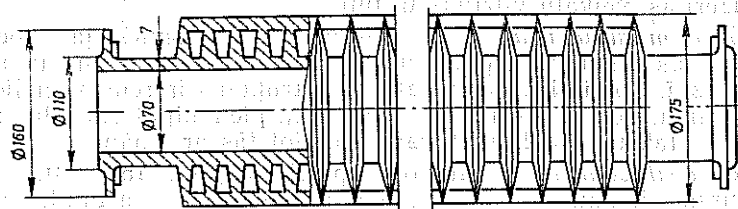


5.1. att. Gludās sildcaurules:
a — glodene; b — reģistrs.



5.2. att. Tērauda vienloksnes paneļa tipa sildķermenis:

1 — tērauda loksne; 2 — glodene.



5.3. att. Čuguna ribu sildcaurule.

putekļu. Ribu sildcaurules lieto arī telpās, kurās pastiprināti izdalās mitrums, piemēram, veļas mazgātavās, pirtīs u. tml.

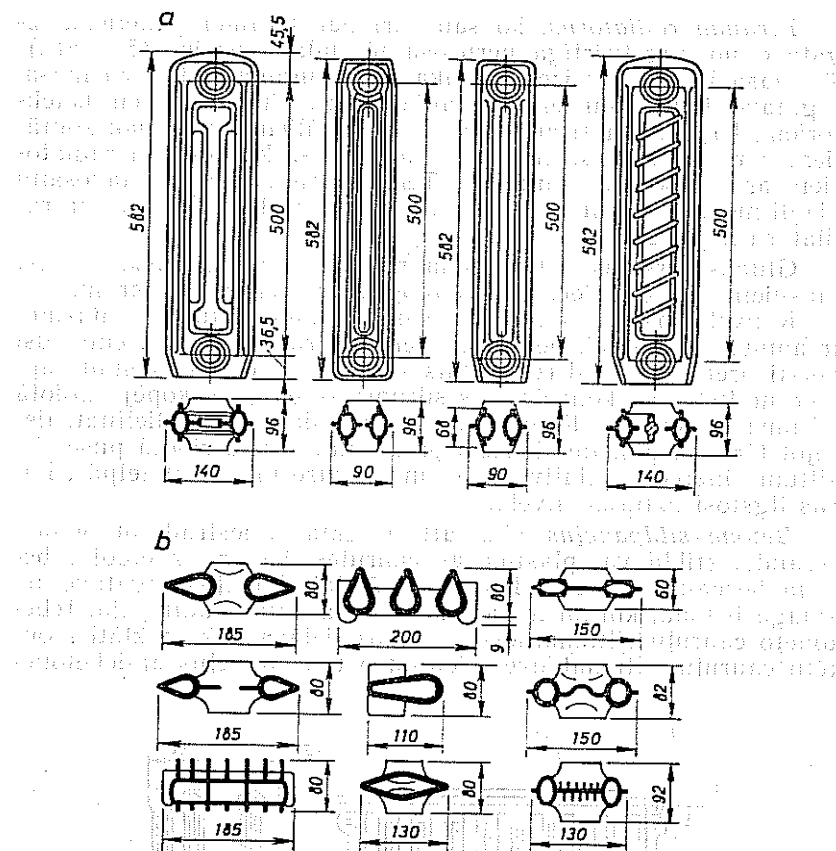
Ribu sildcauruļu siltumatdeve notiek galvenokārt konvekcijas veidā.

Kolonnu jeb sekciju radiatoru, kuras bieži sauc arī par čuguna radiatoriem (5.4. att.), sastāv no atsevišķām sekcijām, kuras ar nipeļu starpniecību samontē baterijās. Atkarībā no vertikālo kanālu-kolonnu skaita var būt vienkānāla, divkānāla vai daudzkanālu radiatoru. Vienkānāla radiatoriem ir gluda, viegli tirāma virsma, tāpēc tos uzskata par higiēniskiem sildķermeņiem (vairākkānālu radiatoriem grūti tīrīt starpkanālu posmu).

Apmēram 25% siltuma radiatoru izstaro un 75% siltuma tie atdod telpai konvekcijas veidā. Tādējādi radiatoru nosaukums neatbilst to siltumatdeves veidam.

Radiatoru metālietilpība ir liela un montāža samērā sarežģīta.

Ar laiku radiatoros nogulsņējas duļķes, kurās bieži vien sāk vairoties siltumizturīgas baktērijas un mikroorganismi.



5.4. att. Daži visplašāk lietojamo čuguna sekciju radiatoru veidi:

a — sānskati ar attiecīgiem šķēsgriezumiem; b — dažādi radiatoru kolonnu šķēsgriezuma varianti.

Radiatorus radīja 19. gadsimtā, un joprojām tie ir vieni no visizplatītākajiem sildķermeņiem gan dzīvojamās un sabiedriskās ēkās, gan arī rūpniecības ēkās.

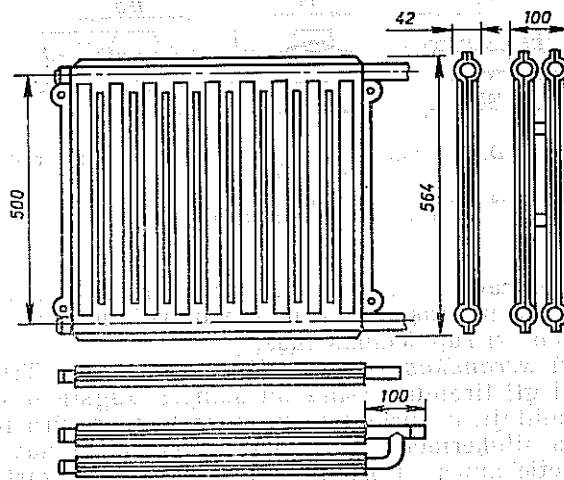
Ražo arī keramikas un porcelāna radiatorus. Tie ir glīti, ar gludu, viegli tirāmu virsmu un samērā augstiem siltumtehnikajiem rādītājiem, turklāt to virsmas temperatūra ir zemāka nekā metāla sildķermeņiem. Tomēr šie radiatoru nav plaši izplatīti nepietiekamās stiprības dēļ. Tos galvenokārt uzstāda vienkānā ēku apkures sistēmās ar nelielu ūdens statisko spiedienu.

Tērauda radiatorus, ko sauc arī par tērauda paneļiem, izgatavo no augstvērtīga nerūsošā tērauda loksņiem (5.5. att.). To masa ir 4...6 reizes mazāka nekā čuguna radiatoru masa. Izgatavo divu veidu tērauda radiatorus: ar horizontāliem kolektoriem, kas savienoti ar vertikāliem kanāliem, un ar horizontāliem, virknē savienotiem kanāliem. Priekšroka dodama radiatoriem ar vertikāliem kanāliem. Tērauda radiatoru izgatavošanu viegli mehanizēt, un to montāža ir vienkāršāka nekā čuguna radiatoru montāža.

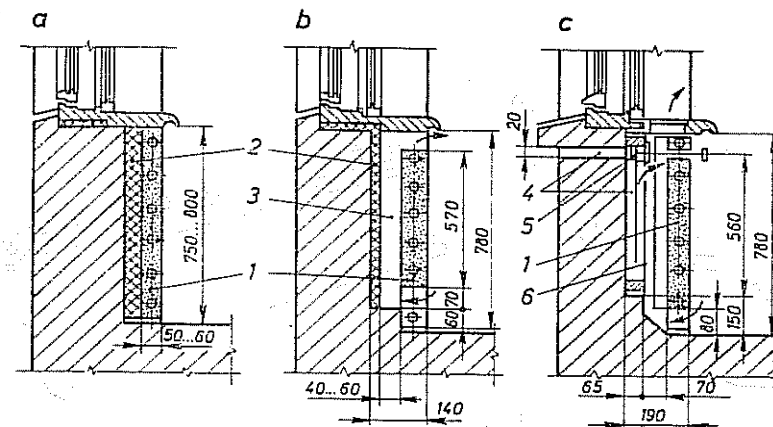
Gludās virsmas dēļ tērauda radiatori ir higiēniski, atbilst mūsdienu ēku celtniecības tehnoloģijai un telpu interjeram.

Konvekcijas un starošanas veidā atdotie siltuma daudzumi ir apmēram vienādi, bet, tā kā tērauda radiatorī ar vienu pusi vērsti pret sienu, tad izstarotais siltuma daudzums sastāda apmēram 40%, bet konvektīvais siltums — 60% no kopējā atdotā siltuma daudzuma. Konvektīvā siltuma daļu var palielināt, lietojot tērauda paneļus, kuriem pret sienu vērsta ribotā puse. To siltuma inerces ir relatīvi liela, un tos visērtāk lietot telpās, kurās ilgstoši uzturas cilvēki.

Betona sildpaneļus (5.6. att.) izgatavo, iestrādājot betonā tērauda, stikla vai plastmasas caurules, kā arī izveidojot betonā bezcauruļu ejas ūdens cirkulācijai. Paneļus izgatavo no smagā betona, kuram ir pietiekami liela siltumvadītspēja. Iebetonēto cauruļu siltumatdeve ir daudz lielāka nekā atklāti montētu cauruļu siltumatdeve. Lietojot betona paneļus ar iebetonē-



5.5. att. Stancēts tērauda radiators.



5.6. att. Betona sildpaneļi:

a — ar vienaspusēju siltumatdevi; b — ar divpusēju siltumatdevi; c — ar divpusēju siltumatdevi un kanālu ārējā gaisa padevei; 1 — sildpanelis; 2 — konvekcijas kanāls; 3 — siltumizolācija; 4 — pieplūdes gaisa kanāls; 5 — aizvars; 6 — metāla ekrāns.

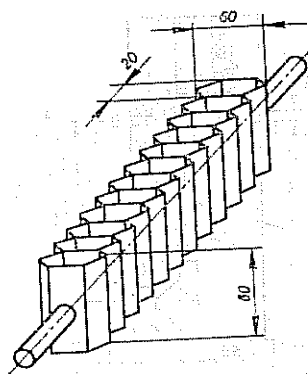
tām tērauda caurulēm, metāla patēriņš salīdzinājumā ar čuguna radiatoriem samazinās 2...3 reizes.

Sos sildpaneļus iebūvē sienās, uzstāda zem palodzēm vai piestiprina pie griestiem. Vasarā caur betona sildpaneļiem var laist aukstu ūdeni, tādējādi atvēsinot telpu. Betona sildpaneļi atbilst visaugstākajām arhitektūras, būvniecības un sanitāri higiēniskajām prasībām!

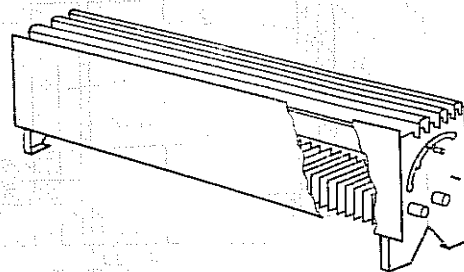
So sildķermeņu galvenais trūkums ir sarežģītais remonts gadījumā, ja rodas ūdens noplūde, tāpēc ēku apkures sistēmās betona sildpaneļi nav plaši izplatīti.

Konvektori — sildķermeņi, kas gandrīz visu siltumu atdod konvekcijas veidā. Tos izgatavo no neliela diametra metāla caurulītēm, uz kurām uzpresēts ribojums no tērauda plāksnītēm. Caur sasilstušo ribojumu, kuru silda pa caurulītēm plūstošais siltumnesējs, veidojas konvektīvā gaisa plūsma, kuras ātrumam pieaugot palielinās konvektora siltumatdeve. Konvektorus klasificē atkarībā no konstruktīvā veidojuma, kura mērķis ir optimālas konvektīvās plūsmas organizēšana.

Vienkāršākais ir plintusa tipa konvektors (5.7. att.). Ribu forma veido slēgtus kanālus 20 mm platumā un 80...90 mm augstumā. Tādus kanālus viegli iztīrīt no putekļiem, un ribu forma dara tos pietiekoši noturīgus. Ja šādus konvektorus uzstāda vairākās rindās, tad starp tiem ierīko diagonālas starpsienas, lai nodrošinātu apakšējā elementā sasilstušā gaisa nova-



5.7. att. Plintusa tipa konvektors.



5.8. att. Konvektors ar apvalku.

dīšanu telpā un augšējā elementam tiktu pievadīts vēl nesa-silušais telpas gaiss. Ja šāds sildķermenis aprīkots ar gaisa vārstu, tā siltumatdevi var samazināt līdz 50%.

Plintusa tipa konvektorus cenšas novietot virknē gar ārējās sienas grīdlīsti, ko celtniecībā sauc par plintusu. No šejienes arī cēlies konvektora nosaukums.

Atšķirībā no plintusa tipa konvektoriem, kuriem ribojuma forma veido it kā apvalku, kas nodrošina gaisa plūsmas daļai caurplūdi caur ribu veidotu kanālu, kurā siltumatdevi ir intensīvāka, pilnīgāki ir konvektori ar apvalku. Šādu konvektoru ribojums veidots no plāksnītēm, turklāt attālums starp tām ir mazāks: mainās no 5 mm līdz 10 mm. Lai nodrošinātu konvek-tīvo gaisa plūsmu starp šādā attālumā novietotām plāksnītēm, noteikti jābūt apvalkam (5.8. att.). Apvalka lomu var pildīt arī kanāls. Ja nav organizēta pietiekoši intensīva gaisa plūsma, sil-tumatdevi var samazināties divas reizes. Apvalka augšējā daļā ievietots kustīgs vārsts, kas ļauj regulēt konvektora siltumat-devi plašās robežās:

Gaisa ātrums, m/s	0,2	0,5	1,0	2,0
Relatīvā siltumatdevi, %	0	57	140	270

Konvektori var būt izgatavoti arī no krāsainajiem metāliem. Tādiem konvektoriem ir labas siltumtehnikās un ekspluatācijas īpašības. Rūpniecībā ražo arī plintusa tipa čuguna konvektorus ar vienu siltumnesēja kanālu. Salīdzinājumā ar čuguna radiato-riem tiem ir mazāks metāla patēriņš un to izmaksas samazinā-tas par 10...20%.

Atkarībā no uzstādīšanas veida ir konvektori, kurus piestip-rina pie sienas, un tādi konvektori, kas balstās uz grīdas.

Dažreiz konvektorus aprīko ar speciāliem beztrokšņa ventila-toriem, kuri nodrošina intensīvu gaisa plūsmu caur ribotajām caurulēm un ievērojami paaugstina konvektora siltumatdevi. Laižot caur šādiem konvektoriem aukstu ūdeni, sistēmu var iz-mantot arī telpu atvēršanai.

Konvektoriem ir nelieli gabarīti, tos var ērti izvietot arī zem lieliem logiem ar zemām palodzēm.

Ribojuma dēļ konvektoru virsma ir samērā grūti tīrāma (praktiski tikai ar putekļu sūcēju), tāpēc tie nav visai higiē-niski. Konvektorus neiesaka uzstādīt telpās ar paaugstinātām sanitāri higiēniskajām prasībām (slimnīcās, bērnu iestādēs).

5.2.2. Sildķermeņu izvēle un izvietošana

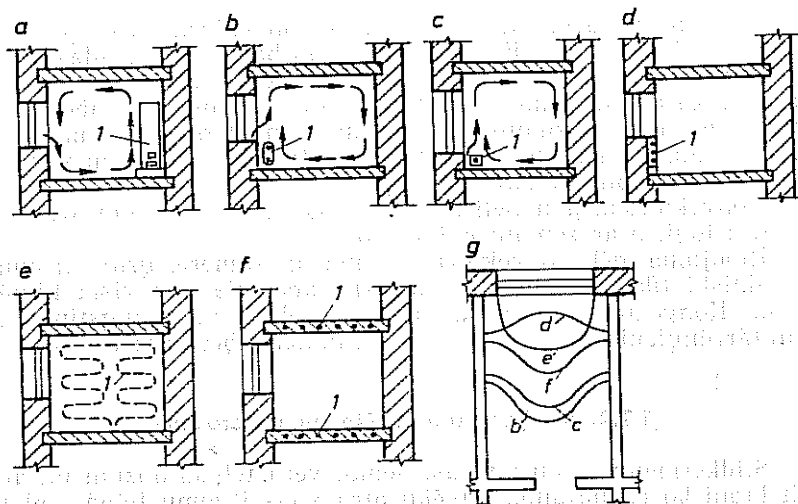
Sildķermeņu veidu izvēlas, ņemot vērā telpas nozīmi un ar-hitektonisko risinājumu, cilvēku atrašanās ilgumu telpā, apku-res sistēmas veidu, kā arī sildķermeņu tehniski ekonomiskos un sanitāri higiēniskos rādītājus. Ieteicamie sildķermeņu veidi da-žādām telpām aplūkoti 5.2. tabulā.

5.2. tabula

Dažādām telpām ieteicamie sildķermeņu veidi

Telpu nosaukums	Ieteicamie sildķermeņi	Sildķer-meņa vir-smas mak-simālā tem-peratūra, °C
Dzīvojamā un administratīvo ēku telpas	Radiatori, konvektori, sildpaneļi	95
Bērnu iestāžu, slimnīcu, dzem-dību namu telpas	Radiatori, sildpaneļi	85
Muzeju, gleznu galeriju, lasi-tavu, grāmatu glabātavu tel-pas	Radiatori, sildpaneļi	95
Ražošanas telpas: bez putekļu izdalījumiem	Radiatori, konvektori, sildpaneļi, ribu sildcaurules	130
ar putekļu izdalījumiem	Radiatori, sildpaneļi, gludās sildcaurules	110
Rūpniecīgu palīgtelpas	Radiatori, konvektori, sildpaneļi, ribu sildcaurules	95

Sildķermeņu tips un izvietojums jāizvēlas, ņemot vērā tiem uzstādītās prasības un vadoties pēc telpas plānojuma, tehnolo-giskā procesa un siltumtehnikā režīma (5.9. att.).



5.9. att. Dažādu sildķermeņu izvietojums telpā:
 a — krāsns; b — radiators; c — konvektors; d — betona sildpanelis (sk. 5.6. att.);
 e — starpsiena ar sildelementiem; f — pārsegumi ar sildelementiem; g — orientējošas
 komforta un diskomforta zonu robežas sildķermeņu izvietojumam b, c, d, e un f
 attēlos.

Stiklotas ārējās norobežojošās konstrukcijas veicina telpas gaisa intensīvu atdzišanu. Sildķermeņi jāizvieto telpas apakšējā daļā gar ārējām norobežojošām konstrukcijām, turklāt vēlams tos novietot zem logu ailām (5.9. att. b, c un d).

Sildķermeņu sasildītā, augšupvērstā gaisa plūsma darbojas pretī lejupvērstai atdzisušā gaisa plūsmai, kura ir galvenais diskomforta izraisītājs, ja tā sasniedz grīdas līmeni. Dienvidu rajonos ar īsām, siltām ziemām un vidējās joslās, ja telpā paredzama īslaicīga cilvēku uzturēšanās vai arī darba vietas neatrodas ārējo konstrukciju tuvumā, pieļaujams uzstādīt sildķermeņus pie iekšējām sienām.

Jo zemāks un garāks sildķermenis, jo telpas gaisa temperatūra un tālād arī darba zonas apsilde ir vienmērīgāka. 5.9. attēlā g orientējoši parādītas komforta zonas robežas atkarībā no sildķermeņu izvietojuma. Sildķermeņus atkarībā no tipa novieto cieši vai zināmā attālumā no būvkonstrukcijām, kā arī speciālās nišās zem logiem. Daudzstāvu ēku kāpņu telpās sildķermeņus vēlams koncentrēt apakšējā daļā blakus ieejas durvīm.

Nav vēlams sildķermeņiem priekšā novietot mēbeles, kas pasliktina siltumatdevi un tīrīšanas iespējas.

Sildķermeņu aprēķina galarezultātā nosaka to skaitu un lielumu, vadoties no nepieciešamās sildķermeņu sildvirsmas, kurai

jākompensē telpas siltuma zudumi. Sildvirsmas laukums atkarīgs no izraudzītā sildķermeņa veida, to izvietošanas telpā un cauruļvadu pievienošanas shēmas. Tāpēc precīzu sildķermeņu sildvirsmas laukumu aprēķina tikai pēc cauruļvadu hidrauliskā aprēķina, kad ir zināms cauruļvadu sildvirsmas laukums telpā.

Nepieciešamo sildķermeņu siltumatdevi Q_{sk} , W, aprēķina pēc šādas formulas:

$$Q_{sk} = Q_T - Q_{cv}, \quad (5.1)$$

kur Q_T — telpas siltuma zudumi, W;

Q_{cv} — cauruļvadu siltumatdevi, W.

Aprēķināto radiatoru sekciju vai tipveida elementu (konvektoru sekciju, riboto cauruļu) skaitu noapaļo līdz veselam skaitlim, turklāt aprēķināto sildvirsmas laukumu noapaļojot nav vēlams samazināt vairāk par 5%. Šī iemesla dēļ faktiskais sildķermeņa sildvirsmas laukums parasti ir nedaudz lielāks par aprēķināto.

Bez aprēķinā ievērotiem faktoriem (ieviešot attiecīgus koeficientus) — sekciju skaita vienā radiatorā, ūdens atdzišanas pakāpes cauruļvados atkarībā no apkures sistēmas veida, sildķermeņa uzstādīšanas veida, siltumnesēja pievadīšanas shēmas un relatīvā patēriņa — sildķermeņiem ar gludu virsmu siltumatdevi ietekmē arī virsmas krāsa. Ir krāsas, kas paaugstina siltuma izstarošanas spēju, un arī tādas krāsas, kas to pazemina. Tā, piemēram, ar cinka balto krāsu nokrāsota čuguna radiatora siltumatdevi telpā palielinās par 2,2%, bet nitrolakā atšķaidīta alumīnija pulvera krāsa pazemina siltumatdevi par 8,5%. Krāsa praktiski neiespaido ribu sildcauruļu un konvektoru siltumatdevi.

Sildķermeņi jānovieto pēc iespējas tuvāk grīdai (minimālais attālums 60 mm). Ja attālums starp sildķermeni un grīdu ir pārāk liels, tad virs grīdas izveidojas vēss gaisa slānis, jo siltā gaisa plūsma praktiski izbeidzas sildķermeņa līmenī, nesasniedzot telpas apakšējo zonu.

Telpās, kurās griestu augstums lielāks par 6 m, $\frac{1}{3}$ sildķermeņu vēlams novietot telpas augšējā zonā. Ja šādā telpā uzstāda konvektorus, tad tos novieto tikai apakšējā zonā, jo konvektori rada spēcīgu vertikālu siltā gaisa plūsmu.

Kāpņu telpās sildķermeņus uzstāda apakšējā zonā netālu no ieejas durvīm. Daudzstāvu ēkās kāpņu telpu apsildei izmanto recirkulācijas gaisa sildītājus, kurus veido no kalorifieriem, radiatoriem vai apvālkā iebūvētām ribu sildcauruļēm.

Dažreiz sildķermeņus uzstāda nišās vai aizklāj ar dekoratīvām nosedzēm. Ja tas ir nepieciešams, nosedzes konstrukcija jāizveido tāda, lai siltuma starojuma samazināšanos kompensētu konvektīvās siltumatdeves palielināšanās. Tā, piemēram, vertikāls vairogš ar spraugām, kurš uzstādīts radiatora priekšā, samazina radiatora siltuma starojumu, bet vienlaikus palielina

konvektīvo gaisa plūsmu caur spraugām, un tā rezultātā radiatora siltumatdeve nemainās.

Sildkermeni jāizvieto tā, lai varētu veikt to apskati, tīrīšanu, remontu un lai tie netraucētu kustību un tehnoloģiskos procesus.

5.2.3. Sildkermenu siltumatdeves regulēšana

Sildkermenu sildvirsmas laukumu nosaka atbilstoši apkures aprēķina temperatūrai. Apkures sezonas laikā āra gaisa temperatūra svārstās ap šo aprēķina temperatūru (piemēram, Rīgai apkures aprēķina temperatūra ir -20°C). Tāpēc, ekspluatējot apkures sistēmu, paredz sildkermenu siltumatdeves regulēšanu.

Kvalitatīvo regulēšanu ūdens apkures sistēmās izdara, mainot siltumnesēja temperatūru atbilstoši āra gaisa temperatūras izmaiņām. Tvaika apkures sistēmas kvalitatīvi neregulē.

Kvantitatīvo regulēšanu veic, mainot caur sildkermeni plūstošā siltumnesēja daudzumu. Tvaika apkures sistēmā kvantitatīvo regulēšanu veic centralizēti, padodot tvaiku sistēmā periodiski, kā arī regulēšanu veic individuāli, mainot ar ventiļiem tvaika daudzumu, kas plūst caur sildkermeni.

Ūdens apkures sistēmu siltumatdevi regulē individuāli, mainot siltumnesēja caurplūdi caur sildkermeni ar dubultregulējamajiem pagriežņiem.

Sildkermenu siltumatdeves regulēšanu var samērā viegli automatizēt. Individuālai sildkermenu regulēšanai, ir izstrādāti dažādi automātiskie regulatori, kuri atkarībā no telpas temperatūras maina caur sildkermeni plūstošā ūdens daudzumu. Siltumatdeves individuālā automātiskā regulēšana ievērojami ekonomē apkures vajadzībām nepieciešamo siltuma enerģiju, kā arī uzlabo telpu siltuma režīmu.

5.3. ŪDENS APKURES SISTĒMAS

5.3.1. Ūdens apkures sistēmu darbības princips

Ūdens apkures sistēmas darbības princips uzskatāmi redzams, ja silda ar ūdeni piepildītu kolbu (5.10. att.). Ūdens sasilstot izplešas, un tā tilpums palielinās no līmeņa I—I līdz līmenim II—II. Sasilstušs ūdens daļiņas ceļas uz augšu kolbas kreisajā pusē, jo tās izspiež aukstās (smagākās) daļiņas, kuras pieplūst no labās puses. Tā rezultātā rodas ūdens dabiskā jeb gravitācijas cirkulācija. Ja kolbas gredzenveida daļā uzstādītu ūdens kustības ierosinātāju (piemēram, sūkni), tad cirkulācija pastiprinātos.

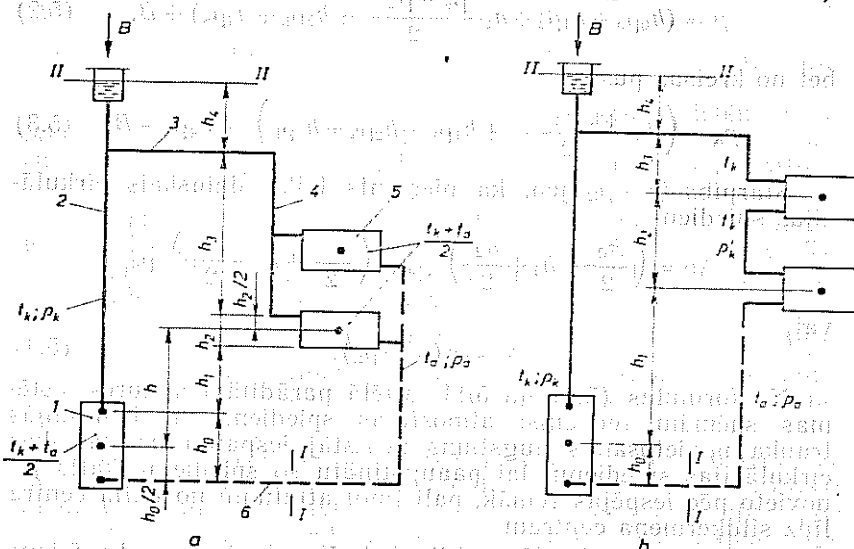
Sildot ūdeni, no tā izdalās skābeklis un ogļskābā gāze. Ja šīs gāzes neizdalītos atmosfērā caur kolbas vajējo galu, tad tās aizpildītu kolbas augšējo daļu un veidotu tā saucamo gaisa korki, kas traucētu ūdens cirkulāciju; ja kolba būtu no tērauda, tad veidotos dzelzs oksīds — rūsa, kas samazinātu šķērsriezuma laukumu un arī sienīņu biezumu, saīsinot iekārtas kalpošanas laiku.

