



Konferencija
**„BIOKURO PANAUDOJIMAS ŠILUMOS GAMYBOJE:
PLĖTRA IR GALIMOS KLIŪTYS“**
2012 m. kovo 20 d.

**Temperatūrinių grafikų tinkluose ir pastatuose
optimizavimas**
R. Morkvėnas

I. Pastatų šildymo ir karšto vandens sistemų darbo režimai

ŠILUMOS TIEKIMO IR VARTOJIMO SISTEMŲ DARBO REŽIMŲ OPTIMIZAVIMAS

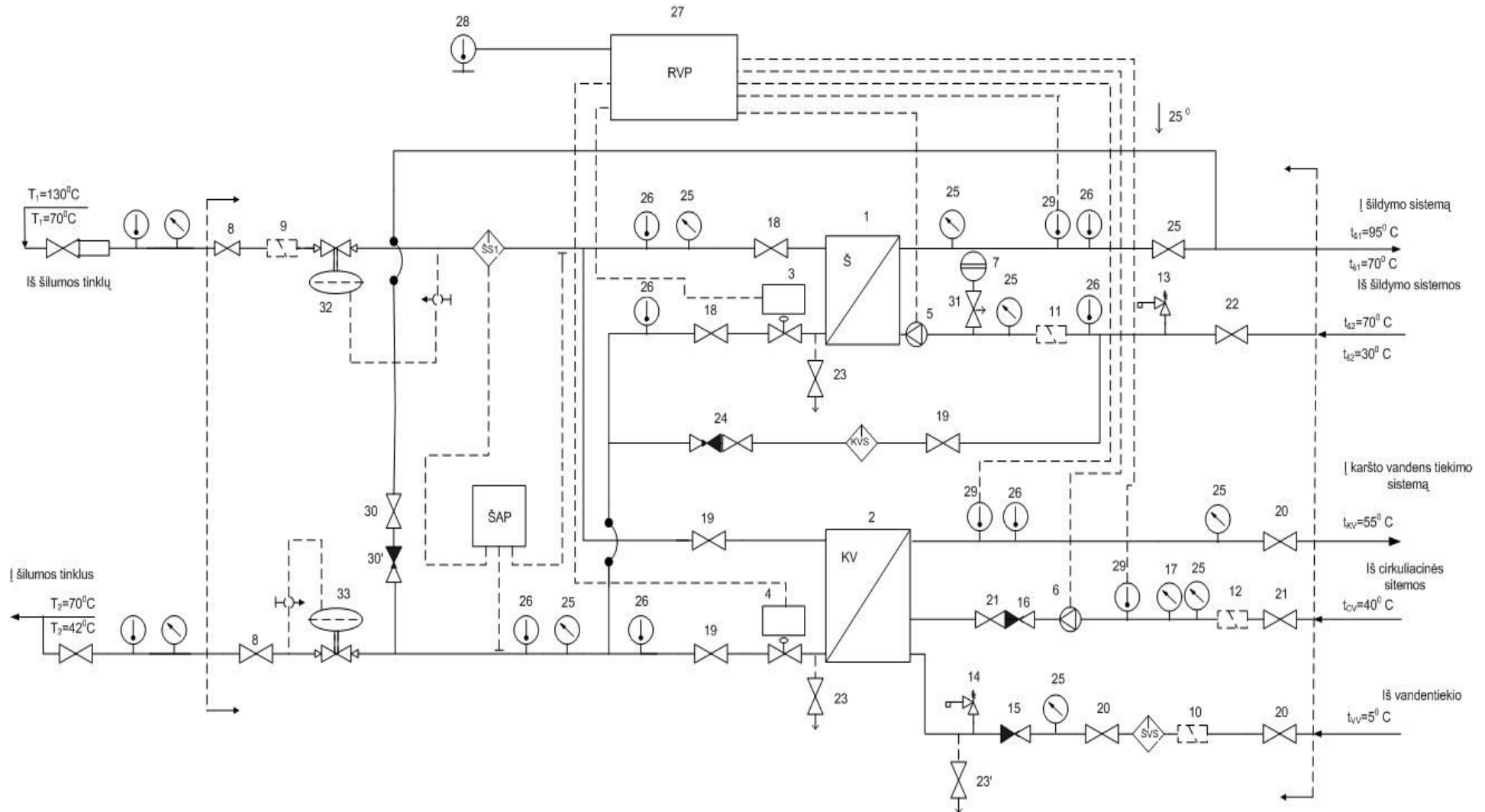
Šalies teisės aktai nereglamentuoja kaip apskaičiuoti optimalius šilumnešio parametrus šilumos šaltiniuose, šilumos perdavimo tinklo vamzdymuose bei pastatų įvaduose, kurie leistų pastato savininkui – šilumos vartotojui arba pastato šildymo ir karšto vandens sistemos prižiūrėtojui išlaikyti tiekimo–vartojimo riboje šilumos įrenginių projekte nurodytą ar šių teisės aktų nustatytą šilumos įrenginių darbo režimą bei šilumos galią.