Kolba ar ūdeni ir apkures sistēmas prototips, jo spirta lampa atbilst siltuma ģeneratoram;

kolbas gredzenveida daļa kā cirkulācijas nodrošinātāja atbilst cauruļ sistēmai, bet kā siltumatdevēja apkārtējai videi — sildkermeni;

kolbas augšējā daļa, kas kompensē ūdens izplešanos sasilstot un novada izdalītās gāzes atmosfērā, atbilst izplešanās traukam vai tvertnei.

5.11. attēlā parādītas dabiskās cirkulācijas ūdens apkures sistēmu shēmas. Ūdens siltuma ģeneratorā (piemēram, katlā)



5.11. att. Dabiskās cirkulācijas ūdens apkures sistēmu shēmas: a — divcauruļu; b — viencauruļu.

sasilst no temperatūras t_a līdz temperatūrai t_k , bet sildķermeni tas atdziest līdz temperatūrai t_a . Atdzisušais ūdens, kas atrodas ar svītrliniju parādītajās caurulēs, ir smagāks, un, slīdot uz leju, tas izspiež karsto (vieglāko) ūdeni no siltuma generatora (tāpat kā piemērā ar kolbu). Gravitācijas spēku iespaidā rodas dabiskā cirkulācija: ūdens izplūst no siltuma generatora 1 pa cauruļvadu 2, kuru sauc par galveno stāvvadu; pēc tam tas plūst pa cauruļvadu 3, kuru sauc par turpgaitas maģistrāli, un pa stāvvadiem 4 (caurules, pie kurām pievieno sildķermenus, sauc par stāvvadiem; tie var būt arī horizontāli) ieplūst sildķermenī 5 un izplūst no tā; tālāk pa cauruļvadu 6, kuru sauc par atpakaļgaitas maģistrāli, ūdens atgriežas katlā. Šādu ūdens plūsmas noietu ceļu apkures sistēmu aprēķinos sauc par cirkulācijas cilpu.

Pieņemsim, ka sistēmas cauruļvadi ir labi izolēti un ūdens, pārvietojoties no katla uz sildķermeni, neatdziest. Šādā gadījumā var uzskatīt, ka ūdens temperatūra un blīvums (tilpummasa) mainās tikai sistēmas divos punktos — katlā un sildķermenī, turklāt to ģeometriskos centros. Ar praktiskām vajadzībām pietiekošu precizitāti vidējo temperatūru katlā un sildķermenī pieņem vienādu ar aritmētisko vidējo vērtību no karstā un aukstā ūdens temperatūrām: $t_{vid} = (t_k + t_a)/2$ un attiecīgi blīvums $\rho_{vid} = (\rho_k + \rho_a)/2$ (5.11. att. a).

Spiediens caurules šķērsgriezumā I—I no labās puses ir

$$p_I = (h_0 \rho_a + h_1 \rho_a + h_2 \frac{\rho_k - \rho_a}{2} + h_3 \rho_k + h_4 \rho_k) + B, \quad (5.2)$$

bet no kreisās puses

$$p_K = \left(h_0 \frac{\rho_k - \rho_a}{2} + h_1 \rho_k + h_2 \rho_k + h_3 \rho_k \right) + h_4 \rho_k + B. \quad (5.3)$$

Starpība $p_I - p_K$ jeb, kā pieņemts teikt, dabiskais cirkulācijas spiediens

$$\Delta p = \left(\frac{h_0}{2} + h_1 + \frac{h_2}{2} \right) \rho_a - \left(\frac{h_0}{2} + h_1 + \frac{h_2}{2} \right) \rho_k$$

vai

$$\Delta p = h(\rho_a - \rho_k). \quad (5.4)$$

No formulas (5.4) un 5.11. attēlā parādītām apkures sistēmas shēmām redzams: atmosfēras spiediens un izplešanās trauka novietošanas augstums neatstāj iespaidu uz dabiskās cirkulācijas spiedienu; lai paaugstinātu šo spiedienu, katls jānovieto pēc iespējas zemāk, palielinot attālumu no katla centra līdz sildķermeņa centram.

Izrisinot formulu (5.4), bija izdarīts pieņēmums, ka ūdens sistēmā atdziest tikai sildķermenī. Istenībā tas atdziest arī

sistēmas cauruļvados. Kopējais dabiskā spiediena lielums cirkulācijas cilpā, ievērojot šo atdzišanu cauruļvados, ir

$$\Sigma \Delta p = h(\rho_a - \rho_k) + \Delta p_c, \quad (5.5)$$

kur Δp_c — papildu dabiskais spiediens, kas rodas, ūdenim atdziestot cauruļvados.

Sistēmās, kurās turpgaitas un atpakaļgaitas maģistrāles novietotas vienā līmenī, ūdens atdzišana turpgaitas stāvvados (karstajos) samazina dabisko spiedienu, bet tā atdzišana atpakaļgaitas stāvvados (vēsajos) paaugstina šo spiedienu. Tā kā spiediena paaugstināšanās ir apmēram vienāda ar tā pazemināšanos, tad sistēmās ar apakšējo sadali ūdens atdzišanu cauruļvados neņem vērā.

Acīmredzot dabiskais spiediens cirkulācijas cilpā caur otrā stāva sildķermenī ir

$$\Delta p_2 = \Delta p_1 + h_2(\rho_a - \rho_k), \quad (5.6)$$

kur Δp_1 — dabiskais spiediens cilpā caur pirmā stāva sildķermenī;

h_2 — attālums no pirmā stāva sildķermeņa centra līdz otrā stāva sildķermeņa centram.

Dabiskais spiediens cirkulācijas cilpā caur trešā stāva sildķermenī ir

$$\Delta p_3 = \Delta p_2 + h_3(\rho_a - \rho_k), \quad (5.7)$$

kur Δp_2 — dabiskais spiediens cilpā caur otrā stāva sildķermenī;

h_3 — attālums no otrā stāva sildķermeņa centra līdz trešā stāva sildķermeņa centram.

Šādas apkures sistēmas sauc par divcauruļu sistēmām, jo ikvienam šādas sistēmas sildķermenim pievienota viena caurule, pa kuru ieplūst karstais ūdens ar sākuma temperatūru, un otra caurule, kura novada siltumu atdevušo ūdeni.

Citāda aina ir shēmās, kurās katrā nākamajā sildķermenī ieplūst iepriekšējā sildķermenī daļēji atdzisušais ūdens. Tā, piemēram, 5.11. attēlā b parādītajā divstāvu ēkas apkures sistēmā dabiskās cirkulācijas spiediens ir

$$\Delta p'_2 = h_1(\rho_a - \rho_k) + h_2(\rho'_k - \rho_k). \quad (5.8)$$

Šādas sistēmas sauc par viencauruļu sistēmām, jo aprēķina cirkulācijas cilpai caurplūstošais ūdens daudzums nemainās.

Salīdzinot formulas (5.4) — (5.8), var izdarīt slēdzienu, ka dabiskais spiediens cirkulācijas cilpā caur otrā stāva sildķermenī viencauruļu sistēmās ir mazāks nekā divcauruļu sistēmās un ievērojami lielāks nekā spiediens cirkulācijas cilpā caur divcauruļu sistēmas pirmā stāva sildķermenī. Divstāvu ēku sistēmām $\Delta p_2 > \Delta p'_2 > \Delta p_1$.

Lai noteiktu blīvumu ρ'_k (5.11. att. b), aprēķina temperatūru t'_k pēc formulas

$$t'_k = t_k - \frac{Q_{sk2}}{Q_{sk1} + Q_{sk2}} (t_k - t_a), \quad (5.9)$$

bet daudzstāvu ēkas viencaurules apkures sistēmās ūdens temperatūru jebkurā stāvvada punktā x var aprēķināt pēc formulas

$$t_x = t_k - \frac{Q_{sk1} + Q_{sk2} + \dots + Q_{skn}}{Q_{sk}} (t_k - t_a), \quad (5.10)$$

kur $Q_{sk1} + Q_{sk2} + \dots + Q_{skn}$ — sildķermeņu, kas pievienoti virs punkta x , siltumslodze, W;

Q_{sk} — visu sildķermeņu, kas pievienoti dotajam stāvvadam, siltumslodze, W;

t_k — stāvvadā ieplūstošā karstā ūdens temperatūra, °C;

t_a — no stāvvada izplūstošā atdzisušā ūdens temperatūra, °C.

Iemontējot atpakaļgaitas maģistrālē sūkni, nodrošina piespiedu cirkulāciju, kuras intensitāte praktiski nav atkarīga no sildķermeņu izvietošanas un ūdens temperatūru starpības.

5.3.2. Ūdens apkures sistēmu klasifikācija un shēmas

Iepazīstoties ar ūdens apkures sistēmu darbības principu, redzējām, ka ūdens apkures sistēmas var būt, pirmkārt, ar dabisko vai piespiedu cirkulāciju, otrkārt, viencaurules un divcauruļu, treškārt, tika pieminēts, ka ir sistēmas ar augšējo un ar apakšējo sadali. Šis iedalījums jāpapildina, jo vēl var būt, ceturtkārt, vertikālās un horizontālās sistēmas, piektkārt, strupceļa un līdzgaitas sistēmas un, sestkārt, sistēmas ar parasto un pretējo ūdens cirkulācijas virzienu (5.3. tabula).

Pirms apskatīsim konstruktīvās atšķirības starp uzskaitītajām apkures sistēmām, jāatzīmē, ka sistēmas var būt atklātas, kas atrodas zem atmosfēras spiediena, piemēram, caur izplešanās tvertnes ūdens virsmu, un slēgtās, kurās siltumnesējs (ūdens, tvaiks) var būt zem spiediena. Palielinot spiedienu, paaugstinās ūdens vārišanās punkta temperatūra. Tas dod iespēju lietot daudz augstākas temperatūras, neveidojoties tvaikam. Sistēmu iedalījums kategorijās pēc ūdens temperatūras var būt dažāds (reģionāls). Vispār ūdens apkures sistēmas var iedalīt šādi: zemas temperatūras sistēmas, kas darbojas temperatūrā līdz 100 °C un spiedienā 101,3 kPa (normālā atmosfēras spiedienā); vidējas temperatūras sistēmas, kas darbojas temperatūrā no 100 °C līdz 120 °C un spiedienā 200 kPa; augstas temperatūras sistēmas, kas darbojas temperatūrā virs 120 °C, atsevišķos gadījumos spiedienā līdz 790 kPa un 170 °C temperatūrā.

5.3. tabula

Ūdens apkures sistēmu klasifikācija

Klasifikācijas pazīmes	Sistēmas galvenās pazīmes	Sistēmas nosaukums
Ūdens cirkulācijas ierose	Gravitācijas spiediena ietekmē	Dabiskās cirkulācijas
	Sūkņa vai elevatora ietekmē	Piespiedu cirkulācijas
Cauruļvadu un sildķermeņu savienojuma shēma	Sildķermeņi savienoti virknē	Viencaurules
	Sildķermeņi savienoti paralēli	Divcauruļu
Sildķermeņus savienozojošo cauruļvadu stāvoklis	Vertikāls stāvoklis	Vertikālā
	Horizontāls stāvoklis	Horizontālā
Maģistrālo cauruļvadu izvietošanas vietas	Turpgaitas maģistrāle novietota augstāk, bet atpakaļgaitas maģistrāle — zemāk nekā sildķermeņi	Ar augšējo sadali
	Turpgaitas un atpakaļgaitas maģistrāles atrodas zemāk nekā sildķermeņi	Ar apakšējo sadali
	Turpgaitas maģistrāle novietota zemāk, bet atpakaļgaitas maģistrāle — augstāk nekā sildķermeņi	Pretējās cirkulācijas
Cirkulējošā ūdens virziens turpgaitas un atpakaļgaitas maģistrālēs	Turpgaitas un atpakaļgaitas vados ir pretplūsma	Strupceļa
	Turpgaitas un atpakaļgaitas maģistrālēs ir līdzplūsma	Līdzgaitas
	Sildķermeņa divās daļās ir pretplūsma	Bifilārā (divplūsmu)

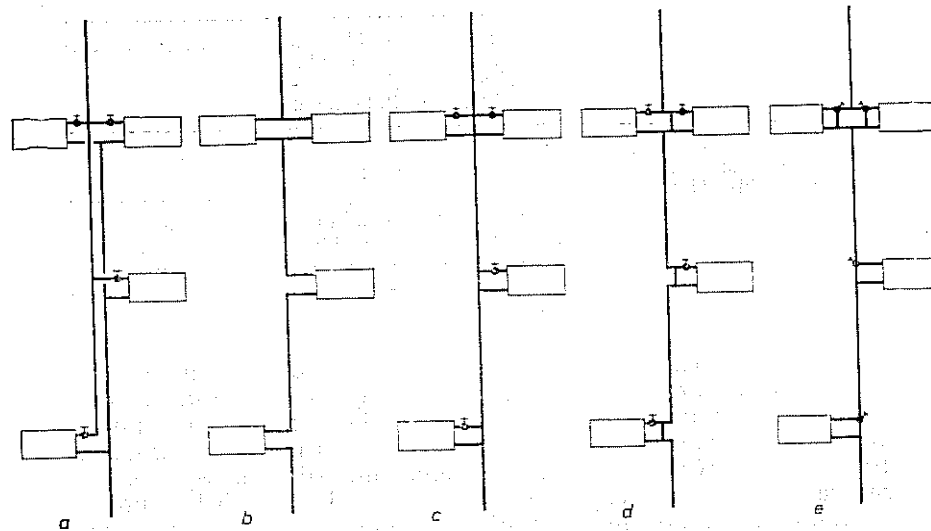
Ūdens temperatūra ir cieši saistīta ar sildķermeņu virsmas temperatūru, kura visbiežāk ir reglamentējošais faktors. Dzīvojamajās telpās parasti lieto zemas un vidējas temperatūras ūdens apkures sistēmas ar ūdens temperatūras kritumu sildķermeņos 10...35 °C. Divcauruļu sistēmās ieteicamā siltumnesēja temperatūra ir 95 °C, viencaurules sistēmās — 105 °C (5.4. tabula).

Cauruļvadu sistēma var būt izveidota pēc divcauruļu vai viencaurules shēmas ar augšējo vai apakšējo sadali, t. i.,

5.4. tabula

Rekomendējamie siltumnesēja parametri

Celtnes tips	Siltumnesēja temperatūra, °C	
	turpgaitas maģistrālē	atpakaļgaitas maģistrālē
Bērnudārzi, mazbērnu novietnes, slimnīcas, dzemdību nami un citas ārstniecības iestādes	85	65
Dzīvojamās, administratīvās un mācību iestāžu ēkas, rūpniecības uzņēmumu telpas un palīgtelpas, poliklīnikas, sanatorijas, aptiekas, muzeji, arhīvi, bibliotēkas	95; 105	70
Sabiedriskās ēkas (teātri, kinoteātri, izstāžu zāles, koncertzāles utt.), sporta zāles, slēgtie stadioni	115	70
Ražošanas telpas, kurās tehnoloģiskais process saistīts ar ugunsdrošu, nesprāgstozu, organisku vai indīgu vielu iztvaicēšanu	Līdz 130	70
Peldbaseini, kāpņu telpas, tirdzniecības telpas, komunālie un sabiedriskie uzņēmumi, sabiedriskās ēdināšanas uzņēmumi, stacijas, lidostas, rūpniecības uzņēmumi ar siltuma un mitruma izdalījumiem, ar nesprāgstozu un nedegošu putekļu, nedegošu vai degšanu neuzturošu gāzu un putekļu izdalījumiem	Līdz 150	70



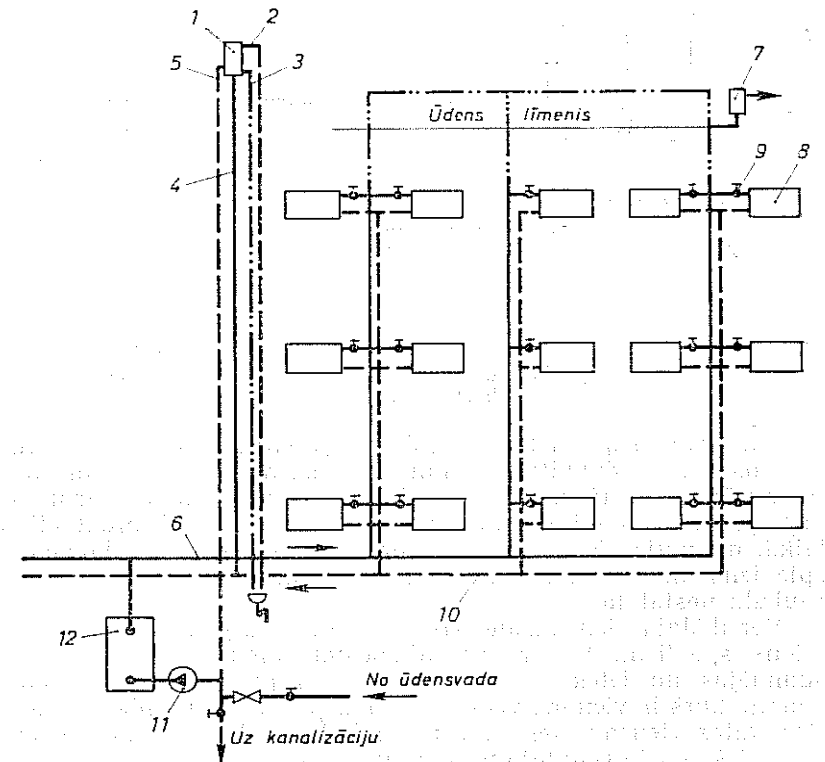
5.12. att. Sildķermeņu pievienošana stāvvadam.

atkarībā no sadalošās turpgaitas maģistrāles izvietojuma. Iespējamie varianti parādīti attiecīgos zīmējumos.

Divcauruļu sistēmā sildķermeņus pievieno stāvvadam tā, kā parādīts 5.12. attēlā a, bet viencaurules sistēmā —, kā parādīts 5.12. attēlā b—e.

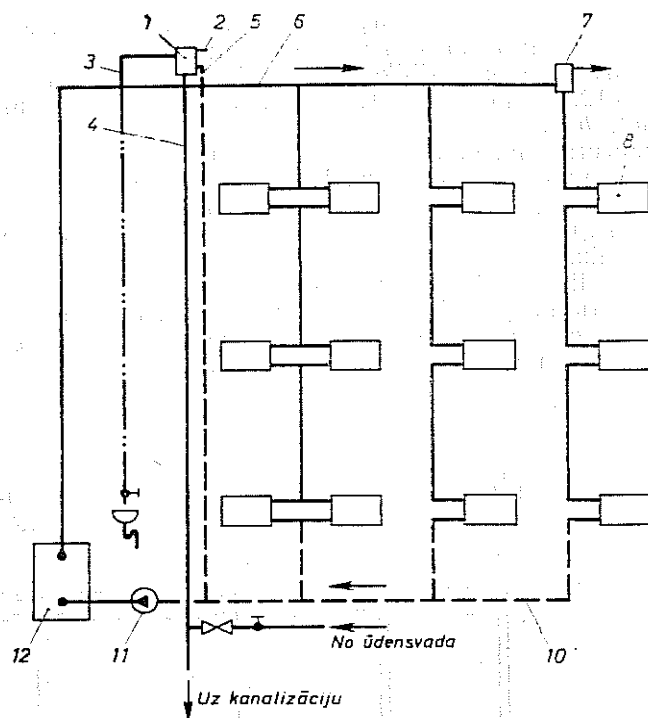
Divcauruļu sistēmas visos sildķermeņos ieplūst karstais ūdens ar sākuma temperatūru, bet viencaurules sistēmā ūdens temperatūra augšējos stāvos ir augstāka nekā apakšējos stāvos.

Divcauruļu sistēma ar apakšējo sadali (5.13. att.) ir hidrauliski stabilāka, toties sarežģītāka ir tās atgaisošana. Neatkarīgi no shēmas divcauruļu sistēmā rodas papildu dabiskais ūdens spiediens cirkulācijas cilpās caur sildķermeņiem, kuri uzstādīti dažādos stāvos. Šī iemesla dēļ augšējo stāvu sildķermeņos cirkulē vairāk siltumnesēja kā nepieciešams.



5.13. att. Divcauruļu ūdens apkures sistēma ar piespiedu cirkulāciju un apakšējo sadali:

1 — izplešanās tvertne; 2, 3, 4, 5 — izplešanās tvertnes pārplūdes, signāla, savienošā un cirkulācijas caurule; 6 — turpgaitas maģistrāle; 7 — gaisa savācējs; 8 — sildķermenis; 9 — krāns; 10 — atpakaļgaitas maģistrāle; 11 — sūkns; 12 — katls.

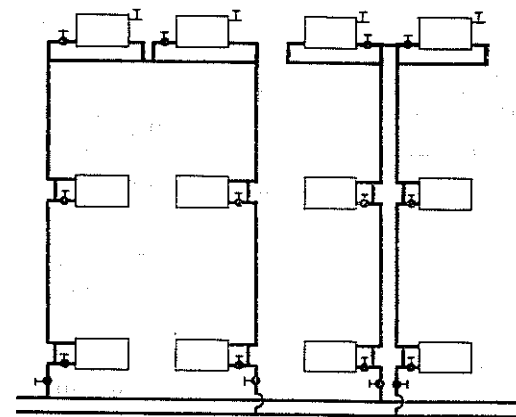


5.14. att. Neregulējama vertikāla viencaurules ūdens apkures sistēma ar augšējo sadali un piespiedu cirkulāciju (sk. eksplikāciju 5.13. att.).

Lai divcauruļu sistēmā sildķermeņi siltu vienmērīgi, slēgposmos paredz dubultiestādāmus krānus, ar kuriem regulē siltumnesēja caurplūdi. Apkures sistēmu regulēšana ir darbietilpīgs process un pilnībā neatrisina problēmu, jo eksploatacijas laikā, mainoties ūdens temperatūrai, mainās papildu dabiskais spiediens un caurplūstošā ūdens daudzums — sistēma ir hidrauliski nestabila.

Vertikālajā viencaurules sistēmā (5.14. att.) papildu dabiskie ūdens spiedieni, kas rodas, atdziestot ūdenim sildķermeņos, summējas un ietekmē stāvvadam cauri plūstošā ūdens daudzumu, kurš ir vienāds visos stāvvada posmos un sildķermeņos. Vertikālās viencaurules sistēmas ir hidrauliski stabilas, un nav nepieciešama to regulēšana montāžas laikā.

Bez tam viencaurules sistēmām ir šādas priekšrocības: mazāks cauruļu patēriņš, iespēja pilnīgāk unificēt atsevišķus mezglus un detaļas, mehanizēt to izgatavošanu un industrializēt sistēmu montāžu.



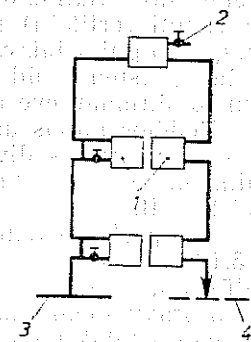
5.15. att. Vertikāla viencaurules ūdens apkures sistēma ar apakšējo sadali.

Vertikālās viencaurules sistēmas ar augšējo sadali (5.14 att.) lieto daudzstāvu ēkās, kurās ir 4—9 vai vairāk stāvu.

Neregulējamas viencaurules caurplūdes sistēmas (sk. 5.12. att. b) lieto ēkās, kuru atsevišķās telpās nav nepieciešama individuāla temperatūras regulēšana.

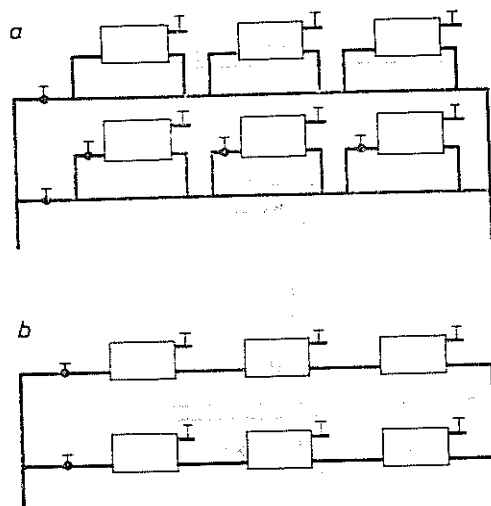
Ja temperatūra jāregulē individuāli, tad katram sildķermeņim pierīko krānu. Var lietot caurplūdes (sk. 5.12. att. c, d) vai trīsceļu (sk. 5.12. att. e) krānus. Slēgposmus, pa kuriem karstais ūdens regulējamā viencaurules sistēmā virzās garām sildķermeņiem, novieto centrāli (sk. 5.12. att. c) vai nobīdītus no centra (sk. 5.12. att. d). Stāvvadi ar centrāli novietotiem slēgposmiem ir vieglāk samontējami. Attiecība starp ūdens daudzumu, kas izplūst caur sildķermeņi, un ūdens daudzumu, kurš plūst pa stāvvadu, ir lielāka, ja slēgposms nobīdīts no centra; tātad nobīdīti slēgposmi ļauj nedaudz samazināt sildķermeņu gabarītus.

Vertikālās viencaurules sistēmas ar apakšējo sadali sāka plaši lietot sakarā ar masveida bezbēniņu ēku celtniecību. Lai samazinātu cauruļu pārtēriņu, stāvvadus apakšējās sadales sistēmās ierīko, kā parādīts 5.15. attēlā, t. i., sāk ar apakšējo sadali un beidz ar augšējo sadali. Šajās sistēmās gan turpgaitas, gan arī atpakaļgaitas maģistrāles novieto pagrābā



5.16. att. Vertikāla viencaurules divplūsmu ūdens apkures sistēma ar apakšējo sadali:

1 — sildķermeņi; 2 — atgaisošanas krāns; 3 — turpgaitas maģistrāle; 4 — atpakaļgaitas maģistrāle.

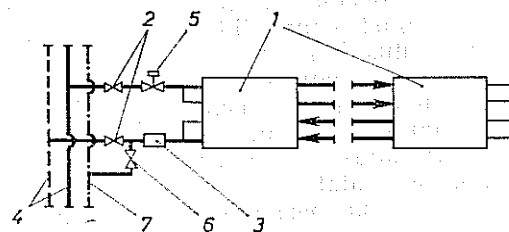


5.17. att. Horizontālas viencaurules sistēmas shēma:
a — ar slāģposmiem un caurplūdes krāniem;
b — neregulējama sistēma.

duāli, lieto horizontālās sistēmas, kurās stāvvadi novietoti horizontāli (5.17. att.). Horizontālās sistēmas izmanto arī tad, ja augšējo stāvu izbūve vēl nav pabeigta, bet jāapsilda ēkas apakšējie stāvi. Salīdzinājumā ar vertikālajām sistēmām (stāvvadi novietoti vertikāli) horizontālajām sistēmām ir sarežģītāka apkalpe, jo gaiss jāizvada no katra sildķermeņa. Bez tam horizontālajās sistēmās ūdens caur sildķermeņiem plūst nevienmērīgāk un to siltumatdeve ir mazāka.

Pēdējos gados daudzstāvu ēku apkurei sāk lietot horizontālās viencaurules divplūsmu sistēmas (5.18. att.).

Strupceļa sistēmā (5.19. att. a) ūdens plūsmai, kas virzās caur stāvvadiem, kuri novietoti tālāk no siltuma ģeneratora, jānoiet garāks ceļš un tālāk jāpārvar lielāka cauruļu hidrauliskā pretestība nekā ūdens plūsmai, kas virzās caur stāvvadiem, kuri



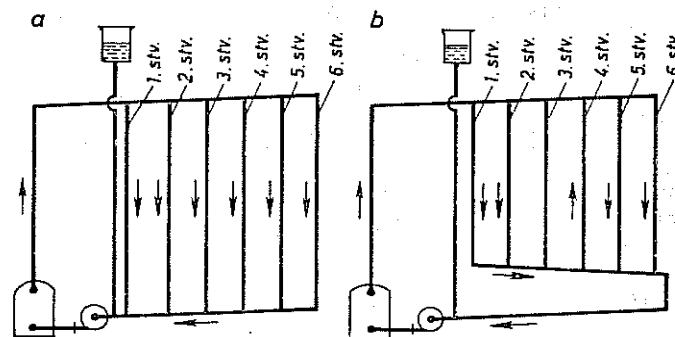
5.18. att. Horizontālas viencaurules divplūsmu ūdens apkures sistēmas nozarojums ar siltumatdeves regulēšanu pa stāviem:

1 — sildķermenis; 2 — noslēgšanas krāns; 3 — termo-regulators; 4 — divcauruļu stāvvads; 5 — regulēšanas krāns; 6 — sistēmas iztukšošanas krāns; 7 — drenāžas cauruļvads.