Teisės aktai reglamentuoja šilumnešio parametrus tik skaičiuojamose sąlygose ir nepateikia metodikos ar kitų būdų kaip paskaičiuoti šilumnešio parametrus esant kitoms (visame lauko oro temperatūrų diapazone, kintant karšto vandens vartojimui paros eigoje, keičiantis vartojimo režimui pagal vietines pastato sąlygas ar vartotojų poreikius ir pan.) šilumos įrenginių darbo režimo sąlygoms.

Nesant griežto šilumnešio parametrų vienovės skaičiuojamose sąlygose reglamentavimo, šilumos įrenginių projektuose numatomi labai skirtingi reikalingi tiekimo–vartojimo riboje šilumnešio parametrai.

I. Pastatų šildymo ir karšto vandens sistemų darbo režimai

Šilumos punkto technologinė vienos pakopos schema, kai šilumnešis šildymo sistemai ir karštam vandeniui ruošiamas plokšteliniais šilumokaičiais



Šilumos punkto technologinė schema

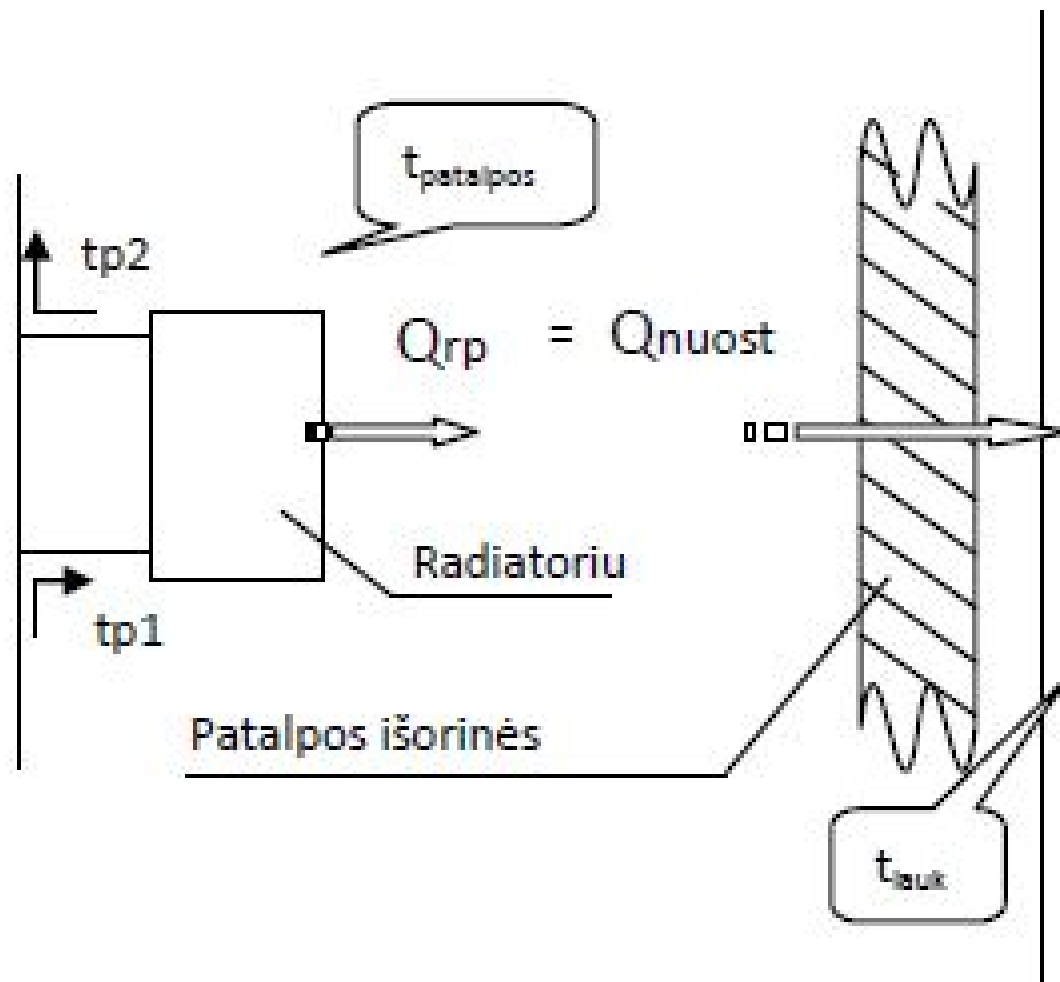
I. Pastatų šildymo ir karšto vandens sistemų darbo režimai

Šilumos tiekimo ir vartojimo sistemų darbo režimų optimizavimo tikslas nustatyti racionalius šilumnešio parametrus šilumos šaltiniuose, šilumos perdavimo tinklo vamzdymuose bei pastatų įvaduose, kuomet aprūpinimo šiluma sistemos dirba nepilno apkrovimo sąlygomis, yra didelė šilumos įrenginių darbo režimų ir šiluminių charakteristikų įvairovė, automatizuotas šilumos vartojimo režimo valdymas.

Šilumos tiekimo sistemų tinkamo darbo režimo parinkimas ir jo optimizavimas susijęs su optimalių skaičiuojamųjų šilumnešio parametrų nustatymu, įvertinus:

- šilumos apkrovas renovuojant pastatus ir jų inžinerines sistemas bei šilumos perdavimo tinklo vamzdynų sistemą;
- šilumos vartojimo reguliavimo, nepriklausomai nuo režimo šilumos perdavimo tinkle, galimybes;
- šilumos nuostolių šilumos perdavimo tinklo vamzdymuose minimizavimo galimybes.

I. Pastatų šildymo ir karšto vandens sistemų darbo režimai



Šilumos mainų schema

I. Pastatų šildymo ir karšto vandens sistemų darbo režimai

Iš paveiksle atvaizduotos schemos matyti tokia šilumos srautų tekėjimo seka: šilumnešis perduoda šilumą šildymo prietaisui, nuo pastarojo ji patenka į patalpą, o iš šios per išorines atitvaras į lauką. Ši schema tinka tiek sistemai ir jos elementams prie projektinių sąlygų, tiek pasikeitus išorės sąlygoms (dėl lauko oro temperatūros kaitos). Visi tie šilumos srautai tarpusavyje turi būti lygūs, kitaip patalpoje nebus galima palaikyti pastovios temperatūros, nes kintant lauko oro temperatūrai kinta patalpos šilumos nuostoliai. Koks šilumos srautas šilumos nuostolių pavidalu per atitvaras pasišalina į lauką, tiek šilumos į patalpą turi patekti nuo šildymo prietaiso ir tiek pat šilumos šilumnešis turi perduoti šildymo prietaisui. Iš to seka, kad šilumnešio perduodamas šilumos srautas į šildymo prietaisą turi būti kintamas.