(5.15. att.). Gaisu no sistēmas ar apakšējo sadali izvada caur augšējā stāva sildķermeņiem. Tas apgrūtina sistēmas apkalpošanu un ir būtisks trūkums.

Šāda veida stāvvadus dažreiz ierīko pēc divplūsmu (bifilārās) sistēmas (5.16. att.), kurā katrs telpas sildķermenis sadalīts divās daļās: kreisajā pusē cirkulē turpgaitas ūdens, labajā pusē — atpakaļgaitas ūdens. Tad visos sildķermeņos ieplūstošā siltumnesēja vidējā temperatūra ir vienāda.

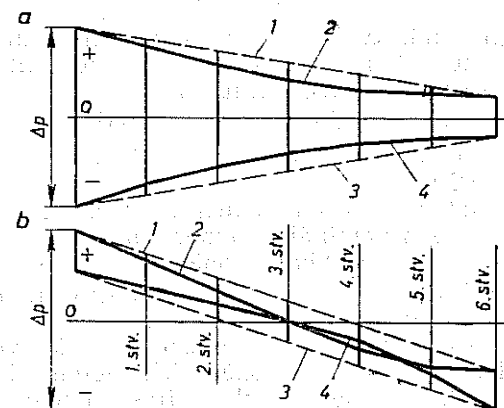
Atsevišķos gadījumos, kad nepieciešams temperatūru atsevišķos stāvos regulēt indivi-



5.19. att. Piespiedu cirkulācijas ūdens apkures sistēmas shēmas:
a — strupceļa; b — līdzgaitas.

atrodas tuvāk siltuma ģeneratoram. Lai izlīdzinātu ūdens caurplūdi, tālāk novietoto stāvvadu diametriem jābūt lielākiem.

Līdzgaitas sistēmā (5.19. att. b) ūdens plūsmas noietais ceļš līdz visiem stāvvadiem ir vienāds un cauruļu diametrus var pieņemt vienāds. Tas samazina metāla patēriņu un atvieglo sistēmas regulēšanu.



5.20. att. Apkures sistēmas piezometriskais grafiks:

a — strupceļa sistēmā; b — līdzgaitas sistēmā; 1 — teorētiskais spiediens turpgaitas maģistrālē; 2 — faktiskais spiediens turpgaitas maģistrālē; 3 — teorētiskais spiediens atpakaļgaitas maģistrālē; 4 — faktiskais spiediens atpakaļgaitas maģistrālē; Δp — cirkulācijas sūkņa spiedienu starpība.

Līdzgaitas sistēmām piemīt būtisks trūkums: iespējama pretēja virziena ūdens cirkulācija atsevišķos stāvvados. Lai izskaidrotu šo parādību, 5.20. attēlā parādīti spiediena jeb pjezometriskie grafiki strupceļa un līdzgaitas sistēmām. Ūdens pa stāvvadiem no turpgaitas maģistrāles uz atpakaļgaitas maģistrāli virzās spiedienu starpības dēļ šajās maģistrālēs stāvvadu pievienojuma vietās. Ideālā gadījumā katram maģistrāles posmam varētu izvēlēties noteiktu diametru ar tādu aprēķinu, lai spiediena zudums berzes dēļ (Pa uz 1 m) būtu vienāds visā maģistrāles garumā; spiediena grafiks šādai sistēmai būtu taisne (svītrlinija 5.20. attēlā a). Praktiski to realizēt nav iespējams, jo cauruļu diametri ir standartizēti. Tādēļ spiediena grafiks turpgaitas maģistrālei ir uz leju izliekta, bet atpakaļgaitas maģistrālei — uz augšu izliekta lauza līnija. Šāda faktiskā spiediena izmaiņa strupceļa sistēmas darbību netraucē. Līdzgaitas sistēmā turpgaitas un atpakaļgaitas maģistrāļu spiedienu grafiki var krustoties; tas nozīmē, ka atsevišķos stāvvados cirkulācijas vispār nebūs (3. stāvvadā) vai tā būs vērsta pretējā virzienā — ūdens plūdis no atpakaļgaitas maģistrāles turpgaitas maģistrālē (4. stāvvadā), kā tas parādīts 5.19. attēlā b.

Līdzgaitas sistēmu vēlams lietot tikai tad, ja strupceļa sistēmu no standartizētām caurulēm nevar izveidot.

5.3.3. Valējās un slēgtās izplešanās tvertnes

Parasti izplešanās tvertne ir apaļš vai taisnstūrains metāla trauks (5.21. att.), kura nepieciešamo derīgo tilpumu V , l, (16. pielikums) aprēķina pēc formulas

$$V = 0,0006(95 - 20) V_{\text{sis}} = 0,045 V_{\text{sis}}, \quad (5.11)$$

kur 0,0006 — vidējais ūdens termiskās izplešanās koeficients, $1/K$;

95 — ūdens maksimālā temperatūra, $^{\circ}C$;

20 — ūdens nominālā temperatūra, $^{\circ}C$;

V_{sis} — apkures sistēmas kopējais tilpums, l.

Apkures sistēmas atsevišķu elementu aptuveni tilpumi (litrs uz 1 kW sistēmas jaudas) ir šādi: radiatoriem — 9, ribotām sildcaurulēm — 6, betona sildpaneļiem — 2, konvektoriem — 0,5, apkures katliem — 3, dabiskās cirkulācijas sistēmas cauruļvadiem — 14, piespiedu cirkulācijas sistēmas cauruļvadiem — 7 l/kW.

Ēkās ar iebūvētu katlu māju pārplūdes un signalizācijas vadi jāpievieno izlietnei, kas atrodas katlu mājā, lai kurinātājs varētu kontrolēt ūdens daudzumu apkures sistēmā un pēc vajadzības to papildināt.

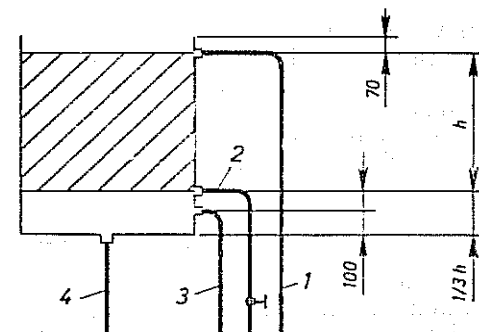
Centralizētas siltumapgādes sistēmās, kad viena katlu māja apkalpo vairākas ēkas, izplešanās tvertni uzstāda visaugstākajā ēkā, bet pārplūdes

vadu pievieno pie kanalizācijas. Signalizācijas vada vietā uzstāda elektrisko līmeņrādi, kas nepieciešamības gadījumā noraida skaņas vai gaismas signālu uz katlu māju.

Izplešanās tvertnei dabiskās cirkulācijas sistēmās ar augšējo sadali pievieno pie galvenā stāvvada, sistēmās ar apakšējo sadali — pie jebkura turpgaitas maģistrāles punkta tā, lai cauruļvadu posmā starp tvertni un apkures katlu nebūtu noslēdzošās armatūras. Apakšējās sadales piespiedu cirkulācijas sistēmās izplešanās tvertni pievieno pie atpakaļgaitas maģistrāles tieši pirms cirkulācijas sūkņa.

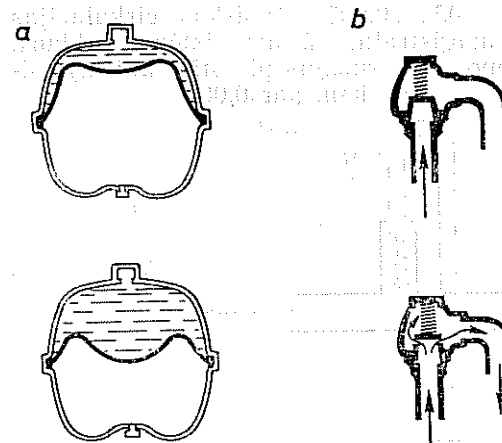
Izplešanās tvertni novieto bēniņos vai kāpņu telpā. Lai tā neaizsaltu, to izolē un ar cirkulācijas vada starpniecību pievieno pie atpakaļgaitas maģistrāles ne tuvāk par 2 m no izplešanās vada pievienojuma vietas.

Modernajās dzīvojamās ēkās bez bēniņiem grūti atrast vietu izplešanās tvertnei. Tādēļ lieto ar inertu gāzi pildītas hermētiskas izplešanās tvertnes (5.22. att. a). Odenim sasilstot, spiediens hermētiski slēgtajā apkures sistēmā palielinās un gumijas membrāna saspiež gāzi. Ja spiediens pārsniedz maksimālo vērtību, liekais ūdens izplūst caur drošības vārstu (5.22. att. b), ja turpretī spiediens kļūst zemāks par minimālo vērtību, sistēmā ieplūst ūdens no ūdensvada. Hermētisko izplešanās tvertni var



5.21. att. Izplešanās tvertne:

1 — pārplūdes vads; 2 — signalizācijas vads; 3 — cirkulācijas vads; 4 — pievienojums pie apkures sistēmas (izplešanās vads). Iesvītrotais laukums — tvertnes derīgais tilpums.



5.22. att. Hermētiska izplešanās tvertne (a) un drošības vārsts (b).

pievienot jebkuram sistēmas punktam. Parasti to pievieno atpakaļgaitas maģistrālei katlu telpas robežās.

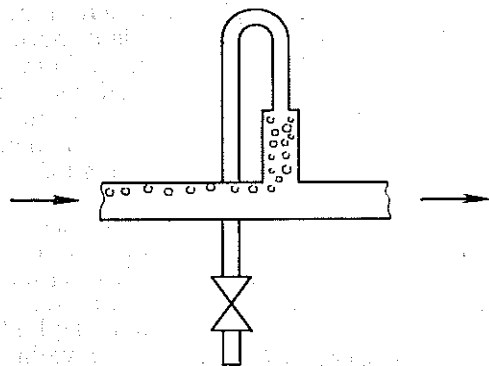
Ja apkures sistēmas jauda ir lielāka par 5 GW, tad izplešanās tvertnes neierīko, bet katlu mājā uzstāda sūkni cirkulācijā, jo šā ūdens daudzuma automātiskai papildināšanai atkarībā no tā spiediena sistēmā.

5.3.4. Apkures sistēmu atgaisošana

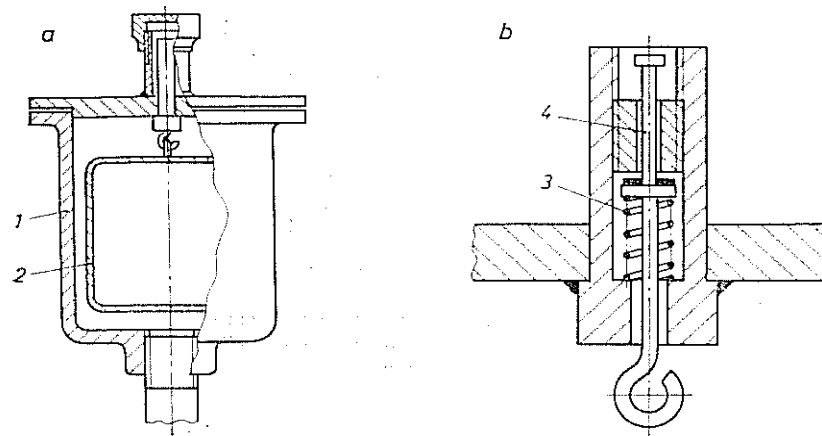
Ūdens satur nelielu daudzumu gaisa un citu gāzu. Gaisa daudzums ir atkarīgs no ūdens temperatūras un spiediena. 1 kg ūdensvada ūdens $+5^{\circ}\text{C}$ temperatūrā satur apmēram 30 mg gaisa, bet $+95^{\circ}\text{C}$ temperatūrā — tikai 3 mg. Ūdenī esošais gaiss sekmē pastiprinātu cauruļvadu koroziju un traucē ūdens cirkulāciju cauruļvados. Lai atgaisotu centrālāpkures sistēmu, jāievēro vairāki noteikumi: cauruļvadi jāmontē ar kritumu, augstākajos cauruļvadu punktos jāuzstāda gaisa savācēji, sistēmās ar apakšējo sadali augstāko stāvu sildķermeņi jāaprīko ar atgaisošanas krāniem vai jāierīko atgaisošanas līnija.

Ūdens apkures sistēmās horizontālos cauruļvadus montē ar kritumu, kas nodrošina sistēmas atgaisošanu, kā arī cauruļvadu iztukšošanu paštecē veidā. Sistēmās ar augšējo sadali maģistrāles ierīko ar kritumu, kas vērsts pretēji ūdens plūsmai. Sistēmās ar apakšējo sadali turpgaitas un atpakaļgaitas maģistrāles vienmēr ierīko ar kritumu siltuma mezgla virzienā.

Ieteicamais maģistrāļu kritums ūdens apkures sistēmām ar piespiedu cirkulāciju ir 0,002...0,005. Dabiskās cirkulācijas ūdens apkures sistēmās maģistrāļu, kā arī sistēmu jebkuru slēgposmu (ar tiem pievieno sildķermeņus pie stāvvadiem) minimālajam kritumam jābūt ne mazākam par 0,005.



5.23. att. Gaīsa savācējs.



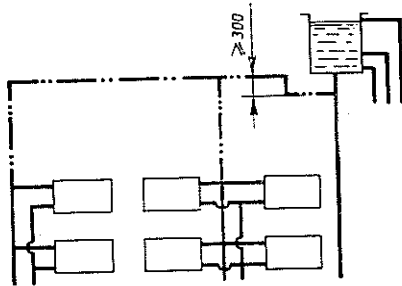
5.24. att. Gaīsa aizvadītājs:

a — kopskats; b — atspervārsts; 1 — korpuss; 2 — plūdiņš; 3 — atspere; 4 — sprauga gaīsa izvadišanai.

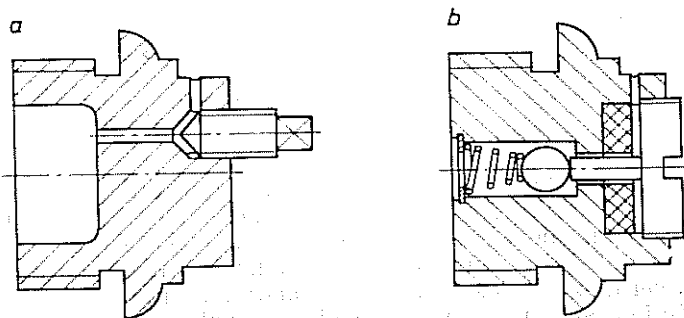
Dabiskās cirkulācijas sistēmās gaīsa burbulīši var virzīties ūdens kustībai pretējā virzienā, jo ūdens kustības ātrums ir neliels (nepārsniedz $0,2\text{ m/s}$). Piespiedu cirkulācijas sistēmās gaīsa burbulīši var virzīties tikai ūdens kustības virzienā; tas jāņem vērā, izvēloties cauruļvadu krituma virzienu. Piespiedu cirkulācijas sistēmās, arī augšējās sadales gadījumā gaīsu caur izplešanās trauku izvadīt nevar, tādēļ katras turpgaitas maģistrāles galā jāuzstāda gaīsa savācējs (5.23. att.). No savācēja gaīsu periodiski izlaiž, atverot krānu, vai automātiski caur speciālu gaīsa aizvadītāju, kas izlaiž atmosfērā gaīsu, bet neļauj izplūst ūdenim. Parastās konstrukcijas gaīsa aizvadītājs (5.24. att.) normāli darbojas, ja ūdens spiediens nav mazāks par 3 kPa, tādēļ gaīsa aizvadītājam jāatrodas vismaz $0,3\text{ m}$ zemāk par izplešanās trauka dibenu.

Sistēmās ar apakšējo sadali gaīsa izvadišanai gar augstāva griestiem novieto cauruli (diametrs 15 mm), kurai pievieno stāvvadus (5.25. att.). Šo sistēmas atgaisošanas cauruli ievada galvenajā stāvvadā. Lai pa atgaisošanas cauruli nerastos neparedzēta ūdens cirkulācija, pirms tās ievadīšanas stāvvadā veido cilpu.

Atgaisošanas caurule bojā telpu interjēru, un dažkārt to konstruktīvi nav iespējams ierīkot. Tādēļ bieži gaīsu no augstāva katra sildķermeņa izvada caur atgaisošanas aizgriezni. 5.26. attēlā a parādīta biežāk lietotamā atgaisošanas aizgriežņa konstrukcija. To ieskrūvē radiatora baterijas augšējā aizgriežņa vietā un atver ar speciālu atslēgu (lai to nevarētu



5.25. att. Sistēmas atgaisošanas caurules pievienošana galvenajam stāvvadam.



5.26. att. Sildķermeņu atgaisošanas aizgriežņi:
a — parastās konstrukcijas; b — automātiskais.

atvērt nejauši). Šādu atgaisotāju apkalpošana ir ļoti neērtā, jo kopā ar gaisu vienmēr iztek arī daļa ūdens.

Ērtāk ir uzstādīt automātiskus atgaisošanas aizgriežņus (5.26. att. b). Tajos ievietots speciāls, ūdenī ātri briestošs kartons; ja pie korķa sakrājies gaiss, tad kartons izžūst un izlaiž gaisu caur spraugu, bet jau pirmais ūdens piliens kartonu samitrina, tas sabriest un sprauga aizveras.

5.3.5. Ūdens apkures sistēmu cauruļvadi un armatūra

Apkures sistēmās lieto necinkotas tērauda caurules. Tās savieno ar vitnēm un čuguna veidgabaliem, ja cauruļu diametrs ir mazāks par 50 mm, un ar atlokiem vai sametinot, ja to diametrs lielāks par 50 mm.

Sildķermeņu montāžas un ekspluatācijas regulēšanai ūdens apkures divcauruļu sistēmās jāparedz paaugstinātas pretesti-

bas krāni, viencaurules sistēmās — mazas pretestības krāni. Konvektoriem, kas aprīkoti ar gaisa vārstiem, regulēšanas armatūru neparedz.

Daudzstāvu ēkās stāvvadu atslēgšanai paredz caurplūdes krānus vai ventiļus, kurus uzstāda 120 mm attālumā no turpgaitas un atpakaļgaitas maģistrālēm. Cauruļvados, kuru diametrs ir lielāks par 50 mm, ventiļu vietā uzstāda aizbīdņus.

Apkures sistēmas cauruļvadus vispārīgas nozīmes telpās montē atklāti.

Stāvvadus ar diametru līdz 32 mm montē 35 mm no sienas, bet stāvvadus ar lielāku diametru — 50 mm no sienas. Slēpto montāžu, iemūrējot stāvvadus sienā vai izvietojot tos vertikālos kanālos, lieto, ja par sildķermeņiem izmanto betona sildpaneļus, kā arī interjera un tehnoloģisku vai sanitāri higiēnisku apsvērumu dēļ.

Izvēloties stāvvadu izvietojumu ēkas plānā, jācenšas novietot tos visos ēkas ārējos stūros, kur uz sienas iekšējās virsmas parasti novērojama viszemākā temperatūra. Kāpņu telpām paredz atsevišķus stāvvadus, kuriem citu telpu sildķermeņus nepievieno.

Daudzstāvu tipveida ēkās stāvvadi ar sildķermeņiem un savienojošiem cauruļvadiem (sildķermeņu mezgļiem) atkārtotas daudzas reizes. Lai industrializētu apkures sistēmu montāžu, maksimāli unificē apkures sistēmu elementus. Tā neatkarīgi no logu un sienas platuma izmanto noteikta garuma horizontālos slēgposmus, kuru garums ir 360, 400 mm u. c. Pie sienām cauruļvadus stiprina ar āķiem vai kronšteiniem. Vietās, kur cauruļvadi šķērso norobežojošās konstrukcijas, tos ietver metāla čaulās.

Turpgaitas un atpakaļgaitas maģistrāles dzīvojamās un sabiedriskās ēkās izvieto pagrabā, bēniņos un, ja tādu nav, — speciālos kanālos zem pirmā stāva grīdas.

Maģistrāles, kas novietotas neapkurināmās telpās, bēniņos, pagrabā vai grīdas kanālos, jāizolē. Izolācijas slāņa biezums parasti ir 40...60 mm.

Mainoties siltumnesēja temperatūrai, mainās apkures sistēmas cauruļvadu garums. Tā, piemēram, plūstot karstam siltumnesējam pa aukstiem vadiem, katrs caurules metrs pagarinās par 1...1,75 mm. Lai kompensētu cauruļvadu garuma izmaiņas, paredz vairākus konstruktīvus pasākumus: cauruļvadus stiprina tā, lai tie varētu brīvi pārvietoties, mainoties siltumnesēja temperatūrai; sildķermeņa posmos paredz speciālus izliekumus; stāvvadus maģistrālēm pievieno ar liektiem posmiem. Daudzstāvu ēkās ar to ir par maz un tāpēc jāierīko speciāli kompensatori.

Pēdējā laikā dzīvokļu apkures sistēmām tērauda cauruļu vietā lieto arī plastmasu caurules. Vācijā 20% jaunbūvēto apkures sistēmu ir ar polietilēna caurulēm.

Plastmasu cauruļu galvenās priekšrocības: korozijizturība, viegli lokāmas karstā un aukstā veidā, neliela masa, lētākas, vienkāršāka montāža.

Ja ūdens temperatūra sistēmā nepārsniedz 70°C, var izmantot parastās polietilēna caurules. Augstākai ūdens temperatūrai lieto speciāli apstrādātas caurules. Individuālo dzīvojamo māju apkures sistēmās izmanto tā sauktās staru sistēmas, kurās katru radiatoru ar plastmasas caurulēm pievieno siltuma ģeneratoram caur kolektoru. Cauruļu diametrs ir 10...15 mm. Ūdens cirkulāciju nodrošina ar sūkni, kuru iemontē izplešanās tvertnē vai cauruļvadā.

Par perspektīviem uzskata arī plastmasu radiatorus, kuri ir daudz lētāki nekā čuguna radiatori. Plastmasu radiatoru sienīņu biezums ir 2 mm, vienas sekcijas masa 0,36...0,48 kg, maksimālā ūdens temperatūra 80°C un maksimālais spiediens 250 kPa.

Pie mums apkures sistēmas ar plastmasu caurulēm pagaidām nav izplatītas.

5.3.6. Ūdens apkures sistēmu hidrauliskā aprēķina metodes

Spiedienu starpību Δp izmanto apkures sistēmas hidrauliskās pretestības pārvarēšanai, kura summējas no cauruļvadu berzes pretestības un vietējām berzes pretestībām (pagriežiem, T gabaliem, krustgabaliem, ventiļiem, sildķermeņiem, apkures katliem u. tml.).

Spiediena zudumus cauruļvadu berzes pārvarēšanai, ja ir pastāvīgs caurplūstošā ūdens daudzums un nemainīga diametra caurules, izsaka formula

$$\frac{\lambda p_d}{d} l = Rl, \quad (5.12)$$

kur $R = \frac{\lambda}{d} p_d$ — īpatnējie lineārie spiediena zudumi 1 m garā cauruļvada posmā, Pa/m;

λ — hidrauliskās pretestības koeficients, kas atkarīgs no cauruļvada iekšējās virsmas raupjuma un ūdens plūsmas režīma;

d — cauruļvada diametrs, m;

$p_d = \frac{\rho v^2}{2}$ — dinamiskais spiediens, Pa;

v — ūdens ātrums, m/s;

ρ — ūdens blīvums, kg/m³;

l — cauruļvada posma garums, m.

Spiediena zudumi vietējo berzes pretestību pārvarēšanai

$$z = \sum \xi \frac{v^2}{2} \rho = \sum \xi p_d, \quad (5.13)$$

kur $\sum \xi$ — vietējo pretestību koeficientu summa dotajā cauruļvadu posmā.

Pieņemot, ka apkures sistēmas visu cauruļvadu diametri ir vienādi un starp vietējām pretestībām nav lielas atšķirības, caur augstāk novietotiem sildķermeņiem izplūdis vairāk ūdens (siltumnesējs) un tie apkārtējai videi atdzesētais ūdens daudzums. Lai panāktu telpās nepieciešamo sildķermeņu siltumdevi, jāveic sistēmas hidrauliskais aprēķins — cauruļvadu dimensionēšana.

Ūdens apkures sistēmas cauruļvados siltumnesēja plūsma tiek sadalīta un nogādāta katrā sildķermenī. Mūsdienu ūdens apkures sistēmas ir ļoti sazaroti, daudzkontūru tīkli, kuru katrā posmā jāizplūst noteiktam karstā vai atdzesētā ūdens daudzumam. Šādu tīklu aprēķins ir sarežģīts hidraulikas uzdevums, kuru inženieri praksē risina pēc izvēles metodes.

Aprēķinātos cauruļvadu diametrus pieņem pēc esošā cauruļu sortimenta, tāpēc tīkla aprēķins vienmēr saistīts ar kļūdām. Dažādām sistēmām un to elementiem pieļaujamas nesakritības, kas jāievēro aprēķinā.

Praktiskām vajadzībām ir izstrādātas vairākas cauruļvadu aprēķina metodes: īpatnējo spiediena zudumu, dinamisko spiedienu un pretestību raksturojuma metode.

1. *Īpatnējo spiediena zudumu metode.* Pēc šīs metodes spiediena zudumus Δp , Pa, nosaka pēc formulas

$$\Delta p = Rl + z.$$

Īpatnējos lineāros spiediena zudumus R atrod pēc nomogrammām vai tabulām. Vietējo pretestību koeficientu vērtības dažādiem sistēmas elementiem ir atrodamas speciālajā literatūrā.

Spiediena zudumus virknē savienotiem posmiem summē, bet paralēli savienotos posmos spiediena zudumi ir vienādi.

Aprēķinot ūdens apkures sistēmas cauruļvadus pēc īpatnējo spiediena zudumu metodes, visos stāvvados un nozarojumos ūdens temperatūras kritums ir vienāds. Šo metodi var izmantot divcauruļu un viencaurules sistēmu aprēķiniem.

2. *Dinamisko spiedienu metodes* gadījumā lineāros spiediena zudumus aprēķinos aizstāj ar tiem ekvivalentiem spiediena zudumiem vietējās pretestībās, lietojot ξ_{ek} , kuru nosaka, izejot no attiecības λ/d (atrod rokasgrāmatās). Tad

$$l p_d \lambda / d = \xi_{ek} p_d; \quad (5.14)$$

$$\Delta p = (\xi_{ek} + \sum \xi) p_d = \xi_{red} p_d, \quad (5.15)$$

kur $\xi_{red} = \xi_{ek} + \Sigma \xi$ ir reducēts vietējās pretestības koeficients, kas ietver vietējo pretestību koeficientu summu un vietējās pretestības koeficientu ξ_{ek} , ar kuru ievēro spiediena zudumus berzes dēļ.

Šajā aprēķinā λ/d vērtības pieņem pastāvīgas, tas samazina aprēķina precizitāti. Šo metodi lieto, ja sistēmas lineārās un vietējās pretestības ir apmēram vienādas.

3. *Pretestību raksturojuma metode.* Šīs metodes gadījumā izmanto hidrauliskās pretestības koeficientu vidējās vērtības un spiediena zudumus nosaka pēc vienkāršotas izteiksmes kā ūdens daudzuma funkciju:

$$\Delta p = A (l\lambda/d + \Sigma \xi) G^2 = SG^2, \quad (5.16)$$

kur G — ūdens daudzums, kg/h;

S — posma pretestības raksturojums, kas vienāds ar spiediena zudumiem 1 kg/h lielam ūdens daudzumam, Pa/(kg/h)²;

$A = 16/(3600^2 \cdot 2\pi^2 d^4 \rho)$ — īpatnējais dinamiskais spiediens, ja cauruļvadā plūst 1 kg/h liels ūdens daudzums.

Spiediena zudumus posmā Δp , Pa, nosaka pēc formulas

$$\Delta p = \left(\frac{G}{\sigma} \right)^2, \quad (5.17)$$

kur σ — posma vadītspēja, kg/(h·Pa^{0.5}), kura vienāda ar ūdens patēriņu, kg/h, ja spiediena zudumi posmā ir 1 Pa;

$$\sigma = \frac{1}{\sqrt{S}}. \quad (5.18)$$

Virknē savienotu posmu kopējo pretestības raksturojumu aprēķina, summējot atsevišķu posmu pretestības raksturojumus:

$$S_{\Sigma} = S_1 + S_2 + \dots + S_n. \quad (5.19)$$

Paralēli savienotu posmu vadītspēju aprēķina, summējot atsevišķu posmu vadītspējas, t. i.,

$$\sigma_{\Sigma} = \sigma_1 + \sigma_2 + \dots + \sigma_n.$$

Paralēli savienotu posmu kopējo pretestības raksturojumu nosaka pēc formulas

$$S_{\Sigma} = \frac{1}{(\sigma_1 + \sigma_2 + \dots + \sigma_n)^2}. \quad (5.20)$$

Ja paralēli savienoti divi posmi, tad

$$\frac{G_1}{G_2} = \sqrt{\frac{S_2}{S_1}} = \frac{\sigma_1}{\sigma_2}. \quad (5.21)$$

Mūsdienu būvniecībā plaši izmanto unificētu stāvvadu montāžas elementus, kuru konstrukcija un izmēri ir pastāvīgi. Katru

no šiem elementiem hidrauliskajā aprēķinā var uzskatīt par aprēķina posmu, kuru pretestību raksturojumi speciālā literatūrā atrodami gatavā veidā.

Izmantojot pretestību raksturojumu metodes formulu, var noteikt spiediena zudumus katrā elementā.

Pretestību raksturojuma metodi parasti izmanto viencaurules sistēmu aprēķinos, kā arī nosakot plūsmas sadalījumu sistēmās ar noteiktiem cauruļu diametriem. Pēc šīs metodes ūdens temperatūras kritums stāvvados un nozarojumos var būt dažāds.

5.3.7. Dabiskās cirkulācijas ūdens apkures sistēma

Dabiskās cirkulācijas sistēmas darbības rādiuss nedrīkst pārsniegt 30 m un attālums (pa vertikāli) no katla centra līdz apakšstāva sildķermeņa centram drīkst būt 2,5...3 m. Tādēļ dabiskās cirkulācijas sistēmu atļauts lietot tikai nelielās ēkās ar iebūvētu katlu māju, ja noteikti zināms, ka perspektīvā ēku nepievienos centralizētai siltumapgādes sistēmai.

Dabiskās cirkulācijas sistēmu trūkums ir ūdens cirkulācijas intensitātes atkarība no radiatora augstuma virs siltuma ģeneratora un liels metāla patēriņš cauruļvadiem, jo relatīvi nelielā gravitācijas spiediena dēļ nevar lietot maza diametra caurules.

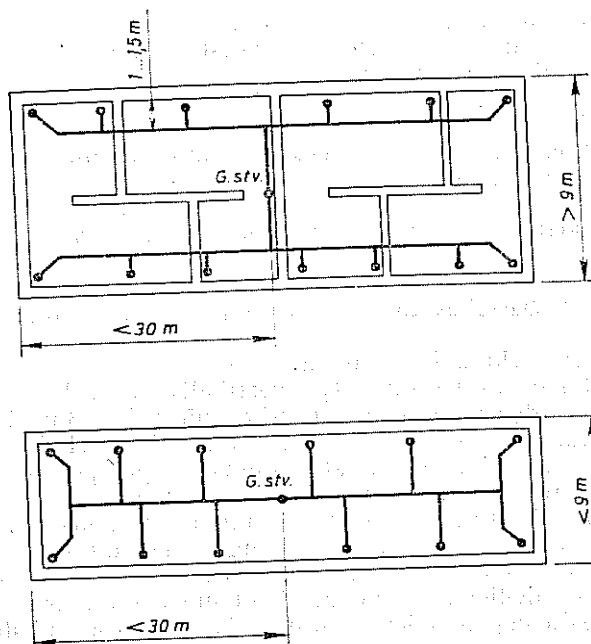
So iemeslu dēļ mūsdienās galvenokārt lieto piespiedu cirkulācijas sistēmas.

5.3.7.1. Apkures sistēmas konstruēšana

Apkures sistēmas konstruēšanu sāk ar stāvvadu un sildķermeņu izvietojumu ēkas plānos. Stūra telpās stāvvadus vēlams izvietot ārsienu stūros. Ja ārsienu iekšējās virsmas temperatūra $t_{tr} \leq t_R$, tad stāvvadi obligāti jāizvieto ārsienu stūros.

Ekonomējot metālu, jācenšas izveidot sistēmu ar iespējami mazāku stāvvadu skaitu. Cauruļvadi telpās jāizvieto atklāti (bez iebūves nišās), ja nav speciālu norādījumu. Turpgaitas stāvvadu, skatoties no telpas, vienmēr izvieto pa labi, bet atpakaļgaitas stāvvadu — pa kreisi.

Sistēmām ar augšējo sadali turpgaitas maģistrāles jācenšas izvietot bēniņos vienā līnijā pa ēkas garenasi, ja ēkas platums nepārsniedz 10 m (5.27. att.); bet lielāka platuma ēkām maģistrālos cauruļvadus parasti izvieto divās līnijās apmēram 1...1,5 m attālumā no ārsienām (5.27. att.). Noteicošais faktors ir metāla ekonomija un sistēmas hidrauliskā pretestība. Atpakaļgaitas maģistrāles (apakšējās sadales gadījumā arī turpgaitas maģistrāles) izvieto pagrabtelpās vai tehniskajā pagrabā. Atsevišķos gadījumos cauruļvadus var izvietot arī virs pirmā stāva grīdas vai zemgrīdas kanālos.



5.27. att. Principiālās maģistrālo cauruļvadu izvietojuma shēmas.

Lai izdarītu atgaisošanu, visus maģistrālos cauruļvadus novieto ar kritumu, ne mazāku par 0,002 siltumnesēja kustības virzienā.

Kāpņu telpas apsildei jāparedz atsevišķs stāvvads pēc viencaurules caurplūdes principa. Sildķermeņi kāpņu telpā nedrīkst samazināt lietderīgo kāpņu telpas lielumu, kā arī veidot izciļņus cilvēku kustības līmenī. Regulējošo armatūru pie sildķermeņiem kāpņu telpā nav atļauts uzstādīt. Noslēdzošo armatūru uz kāpņu telpas stāvvada uzstāda pie turpgaitas un atpakaļgaitas maģistrālēm. Ēkās līdz četriem stāviem kāpņu telpai nepieciešamo sildķermeņa sildvirsmu nesadala pa stāviem, bet novieto pie ieejas. Lai sildķermeņi neaizsaltu, ārējā izeja jānodrošina ar siltumizolētām dubultdurvīm vai vējtverī.

Cauruļvadi, kas novietoti neapkurināmās telpās, un arī galvenais stāvvads jāizolē.

Sistēmās ar augšējo sadali galveno stāvvadu jācenšas novietot ēkas centrālajā daļā.

Atpakaļgaitas maģistrālei jāapvieno pēc iespējas simetriski tie paši stāvvadi, kurus apvieno turpgaitas maģistrāle.

Noslēdzošo armatūru uzstāda,

a) lai atslēgtu un izlaistu ūdeni no atsevišķiem apkures sistēmas zariem, pusēm un stāvvadiem;

b) lai atslēgtu kondensātsavācējus, automātiski vai no distances vadāmus ventīļus, bet citām iekārtām — pēc nepieciešamības;

c) lai atslēgtu daļu vai visus sildķermeņus telpās, kurās apsilde nepieciešama periodiski vai daļēji.

Noslēdzošo armatūru atļauts neuzstādīt uz stāvvadiem ēkās ar trim vai mazāk stāviem.

Sildķermeņus novieto pie ārējām sienām zem logiem. Telpās sildķermeņus novieto simetriski ar vismazāko stāvvadu skaitu. Pievadi no stāvvada līdz sildķermeņiem nedrīkst būt garāki par 1...1,25 m.

Sistēmās ar dabisko cirkulāciju sildķermeņiem, kuriem pēc aprēķina ir vairāk nekā 15 sekcijas, jālieto divpusēja pievienošana pie stāvvadiem. Pievadu kritums nedrīkst būt mazāks par 10 mm uz 1 m. Sildķermeņu savienojums virknes slēgumā pieļaujams vienas telpas robežās. Noliktavu, koridoru, tuaļu un citu palīgtelpu sildķermeņus var savienot virknē. Virknes slēgumā savieno tikai viena tipa sildķermeņus, kas novietoti vienā līmenī ne vairāk kā 1,5 m attālumā cits no cita.

Vannas istabu un dušu dvieļu žāvētājus, ja tie nav pieslēgti karstā ūdens apgādes sistēmai, pievieno apkures sistēmai.

Telpās, kurās uzstādīti vairāki sildķermeņi, regulējošā armatūra jāuzstāda tikai daļai sildķermeņu tā, lai regulējama siltuma daudzums būtu ne mazāks par 50% no visu sildķermeņu siltumatdeves.

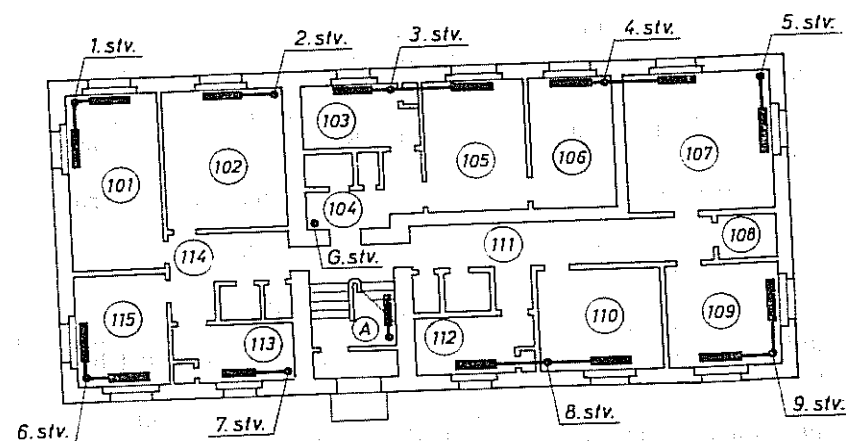
Konvektoriem, kuriem ir kustīgais vārsts konvektīvās plūsmas regulēšanai, siltumnesēja (ūdens) caurplūdi neregulē.

5.3.7.2. Apkures sistēmas hidrauliskais aprēķins

Ūdens apkures sistēmas hidraulisko aprēķinu veic pēc tam, kad ir aprēķināti telpu siltuma zudumi, izraudzīti sildķermeņu un apkures sistēmas veidi.

Ūdens apkures sistēmas hidrauliskā aprēķina vispārīgie principi un secība, izmantojot īpatnējo spiediena zudumu metodi, ir šāda.

1. Pēc tam kad ēkas plānā ir izvietoti sildķermeņi, stāvvadi, turpgaitas un atpakaļgaitas maģistrāles (5.28. att.), konstruē visas sistēmas aksonometrisko shēmu. Visu vietējo pretestību precīzai uzskaiti nepieciešams uz aprēķina shēmas uzrādīt visu cauruļu līkumus, armatūru un palīgiekārtu (izplešanās tvertni, rokas sūkni utt.).



5.28. att. Sildķermeņu un stāvvadu izvietojums plānā.

2. Cirkulācijas spiedienu Δp_c , Pa, izraudzītajai apkures sistēmai aprēķina šādi:

$$\Delta p_c = \Delta p + \Delta p_{cv} + p_s, \quad (5.22)$$

kur Δp — dabiskais spiediens, kas rodas, ūdenim atdziestot sildķermeņos. Tas divcauruļu sistēmām nosakāms pēc formulas

$$\Delta p = hg(\rho_a - \rho_k), \quad (5.23)$$

kur h — attālums pa vertikāli no siltuma generatora centra (katla centra, elevatora horizontālās ass) līdz sildķermeņa centram vai apakšai (atkarībā no pievienojuma vietas);

ρ_a, ρ_k — atdzisušā un karstā ūdens blīvums, kg/m^3 (9. pielikums);

g — brīvās krišanas paātrinājums, m/s^2 ;

Δp_{cv} — dabiskais spiediens, kas rodas, ūdenim atdziestot cauruļvados, Pa (14. pielikums);

p_s — sūkņa radītais spiediens, Pa.

Gadījumos, kad stāvvadi ir siltumizolēti, un sistēmās ar apakšējo sadali lielumu Δp_{cv} neievēro. Dabisko spiedienu, kas rodas, ūdenim atdziestot cauruļvados un sildķermeņos, var neņemt vērā, ja tas sastāda mazāk par 10% no piespiedu cirkulācijas radītā spiediena.

Apkures sistēmās ar piespiedu cirkulāciju aprēķina spiedienu pieņem šādu:

a) sistēmās, kuras pievieno siltuma tīkliem, to pieņem atkarībā no spiedienu starpības tīklā pie ievada ēkā;

b) sistēmās, kurās siltumnesēja parametri ir $t_k = 95^\circ\text{C}$ un $t_a = 70^\circ\text{C}$ no vietējās katlu mājas un kuras perspektīvā pievienos siltuma tīkliem, aprēķina spiedienu pieņem ne lielāku kā 12 kPa, neņemot vērā spiediena zudumus katlu telpā un cauruļvados no katla līdz siltumcentram;

c) sistēmās, kuras nepievienos siltuma tīkliem, aprēķina spiedienu nosaka, izejot no maksimāli pieļaujamā ūdens ātruma cauruļvados un aprēķinot spiediena zudumus atsevišķās cirkulācijas cilpās.

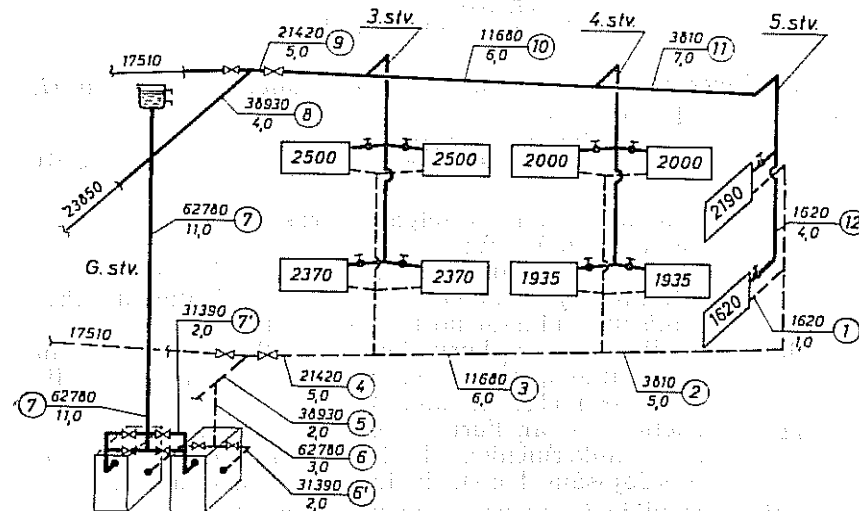
Tā, piemēram, 5.28. attēlā parādītajai apkures sistēmai, pieņemot, ka tā ir divcauruļu dabiskās cirkulācijas sistēma ar augšējo sadali, kurā $t_k = 95^\circ\text{C}$, $t_a = 70^\circ\text{C}$, $h = 2,8$ m un $\Delta p_{cv} = 150$ Pa (14. pielikums), pēc formulas (5.22), izmantojot arī formulu (5.23), aprēķina

$$\Delta p_c = \Delta p + \Delta p_{cv} = 2,8 \cdot 9,88 (977,81 - 961,92) + 150 = 586 \text{ Pa}.$$

3. Izvēlas galveno aprēķina cirkulācijas cilpu. 5.29. attēlā parādīts šīs apkures sistēmas zars, caur kuru iet galvenā cirkulācijas cilpa.

Par galveno aprēķina cirkulācijas cilpu pieņem to cilpu, kurā spiediena Δp_c attiecība pret cilpas garumu Σl ir vismazākā, t. i.,

$$\Delta p_c / \Sigma l = \min. \quad (5.24)$$



5.29. att. Dabiskās cirkulācijas divcauruļu ūdens apkures sistēmas aprēķina cilpas shēma.

Vertikālajās divcauruļu strupceļa sistēmās par galveno cirkulācijas cilpu pieņem visvairāk slogotā, visattālākā stāvvada apakšējā sildķermeņa cilpu.

Vertikālajās divcauruļu līdzgaitas sistēmās par galveno cirkulācijas cilpu pieņem visvairāk slogotā vidējā stāvvada apakšējā sildķermeņa cilpu.

Vertikālajās viencaurules strupceļa sistēmās galvenā cirkulācijas cilpa iet caur visvairāk slogoto, visattālāko stāvvadu, līdzgaitas sistēmās — caur visvairāk slogoto vidējo stāvvadu.

4. Galveno cirkulācijas cilpu sadala aprēķina posmos (5.29. att.). Par aprēķina posmu sauc cauruļvada daļu, kura diametrs un siltumnesēja daudzums paliek nemainīgs. Posmus numurē, un tiem uzrāda siltuma patēriņu un garumu.

5. Aprēķina orientējošus īpatnējos lineāros spiediena zudumus R_{or} uz galvenās cilpas 1 metru:

$$R_{or} \leq \frac{K \Delta p_c}{\Sigma l}, \quad (5.25)$$

kur K — lineāro spiediena zudumu daļa. Sistēmās ar dabisko cirkulāciju $K=0,5$, sistēmās ar piespiedu cirkulāciju $K=0,65$;

Σl — aprēķina posmu garumu summa, m.

Aprēķina piemērā

$$R_{or} = \frac{0,5 \cdot 586}{69} = 4,25 \text{ Pa/m.}$$

6. Sildķermenī jeb posmā cirkulējošo ūdens daudzumu G , kg/h, nosaka pēc formulas

$$G = \frac{\Sigma Q \beta_1 \beta_2}{c \Delta t} = \frac{0,86 \Sigma Q}{\Delta t} \beta_1 \beta_2, \quad (5.26)$$

kur ΣQ — summārie zudumi telpās, kuras apkalpo stāvvads (atzarojums), kW;

$c=4,187$ — ūdens īpatnējā siltumietilpība, kJ/(kg·K);

Δt — siltumnesēja temperatūru starpība, ieplūstot stāvvadā un izplūstot no tā (atzarojuma);

β_1 — koeficients, ar kuru ievēro sildķermeņu papildu siltumatdevi, kas rodas, noapaļojot aprēķina siltumatdevi (10. pielikums);

β_2 — koeficients, ar kuru ievēro papildu siltuma zudumus sildķermeņiem, kuri novietoti pie ārējām robežjošām konstrukcijām (11. pielikums).

7. Pēc cirkulējošā ūdens daudzuma un R_{or} no tabulām (12. pielikums) izvēlas ūdens ātrumu, cauruļvadu diametru un faktiskos īpatnējos lineāros spiediena zudumus. Jāņem vērā,

ka ūdens ātrums apkures sistēmās ar dabisko cirkulāciju nedrīkst pārsniegt 0,2 m/s.

8. Katram aprēķina posmam atrod vietējās pretestības koeficientu ξ . Tā vērtības apkures sistēmas atsevišķiem elementiem atrodamas 13. pielikumā.

Tālāk dots vietējo pretestību saraksts 5.29. attēlā parādītai apkures sistēmai:

1. posms		7'. posms	
puse radiatora	— 0,8	puse katla	— 1,25
atkāpe, $d=15$ mm	— 0,8	T gabals caurtecei	— 1,0
T gabals pagriezieniem	— 1,5	krustgabals pretplūsmai	— 3,0
$\Sigma \xi=3,1$		divi pagriezieni 90°, $d=70$ mm	— $2 \times 0,3=0,6$
		ventilis	— 0,5
			$\Sigma \xi=6,35$
2. posms		7. posms	
atkāpe pie ēkas pamata, $d=20$ mm	— 0,7	vietējo pretestību nav	
pagrieziens 90°, $d=20$ mm	— 1,0	8. posms	
T gabals caurtecei	— 1,0	krustgabals pagriezieniem	— 3,0
$\Sigma \xi=2,7$			$\Sigma \xi=3,0$
3. posms		9. posms	
T gabals caurtecei	— 1,0	T gabals pagriezieniem	— 1,5
$\Sigma \xi=1,0$		ventilis	— 0,5
			$\Sigma \xi=2,0$
4. posms		10. posms	
T gabals pretplūsmai	— 3,0	T gabals caurtecei	— 1,0
ventilis	— 0,5		$\Sigma \xi=1,0$
$\Sigma \xi=3,5$		11. posms	
5. posms		T gabals caurtecei	— 1,0
T gabals pagriezieniem	— 1,5	divi pagriezieni 90°, $d=20$ mm	— $1,0 \times 2=2,0$
$\Sigma \xi=1,5$			$\Sigma \xi=3,0$
6. posms		12. posms	
vietējo pretestību nav		T gabals caurtecei	— 1,0
6'. posms		pagrieziens 90°, $d=15$ mm	— 1,5
T gabals pagriezieniem	— 1,5	atkāpe	— 1,5
pagrieziens 90°, $d=70$ mm	— 0,3	dubultregulējamais ventilis, $d=15$ mm	— 4,0
T gabals caurtecei	— 1,0	puse radiatora	— 0,8
ventilis	— 0,5	apliekums, $d=15$ mm	— 3,0
puse katla	— 1,25		$\Sigma \xi=11,8$
$\Sigma \xi=4,55$			

Jāņem vērā, ka vietējās pretestības attiecinā uz mazākslogoto posmu. Zinot ūdens ātrumu un vietējo pretestību koeficientu summu posmā, var aprēķināt vai noteikt dinamisko spiedienu p_a pēc 15. pielikuma un izskaitļot z .

9. Zinot R_l un z katrā posmā, aprēķina summāros spiediena zudumus visos galvenās cirkulācijas cilpas posmos, t. i., $\Sigma(R_l+z)$. Rezultātus ieraksta aprēķina veidlapā (5.5. tabula).

10. Iegūtos rezultātus salīdzina ar esošo cirkulācijas spiedienu p_c . Cauruļvadiem galvenajā cilpā jābūt aprēķinātiem tā,

Caurulvadu dimensionēšanas aprēķins cilpai caur 5. stāvvada pirmā stāva sildķermeni ($Q=1620$ W), ja $\beta_1=1,02$; $\beta_2=1,03$

Posma Nr.	Q, W	G, kg/h	l, m	d, mm	R, Pa/m	R _L , Pa	v, m/s	P ₀ , Pa	$\Sigma \xi$	z, Pa	(Rl+z), Pa	Piezīmes
1	1620	59	1	15	10,0	10,0	0,087	3,76	3,10	11,66	21,66	
2	3810	138	5	25	3,1	15,5	0,055	1,50	2,70	4,05	19,55	
3	11680	422	6	40	3,6	21,6	0,089	3,93	1,00	3,93	25,53	
4	21420	774	5	50	3,2	16,0	0,102	5,12	3,50	17,92	33,15	
5	38930	1407	2	70	3,0	6,0	0,110	5,98	1,50	8,97	29,97	
6	62780	2269	3	70	7,0	21,0	0,174	14,89	—	—	21,00	
6'	31390	1135	2	50	6,6	13,2	0,148	10,79	4,55	49,10	62,30	
7'	31390	1135	2	50	6,6	13,2	0,148	10,79	6,35	68,52	81,72	
7	62780	2269	11	70	7,0	77,0	0,174	14,89	—	—	77,00	
8	38930	1407	4	70	3,0	12,0	0,110	5,98	3,00	17,94	29,94	
9	21420	774	5	50	3,2	16,0	0,102	5,12	2,00	10,24	26,34	
10	11680	422	6	40	3,5	21,6	0,089	3,93	1,00	3,93	25,53	
11	3810	138	7	25	3,1	21,7	0,055	1,50	3,00	4,50	26,20	
12	1620	59	4	15	10,0	40,0	0,087	3,76	11,10	41,74	81,74	
$\Sigma(Rl+z)=535,43$												

$$\Delta = \frac{586 - 535,43}{586} \cdot 100 = 8,6\%$$

$$\Sigma l = 69$$

lai summārie spiediena zudumi cilpā būtu par 5...10% mazāki nekā esošais cirkulācijas spiediens. Ar šādu rezervi tiek ievērotas papildu pretestības, kas var rasties, montējot sistēmu. Ja šis noteikums nav ievērots, tad dažos posmos jāmaina diametrs.

11. Spiediena zudumus cirkulācijas cilpās caur pārējiem stāvvadiem aprēķina, pieņemot galveno cirkulācijas cilpu par etalonu. Nesaiste Δ starp galveno cirkulācijas cilpu un pārējām cilpām nedrīkst pārsniegt $\pm 15\%$. Divcauruļu sistēmās nesaiste starp spiediena zudumiem cilpās caur sildķermeņiem dažādos stāvvados netiek normēta, jo tā jālikvidē, izdarot montāžas regulēšanu ar dubultiestādāmiem krāniem.

5.4. TVAIKA APKURES SISTĒMAS

Tvaika apkures sistēmu izgudroja Anglijā 18. gadsimta vidū. 19. gadsimta pirmajā pusē visplašāk izmantoja augsta spiediena sistēmas, bet gadsimta vidū sāka lietot zema spiediena sistēmas. Tvaika apkures sistēmu lietošana ir ierobežota sanitāri higiēnisko un ugunsdrošības apsvērumu dēļ.

Tvaika apkures sistēmās izmanto tvaika īpašību kondensējoties izdalīt iztvaikošanas siltumu, kas ir daudz lielāks nekā siltums, ko karstais ūdens sildķermenī atdod apkārtējai videi.

Apkures sistēmās lieto sausu piesātinātu vai mitru piesātinātu tvaiku. Ārējos tvaika vados, lai izvairītos no nevēlamās tvaika kondensācijas, cenšas izmantot pārkarsētu tvaiku. Apkurei izmantot pārkarsētu tvaiku nav ekonomiski izdevīgi. Papildu siltuma daudzums, ko iegūst no pārkarsēta tvaika, ir neliels, jo tvaikam ir maza siltumietilpība salīdzinājumā ar fāzes maiņas siltumefektu.

Aprēķinot tvaika apkures sistēmas, parasti lieto sausa piesātināta tvaika parametrus, jo katrai temperatūrai atbilst noteikts spiediens.

Sausa piesātināta tvaika siltumietilpību (entalpiju) H'' , kJ/kg, izsaka ar formulu

$$H'' = H' + r, \quad (5.27)$$

kur H' — ūdens entalpija vārīšanās temperatūrā (siltuma daudzums ko patērē, lai ūdeni sasildītu līdz vārīšanās temperatūrai), kJ/kg;

r — iztvaikošanas siltums, kJ/kg.

Tvaiks kondensējoties izdala vairāk nekā 80% no sava siltuma. Tā tilpums samazinās vidēji 1000 reizi: 1 kg tvaika pirms pārvēršanās ūdenī ieņem apmēram 1 m³ tilpumu.

Tvaika apkures sistēmas, tāpat kā ūdens apkures sistēmas, aprēķina, vadoties no tā, ka sistēmā esošai spiedienu starpībai jābūt pietiekamai, lai pārvarētu berzes pretestību cauruļvados un vietējās pretestības.

Zemspiediena sistēmās pieņem, ka 65% spiediena patērē cauruļvadu berzes pretestību un 35% — vietējo pretestību pārvarēšanai. Augstspiediena sistēmās pieņem attiecīgi 80% un 20%, papildus ievērojot to, ka, tvaikam plūstot pa cauruļvadiem, ievērojami mainās tā spiediens un blīvums.

Cauruļvadi, pa kuriem pievada tvaiku, var būt neliela diametra, bet atpakaļgaitas (kondensāta) cauruļvadiem jābūt ar lielāku diametru un nepārtrauktu slīpumu (uz leju) katla virzienā.

Tvaika apkures sistēmās lieto tos pašus sildķermeņus, kurus izmanto ūdens apkures sistēmās.

5.4.1. Tvaika apkures sistēmu klasifikācija

Tvaika apkures sistēmas iedala šādi: vakuuma tvaika sistēmas — tvaika spiediens mazāks par 0,1 MPa, zemspiediena sistēmas — pārspiediens 0,005...0,07 MPa un augstspiediena sistēmas — pārspiediens >0,07 MPa (5.6. tabula).

5.6. tabula

Tvaika apkures sistēmās lietojamā piesātinātā tvaika parametri (aptuveni)

Sistēma	Absolūtais spiediens, MPa	Temperatūra, °C	Ipatnējais kondensācijas siltums, kJ/kg
Vakuuma tvaika	0,1	100	2260
Zemspiediena	0,1...0,17	100...115	2260...2220
Augstspiediena	0,17...0,27	115...130	2220...2175

Maksimālo tvaika spiedienu sistēmā ierobežo ilgstoša augsta cauruļvadu un sildķermeņu virsmas temperatūra, kuru pieļauj sanitāri higiēniskās un arī drošības prasības (piemēram, pārspiedienam 0,17 MPa atbilst tvaika temperatūra 130°C).