I. Pastatų šildymo ir karšto vandens sistemų darbo režimai

Šilumnešio perduodamas šilumos srautas gali kisti tik dviem atvejais: keičiantis per šildymo prietaisą pratekančio šilumnešio srautui arba temperatūrai. Pirmasis atvejis praktiškai negalimas dėl šildymo sistemos hidraulinių savybių, todėl lieka antrasis, kuris nesunkiai įvykdomas.

Kelias reikiamai šilumnešio temperatūrai pasiekti šildymo prietaise priklauso nuo to kaip šilumnešis yra ruošiamas arba kaip jis tiekiamas į šildymo sistemą. Šilumnešis gali būti gaminamas pastate įrengtame šilumos šaltinyje (katile), šiuo atveju sakome, kad tai yra vietinė šildymo sistema, arba gali būti tiekiamas į daugelį pastatų iš šilumos šaltinio šilumos perdavimo tinklų vamzdynais ir pastato šilumos punkte (11 paveikslas) esančiame įrenginyje transformuojamas į šildymo sistemai reikalingos temperatūros šilumnešį arba šilumos perdavimo tinklų šilumnešis gali būti panaudotas šilumos punkte esančiame šilumokaityje pašildyti šildymo sistemos šilumnešį. Pirmuoju atveju sakome, kad tai yra priklausoma šildymo sistema, o antruoju, kad šildymo sistema yra nepriklausoma.

I. Pastatų šildymo ir karšto vandens sistemų darbo režimai

Šilumnešio temperatūra šildymo sistemoje nustatoma ir palaikoma automatikos prietaisų pagalba, svarbu tik, kad būtų išlaikytos šios būtinos sąlygos. Šilumos šaltinio galia ir tiekiamo šilumnešio parametrai (temperatūros, srauto, slėgio) turi būti pakankami pašildyti šildymo sistemoje cirkuliuojantį vandenį iki reikiamos temperatūros. Kai naudojama šilumos perdavimo tinkluose cirkuliuojančio šilumnešio šiluma, reikia, kad jo temperatūra nebūtų per žema pašildyti šildymo sistemoje cirkuliuojantį vandenį iki reikiamos temperatūros ir, kad šilumokaičio techninės charakteristikos tenkintų jam keliamus reikalavimus.

Priklausomos šildymo sistemos atveju šilumnešio temperatūros yra glaudžiau susietos su šildymo sistema, todėl panagrinėkime šį procesą detaliau ir išsiaiškinkime kokį vaidmenį šilumos mainuose vaidina šilumnešio temperatūra.

I. Pastatų šildymo ir karšto vandens sistemų darbo režimai

Reguliavimo metodo esmė apsprendžiama šilumnešio ir šildymo prietaiso perduodamų šilumos srautų balanso lygtimi, t.y. šilumos srautas, kurį šilumnešis perduoda šildymo prietaisui yra lygus šilumos srautui, kurį šildymo prietaisas perduoda šildomai patalpai. Iš čia:

$$Gc(t'_1 - t''_2) = kA\Delta t_m \quad (1)$$

Čia: G – šildančio šilumnešio srautas, kg/s;

c – šilumnešio specifinė šiluma, J/(kg·K);

t'_1 – tiekiamo šilumnešio temperatūra, °C;

t''_2 – gražinamo šilumnešio temperatūra, °C;

k – šilumos perdavimo koeficientas, W/(m²·K);

A – šildymo prietaiso paviršiaus plotas, per kurį vyksta šilumos mainai, m²;

Δt_m – šildymo prietaiso vidutinės temperatūros ir patalpos temperatūros skirtumas, °C.

I. Pastatų šildymo ir karšto vandens sistemų darbo režimai

$$\Delta t_m = \frac{t_1' + t_2''}{2} - t_p \quad (2)$$

Čia: t_p – patalpos temperatūra, °C.

Šilumos perdavimo koeficientas, įeinantis į (1) lygybę, nėra pastovus dydis. Tai matyti iš formulės, skirtos jam apskaičiuoti:

$$k = a \Delta t_m^r \bar{G}^z \quad (3)$$

Čia a – koeficientas (šildymo prietaiso pastovioji);

\bar{G} – santykinis šilumnešio srautas šildymo prietaise, kuris išreiškia reikalingo šilumnešio srauto, esant bet kuriomis sąlygomis, su reikalingu šilumnešio srautu, esant norminėms sąlygoms, santykį;

r ir z – laipsnio rodikliai, apibūdinantys prietaisą.