Vakuuma tvaika sistēmās spiediens ir zemāks par atmosfēras spiedienu un tvaika temperatūra zemāka par 100°C. Tādās sistēmās, mainot vakuuma (retinājuma) pakāpi, var mainīt tvaika temperatūru un apmierināt sanitāri higiēniskās prasības. Tomēr nepieciešamība uzturēt iekārtā vakuumu to sadārdzina un sarežģī tās ekspluatāciju.

Vakuuma tvaika apkures sistēmas ieteicams lietot augstceltņu apkurei.

Zemspiediena apkures sistēmas lieto rūpnīcu ēku, sporta zāļu, peldbaseinu, kinoteātru, teātru, veikalu, restorānu un

citu ēku apkurei. Augstspiediena apkures sistēmas ierīko to rūpnīcu ēkās, kurās augstspiediena tvaiku izmanto ražošanā.

Tvaika apkures sistēmās parasti izmanto divcauruļu shēmu: pa tvaika vadiem tvaiku pievada sildķermeņiem, bet kondensātu novada pa kondensāta vadiem. Viencaurules sistēmās ar vertikāliem stāvvadiem kondensāts, plūstot pretēji tvaika plūsmai, var sakrāties un aizpildīt visu cauruļvada atvērumu. Tas rada hidrauliskus triecienus un troksni, tāpēc šādas viencaurules sistēmas lieto reti.

Lielu telpu apkurei, kurās nav nepieciešama sildķermeņu individuāla regulēšana, lieto horizontālās viencaurules sistēmas ar tvaika un kondensāta plūsmu vienā virzienā.

Plašāk izmanto divcauruļu sistēmas ar augšējo sadali. Sistēmas ar apakšējo sadali izveido gadījumos, ja tvaika vadu nevar izvietot telpā pie griestiem vai bēniņos.

Ja katla līmenis atrodas zemāk nekā sildķermeņi un kondensātu novada katlā paštecēs veidā, sistēmas sauc par slēgtām apkures sistēmām. Ja katlu šādi novietot nav iespējams, kondensātu novada atklātā tvertnē un ar sūkni pārsūknē katlā. Tādas sistēmas sauc par vaļējām apkures sistēmām.

Ja kondensāts pilnīgi neaizpilda kondensāta vada šķēsgriezumu, tad to sauc par sauso kondensāta vadu; ja kondensāts aizpilda visu cauruļvada šķēsgriezumu, to sauc par slapjo kondensāta vadu. Ja pa cauruļvadu kopā ar kondensātu plūst tvaiks, tad to sauc par divfāzu vai emulsijas vadu.

Tvaika apkures sistēmu priekšrocības:

lielāka siltumpārejas koeficienta dēļ sildķermeņu sildvirsmas ir par 30% mazāka nekā ūdens apkures sistēmās;

mazāki cauruļvadu šķēsgriezumi nekā ūdens apkures sistēmās;

maza siltuma inerces (sistēma ātri sasilst un atdziest).

Tvaika apkures sistēmu trūkumi:

sarežģīta sildķermeņu siltumatdeves regulēšana (siltumatdevi maina, periodiski pārtraucot tvaika padevi);

periodiskas tvaika apkures sistēmas izslēgšanas laikā tajā paliek gaiss. Gaisam saskaroties ar cauruļvadu un citu iekārtu mitro iekšējo virsmu, intensificējas korozija, kas samazina sistēmas kalpošanas ilgumu;

pastiprinātas korozijas dēļ ātri nolietojas sausie kondensāta cauruļvadi;

siltumnesēja temperatūru var regulēt nelielā intervālā;

augsta sildķermeņu temperatūra (parasti ≈100°C);

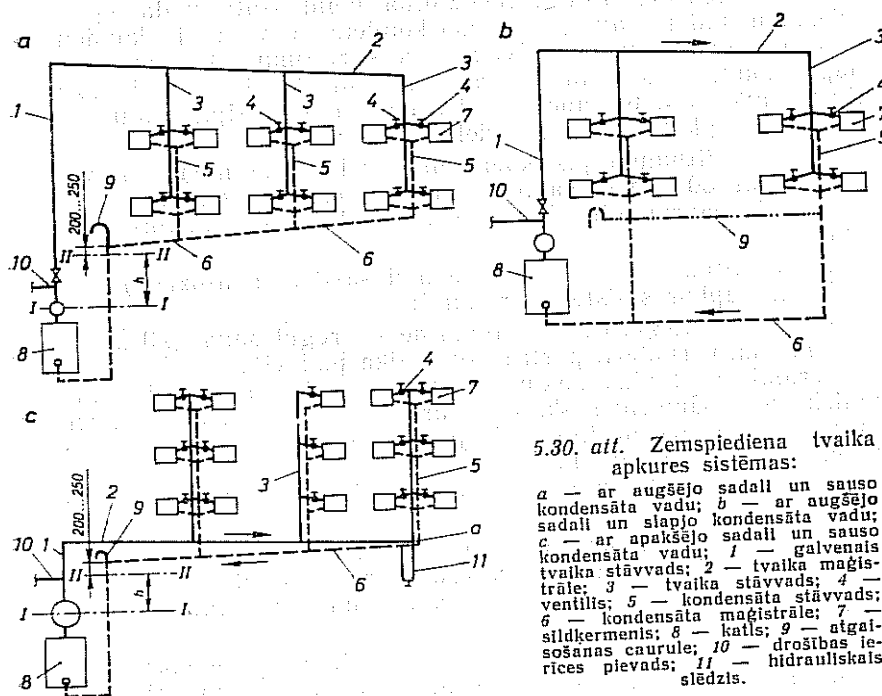
hidrauliskie triecieni cauruļvados un ar tiem saistītie trokšņi.

Mūsdienās tvaika apkures sistēmas lieto galvenokārt tad, ja ir iespējams izmantot ražošanai sagatavotu vai tajā jau

daļēji izmantotu tvaiku. Rajonu centralizētās apkures sistēmās tvaiku var izmantot, lai piegādātu siltumu patērētājiem lielos attālos. Šajā gadījumā, ja patērētājs ir apkures sistēma, tad siltuma ģeneratoru — katlu aizvieto ar tvaika-ūdens siltumapmaiņas aparātu.

5.4.2. Zemspiediena tvaika apkures sistēmas

5.30. attēlā *a* redzama zemspiediena tvaika apkures sistēma ar augšējo sadali un sauso kondensāta vadu. Ūdeni katlā silda līdz vārīšanās temperatūrai (piemēram, spiedienā 0,07 MPa līdz 114,7°C) un pārvērš tvaikā. Pa tvaika vadiem tvaiks nokļūst sildķermeņos, kur tas kondensējas, izdalot iztvaikošanas siltumu telpā. Kondensāts pa kondensāta vadu satek atpakaļ katlā. Sistēmu palaižot, tvaiks cauruļvados aizvieto gaisu, kas ir smagāks nekā tvaiks. Gaisu no sistēmas izvada pa kondensāta vadu caur speciālu atgaisošanas cauruli, kuru pievieno 200...300 mm augstāk par kondensāta līmeni kondensāta vadā (šķēlums II—II).



Siltumatdeves rezultātā tvaiks daļēji kondensējas tvaika vados. Sevišķi daudz kondensāta izdalās, sistēmu palaižot, kad tvaiks plūst pa aukstiem cauruļvadiem. Lai kondensāts neizsprostotu atvērumu tvaikam un lai nerastos hidrauliskie triecieni, tvaika vadus montē ar kritumu 0,002...0,003 tvaika plūsmas virzienā. Kondensāta vadu montē ar tādu pašu kritumu katla vai kondensāta tvertnes virzienā. Tvaika vados pirms sildķermeņiem uzstāda ventilus tvaika padeves noslēgšanai.

Augšējās sadales sistēmu lieto, ja ir bēniņu telpa vai iespējams maģistrālo vadu montēt augšējā stāvā zem griestiem. Ja šādu iespēju nav, izmanto apakšējās sadales sistēmu. Dažreiz lieto arī tvaika apkures sistēmas ar vidējo sadali (augšējo un apakšējo), tad maģistrālo tvaika vadu montē vienā no ēkas vidējiem stāviem.

5.30. attēlā *b* redzama zemspiediena tvaika apkures sistēma ar augšējo sadali un slapjo kondensāta vadu. Kā redzams shēmā, kondensāta vads pastāvīgi aizpildīts ar kondensātu. Salīdzinājumā ar sauso kondensāta vadu slapjais kondensāta vads mazāk korodē. Sistēmās ar slapjo kondensāta vadu gaisa novadīšanai jāierīko speciāls cauruļvads, kurš jānovieto augstāk par kondensāta līmeni sistēmā.

5.30. attēlā *c* parādīta zemspiediena tvaika apkures sistēma ar apakšējo sadali un sauso kondensāta vadu. Lai novadītu kondensātu, kas var rasties tvaika vadā, tvaika vadu punktā *a* savieno ar kondensāta vadu, izmantojot hidraulisko slēdzi (5.31. att.).

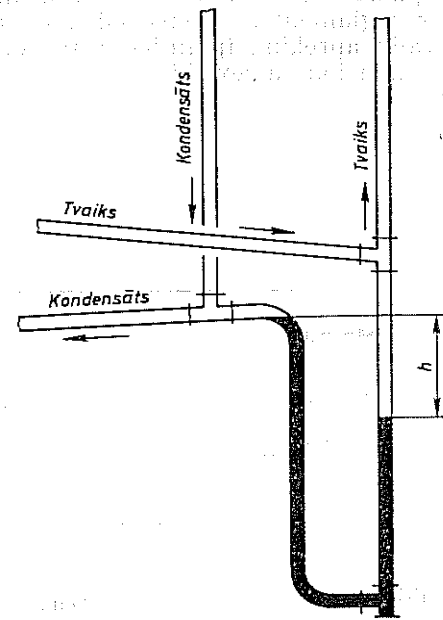
Sistēmu darbības laikā ūdens stabu augstumu starpība *h* līdzsvaro tvaika spiedienu, un tādējādi tvaiks kondensāta vadā neiekļūst.

Ūdens stabu augstumu starpību *h*, m, nosaka pēc formulas

$$h = p / \rho_k, \quad (5.28)$$

kur *p* — tvaika spiediens hidrauliskā slēdža pievienošanas punktā;

ρ_k — kondensāta blīvums.



5.31. att. Hidrauliskais slēdzis.

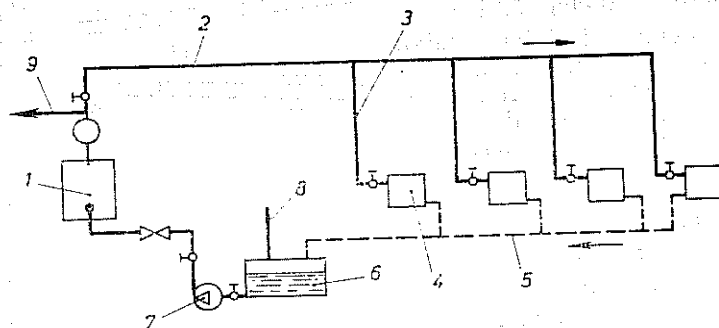
Ja, piemēram, katla kurināšanas laikā kondensāta līmenis kondensāta vadā palielinās no *I-I* līdz *II-II*, tad spiedienā 0,02 MPa ūdens staba augstums ir 2 m. Ja tvaika spiediens ir augstāks par 0,02 MPa, tad, lai katlu māja nebūtu pārāk jāiedziļina, lieto vaļēju sistēmu, kurā kondensātu savāc kondensāta tvertnē un ar sūkni pārsūknē katlā.

5.32. attēlā parādīta vaļējā tvaika apkures sistēma ar kondensāta tvertni un sūkni kondensāta pārsūkņēšanai katlā. Sistēmā sildķermeņi var atrasties vienā līmenī ar katlu un arī zemāk par to. Gaisu no sistēmas izvada pa kondensāta vadu caur kondensāta tvertni.

Sūknis jānovieto zemāk par ūdens līmeni kondensāta tvertnē. Lai tvaiks neizplūstu atmosfērā caur kondensāta vadu, sistēmās ar spiedienu, kas lielāks par 0,04 MPa, pirms kondensāta tvertnes uzstāda tvaika slēdzi, kas aiztur tvaiku un laiž cauri kondensātu.

Cauruļvadā, pa kuru kondensātu novada katlā, pirms katla uzstāda vienvirziena vārstu, lai ūdens no katla neieplūstu kondensāta tvertnē gadījumā, ja nedarbojas ūdens sūknis.

Zemspiediena tvaika apkures sistēmas aprēķinos spiedienu katlā izvēlas atkarībā no sistēmas tvaika vadu garuma. Lai apkures sistēmā nerastos troksnis, maksimālais tvaika ātrums ir reglamentēts. Zemspiediena tvaika apkures sistēmas cauruļvadu aprēķina īpatnība ir tā, ka tvaika un kondensāta vadus dimensionē atsevišķi.



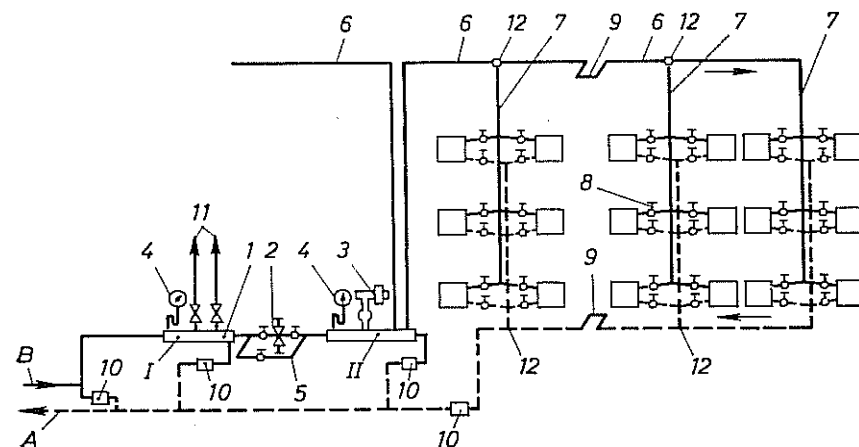
5.32. att. Vaļējās zemspiediena tvaika apkures sistēmas shēma:
1 — katls; 2 — tvaika maģistrāle; 3 — tvaika stāvvads; 4 — sildķermeņi; 5 — kondensāta vads; 6 — kondensāta tvertne; 7 — sūknis; 8 — atgaisošanas caurule; 9 — uz drošības ierīci.

5.4.3. Augstspiediena tvaika apkures sistēmas

Augstspiediena tvaika apkures sistēmās parasti lieto tvaiku ar spiedienu 0,2...0,3 MPa. Ja tvaika spiediens ir lielāks, uzstāda redukcijas vārstu, kas pazemina tvaika spiedienu līdz nepieciešamajam lielumam.

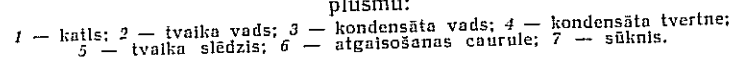
5.33. attēlā parādīta augstspiediena tvaika apkures sistēma ar augšējo sadali. Augstspiediena tvaiku pa cauruļvadu *B* no katlu mājas pievada tvaika sadales mezglam *I*. Pa vadu *II* tvaiku novada tehnoloģiskām vajadzībām. Tvaika apkures sistēmai un ventilācijas kalorifieriem tvaika spiedienu redukcijas vārstā samazina līdz 0,2...0,3 MPa un pievada tvaika sadales mezglam *II*, kurš aprīkots ar drošības vārstu un manometru. Ja spiediens sadales mezglā *II* palielinās virs 0,3 MPa, atveras drošības vārsts un liekais tvaiks izplūst atmosfērā. No sadales mezgla *II* tvaiku ievada apkures sistēmas stāvvados un sildķermeņos, kā arī ventilācijas kaloriferos. (Tvaika apkures sistēmu nedrīkst savienot ar gaisa apkures un ventilācijas sistēmu kalorifieriem.)

Kondensāta vadā aiz sildķermeņu grupas uzstāda tvaika slēdzi *10*. Lai no tvaika sadales mezgliem novadītu kondensātu, šos mezglus ar cauruļvadu starpniecību pievieno kondensāta vadam, kurā uzstāda tvaika slēdzi.



5.33. att. Augstspiediena tvaika apkures sistēma:

1 — tvaika sadales mezgls; 2 — redukcijas vārsts; 3 — drošības vārsts; 4 — manometrs; 5 — apvadlīnija; 6 — tvaika maģistrāle; 7 — tvaika stāvvads; 8 — ventilis; 9 — kompensators; 10 — tvaika slēdzi; 11 — tvaika tehnoloģiskām vajadzībām; 12 — nekustīgs atbalsts; A — kondensāts uz katlu māju; B — tvaiks ($p=0,06$ MPa) no katlu mājas.



Augstspiediena tvaika apkures sistēmās tvaiks tuvāk izvietotajos sildķermeņos ieplūst ar lielāku spiedienu nekā attālāk esošajos sildķermeņos. Daļa tvaika no tuvākajiem sildķermeņiem var noplūst kondensāta vadā, aizsprostojot eju kondensātam no attālākajiem sildķermeņiem un tādējādi pasliktinot to siltumatdevi.

Augstspiediena tvaika sistēmās kondensāta spiediens kondensāta vados bieži pārsniedz atmosfēras spiedienu, bet temperatūra ir augstāka par 100 °C. Samazinot spiedienu, kondensāts vārās un izdala otrreizējās vārīšanās tvaiku. Lai iegūtu šādu tvaiku, uzstāda speciālu tvertni-separatoru, kurā ievada augstas temperatūras kondensātu. Daļa kondensāta no jauna pārvēršas tvaikā, kuru var izmantot dažādām vajadzībām (piemēram, zemspiediena apkures sistēmās).

Augstspiediena tvaika apkures sistēmās, tvaikam plūstot pa cauruļvadiem, ievērojami mainās tvaika spiediens un blīvums. Ņemot vērā šo apstākli, aprēķinos katram tvaika vada posmam pieņem blīvumu, kas atbilst vidējam tvaika spiedienam posmā.

5.35. att. Vakuuma tvaika apkures sistēma:
1 — zemspiediena tvaika katls; 2 — tvaika vads;
3 — sildkermenis; 4 — kondensāta vads; 5 — vakuumsūkņš; 6 — elektromotors; 7 — regulatori;
8 — slēdzis; 9 — termostats.

Vakuuma tvaika apkures sistēmas lieto daudzstāvu ēkās, kurās ir paaugstinātas sanitāri higiēniskās prasības un kurās liela statiskā spiediena dēļ ūdens apkures sistēmas ir jādala vairākās zonās.

Termodinamiskais tvaika slēdzis darbojas normāli, ja spiediens pirms tā ir ne mazāks par 0,1 MPa un pretspiediens nepārsniedz 50%. Ja tvaika spiediens mazāks nekā 0,1 MPa, lieto tvaika slēdžu ar apgrieztu plūdiņu.

Kondensāta novadišanai gadījumā, kad tvaika slēdzi remontē, jāparedz apvadlīnija.

Par tvaika slēžiem dažreiz izmanto diafragmas, kuru darbība pamatojas uz to, ka, pastāvot nemainīgam spiedienam pirms un aiz diafragmas, caur diafragmu izplūst kondensāts un tā aiztur tvaiku. Lai diafragmas atvērums neaizsērētu, pirms tās uzstāda metāla sietu vai otru lielāka diametra diafragmu. Diafragmas tvaika slēžus izgatavo no nerūsējošā tērauda.

Kondensāta tvertne. Tā jāaprīko ar hermētiski noslēdzamu tīrīšanas lūku, pārplūdes un noplūdes cauruli un ūdens līmeņa rādītāju.

Zemspiediena tvaika apkures sistēmās kondensāta tvertnes tilpumu pieņem vienādu ar kondensāta daudzumu, kurš izdalās sistēmā vienas stundas laikā.

Sūknis kondensāta pārsūkņēšanai. Zemspiediena tvaika apkures sistēmās kondensāta pārsūkņēšanai no kondensāta tvertnes uz katlu uzstāda sūkni, kura ražīgumu pieņem vienādu ar kondensāta daudzumu, kas izdalās 2 stundu laikā.

Lai kondensāts sūces vadā nevārtos, sūknis jāuzstāda zemāk par kondensāta zemāko līmeni tvertnē, turklāt kondensāta staba spiedienam no tvertnes dibena līdz sūkņa centram jābūt lielākam par sūces vada pretestību. Ja kondensāta temperatūra $t_k = 70^\circ\text{C}$, sūkni novieto par 0,5 m zemāk, nekā atrodas kondensāta tvertne.

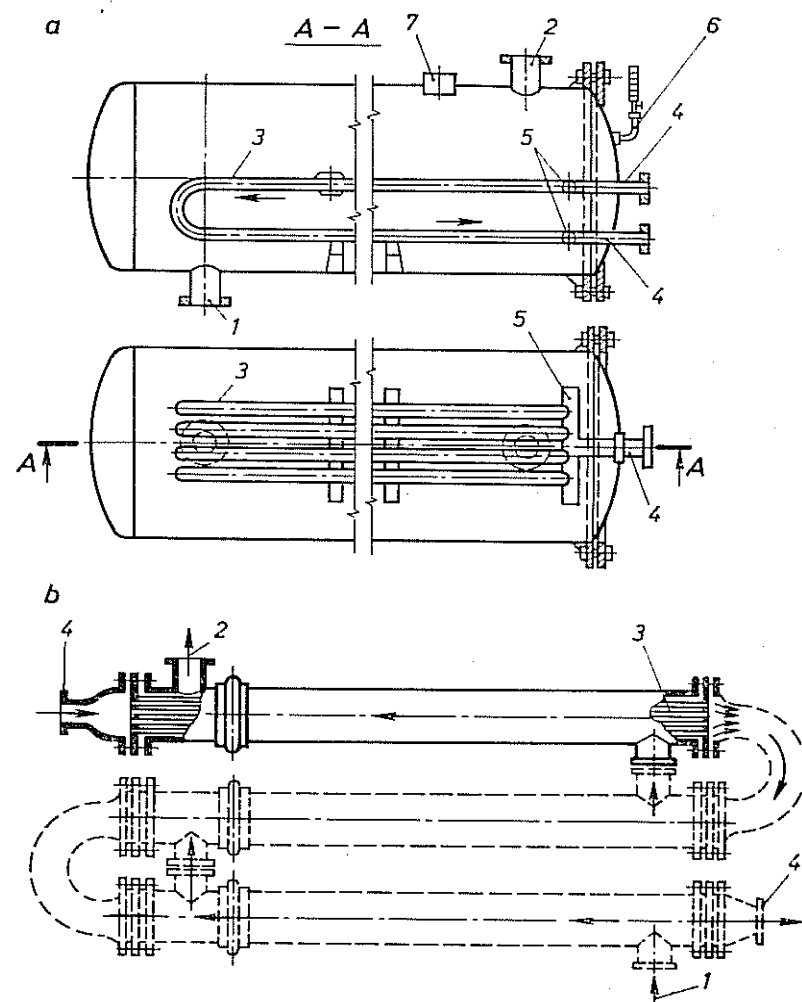
Drošības ierīce. Lai tvaika spiediens katlā nepaaugstinātos virs projektā paredzētā spiediena, zemspiediena tvaika apkures sistēmā uzstāda hidraulisko slēdzi vai pašpieslīpējošu bezsviras drošības vārstu. Vārstu uzstāda cauruļvadā, pa kuru tvaiku izvada no katla.

Lai pazeminātu tvaika spiedienu līdz nepieciešamam līmenim (parasti 0,3 MPa), augstspiediena tvaika apkures sistēmās lieto redukcijas vārstus, kuros tvaiku droselē, t. i., samazina tā plūsmas šķērsgriezumu. Parasti lieto atsperes tipa redukcijas vārstus.

Augstspiediena tvaika apkures sistēmās lieto sviras tipa drošības vārstus, kurus uzstāda arī tvaika sadales mezglos aiz redukcijas vārsta.

5.5. CENTRALIZĒTĀS UN DECENTRALIZĒTĀS ŪDENS-ŪDENS UN TVAIKA-ŪDENS APKURES SISTĒMAS

Konstruktīvi ūdens-ūdens un tvaika-ūdens apkures sistēmas var būt veidotas pēc jebkuras no apskatītajām ūdens apkures sistēmu shēmām, tikai ar to atšķirību, ka apkures sistēmā cirkulējošais ūdens tiek sakarsēts virsmas (caur sienīņu) siltum-



5.36. att. Virsmas tipa ūdens sildītāji:

a — ietilpīgs jeb lēnas darbības sildītājs; b — ātras darbības sildītājs; 1 — sekundārā siltumnesēja ietilpības ierīce; 2 — sekundārā siltumnesēja izplūdes ierīce; 3 — sildvirsmas caurules (glodene); 4 — primārā siltumnesēja ietilpības un izplūdes ierīces; 5 — kolektori; 6 — manometra pievienošanas ierīce; 7 — drošības vārsta pievienošanas ierīce.

apmaiņas aparātos, kurus sauc arī par ūdens sildītājiem. Atšķirībā no virsmas tipa siltumapmaiņas aparātiem ir arī sajaukšanas tipa aparāti, piemēram, elevatori.

Virsmas tipa ūdens sildītājus, kurus lieto ūdens sakarsēšanai apskatāmajās apkures sistēmās, iedala ietilpīgos jeb lēnas darbības sildītājos (5.36. att. a) un ātras darbības sildītājos (5.36. att. b). Siltuma atdevējs ir ārējo siltumtīklu karstais ūdens vai tvaiks.

Ietilpīgā jeb lēnas darbības ūdens sildītājā ietilpst liels ūdens daudzums (rezerve), kura sasildīšanai nepieciešamas vismaz vairākas stundas. Tāpēc šādu ūdens sildītājus izmanto arī kā siltā ūdens uzglabāšanas rezervuārus sadzīves vajadzībām, piemēram, dušām u. c. Ietilpīgo ūdens sildītāju hidrauliskā pretestība ir maza, un tāpēc tos lieto sistēmās ar dabisko cirkulāciju.

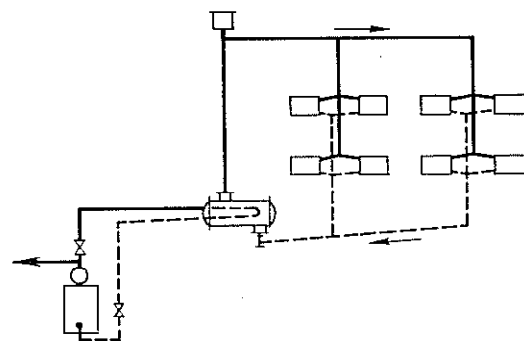
Apkures sistēmās ar piespiedu cirkulāciju lieto ātras darbības ūdens sildītājus. Ūdens sasilst laikā, kas vajadzīgs tā izplūšanai caur sildītāju.

5.37. attēlā parādīta tvaika-ūdens apkures sistēma ar dabisko cirkulāciju. Tvaiku ūdens sasildīšanai sagatavo katlā un pa tvaika vadu padod siltumapmaiņas aparātā (ietilpīgā ūdens sildītājā).

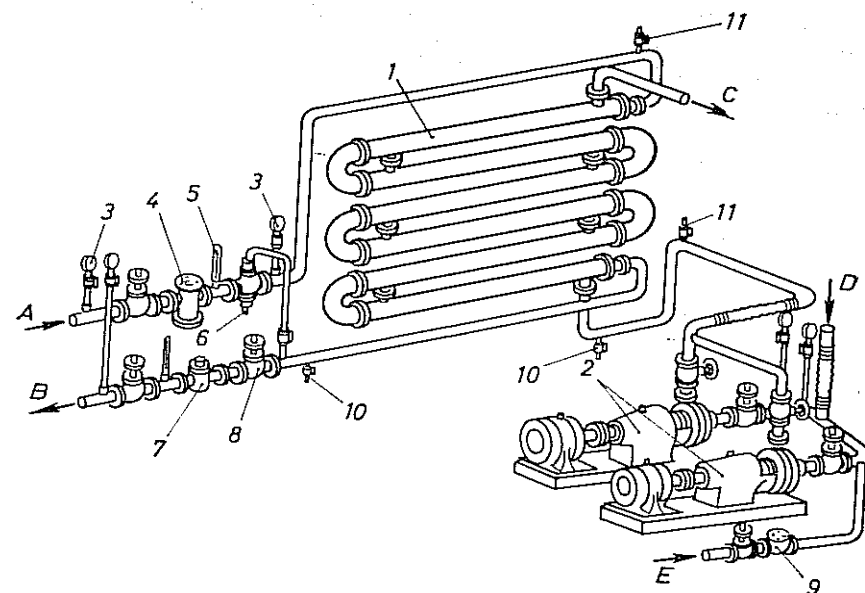
Tvaika-ūdens apkures sistēmas bieži lieto tajos gadījumos, kad objektā ir vēl citi patērētāji, kuru vajadzībām izdevīgāk uzstādīt tvaika katlus, kā arī, protams, tad, ja ir centralizēta tvaika apgādes sistēma, bet tvaika apkures sistēmu lietot nedrīkst.

5.38. attēlā parādīts piespiedu cirkulācijas ūdens apkures sistēmas siltummezgls ar ātras darbības ūdens sildītāju.

Specifiskos gadījumos lieto decentralizētās ūdens-ūdens un tvaika-ūdens apkures sistēmas. Šādu sistēmu lietošana saīs-



5.37. att. Tvaika-ūdens apkures sistēmas shēma.



5.38. att. Ūdens-ūdens apkures sistēmas siltummezgla shēma:
A — no siltumtīkliem; B — uz siltumtīkliem; C — uz apkures sistēmu; D — no apkures sistēmas; E — ūdensvads; 1 — ātras darbības siltumapmaiņas aparāts; 2 — cirkulācijas sūkņi; 3 — manometrs; 4 — spieduma uzdevējs; 5 — termometrs; 6 — patēriņa regulators; 7 — ūdens mērītājs; 8 — aizbīdņš; 9 — vienvirziena vārsts; 10 — iztukšošanas krāns; 11 — krāns.

tā ar augstas temperatūras siltumtīklu siltumnesēja pievadīšanu pēc iespējas tuvāk sildķermeņiem. Tas dod iespēju samazināt cauruļu diametru, jo ar paaugstinātu ātrumu var pārvietot vairāk siltuma saturošu primāro siltumnesēju.

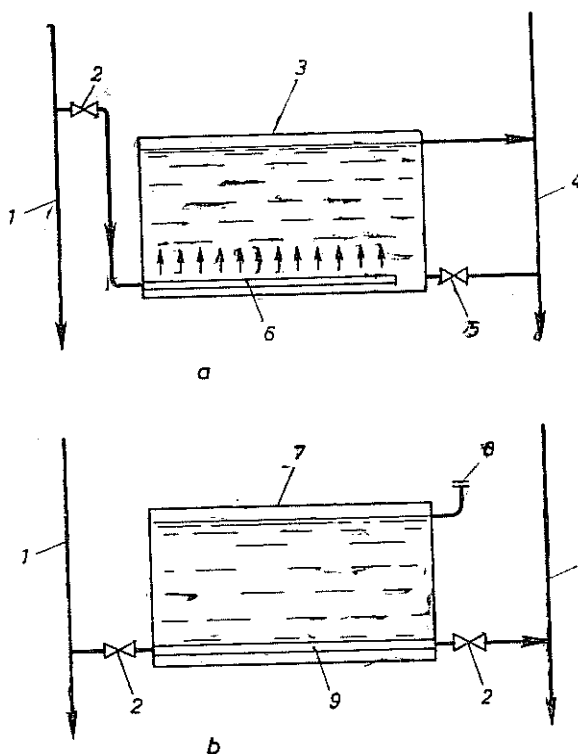
Decentralizētās ūdens-ūdens apkures sistēmās lieto bezspiediena tērauda vai keramikas sildķermeņus. Šādu sildķermeņus piepilda ar ūdeni (eļļu), kas sasilst no glodenes, pa kuru plūst augstas temperatūras ūdens (virsmas tipa siltumapmaiņas aparāts). Turklāt ar iztvaikošanu no ūdens virsmas var palielināt telpas mitrumu. Pievadītajam siltumtīklu ūdenim keramikas blokos tad var būt 110°C, tērauda aparātos — 130°C. Turklāt sildķermeņu virsmas temperatūra nepārsniedz 95°C.

Pie virsmas tipa siltumapmaiņas aparātiem pieder arī atgaisotie (vakuumanizētie) plānsienu termosifonu sildķermeņi. To darbība balstās uz fizikāliem procesiem, kuros uz aparāta lejasdaļā izvietotas karstas glodenes iztvaiko, bet tvaiks kondensējas uz tērauda sienām augšpusē.

Decentralizētās ūdens-ūdens apkures sistēmās lieto arī sajaukšanas tipa siltumapmaiņas aparātus, kad šādu apakšsistēmu atpakaļgaitas ūdenim piejauc turpgaitas karsto ūdeni (piemēram, paaugstina ūdens temperatūru no 70°C līdz 105°C). Sajaukšana notiek ar diafragmu, slēgposmu, speciālu sajaucēju vai sildķermenī ievietotu perforētu kolektoru palīdzību.

Šādas sistēmas netiek plaši izmantotas, jo rodas grūtības ar augstas temperatūras cauruļvadu izvietojanu telpās, arī montāža un regulēšana ir sarežģīta.

Decentralizētās tvaika-ūdens apkures sistēmās ūdeni sakarsē ar tvaiku tieši sildķermeņos (5.39. att.).



5.39. att. Decentralizētās tvaika-ūdens apkures sistēmas ar radiatoriem:

a — zem paaugstināta spiediena; b — zem atmosfēras spiediena; 1 — tvaika stāvvads; 2 — tvaika ventils; 3 — čuguna radiators; 4 — kondensāta stāvvads; 5 — ventils; 6 — perforēta caurule; 7 — tērauda radiators; 8 — iscaurule ūdens uzpildīšanai; 9 — ūdens sildcaurule.

Tā, piemēram, konstrukcijā ar sajaukšanas tipa siltumapmaiņas aparātiem lieto standarta čuguna radiatorus. To apakšējā daļā iemontē perforētu cauruli, pa kuru ievada tvaiku (5.39. att. a). Normālā ekspluatācijā tvaika kondensāts aizpilda radiatoru līdz pārplūdes vada līmenim. Nepieciešamo ūdens temperatūru uztur, regulējot tvaika padevi pa vadu, kuru pievieno stāvvadam nedaudz virs radiatora augšējās daļas līmeņa. Nepieciešamības gadījumā ūdeni no radiatora izlaiž kondensācijas stāvvadā caur ventili 5.

Konstrukcijā ar virsmas tipa siltumapmaiņas aparātu (5.39. att. b) sildķermeņa apakšējā daļā ir iebūvēta caurule, pa kuru plūst tvaiks. Šādu sildķermeni uzpilda ar ūdeni pa augšpusē novietotu iscauruli. To sauc par bezspiediena tērauda sildķermeni, jo ūdens tilpums atrodas zem atmosfēras spiediena un to izgatavo no tērauda.

Decentralizētu tvaika-ūdens apkures sistēmu priekšrocības salīdzinājumā ar parastajām ūdens apkures sistēmām ir tās, ka samazināts metāla patēriņš un zemāka sildķermeņu virsmas temperatūra (kā zināms, tvaika apkures sistēmās tā ir 100°C un augstāka).

Šo sistēmu trūkumi ir sarežģītā regulēšana, troksnis un hidraulisko triecienu iespējamība sildķermeņos. Plašu lietojumu decentralizētās tvaika-ūdens apkures sistēmas nav ieguvušas.

5.6. GAISA APKURES SISTĒMAS

Gaisa apkure — viens no visvecākajiem telpu apsildes paņēmieniem. Sasildīta gaisa izmantošana ēku apkurei bija pazīstama jau pirms Kristus dzimšanas.

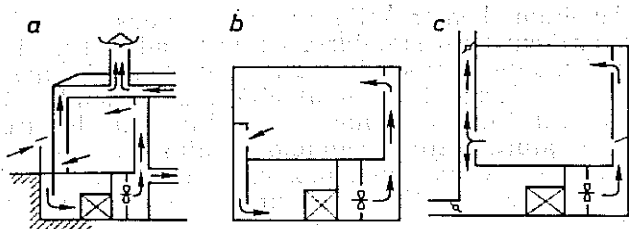
Mūsdienās gaisa apkuri lieto sabiedrisko, ražošanas un palīgtelpu apsildei, kā arī dzīvojamās ēkās, ievadot telpā gaisu ar nepieciešamo temperatūru.

Gaisa apkures sistēmās siltumnesējs ir gaiss. To sasilda siltumapmaiņas iekārtā, kurā siltumavots var būt ūdens, tvaiks, gāzes, silts, bet piesārņots gaiss no tehnoloģiskām iekārtām utt.

Gaisa apkures sistēmas, tāpat kā citus apkures veidus, iedala pēc būtiskākām pazīmēm.

Atkarībā no gaisa kustības ierosinātāja izšķir sistēmas ar gaisa dabisko cirkulāciju un sistēmas ar mehānisko ierosmi, lietojot ventilatoru.

Atkarībā no gaisa sagatavošanas, t. i., sasildīšanas vietas izšķir vietējās un centrālās sistēmas. Vietējās sistēmās gaisa sasildīšana un sadale notiek tieši apsildāmā telpā, izmantojot attiecīgus agregātus. Centrālajās sistēmās gaisu sasilda



5.40. att. Gaisa apkures sistēmas:
a — caurplūdes; b — recirkulācijas; c — kombinētā.

kopīgā iekārtā un pa gaisa kanāliem padod telpā (izvada dažādos punktos) vai vairākās telpās (arī dažādos stāvos).

Gaisa apkures sistēmas var veikt tikai apkures funkcijas vai arī vienlaikus izpildīt ventilāciju. Pirmajā gadījumā tās parasti silda tikai telpas gaisu, t. i., notiek pilnīga recirkulācija, otrajā gadījumā tiek sasildīts tikai āra gaiss vai arī paredzēta daļēja recirkulācija, kuras pakāpi nosaka sanitāri higiēniskās normas vai ražošanas procesa īpatnības. Tāpēc atkarībā no telpā ievadāmā gaisa kvalitātes var izdalīt sistēmas ar pilnu un daļēju recirkulāciju un caurplūdes sistēmas, kad telpā ievada tikai sasildītu āra gaisu (5.40. att.).

Kā jau teikts, primārais siltumnesējs var būt ūdens, tvaiks utt. Tāpēc literatūrā var sastapties ar dažāda nosaukuma gaisa apkures sistēmām, piemēram, tvaika-gaisa, ūdens-gaisa utt.

Sistēmās ar pilnu recirkulāciju sildītājā sasildītais gaiss ar ventilatoru pa kanāliem tiek ievadīts telpā. Seit tas atdod siltumu, kompensējot telpas siltuma zudumus, un pēc tam pa kanāliem atgriežas sildītājā. Sādi cirkulējošā gaisā uzkrājas kaitīgie izdalījumi un telpas sanitāri higiēniskais stāvoklis pasliktinās. Pilnas recirkulācijas sistēmām ir raksturīga augsta ekonomiskā efektivitāte, bet zemi sanitāri higiēniskie rādītāji. Šādu apkuri plaši lieto sabiedriskās un administratīvās ēkās kā dežūrapkuri, t. i., ārpus darba laika, kā arī noliktavās, saimniecības un citās telpās, ja nav uzstādītas speciālas prasības ventilācijai.

Caurplūdes sistēmās āra gaisu no ieņemšanas šahtas ar ventilatoru izvada caur sildītāju un pa kanāliem padod telpā. Seit tas atdod siltumu, kompensējot telpas siltuma zudumus, kā arī veic galveno caurplūdes sistēmas uzdevumu — asimilē kaitīgos izdalījumus telpā un tos izvada ārā caur noplūdes šahtu. Caurplūdes sistēmām salīdzinājumā ar pilnas recirkulācijas sistēmām ir augsti sanitāri higiēniskie rādītāji, bet ļoti lieli siltuma enerģijas zudumi, kurā tiek aizvadīta ar izlietoto gaisu.

Atšķirībā no iepriekšējām sistēmām daļējas recirkulācijas sistēmās iepriekš aprēķinātu (saskaņā ar sanitāri higiēniskām normām un ražošanas procesa prasībām) gaisa maisījumu silda gaisa sildītājā. Vienu daļu no telpā ievadītā gaisa pa noplūdes šahtu izvada ārā, bet otru daļu no ievadītā gaisa sajauc ar svaigo āra gaisu. Šādas sistēmas ekonomiskuma pakāpe ir atkarīga no telpā pieļaujamās kaitīgo izdalījumu koncentrācijas, t. i., maksimāli pieļaujamā recirkulācijas gaisa daudzuma.

No sanitāri higiēniskā un tehniski ekonomiskā viedokļa vispilnīgākā ir gaisa apkures sistēma ar izlietotā gaisa siltuma rekuperāciju vai reģenerāciju (sk. II. daļā 6.3.4. sadaļu).

Ja ventilācijai nepieciešams mazāks gaisa daudzums nekā gaisa apkurei, tad lieto kombinētās sistēmas. Tās ir sevišķi ērtas telpām ar mainīgu gaisa apmaiņas biežumu un mainīgiem siltuma izdalījumiem, piemēram, teātriem, kultūras namiem, rūpniec telpām, kurās strādā maiņu darbu.

Laikā, kad telpās nav cilvēku un iekārtas nestrādā ar pilnu jaudu vai telpās ir maz cilvēku, var būt nepieciešama kā apkure, tā arī ventilācija. Kad siltuma izdalījumi ir maksimālie, tad ir nepieciešama ventilācija. Kombinētās sistēmas attiecīgi var strādāt trīs atšķirīgos režīmos: ar pilnu recirkulāciju, kā kombinēta sistēma, kā caurplūdes sistēma.

Gaisa apkures sistēmas samērā plaši lieto rūpniecības un lauksaimniecības ēkās, jo to izbūvei jāpatērē 10...12 reizi mazāk metāla nekā ūdens un tvaika apkures sistēmām. Tām ir daudz mazāka siltuma inerence: tās ātri normalizē telpas temperatūru. Telpās ar lielu grīdas laukumu gaisa apkure nodrošina vienmērīgāku temperatūras sadalījumu nekā pie ārsienām novietoti sildķermeņi.

Centrālajās sistēmās gaisa padevi telpā var realizēt pa atsevišķi izvietotiem vadiem, kuriem attiecīgās vietās ir atvērumi, vai koncentrēti — no viena punkta.

Jautājums par koncentrētu gaisa padevi nav mazsvarīgs, jo iespēja neierīkot kanālus padara sistēmu daudz ekonomiskāku. Eksperimentos ir noskaidrots, ka var panākt vienmērīgu temperatūras sadalījumu telpā, realizējot gaisa padevi ar kompaktām un vēdekļveida strūklām. Šādas sistēmas ar koncentrētu gaisa padevi plaši lieto liela apjoma rūpniecības un sabiedriskās ēkās — kinoteātros ar 300...600 skatītāju vietām, peldbaseinos, vingrošanas, tirdzniecības un izstāžu zālēs. Ņemot vērā aerodinamikas kā praktiskas zinātnes nozares īpatnības, vislabākos rezultātus iegūst, modelējot dabā vai laboratorijas apstākļos konkrētos objektus.

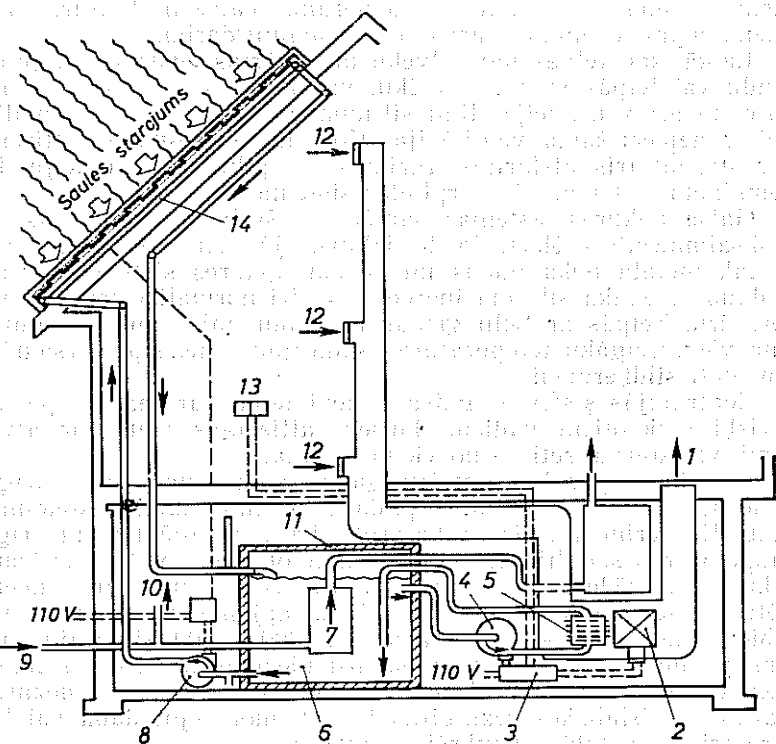
Interesants ir samērā plaši lietotais paņēmieni (sevišķi Francijā), kad siltā gaisa padevi organizē tā, ka tas vienmērīgi «izklājas» zem griestiem. Šajā gadījumā griesti kļūst it kā par starojošu paneli.

Gaisa apkures trūkums ir lielais elektroenerģijas patēriņš ventilatoru piedziņai. Turklāt ventilatori strādā ļoti smagā režīmā, jo ziemā tos vairākus mēnešus nedrīkst izslēgt ne dienu, ne nakti.

5.7. SAULES ENERĢIJAS IZMANTOŠANA ĒKU APKURĒ

Saules enerģiju var izmantot apkures un karstā ūdens apgādes vajadzībām. Agrāk uzskatīja, ka Saules enerģiju izdevīgi izmantot tikai zemēs ar siltu klimatu, bet tagad ir pierādīts, ka vidēja platuma grādos ar samērā lielu apmākušos dienu skaitu (Francijā, Vācijā, Anglijā un pat Zviedrijā) arī var izmantot Saules enerģiju.

Apkures sistēma, kurā izmanto Saules enerģiju, sastāv no saules kolektora, siltuma akumulatora, caurulēm un siltum-



5.41. att. Saules siltumapgādes sistēmas shēma:

- 1 — sasilstušais gaiss; 2 — papildu sildītājs; 3 — papildu sildītāja ieslēgšanas relejs;
- 4 — siltumnesēja cirkulācijas sūkņi; 5 — kalorifers; 6 — siltuma akumulators;
- 7 — karstā ūdens apgādes sildītājs; 8 — cirkulācijas sūkņi; 9 — ārējais ūdensvads;
- 10 — iekšējais ūdensvads; 11 — akumulatora siltumizolācija; 12 — atdzisušais gaiss;
- 13 — termoregulators; 14 — saules kolektors.

nesēja cirkulācijas sūkņa (5.41. att.). Par siltumnesēju visbiežāk izmanto ūdeni; var būt arī sistēmas, kurās lieto, piemēram, etilēnglikolu, gaisu. Saules kolektorā uzkrāto Saules enerģiju ar siltumnesēja starpniecību pievada apkures sistēmai (karstā ūdens apgādes sistēmai) vai akumulatoram, kurš veidots kā ūdens tvertne vai kamera ar akmeņiem, betona blokiem un citiem siltumu akumulējošiem materiāliem.

Saules enerģija ir pietiekoša, tomēr Saules starojuma plūsmas blīvums ir samērā mazs (retos gadījumos lielāks par 1000 W/m^2). Tas nozīmē, ka, lai savāktu pietiekošu enerģijas daudzumu, nepieciešams liels laukuma kolektors. Saules enerģijas siltumapgādes sistēma nodrošina tikai daļu no maksimālā siltuma patēriņa (30...70%), tāpēc papildus paredz siltuma generatoru, kurā izmanto elektroenerģiju vai parasto kurināmo. Visērtākie ir elektrosildītāji, var izmantot arī gāzes ūdenssildītājus. No šāda viedokļa jebkuru parasto karstā ūdens apgādes sistēmu izdevīgi aprīkot ar lētiem saules ūdenssildītājiem, kas paredzēti ūdens iepriekšējai sasildīšanai.

Ūdens apkures sistēma ar Saules enerģiju būtībā ir palielinātas jaudas karstā ūdens apgādes sistēma. Tādu sistēmu var veidot arī kā gaisa apkures sistēmu. Ūdens apkures sistēmās kolektora laukums parasti ir vienāds ar pusi no apkurināmo telpu platības; karstā ūdens rezervi paredz 80...100 l uz kolektora virsmas laukuma 1 m^2 . Tāda sistēma var būt aprēķināta, izmantojot jebkura tipa sildķermeņus, kas piemēroti zemas temperatūras ūdens apkures sistēmām. Visizdevīgākā ir grīdas apsildes sistēma, jo tajā lieto ūdeni ar temperatūru nedaudz virs 30°C .

Tiešai telpu apkurei gaisu var sildīt plakano saules kolektorus. Šajā gadījumā ir problēmas ar siltuma akumulatoru; ļoti ērti šim mērķim var izmantot oļu vai šķembu bērumus. Šādu gaisa apkures sistēmu pozitīva īpašība ir tā, ka nav iespējama to aizsalšana. Parasti, iestājoties aukstumam, ūdens no kolektora jāizlej vai tam jāpievieno antifrizs.

Viena no Saules radiācijas būtiskām pazīmēm ir tās periodiskums un nepastāvīgums. Diennakts enerģijas patēriņam jāatjaunojas (jāuzpildās) 6...8 stundu laikā; tāpat nepieciešams nodrošināt enerģijas akumulēšanu. Tā, piemēram, karstā ūdens rezerve jāparedz vairākām diennaktīm, rēķinoties ar mākoņainām dienām. Parasti izmanto tvertnes ar divu dienu rezervi.

Saules enerģiju var izmantot daudzstāvu ēku apkurei, piemēram, Parīzē ir uzbūvēta 50 dzīvokļu piecstāvu ēka ar karstā ūdens apgādes sistēmu, kas izmanto Saules enerģiju. Par siltumnesēju sistēmā lietots antifrizs. Saules kolektori izvietoti uz mājas jumta, tie veidoti no melnā krāsā nokrāsotām metāla caurulēm, kuras pārklātas ar stiklu. Vasarā, ja āra gaisa

Saules radiācija (iešā/izskaidotā) Latvijā jūlija mēnesī
ar skaidrām debesīm, W/m²

Joslas vidus platuma grādi	Diennakts stundas											Diennakts vidējā radiācija
	Diennakts stundas											
	3 ... 4	4 ... 5	5 ... 6	6 ... 7	7 ... 8	8 ... 9	9 ... 10	10 ... 11	11 ... 12	Diennakts summārā radiācija		
<i>Uz horizontālām virsmām</i>												
56	—	$\frac{62}{27}$	$\frac{140}{56}$	$\frac{237}{77}$	$\frac{359}{96}$	$\frac{482}{105}$	$\frac{572}{119}$	$\frac{650}{122}$	$\frac{691}{126}$	$\frac{6386}{1456}$	327	
58	$\frac{14}{2}$	$\frac{73}{28}$	$\frac{154}{56}$	$\frac{244}{77}$	$\frac{356}{91}$	$\frac{468}{105}$	$\frac{565}{112}$	$\frac{637}{122}$	$\frac{670}{126}$	$\frac{6362}{1438}$	325	
<i>Uz vertikālām dienvidu virzienā orientētām virsmām</i>												
56	—	$\frac{—}{16}$	$\frac{—}{46}$	$\frac{—}{78}$	$\frac{83}{101}$	$\frac{207}{114}$	$\frac{327}{120}$	$\frac{428}{122}$	$\frac{479}{124}$	$\frac{3048}{1442}$	187	
58	$\frac{—}{5}$	$\frac{—}{20}$	$\frac{—}{46}$	$\frac{5}{74}$	$\frac{95}{96}$	$\frac{226}{113}$	$\frac{349}{120}$	$\frac{451}{124}$	$\frac{508}{126}$	$\frac{3268}{1148}$	196	
20 ... 21 19 ... 20 18 ... 19 17 ... 18 16 ... 17 15 ... 16 14 ... 15 13 ... 14 12 ... 13												
Diennakts stundas												

temperatūra ir 33 °C un Saules radiācijas intensitāte 940 W/m², ūdens kolektorā sasilst līdz 76 °C. Saules enerģijas izmantošanas sistēma ļauj ietaupīt 20% no ēkas gada siltuma patēriņa.

Sevišķi efektīvi Saules enerģiju var izmantot ūdens sildīšanai atklātos peldbaseinos, jo šajā gadījumā nav vajadzīgs akumulators. Tā, piemēram, Zviedrijā atklātā peldbaseina helioiekārta nodrošina 70% no nepieciešamā siltuma daudzuma peldsezonas laikā.

Latvijas teritorijā, kura atrodas starp 56. un 58. platuma grādu (Rīga — 57°), novērotā vidējā Saules radiācija jūlija mēnesī dota 5.7. tabulā.

Dzīvokļu apkures sistēmās diezgan plaši izmanto (apvienojot ar Saules siltumapgādes sistēmām vai patstāvīgi) siltuma sūkņus. Par siltuma sūkni sauc saldējamo mašīnu, ar kuras palīdzību var iegūt karstu ūdeni vai gaisu no zemas temperatūras siltuma avotiem (āra gaiss, vaļējas ūdenskrātuves vai apakšzemes ūdens, mehāniski attīrīti pilsētas kanalizācijas un rūpnieciskie notekūdeņi, Saules starojums un grunts).

Sildot siltuma sūkņa iztvaikotāju ar ūdeni, kura temperatūra nav zemāka par +6 °C, kondensatorā var sakarsēt ūdeni līdz +61 °C.

Siltuma sūkņa efektivitāti raksturo transformācijas koeficients

$$\varepsilon = \frac{Q + N}{N}, \quad (5.29)$$

kur Q — iegūtais siltuma daudzums, kas atņemts zemas temperatūras siltuma avotam, kW;

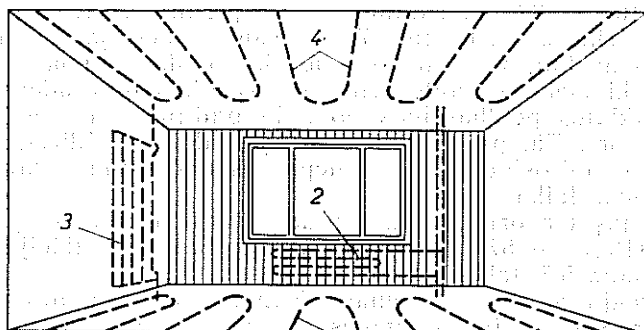
N — siltuma sūkņa patērētā elektroenerģija, kW.

Apkures sistēmas transformācijas koeficients ir 2...3,5. Tas liecina, ka ar siltuma sūkni var ievērojami samazināt apkurei patērēto enerģiju.

Šādas sistēmas, kurās izmanto Saules enerģiju ūdens vai gaisa sildītāju darbināšanai, bieži sauc arī par «aktivām saules sistēmām» atšķirībā no tā saucamās «pasīvās saules apkures», kura darbojas jebkurā Saules radiācijai pakļautā ēkā, t. i., tā ievērota, izdarot siltumtehnikas būvkonstrukciju aprēķinus. Šādu «pasīvās saules apkures» iespaidu var regulēt arī ar konstruktīviem elementiem, veicinot vai bremzējot siltummaiņas procesus.