I. Pastatų šildymo ir karšto vandens sistemų darbo režimai

Peržvelgus duomenis apie įvairių šildymo prietaisų charakteristikas, matyti, kad z reikšmė labai maža ($z = (0,03-0,12)$), todėl k praktiškai nepriklauso nuo \bar{C} pokyčio. Tai rodo, kad šildymo prietaiso šilumos perdavimo koeficientas iš esmės priklauso nuo temperatūrų skirtumo atitinkamame laipsnyje r .

Įvertinus aukščiau nurodytas aplinkybes buvo išvestos žemiau pateikiamos lygtys (4), (5), (6) aprašančios aprūpinimo šiluma sistemoje tiekiamo (T_1) ir grąžinamo (T_2) iš šilumos vartojimo įrenginių šilumnešio temperatūras, kaip lauko oro temperatūros funkcijas, taip pat ir pastato vidaus šildymo sistemai tiekiamo šilumnešio temperatūrą (T_3). Priklausomos šildymo sistemos atveju grąžinamo šilumnešio iš pastato šildymo sistemos temperatūra yra lygi grąžinamo į šilumos tinklus (T_2) šilumnešio temperatūrai.

I. Pastatų šildymo ir karšto vandens sistemų darbo režimai

APRŪPINIMO ŠILUMA SISTEMOS SKAIČIUOJAMASIS DARBO REŽIMAS

$$T_1 = t_i + \Delta t_{mn} \overline{Q}^{\frac{1}{1+r}} + (\Delta t_n - 0,5\Delta t_{pn}) \overline{Q}$$

$$T_2 = t_i + \Delta t_{mn} \overline{Q}^{\frac{1}{1+r}} - 0,5\Delta t_{pn} \overline{Q}$$

$$T_3 = t_i + \Delta t_{mn} \overline{Q}^{\frac{1}{1+r}} + 0,5\Delta t_{pn} \overline{Q}$$

Čia:

t_i – šildomos patalpos temperatūra, °C;

Δt_{mn} – norminių šildymo prietaiso vidutinės temperatūros ir patalpos temperatūros skirtumas, °C;

Δt_{pn} – šilumnešio norminių temperatūrų skirtumas, °C;

$\Delta t_{pn} = t'_1 - t''_2$;

\overline{Q} – santykinis šilumos srautas;