5.8. STARU PANEĻU APKURES SISTĒMAS

Ir apkures sistēmu kopa, kuru galvenā pazīme ir sienās, griestos vai grīdās iebūvēti, siltumu izstarojoši paneļi (5.42. att.), kuros silda ar kādu siltumnesēju. Visbiežāk siltum-



5.42. att. Paneļu izvietoums staru paneļu apkures sistēmā:

1 — grīdā; 2 — zem palodzes; 3 — starpsienā; 4 — griestos.

nesējs ir karsts ūdens, retāk — tvaiks vai karsts gaiss. Paneļu sildīšanai vispiemērotākie no tehniskā viedokļa ir elektro-sildītāji. Sildošu griestu paneļu gadījumā 75% no telpas apkurei nepieciešamā siltuma tiek atdoti starojuma veidā, bet 25% — ar konvekciju; izvietojot paneļus grīdā, starojuma siltums sastāda 30...40%; vertikālo sienas paneļu siltumatdeve starojuma veidā sastāda 30...60%, turklāt tā pieaug, palielinoties sildvirsmas augstumam un temperatūrai. Tāpēc bieži šādas apkures sistēmas sauc par staru paneļu apkures sistēmām. 1907. gadā krievu inženieris V. Jahimovičs, ņemot par pamatu prof. V. Caplina idejas, konstruēja praktiskas apkures sistēmas, kurās tērauda caurules iebūvēja sienās, griestos un grīdās, kā arī kolonnās, pilastros un pat kāpņu margās un statņos. Šādas sistēmas viņi nosauca par paneļu apkuri. Mūsu gadsimta 20. gados paneļu apkures sistēmas sāka lietot arī rietumos, kur tās sākumā sauca par staru apkures sistēmām.

5.8. tabula

Ieteicamās vidējās gaisa temperatūras, °C

Telpas nosaukums	Telpas gaisa temperatūra, °C	
	konvektīvā apkure	paneļu apkure
Vestibīli, koridori, kāpņu telpas, veikali u. tml.	12...16	8...14
Dzīvojamās un sabiedriskās telpas	18...20	16...18
Vannas istabas, ārstniecības telpas (operāciju zāles u. c.)	22...26	20...24

Paneļu apkures gadījumā norobežojošo konstrukciju un mēbeļu virsmas temperatūra ir par 2...4°C augstāka nekā konvektīvā apkurē. Ir zināms, ka cilvēka labsajūta ievērojami uzlabojas, ja palielinās konvektīvi pārnestā siltuma daļa attiecībā pret izstaroto siltumu. Eksperimentāli ir noskaidrots, ka parastajos apstākļos cilvēks jūtas labi, ja gaisa temperatūra telpā sienu paneļu apkures gadījumā ir 17,4°C. Vēlamās gaisa temperatūras dotas 5.8. tabulā.

Maksimālai starojuma intensitātei dzīvojamās un sabiedriskās ēkās jābūt apmēram 12 W/m², bet rekomendējamā paneļu virsmas temperatūra t_v , °C, atkarībā no to novietojuma ir šāda:

1 m augstā zonā virs grīdas līmeņa:	
dzīvojamās un sabiedriskās ēkās	95
bērnu iestādēs un slimnīcās	85
Sienās un starpsienās 1 m augstumā un augstāk virs grīdas līmeņa	45
Pie griestiem telpā, kuras augstums, m, ir	
2,5...2,8	28
2,9...3	30
3,1...3,4	33
Uz grīdas virsmas:	
dzīvojamās ēkās	25
bērnu iestādēs	24
peldbaseinos	34

Komunālos un rūpniecības uzņēmumos, vingrošanas zālēs, restorānos, ēdnīcās, stacijās, izstāžu zālēs 1 m augstumā virs grīdas līmeņa uzstādītu paneļu vidējā virsmas temperatūra ir atļauta līdz 15°C. Siltumnesējs betona paneļos galvenokārt ir karsts ūdens (115°C; biežāk 95°C), jo tas izraisa mazāku tērauda cauruļu koroziju nekā tvaiks. Lai samazinātu cauruļvadu koroziju, kuri lielākoties ir monolīti savienoti ar būvkonstrukciju, sevišķa uzmanība jāpievērš sistēmas atgaisošanai, ūdens ātruma paaugstināšanai un tā ķīmiskai apstrādei, aizsargājošu pretkorozijas pārklājumu lietošanai, cauruļvadu slīpuma ievērošanai attiecībā pret gaisa savācējiem un gaisa aizvadītājiem, sistēmas tukšošanai un uzpildīšanai.

Lietojot par siltumnesēju karstu gaisu, vienkāršojas tā transportēšana, sistēmas montāža un remonts. Tomēr gaisa izmantošanas gadījumā ir jānodrošina būvkonstrukcijās izvietoto kanālu hermētiskums.

Betona paneļu elektroapsildi var realizēt bez sevišķām grūtībām (iebetonē vadītājus ar attiecīgi aprēķinātu pretestību). Vēl vienkāršāks paņēmieni ir telpu ārējo konstrukciju iekšējo virsmu noklāšana ar elektrību vadošu gumiju ($t \approx 40^\circ\text{C}$). Tomēr, to lietojot, telpā izdalās smaka. Elektrību kā siltumenerģijas avotu var lietot tikai rajonos ar lētu elektroenerģiju.

Karstu gāzi visbiežāk izmanto vietējos liesmu paneļos, kurus izvieto telpu augšējās zonās, apsildot lielus cehus, slimnīcu operāciju zāles, atklātas terases, kafejnīcas u. tml.

Rajonos ar bargu klimatu rekomendē ierīkot grīdas paneļu apkuri, bet rajonos ar izteiktu kontinentālu klimatu izdevīgi ierīkot griestu paneļu apkuri, tāpēc ka vasarā tādu sistēmu var darbināt ar aukstu ūdeni.

Apkures paneļi var būt iebūvēti, piemontēti un piekārti. Iebūvētie vai ar celtniecības konstrukcijām apvienotie paneļi pagugstina celtniecības industrializāciju, ekonomē vietu un uzlabo interjeru.

Paneļu apkures sistēmu priekšrocības:

- nodrošina augstus sanitāri higiēniskos rādītājus;
- industrializējamas;
- samazināta metālietilpība;
- pazeminātas izmaksas un montāžas darbietilpība;
- lielas konstruktīvas iespējas radīt komfortablus apstākļus dažādās platības un tilpumu telpās.

Paneļu apkures sistēmu trūkumi:

- liela paneļu siltumietilpība, kas apgrūtina to individuālās siltumapgādes regulēšanu;
- atsevišķu sistēmas elementu remonta un nomaiņas grūtības.

5.9. ELEKTRISKĀ APKURE

Elektriskajai apkurei ir šādas priekšrocības: vienkārša ekspluatācija, iespēja pilnīgi automatizēt apkures sistēmas darbību un uzskaitīt patērētās enerģijas daudzumu, augsts lietderības koeficients, netiek piesārņota apkārtējā vide ar degšanas produktiem un kurināmā atkritumiem, tā nav atkarīga no kurināmā apgādes.

Pagaidām ar elektrisko apkuri aprīkot visas ēkas nav iespējams, jo elektroenerģija ir dārgāka nekā citi enerģijas veidi un tā ir deficīta.

Elektrisko apkuri izmanto vietās, kur ir grūtības ar kurināmā transportu, un rajonos, kur ir lētas elektroenerģijas pārpalikums.

Dažreiz elektrisko apkuri izmanto vietējai darbavietu apsildei lielos cehos (infrasarkanie starotāji). Ar šādu apkuri gaisa temperatūra telpā ir zemāka nekā konvektīvās apkures gadījumā, tāpēc siltuma enerģijas patēriņš samazinās apmēram par 30% salīdzinājumā ar ūdens apkuri.

Sildvirsmu augstās temperatūras dēļ elektrisko apkuri nedrīkst lietot telpās, kurās ir materiāli, kas augstā temperatūrā var veidot toksiskas vai sprāgstošas vielas, kā arī noliktavās, kur glabā degošas vai sprāgstošas vielas.

Elektriskās apkures sistēmas iedala šādās grupās:

- staru apkures sistēmas (izmanto reflektorus ar infrasarkanā starojuma);

- staru-konvekcijas apkures sistēmas (izmanto elektroradiātorus, sienu elektropaneļus, elektrību vadošas tapetes un krāsas);
- gaisa apkures sistēmas (gaisu sasilda elektrokāliņi).

Staru apkures sistēmās lieto gaišos infrasarkanos reflektorus (starojošās virsmas temperatūra ir līdz 2000°C), kurus vienlaikus izmanto telpu apkurei un apgaismošanai, un tumšos infrasarkanos reflektorus (starojošās virsmas temperatūra ir 300...1100°C), kuri apgaismošanai nav paredzēti.

Gaišais reflektors ir speciāla elektrospuldze (jauda 250 un 500 W), kuras kolbas aizmugure pārklāta ar alumīnija kārtu starojuma koncentrēšanai 25...30° kūlī.

Tumšais reflektors sastāv no sildspirāles, kas pārklāta ar elektroizolācijas slāni un ievietota metāla, kvarca vai keramikas caurulītē. Lai starojumu koncentrētu darba zonas virzienā, caurulīte aprīkota ar paraboliskas formas atstarotāju. Tumšos reflektorus lieto telpās, kurās nav pieļaujama redzamā gaisma, piemēram, fotolaboratorijās, kinoteātros, kā arī gadījumos, ja apgaismojums traucē darbu.

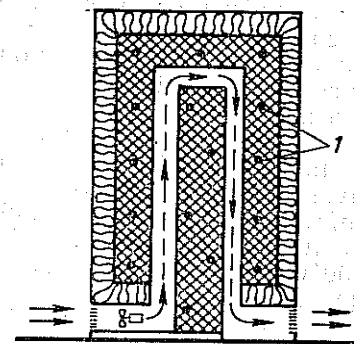
Diezgan plaši izplatītas elektriskās apkures sistēmas ir Rietumeiropas valstīs, kur elektroenerģiju var izmantot nakts stundās pēc pazemināta tarifa, lietojot siltumu akumulējošus sildķermeņus.

Piemēram, Vācijā naktī no pulksten 22 līdz 6 elektrības izmaksas pēc nakts tarifa sastāda 40...50% no izmaksām dienas laikā.

Siltumu akumulējoši sildķermeņi sastāv no masīviem akmeņiem vai ķieģeļu blokiem, kuri ievietoti nedegošā materiāla apvalkā un no ārpusē apdarināti ar keramikas plāksnītēm vai kādu citu dekoratīvu materiālu (5.43. att.). Nakts stundās blokus sasilda ar elektrisko strāvu, bet dienā, analogi krāsnīm, tie atdod siltumu telpām.

Elektriskās apkures sistēmās pēdējos gados arvien plašāk lieto elektrību vadošas tapetes un krāsas.

Elektrību vadošās tapetes sastāv no vairākām kārtām: iekšējā kārtā izgatavota no elektrību vadoša lokšņu kaučuka, kas no abām pusēm noklāts ar stikla šķiedras audumu un galos pievienots elektrodēm. Pie sienām piestiprinātus elementus no virspuses noklāj ar 50 mm biezu minerālvates vai cita analoga materiāla siltumizolācijas slāni. Elementa masa ir



5.43. att. Siltumu akumulējošs sildķermenis:
1 — sildelements.

458 g/m², maksimālā temperatūra 120°C, vidējā darba temperatūra 32...38°C, uzstādītā jauda 193...255 W/m².

Ir izstrādātas elektrību vadošas krāsas, kuras elektriskās apkures sistēmās izmanto par sildelementu. Šo krāsu sastāvā ietilpst grafits, sodrēji un polimēru savienojumi. Tā kā elektrību vadošā krāsa ir melna vai pelēka, to pārklāj ar kādu citu krāsu vai uzlīmē tapetes. Krāsas slānim pievieno divus horizontālus elektrodus — vienu pie grīdas, otru pie griestiem.

Plūstot elektrībai no viena elektroda uz otru, krāsa sasilst līdz 30...40°C un izstaro telpā siltumu. Viena m² krāsotās virsmas siltumatdeve ir 130...160 W/m², maksimālais spriegums — 40 V.

Elektriskās apkures sistēmas galvenais trūkums ir nepieciešamība uzstādīt samērā dārgus transformatorus. Tomēr kapitālieguldījumi šīs apkures sistēmas ierīkošanai ir apmēram 2 reizes mazāki nekā parastai ūdens apkures sistēmai ar radiatoriem.

Apkures sistēmas ar elektrību vadošu krāsu var lietot dzīvojamā, rūpniecības un lauksaimniecības ēku apkurei. Šo krāsu var izmantot apledojumu novēršanai uz lidostu skrejceļiem, tiltiem, televīzijas torņiem, kā arī veidņu apsildei betonēšanas darbos ziemā.

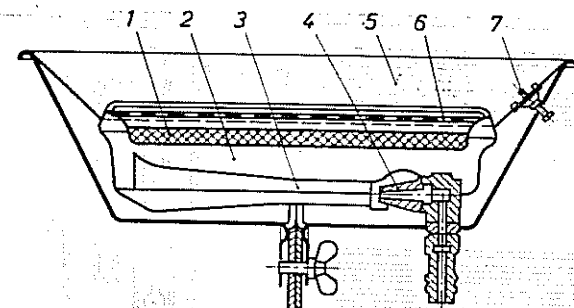
5.10. GĀZES APKURE

Gāzi plaši lieto kā kurināmo apkures katlos, rūpnīcu krāsnīs, dzīvokļu pavados, kā arī tieši telpu apkurei. Gāzi viegli pārvadīt lielos attālos, tā sadeg pilnīgi, minimāli piesārņojot gaisu. Tomēr paredzams, ka gāzes kā kurināmā izmantošana pakāpeniski samazināsies, jo lietderīgāk gāzi izmantot par izejvielu ķīmiskajā rūpniecībā. Kurināšanai lieto dabisko un mākslīgo gāzi. Pēdējo iegūst no cietā un šķidrā kurināmā (piemēram, propāna C₃H₈ un butāna C₄H₁₀ maisījums). Tomēr gāze, kuru lieto dedzināšanai, ir kaitīga veselībai un sprādzienbīdīga.

Pēdējā laikā plaši izplatījušās gāzes staru apkures sistēmas ar infrasarkanajiem gāzes degļiem. Šīs sistēmas ir sevišķi efektīvas ražošanas telpās atsevišķu darba vietu lokālai apkurei. Infrasarkanās apkures gadījumā lielāko daļu siltuma izstaro degļu keramikas vai metāla uzgaļi, kas sakarsēti līdz 800...900°C. Šādas apkures lietderības koeficients sasniedz 90...99%.

Gāzes degļus stiprina pie griestiem, fermām un sienām. Telpās ar griestu augstumu līdz 4 m atstatumam no gāzes degļiem līdz griestiem jābūt 0,3...0,4 m. Atstatumam starp gāzes degļiem un degošām konstrukcijām jābūt vismaz 1 m.

Infrasarkanā starojuma gāzes deglis redzams 5.44. attēlā.



5.44. att. Infrasarkanā starojuma gāzes deglis:
1 — caurumota keramikas plāksne; 2 — sajaukšanas kamera; 3 — inžektors-sajaucējs; 4 — uzgaļis; 5 — reflektors; 6 — metāla siets; 7 — distances aizdedzes ietaise.

Infrasarkanajos degļos gāzes un gaisa maisījums izplūst caur keramikas plāksnēs caurumiņiem un sadeg uz tās virsmas.

Gāzei sadegot, degšanas produkti izdalās tieši telpā, tāpēc ēkās ar gāzes apkuri jāparedz pieplūdes-noplūdes ventilācija, kurai telpā jānodrošina gaisa apmaiņa, lai tvaika gāzes koncentrācija nebūtu lielāka par 6 mg/m³.

Gāzes apkures sistēmās siltumatdevi regulē, atslēdzot daļu degļu (nav pieļaujama siltumatdeves regulēšana, mainot gāzes spiedienu).

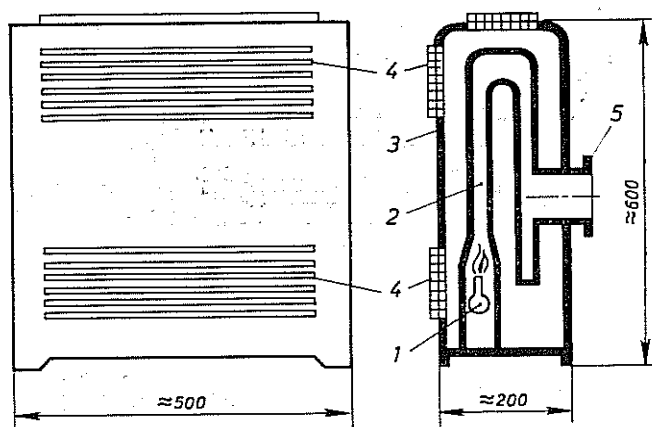
Lai palielinātu gāzes apkures sistēmas darbības drošumu, gāzes degļus apriko ar ierīcēm, kuru uzdevums ir distances aizdedze, degšanas procesa kontrole un gāzes atslēgšana degļu bojājuma gadījumā.

Izmantojot gāzes infrasarkanā apkuri, enerģijas patēriņš ir aptuveni par 40% mazāks nekā ar konvektīvo apkuri.

Gāzes apkures sistēmās izmanto arī konvektorus (5.45. att.), no kuriem gāzes degšanas produktus izvada dūmvadā. Konvektors sastāv no iekšējās un ārējās kameras. Iekšējā kamerā sadedzina gāzi, un kameras sienu temperatūra sasniedz 450°C. Caur ārējo kameru cirkulē gaiss, kas ieplūst kamerā un izplūst no tās caur speciālām restītēm. Gaisa cirkulācijas dēļ konvektora ārējās sildvirsmas temperatūra ir aptuveni 120°C. Degšanas produktu aizvadīšanas dūmvadi ievērojami sadārdzina gāzes izmantošanu, tāpēc gāzes konvektorus ēku apkurei izmanto samērā reti.

Gāzi dažreiz izmanto arī krāsns apkurei cietā kurināmā (ogļu, malkas, kūdras) vietā. Pārbūvējot krāsni gāzes apkurei, to rekonstruē atbilstoši šādām prasībām:

krāsnī jāievada degšanas procesam nepieciešamais gaisa daudzums;



5.45. att. Gāzes apkures konvektors:

1 — deglis; 2 — siltumapmaiņas aparāts; 3 — dekoratīvs apvalks; 4 — restītes gaisa ieplūšanai un izplūšanai; 5 — degšanas produktu izvadišanas caurule.

dūmējās nedrīkst veidoties nevēdināmi posmi; kurtuves un dūmeju siltumu uztverošajām virsmām jānodrošina nepieciešamā siltumatdeve, lai, kurinot krāsni 1,5...2 stundas, dūmgāzu temperatūra pie dūmvada izejas nepārsniegtu 130 °C;

kurtuvei jāatrodas neapdzīvotā telpā.

5.11. APKURES SISTĒMU MONTĀŽA, PĀRBAUDE UN APKALPOŠANA

Pēdējā laikā praktiski visas centralizētās apkures sistēmas montē no mezgliem un detaļām, kas izgatavotas rūpnīcās ar modernām darbmašīnām un plūsmas konveijeru tehnoloģiju. Montāžas darbu industrializācija uzlabo to kvalitāti, paaugstina darba ražīgumu un saīsina montāžas termiņus.

Iepriekš sagatavotie mezgli un detaļas prasa lielu precizitāti būvdarbos. Atkāpes no projekta nedrīkst pārsniegt ± 10 mm — attālumiem starp logu asīm un caurumiem, kas paredzēti stāvvadiem, ± 15 mm — pārsedžu atzīmēm, ± 20 mm — attālumiem starp sienām.

Darbu vadītājam vai inženierim, kas veic būves tehnisko uzraudzību, jāorientējas galvenajos apkures sistēmu montāžas noteikumos.

Cauruļvadiem jāatrodas 1...2 cm attālumā no apmetuma virsmas, tiem jābūt piestiprinātiem ar skavām, kas iecementētas ķieģeļu vai betona sienā vai pieskrūvētas pie koka sienas. Vietās, kur cauruļvadi iet caur pārsedzēm un sienām, jāiecementē patrona no jumta skārda vai caurules gabala ar 1...1,5 mm lielu spraugu starp patronu un cauruļvadu, lai caurules, izplešoties un saraujoties temperatūras izmaiņu ietekmē, varētu brīvi pārvietoties. Bēniņos cauruļvadi jāatbalsta uz ķieģeļu stabiņiem vai jāpiekar pie spārēm.

Ūdens un tvaika sistēmu sildķermeņu hermētiskums pirms uzstādīšanas jāpārbauda ar hidraulisko spiedienu, kas vienāds ar projektā paredzēto spiedienu plus 0,1 MPa. Sildķermeņus pie ķieģeļu vai betona sienām piekar uz iecementētiem kronšteiniem, bet pie koka sienām tos pieskrūvē ar bultām, kas izlaistas cauri sienām. Lai varētu standartizēt cauruļvadu atzarojumu posmu garumus, pieļaujams, ka sildķermeņa un loga vertikālās ass nesakrīt. Izliekumu vietās cauruļu šķērsgriezums nedrīkst samazināties — tās nedrīkst būt saspiestas.

Pēc montāžas visas apkures sistēmas hermētiskums jāpārbauda ar hidraulisko spiedienu, kura lielums vienāds ar projektā paredzēto spiedienu plus 0,1 MPa, bet tas nedrīkst būt mazāks par 0,4 MPa. Ja 5 minūšu laikā spiediena kritums nepārsniedz 0,02 MPa, var atļaut izdarīt pārbaudes iekuri. Pirms sistēmas nodošanas ekspluatācijā jāpārbauda, vai visi sildķermeņi ir silti. Ja tas tā nav, sistēma jāatgaiso, jāizlabo nepareizi samontēto posmu krituma virziens, jāizskalo cauruļvados iekļuvušie būvgruži vai jāregulē siltumnesēja caurplūde atsevišķos posmos. Ja visi sildķermeņi ir silti, sastāda aktu par sistēmas iepriekšējo pieņemšanu ekspluatācijā, uzrādot pamanītos defektus. Ja cauruļvadi ievietoti nišās, tagad tās var aizmūrēt.

Galīga sistēmas pieņemšana iespējama tikai ziemā, kad sistēma jau atrodas normālā ekspluatācijā un var noskaidrot, vai visi sildķermeņi silst pietiekami.

Noregulētai sistēmai jānodrošina visās telpās temperatūra, kas neatšķiras no projektā paredzētās vairāk par 1...2 °C.

Ūdens apkures sistēmas kalpo 40...50 gadus, bet tvaika apkures sistēmas — 25...35 gadus. Sīkie remontu jāveic pastāvīgi, bet lielākie remontu jāplāno vasarā. Neilgi pirms apkures sezonas sākuma sistēmu izskalo ar ūdeni un mēģinājumam ielaiž siltumnesēju, lai atklātu iespējamās, vasarā radušās neblīvumus.

Apstādinot sistēmu pavasarī, to izskalo un piepilda ar ūdeni, lai novērstu cauruļvadu rūšēšanu.

Apkures sistēma pastāvīgi jāregulē ekspluatācijas gaitā atkarībā no āra gaisa temperatūras izmaiņām. Ēkās ar iebūvētu katlu māju to veic kurinātājs, bet centralizētās apkures sistēmās — rajona katlu mājas vai TES apkalpojošais personāls.

Apkures sezonas laikā sistēmā jābūt vienam un tam pašam ūdenim. Tad tas satur mazāku gaisa daudzumu un sistēma mazāk rūsē.

Uzpildot sistēmu pavasarī pēc skalošanas, vēlams svaigo ūdeni sasildīt vismaz līdz 95°C un izturēt 1 stundu, lai no tā izdalītos pēc iespējas vairāk gaisa.

Ūdens apkures sistēmas var regulēt kvantitatīvi (mainot siltumnesēja caurplūdi) un kvalitatīvi (mainot ūdens temperatūru), kā arī kombinējot abas metodes.

Tvaika apkuri praktiski pakāpeniski regulēt nav iespējams, to var tikai periodiski ieslēgt un izslēgt.

PIELIKUMI

1. pielikums

Galveno siltumtehniko lielumu vienību sakarību tabulas

Masas plūsma	kg/s	kg/h	lb/min
1 kg/s	1	3600	132,28
1 kg/h	$2,7778 \cdot 10^{-4}$	1	$3,67 \cdot 10^{-2}$
1 lb/min	$7,56 \cdot 10^{-3}$	27,216	1

Blīvums	kg/m ³	lb/ft ³
1 kg/m ³	1	$6,243 \cdot 10^{-2}$
1 lb/ft ³	16,0185	1

Siltumvadītspēja	$\frac{W}{m \cdot K}$	$\frac{kcal}{m \cdot h \cdot ^\circ C}$	$\frac{Btu}{ft \cdot h \cdot ^\circ F}$
1 W/(m·K)	1	0,860	0,5778
1 kcal/(m·h·°C)	1,163	1	0,6720
1 Btu/(ft·h·°F)	1,731	1,4882	1

Siltumapmaiņa	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$	$\frac{kcal}{m^2 \cdot h \cdot ^\circ C}$	$\frac{Btu}{ft^2 \cdot h \cdot ^\circ F}$
1 W/(m ² ·K)	1	0,860	0,1761
1 kcal/(m ² ·h·°C)	1,163	1	0,205
1 Btu/(ft ² ·h·°F)	5,678	4,882	1

Ipatnējā siltumvadītspēja	J/(kg·K)	kcal/(kg·°C)	Btu/(lb·°F)
1 J/(kg·K)	1	$2,388 \cdot 10^{-4}$	$2,388 \cdot 10^{-4}$
1 kcal/(kg·°C)	4186,8	1	1
1 Btu/(lb·°F)	4186,8	1	1

Ipatnējais siltuma daudzums	J/kg	kcal/kg	Btu/lb
1 J/kg	1	$2,388 \cdot 10^{-4}$	0,0043
1 kcal/kg	4187	1	1,80
1 Btu/lb	2326	0,55556	1

Jauda	kW	kgf · m/s	HP	kcal/h	ft · lb/s	hp(UK)	Btu/h
1 kW	1	102	1,36	860	738	1,34	3310
1 kgf · m/s	$9,81 \cdot 10^{-3}$	1	$1,33 \cdot 10^{-2}$	8,44	7,23	$1,32 \cdot 10^{-2}$	32,5
1 HP	0,735	75	1	632	542	0,986	2510
1 kcal/h	$1,16 \cdot 10^{-3}$	0,119	$1,58 \cdot 10^{-3}$	1	0,858	$1,56 \cdot 10^{-3}$	3,97
1 ft · lb/s	1,36	0,138	$1,84 \cdot 10^{-3}$	1,17	1	$1,82 \cdot 10^{-3}$	4,63
1 hp(UK)	0,745	76	1,014	642	550	1	2550
1 Btu/h	$2,93 \cdot 10^{-4}$	$2,99 \cdot 10^{-2}$	$3,99 \cdot 10^{-4}$	0,252	0,216	$3,93 \cdot 10^{-4}$	1

Spiediens	Pa	mbar	mm H ₂ O	atm	in WG	psi
1 Pa	1	10^{-2}	0,102	$9,869 \cdot 10^{-6}$	$4,015 \cdot 10^{-3}$	$1,4504 \cdot 10^{-4}$
1 mbar	100	1	10,197	$9,869 \cdot 10^{-4}$	0,4015	$1,4504 \cdot 10^{-2}$
1 mm H ₂ O	9,807	$9,807 \cdot 10^{-2}$	1	$9,678 \cdot 10^{-5}$	$3,937 \cdot 10^{-2}$	$1,4223 \cdot 10^{-3}$
1 atm	$1,013 \cdot 10^5$	1013	$1,0332 \cdot 10^4$	1	406,77	14,696
1 in WG	249,10	2,491	25,4	$2,453 \cdot 10^{-3}$	1	$3,613 \cdot 10^{-2}$
1 psi	6895	68,95	703,1	$6,805 \cdot 10^{-2}$	27,68	1

1 atm (fizikālā atmosfēra) = 101,325 kPa = 760 mm Hg

1 at (tehniskā atmosfēra) = 1 kgf/cm² = 0,968 atm = 10⁴ mm H₂O

1 psi = 1 lbf/in²

Tilpuma plūsma	m ³ /s	m ³ /h	l/s	ft ³ /s	ft ³ /min	gal(UK)/min	gal(US)/min
1 m ³ /s	1	3600	1000	35,3198	2119	13 198	15 850
1 m ³ /h	$2,7778 \cdot 10^{-4}$	1	0,2778	$9,810 \cdot 10^{-3}$	0,5886	3,666	4,403
1 l/s	10^{-3}	3,6	1	0,03532	2,119	13,20	15,85
1 ft ³ /s	0,0283168	101,9	28,32	1	60	373,7	448,9
1 ft ³ /min	$4,7195 \cdot 10^{-4}$	1,699	0,4720	0,01667	1	6,229	7,481
1 gal(UK)/min	$7,57682 \cdot 10^{-5}$	0,02728	0,07577	$2,675 \cdot 10^{-3}$	0,1605	1	1,201
1 gal(US)/min	$6,30888 \cdot 10^{-5}$	0,02271	0,06309	$2,2280 \cdot 10^{-3}$	0,1337	0,8327	1

Enerģija	J	kgf · m	kW · h	kcal	ft · lbf	Btu
1 J	1	0,1020	$2,778 \cdot 10^{-7}$	$2,388 \cdot 10^{-4}$	0,7376	$9,478 \cdot 10^{-4}$
1 kgf · m	9,80665	1	$2,724 \cdot 10^{-6}$	$2,342 \cdot 10^{-3}$	7,233	$9,295 \cdot 10^{-3}$
1 kW · h	$3,6 \cdot 10^6$	$3,671 \cdot 10^5$	1	859,8	$2,655 \cdot 10^6$	3412
1 kcal	4186,8	426,9	$1,163 \cdot 10^{-3}$	1	3088	3,968
1 ft · lbf	1,3558	0,1383	$3,766 \cdot 10^{-7}$	$3,238 \cdot 10^{-4}$	1	$1,285 \cdot 10^{-3}$
1 Btu	1055,06	107,6	$2,931 \cdot 10^{-4}$	0,252	778,2	1

2. pielikums

Ēku norobežojošo konstrukciju siltumpārejas pretestības
(izraksts no Arhitektūras un celtniecības ministrijas
1991. gada 12. septembra pavēles Nr. 68)

Nr. p. k.	Norobežojošās konstrukcijas nosaukums	Siltumpārejas pretestība R_0 , m ² K/W, ja	
		$t_T \geq 18^\circ\text{C}$	$t_T < 18^\circ\text{C}$
Jaunceljamām ēkām			
1.	Slāpains dzelzsbetona ārsienu lielpanelis	2,2	2,2
2.	Kombinētas monolītas konstrukcijas ārsienu	2,5	2,0
3.	Mūra un sīko bloku atvieglota tipa ārsienu	2,0	1,5
4.	Citu tipu (izņemot 1. punktā minēto) slāpaina ārsienu	3,0	2,0
5.	Iekšsienu panelis	1,0*	1,0
6.	Savietots jumts, pārsegums zem neapsildāmiem bēniņiem:		
	1—3 stāvu ēkām;	4,0	2,0
	4 un vairākstāvu ēkām	2,5	2,0
7.	Pārsegums zem apsildāmiem bēniņiem	2,0**	—
8.	Pārsegums virs neapsildāmiem pagrabiem	2,0	2,0
9.	Grīdas klājums virs grunts	2,0	—
Remontējamām vai rekonstruējamām ēkām			
10.	Ārsienu	3,0***	2,0***
11.	Savietots jumts un pārsegums:		
	1—3 stāvu ēkām;	4,0	2,0
	4 un vairākstāvu ēkām	2,5	1,5
12.	Pārsegums virs neapsildāma pagraba	2,0	2,0
Logi:			
13.	dzīvojamām, sabiedriskām un administratīvām ēkām;	0,42 ... 0,53	0,42
14.	ražošanas ēkām;	0,31 ... 0,48	0,31

* temperatūru starpība telpās, kuras atdala šķērssienu, ir ne mazāka kā 5°C ;

** apsildāmo bēniņu konstrukciju siltumpārejas pretestība nosakāma, vadoties no šādiem nosacījumiem:

1) nav pieļaujama kondensāta veidošanās uz norobežojošo konstrukciju iekšējās virsmas;

2) uz pēdējā stāva griestu virsmas nav pieļaujama temperatūras pazemināšanās zem normatīvās vērtības;

*** atbilstošu siltumpārejas pretestību nodrošina, ierīkojot ārīnai no ārpusēs siltumizolācijas segumu.

3. pielikums

Būvmateriālu siltumtehiskie parametri

Materiāla nosaukums	ρ , kg/m ³	Eksploataācijas apstākļi (pēc 5. pielikuma)			
		λ , W/(m·K)		S , W/(m·K)	
		A	B	A	B
<i>Betoni un javas</i>					
Dzelzsbetons	2500	1,92	2,04	17,98	16,95
Oļu vai akmens šķembu betons	2400	1,74	1,86	16,77	17,88
Keramzītbetons no keramzīt-	1800	0,80	0,92	10,50	12,33
smilts vai keramzītputubetons	1400	0,56	0,65	7,75	9,14
	1000	0,33	0,41	5,03	6,13
	600	0,20	0,26	3,03	3,78
Sārņu betons no granulētiem	1800	0,70	0,81	9,82	11,18
domnas sārņiem	1400	0,52	0,58	7,46	8,34
	1200	0,47	0,52	6,57	7,31
Vermikulīta betons	800	0,23	0,26	3,97	4,58
	400	0,11	0,13	1,94	2,29
Gāzbetons vai putubetons	1000	0,41	0,47	6,13	7,09
	600	0,22	0,26	3,36	3,91
	300	0,11	0,13	1,68	1,95
Smilšu-cementa java	1800	0,76	0,93	9,60	11,09
Smilšu-kaļķu java	1600	0,70	0,81	8,69	9,76
Sārņu-cementa java	1400	0,52	0,64	7,00	8,11
Gipsa plātnes	1200	0,41	0,47	6,01	6,70
	1000	0,29	0,35	4,62	5,28
Sausais apmetums	800	0,19	0,21	3,34	3,66
<i>Ķieģeļu vai akmens mūris</i>					
Parastie māla ķieģeļi ar	1800	0,70	0,81	9,20	10,12
smilšu-cementa javu					
Parastie māla ķieģeļi ar sārņu-	1700	0,64	0,76	8,64	9,70
cementa javu					
Silikātķieģeļi ar smilšu-cementa	1800	0,76	0,87	9,77	10,90
javu					
Trepķieģeļi ar smilšu-cementa	1200	0,47	0,52	6,26	6,49
javu					
Caurumtie keramiskie ķieģeļi	1400	0,52	0,58	7,01	7,56
ar smilšu-cementa javu					
Caurumtie silikātķieģeļi ar	1500	0,70	0,81	8,59	9,63
smilšu-cementa javu					
Granīts	2800	3,49	3,49	25,04	25,04
Kaļķakmens	1800	0,93	1,05	10,85	11,77
	1400	0,56	0,58	7,42	7,42
<i>Koks un citi dabiskie materiāli</i>					
Skuju koki, perpendikulāri šķied-	500	0,14	0,18	3,87	4,54
rām					
Skuju koki, paralēli šķiedrām	500	0,29	0,35	5,56	6,33
Ozols, perpendikulāri šķiedrām	700	0,18	0,23	5,00	5,86
Ozols, paralēli šķiedrām	700	0,35	0,41	6,90	7,83
Apdares kartons	1000	0,21	0,23	6,20	6,75
Daudzslāņu būvkartons	650	0,15	0,18	4,26	4,89

3. pielikuma turpinājums

Materiāla nosaukums	ρ , kg/m ³	Ekspluatācijas apstākļi (pēc 5. pielikuma)			
		λ , W/(m·K)		S , W/(m·K)	
		A	B	A	B
Kokskaudu plates	1000	0,23	0,29	6,75	7,70
	800	0,19	0,23	5,49	6,13
	400	0,11	0,13	2,95	3,26
	200	0,07	0,08	1,67	1,81
Kūdras siltumizolācijas plates	300	0,07	0,08	2,12	2,34
	200	0,06	0,064	1,60	1,71
Pakulas	150	0,06	0,07	1,30	1,47
<i>Siltumizolācijas materiāli</i>					
Cauršūti minerālvates paklāji	125	0,064	0,07	0,73	0,82
	75	0,06	0,064	0,55	0,61
	50	0,052	0,06	0,42	0,48
Minerālvates plātnes	350	0,09	0,11	1,46	1,72
	300	0,087	0,09	1,32	1,44
	200	0,076	0,08	1,01	1,11
	100	0,06	0,07	0,64	0,73
	50	0,052	0,06	0,42	0,48
Stikla šķiedras paklāji	150	0,064	0,07	0,80	0,90
Polistirola putuplasts	150	0,052	0,06	0,89	0,99
	100	0,041	0,052	0,65	0,82
	40	0,041	0,05	0,41	0,49
Putuplasts	125	0,06	0,064	0,86	0,99
	100	0,05	0,052	0,68	0,80
	un mazāk				
Poliuretāna putuplasts	80	0,05	0,05	0,67	0,70
	60	0,041	0,041	0,53	0,55
	40	0,04	0,04	0,40	0,42
Perlīta betons	200	0,052	0,06	0,93	1,01
	100	0,041	0,05	0,58	0,66
<i>Dubulto sienu pildījuma vai bēniņu segkārtas materiāli</i>					
Keramzīts	800	0,21	0,23	3,36	3,60
	600	0,17	0,20	2,62	2,91
	400	0,13	0,14	1,87	1,99
	200	0,11	0,12	1,22	1,30
Izdedži	800	0,21	0,26	3,36	3,83
	600	0,18	0,21	2,70	2,98
	400	0,14	0,16	1,94	2,12
Uzpūstais vermikulīts	200	0,09	0,11	1,08	1,24
	100	0,076	0,08	0,70	0,75
Smiltis	1600	0,47	0,58	6,95	7,91
Putustikls	400	0,12	0,14	1,76	1,94
	300	0,11	0,12	1,46	1,56
	200	0,08	0,09	1,01	1,10

3. pielikuma turpinājums

Materiāla nosaukums	ρ , kg/m ³	Ekspluatācijas apstākļi (pēc 5. pielikuma)			
		λ , W/(m · K)		S , W/(m · K)	
		A	B	A	B
<i>Hidroizolācijas, apdares, jumtu seguma un grīdu klājuma materiāli</i>					
Azbestcimenta loksnes	1800	0,47	0,52	7,55	8,12
Bitumens	1200	0,22	0,22	5,69	5,69
Asfaltbetons	2100	1,05	1,05	16,43	16,43
Ruberoīds, pergamins vai pape	600	0,17	0,17	3,53	3,53
Daudzslāņu polivinilhlorīda	1800	0,38	0,38	8,56	8,56
linolejs	1600	0,33	0,33	7,52	7,52
Linolejs ar auduma pamatni	1800	0,35	0,35	8,22	8,22
	1600	0,29	0,29	7,05	7,05
	1400	0,23	0,23	5,87	5,87
<i>Metāli un stikls</i>					
Tērauds	7850	58	58	126,5	126,5
Cuguns	7200	50	50	112,5	112,5
Alumīnijs	2600	221	221	187,6	187,6
Varš	8500	407	407	326	326
Logu stikls	2500	0,76	0,76	10,79	10,79

4. pielikums

Telpu mitruma režīms			
Režīms	Relatīvais telpas gaisa mitrums, %		
	$t_T < 12^\circ\text{C}$	$12 \leq t_T \leq 24^\circ\text{C}$	$t_T > 24^\circ\text{C}$
Sauss	Līdz 60	Līdz 50	Līdz 40
Normāls	60...75	50...60	40...50
Mitrs	75	60...75	50...60
Slapjš	—	75	60

5. pielikums

Dati siltumvadītspējas koeficienta aprēķina vērtību izvēlei atkarībā no konstrukcijas ekspluatācijas apstākļiem (A vai B)

Telpas mitruma režīms (4. pielikums)	Mitruma zonas (6. pielikums)		
	sausa (S)	normāla (N)	mitra (M)
Sauss	A	A	B
Normāls	A	B	B
Mitrs vai slapjš	B	B	B

6. pielikums

Klimatiskie dati dažādām pilsētām

Ģeogrāfiskais punkts	Āra gaisa temperatūra, °C					Aptures perioda ilgums n_{ap} diennaktis	Janvārī vidēji vislielākais vēja ātrums v , m/s	Mitruma zona
	viszemākā temperatūra $t_{\min}$	visaukstākās diennakts vidējā temperatūra t_{A1}	triju visaukstāko diennakšu vidējā temperatūra t_{A3}	piecu visaukstāko diennakšu vidējā temperatūra t_{A5}	apkures perioda vidējā temperatūra t_{ap}			
Daugavpils	-43	-30	-29	-27	-1,5	203	5,1	N
Gulbene	-39	-30	-28	-25	-1,6	215	3,8	N
Jelgava	-34	-24	-22	-20	-0,3	201		N
Kauņa	-36	-24	-22	-20	-0,5	192	4,9	N
Klaipēda	-35	-22	-20	-18	+0,4	194	10,5	M
Liepāja	-33	-23	-21	-18	+0,8	202	8,6	M
Panevėža	-37	-25	-24	-22	-0,7	199	4,7	N
Pērnavā	-35	-26	-24	-22	-0,8	211	8,6	M
Priekule	-38	-26	-25	-24	-1,3	209		M
Rīga	-32	-25	-23	-20	-0,4	205	4,5	N
Sauli	-36	-25	-23	-21	-0,9	200		N
Tallina	-32	-25	-23	-21	-0,8	221	7,7	M
Tartu	-35	-29	-26	-23	-1,5	214	6,6	M
Taurupe	-37	-29	-27	-25	-1,4	211		N
Valka	-39	-27	-26	-25	-1,5	214	4,3	N
Ventspils	-32	-23	-21	-18	+0,7	207	9,7	M
Viļņa	-37	-25	-24	-23	-0,9	194	5,5	N

7. pielikums

Āra gaisa aprēķina temperatūras t_A vērtības atkarībā no siltuma inerces raksturojuma D

Norobežojošās konstrukcijas siltuma inerces raksturojums D	Āra gaisa aprēķina temperatūra t_A , °C
Līdz 1,5	Viszemākā āra gaisa temperatūra $t_{\min}$
Virs 1,5 līdz 4	Visaukstākās diennakts vidējā temperatūra t_{A1}
Virs 4 līdz 7	Triju visaukstāko diennakšu vidējā temperatūra t_{A3}
Virs 7	Piecu visaukstāko diennakšu vidējā temperatūra t_{A5}

8. pielikums

Koka rāmju logu un durvju siltumpārejas pretestības R_0 un koeficienta $1/R_0$ vērtības

Konstrukcija	R_0 , m²K/W	$1/R_0$, W/(m² · K)	
		paneļu ēkās	klejēju ēkās
Vienkārta stiklojums	0,17	5,8	—
Dubultstiklojums vienā rāmī	0,345	2,9	3,5
Dubultstiklojums divos atsevišķos rāmjos	0,38	2,65	3,13
Ārējās durvis	0,215	4,65	4,65
Ārējās dubultdurvis	0,43	2,32	2,32

9. pielikums

Odens blīvuma ρ , kg/m³, vērtības 40 ... 99 °C temperatūrā

Grādi	40	50	60	70	80	90
0	992,24	988,07	983,24	977,81	971,83	965,34
1	991,86	987,62	982,72	977,23	971,21	964,67
2	991,47	987,15	982,2	976,66	970,57	963,99
3	991,07	986,69	981,67	976,07	969,94	963,3
4	990,66	986,21	981,13	975,48	969,3	962,61
5	990,25	985,73	980,59	974,89	968,65	961,92
6	989,82	985,25	980,05	974,29	968	961,22
7	989,4	984,75	979,5	973,68	967,34	960,51
8	988,96	984,25	978,94	973,07	966,68	959,81
9	988,52	983,75	978,38	972,45	966,01	959,09

10. pielikums

Koeficienta β_1 vērtības

Sildķermeņu tipizmēru solis, kW	0,12	0,15	0,18	0,21	0,24	0,3
β_1	1,02	1,03	1,04	1,06	1,08	1,13

11. pielikums

Koeficienta β_2 vērtības atkarībā no sildķermeņa uzstādīšanas vietas

Sildķermenis	Pie ārējās sienas, arī zem loga	Pie stiklotas ārējās norobežojošās konstrukcijas
Radiators:		
čuguna	1,02	1,07
tērauda	1,04	1,10
Konvektors:		
ar apvalku	1,02	1,06
bez apvalka	1,03	1,07

12. pielikums

Tabula ūdens apkures sistēmu hidrauliskajam aprēķinam,
ja $t_k=95^\circ\text{C}$, $t_a=70^\circ\text{C}$ un caurules iekšējās virsmas
absolūtais negludums $k=0,2\text{ mm}$

Ipatnējie lineārie spiediena zudumi berzes dēļ R , Pa/m	Ūdens daudzums G , kg/h. (augšējais skaitlis) un ūdens ātrums v , m/s. (apakšējais skaitlis) uz cauruļvada 1 m, ja caurules nosacītais diametrs d , mm, ir						
	15	20	25	32	40	50	70
1	16,5 0,023	36 0,028	69 0,034	148 0,041	210 0,045	409 0,052	788 0,06
1,2	17,5 0,025	40 0,031	76 0,037	164 0,045	229 0,048	454 0,059	872 0,067
1,4	19 0,027	44 0,034	84 0,041	180 0,049	249 0,052	496 0,064	948 0,073
1,6	21 0,03	47 0,037	96 0,045	191 0,053	269 0,057	535 0,069	1016 0,075
1,8	22 0,031	50 0,039	108 0,051	197 0,054	287 0,06	571 0,073	1077 0,082
2	24 0,033	53 0,042	111 0,054	203 0,057	304 0,064	606 0,078	1137 0,087
2,4	26 0,037	59 0,046	120 0,057	223 0,062	338 0,071	671 0,087	1258 0,096
2,8	28 0,041	64 0,05	130 0,064	244 0,068	368 0,077	729 0,096	1377 0,106
3,2	31 0,044	72 0,058	140 0,068	263 0,073	396 0,083	774 0,102	1438 0,114
3,6	33 0,047	80 0,062	143 0,071	281 0,078	422 0,089	818 0,108	1576 0,121
4	35 0,05	85 0,065	146 0,073	299 0,082	448 0,094	861 0,115	1667 0,128
5	40 0,057	95 0,073	157 0,074	336 0,093	507 0,107	971 0,13	1898 0,145
6	44 0,063	103 0,08	169 0,082	373 0,103	559 0,118	1081 0,144	2090 0,16
7	48 0,069	111 0,086	184 0,089	406 0,112	601 0,126	1172 0,152	2269 0,174
8	55 0,082	113 0,088	199 0,097	434 0,12	642 0,135	1236 0,161	2470 0,178
9	57 0,084	119 0,092	212 0,103	463 0,128	648 0,144	1354 0,171	2593 0,199

12. pielikuma turpinājums

Ipatnējie lineārie spiediena zudumi berzes dēļ R , Pa/m	Ūdens daudzums G , kg/h. (augšējais skaitlis) un ūdens ātrums v , m/s. (apakšējais skaitlis) uz cauruļvada 1 m, ja caurules nosacītais diametrs d , mm, ir						
	15	20	25	32	40	50	70
10	59 0,087	126 0,097	225 0,109	490 0,136	726 0,151	1445 0,182	2744 0,21
12	63 0,093	140 0,108	248 0,12	537 0,149	809 0,17	1583 0,201	3011 0,23
14	67 0,098	151 0,117	269 0,131	579 0,16	876 0,184	1720 0,218	3246 0,248
16	70 0,103	163 0,126	289 0,141	621 0,172	937 0,197	1858 0,236	3428 0,266
18	74 0,108	174 0,135	309 0,15	663 0,184	997 0,21	1974 0,251	3718 0,284
20	77 0,114	184 0,142	332 0,161	705 0,195	1058 0,222	2090 0,265	3953 0,302
24	84 0,124	204 0,157	360 0,175	778 0,215	1166 0,245	2291 0,291	4327 0,331
28	91 0,135	221 0,171	391 0,19	840 0,233	1261 0,265	2645 0,312	4702 0,35
32	98 0,145	237 0,183	416 0,202	902 0,25	1357 0,284	2740 0,334	5043 0,383
36	106 0,156	256 0,195	441 0,214	964 0,267	1444 0,304	2814 0,356	5350 0,409
40	112 0,164	267 0,206	467 0,226	1026 0,284	1524 0,321	2973 0,376	5657 0,433
50	126 0,186	297 0,23	530 0,257	1149 0,318	1710 0,36	3336 0,422	6339 0,485
60	139 0,205	324 0,25	593 0,288	1270 0,352	1866 0,393	3699 0,468	6971 0,533
70	151 0,223	351 0,271	635 0,308	1369 0,379	2022 0,426	3988 0,504	7534 0,576
80	162 0,239	377 0,291	677 0,328	1467 0,406	2178 0,458	4276 0,54	8066 0,618
90	173 0,255	404 0,312	719 0,348	1554 0,43	2309 0,486	4543 0,574	8567 0,655
100	183 0,269	430 0,332	759 0,369	1632 0,452	2431 0,512	4788 0,605	9035 0,691

12. pielikuma turpinājums

Ipatnējie lineārie spiediena zudumi berzes dēļ R , Pa/m	Odens daudzums G , kg/h. (augšējais skaitlis) un ūdens ātrums v , m/s, (apakšējais skaitlis) uz cauruļvada 1 m, ja caurules nosacītais diametrs d , mm, ir						
	15	20	25	32	40	50	70
120	201 0,295	469 0,362	835 0,405	1786 0,494	2674 0,563	5250 0,664	9899 0,757
140	216 0,318	507 0,392	904 0,438	1939 0,537	2895 0,609	5686 0,719	10 584 0,81
160	229 0,338	546 0,422	972 0,471	2079 0,575	3095 0,651	6093 0,77	11 269 0,862
180	243 0,358	584 0,451	1028 0,499	2201 0,609	3294 0,693	6473 0,818	11 953 0,914

13. pielikums

Vietējās pretestības koeficienta ξ vērtības dažādiem apkures sistēmu elementiem

Apkures sistēmas elementi	ξ	Apkures sistēmas elementi	ξ , ja caurules diametrs d , mm, ir					
			15	20	25	32	40	50 un vai- rāk
Divkolonnu radiatori	2	Ventīļi: parastie taisnplūdes	16	10	9	9	8	7
Katli:			3	3	3	2,5	2,5	2
čuguna	2,5	Aizbīdņi	—	—	0,5	0,5	0,5	0,5
tērauda	1	Caurplūdes krāni	4	2	2	2	—	—
Krass paplaši- nājums	1	Dubultiestādāms, regulējams	4	2	2	—	—	—
Krass sašauri- nājums	0,5	pagrieznis	—	—	—	—	—	—
Kompensatori:		Trīscelņu krāni:						
II veida	2	plūsmas pa- grieziena	3	3	4,5	—	—	—
blīvslēga	0,5	taisnā plūsmā	2	1,5	2	—	—	—
T gabali:		Pagrieziens 90°	1,5	1,5	1	1	0,5	0,5
caurplūdē	1	Apliekums cauruļ- vadu krustojumā	3	2	2	2	2	2
atzarojumā	1,5							
pretplūsmā	3							
Krustgabali:								
caurplūdē	2							
atzarojumā	3							
Atkāpe	0,5							

14. pielikums

Dabiskais spiediens Δp , Pa, cauruļvados
dabiskās cirkulācijas divcauruļu apkures sistēmā
ar augšējo sadali

Sistēmas cauruļvadu garums plānā, m	Sildķermeņa augstums virs kalla, m	Galvenā stāvvada un aprēķināmā stāvvada savstarpē- jais attālums plānā, m			
		Līdz 10	10 ... 20	20 ... 30	30 ... 50

Atklāti novietoti neizolēti stāvvadi

Vienstāva un divstāvu ēkām

Līdz 25	Līdz 7	100	100	150	—
25 ... 50		100	100	150	200

Trīsstāvu un četrstāvu ēkām

Līdz 25	Līdz 15	250	250	250	—
25 ... 30		250	250	300	350

Nišās novietoti neizolēti stāvvadi

Vienstāva un divstāvu ēkām

Līdz 25	Līdz 7	80	100	130	—
25 ... 50		80	80	130	150

Trīsstāvu un četrstāvu ēkām

Līdz 25	Līdz 15	180	200	280	—
25 ... 50		180	200	250	300

Piezīmes. 1. Viencaurules sistēmām ņem 50% no uzrādītajām vērtībām.

2. Sistēmām ar piespiedu cirkulāciju ņem 40% no uzrādītajām vērtībām, bet slēgtās montāžas gadījumā Δp neņem vērā.

15. pielikums

Dinamiskā spiediena p_d vērtības

Odens ātrums v , m/s	p_d , Pa	Odens ātrums v , m/s	p_d , Pa	Odens ātrums v , m/s	p_d , Pa	Odens ātrums v , m/s	p_d , Pa
0,01	0,05	0,21	21,6	0,41	82,4	0,61	183,4
0,02	0,19	0,22	23,5	0,42	86,3	0,62	189,3
0,03	0,44	0,23	26,5	0,43	91,2	0,65	207,9
0,04	0,78	0,24	28,4	0,44	95,1	0,68	227,5
0,05	1,23	0,25	30,4	0,45	99,1	0,71	248,2
0,06	1,77	0,26	33,3	0,46	104,0	0,74	268,7
0,07	2,45	0,27	36,3	0,47	108,9	0,77	291,3
0,08	3,14	0,28	38,3	0,48	112,8	0,80	314,8
0,09	4,02	0,29	41,2	0,49	117,7	0,85	355,0
0,10	4,90	0,30	44,13	0,50	122,6	0,90	398,2
0,11	5,98	0,31	47,1	0,51	127,5	0,95	444,2
0,12	7,06	0,32	50,0	0,52	133,4	1,00	490,3
0,13	8,34	0,33	53,9	0,53	139,1	1,05	539,4
0,14	9,61	0,34	56,9	0,54	143,2	1,10	590,2
0,15	11,08	0,35	59,8	0,55	149,1	1,15	647,2
0,16	12,56	0,36	63,7	0,56	154,0	1,20	706,1
0,17	14,22	0,37	67,7	0,57	159,9	1,25	764,9
0,18	15,89	0,38	70,6	0,58	165,7	1,30	833,6
0,19	17,75	0,39	74,5	0,59	170,6	1,35	892,4
0,20	19,62	0,40	78,5	0,60	176,5	1,40	961,1

16. pielikums

Izplešanās tvertņu (cilindrisku) izmēri

Tvertnes tilpums, l		Izmēri, mm		Cauruļu diametrs, mm		
līdz pārplūdes vadam	derīgais	D	H	izplešanās vada	cirkulācijas vada	pārplūdes vada
100 150	67 101	645 570	710	25	20	32
200 300 400	134 212 283	660 815 940				40
500 600 800 1000	397 476 642 799	850 930 1080 1205				50

Piezīme. Signalizācijas vada diametrs ir 20 cm.

$$C_{\text{gaisa}} 65\% = 0,24 \text{ kkal} / \text{t}^{\circ} \text{ m}^3$$

$$C_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \text{ kkal} / \text{t}^{\circ} \text{ kg.}$$

$$1000 \text{ kkal} / \text{t}^{\circ} \text{ m}^3$$

$$1 \text{ kW} = 860 \text{ kkal} / \text{h}$$

$$1 \text{ W} = \frac{0,86 \text{ kkal}}{\text{m}^3 \cdot \text{t}^{\circ} \cdot \text{h}}$$

$$1 \text{ t/h} = 1 \text{ W.}$$

Izziņu dati

Siltumapgāde, T 80 – 60°C ζ = 970 kg/m³			Aukstumapgāde, T 7 – 12°C ζ = 1000 kg/m³		
DN	Ūdens daudzums m³/st	Siltuma slodze kW	DN	Ūdens daudzums m³/st	Aukstuma slodze kW
15	0,2 + 0,35	4,5 + 7,9	15	0,2 + 0,35	1,16 + 2,0
20	0,6 + 0,9	14,2 + 19,8	20	0,6 + 0,95	3,5 + 5,5
25	1,1 + 1,6	24,8 + 36,1	25	1,1 + 1,9	6,4 + 11,0
32	2,1 + 2,8	47,4 + 63,1	32	1,7 + 2,9	3,8 + 16,8
40	2,8 + 3,7	63,1 + 83,4	40	2,3 + 4,8	13,3 + 27,8
50	4,4 + 7,5	99,2 + 169,0	50	4,5 + 7,5	26,1 + 43,5
65	8,3 + 13,8	187 + 311	65	8,3 + 13,8	48,1 + 80,0
80	11,6 + 21,2	262 + 478	80	11,6 + 19,3	67,3 + 120,0
100	19,9 + 32,1	449 + 724	100	17,0 + 29,0	99,0 + 168,0
125	31,5 + 52,1	710 + 1170	125	26,5 + 44,3	154,0 + 256,0
150	44,5 + 76,8	1000 + 1730	150	38,5 + 65,0	223,0 + 377,0
200	87,1 + 159,5	1960 + 3590	200	85,1 + 125,5	494,0 + 727,0