$$\overline{Q} = (t_i - t_e) / (t_i - t_{en})$$

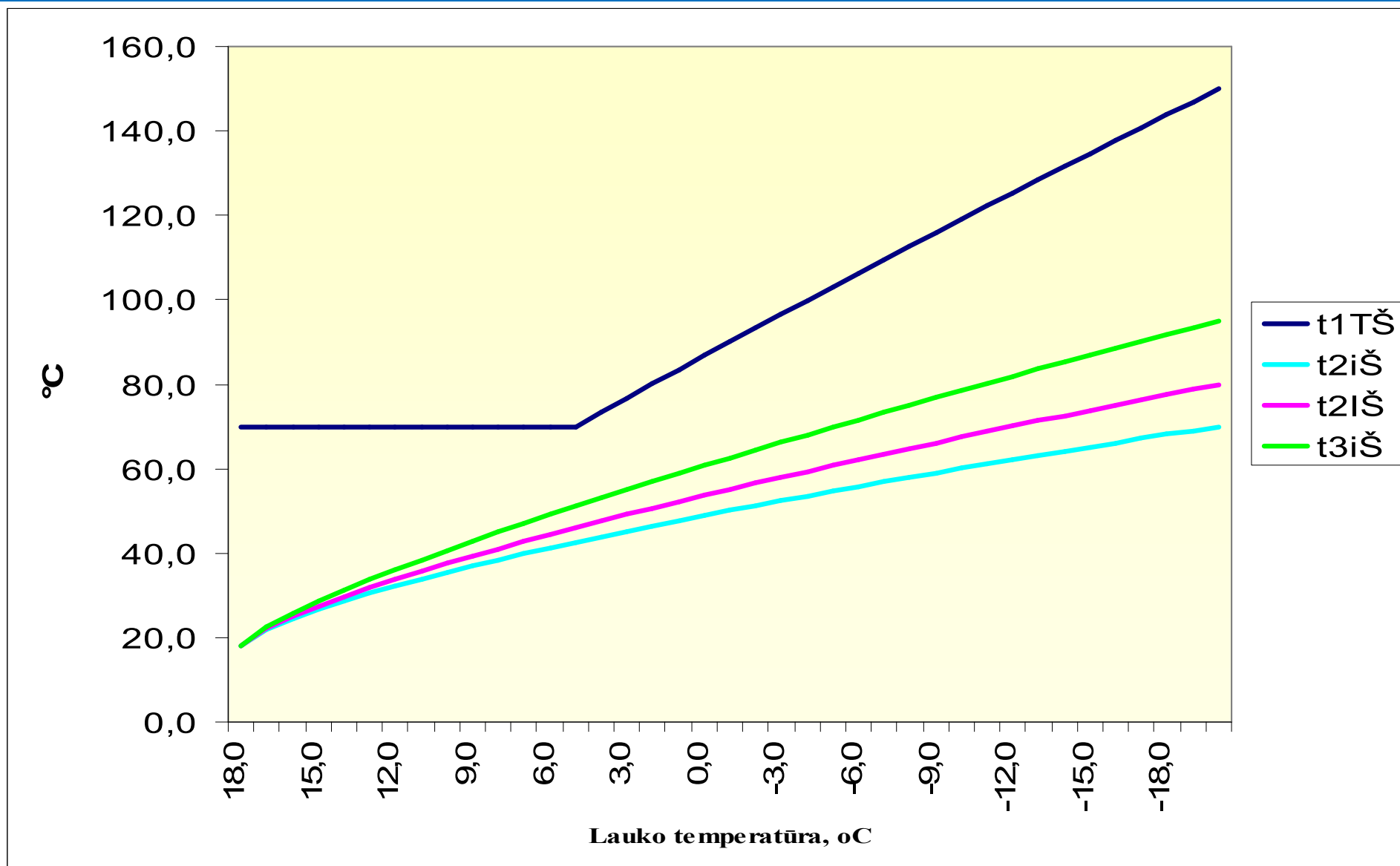
I. Pastatų šildymo ir karšto vandens sistemų darbo režimai

Reikia atkreipti dėmesį į tai, kad išvedant formules, formulėje buvęs laipsnio rodiklis r po eilės pertvarkymų virsta tokiu reiškiniu: $1/(1+r)$.

Įrašius į šį reiškinį $r = 0,33$ gautas laipsnio rodiklis $0,75$.

Išanalizavus šiuo metu naudojamų šildymo prietaisų charakteristikas ir šilumnešio įtekėjimo į šildymo prietaisą schemas, matyti, kad parametras r keičiasi nuo $0,2$ iki $0,35$. Tačiau didžiausią įtaką šio parametro skaitinei išraiškai turi ne tiek pats šildymo prietaisas, kiek šilumnešio įtekėjimo į jį schemas (iš viršaus į apačią, iš apačios į viršų, iš apačios į apačią). Šios schemas net viename pastate būna skirtingos, pavyzdžiui, vienvamzdėje šildymo sistemoje dalis šildymo prietaisų jungiami prie šildymo sistemos stovų iš apačios į viršų (kylančiame stove), o kita dalis iš viršaus į apačią (besileidžiančiame stove). Todėl kalbėti apie šilumnešio temperatūros reguliavimą centralizuoto šilumos tiekimo sistemose, kuriomis šiluma tiekama mikrorajonui ar net visam miestui, pagal šildymo prietaiso jungimo schemą yra nerealu.

I. Pastatų šildymo ir karšto vandens sistemų darbo režimai



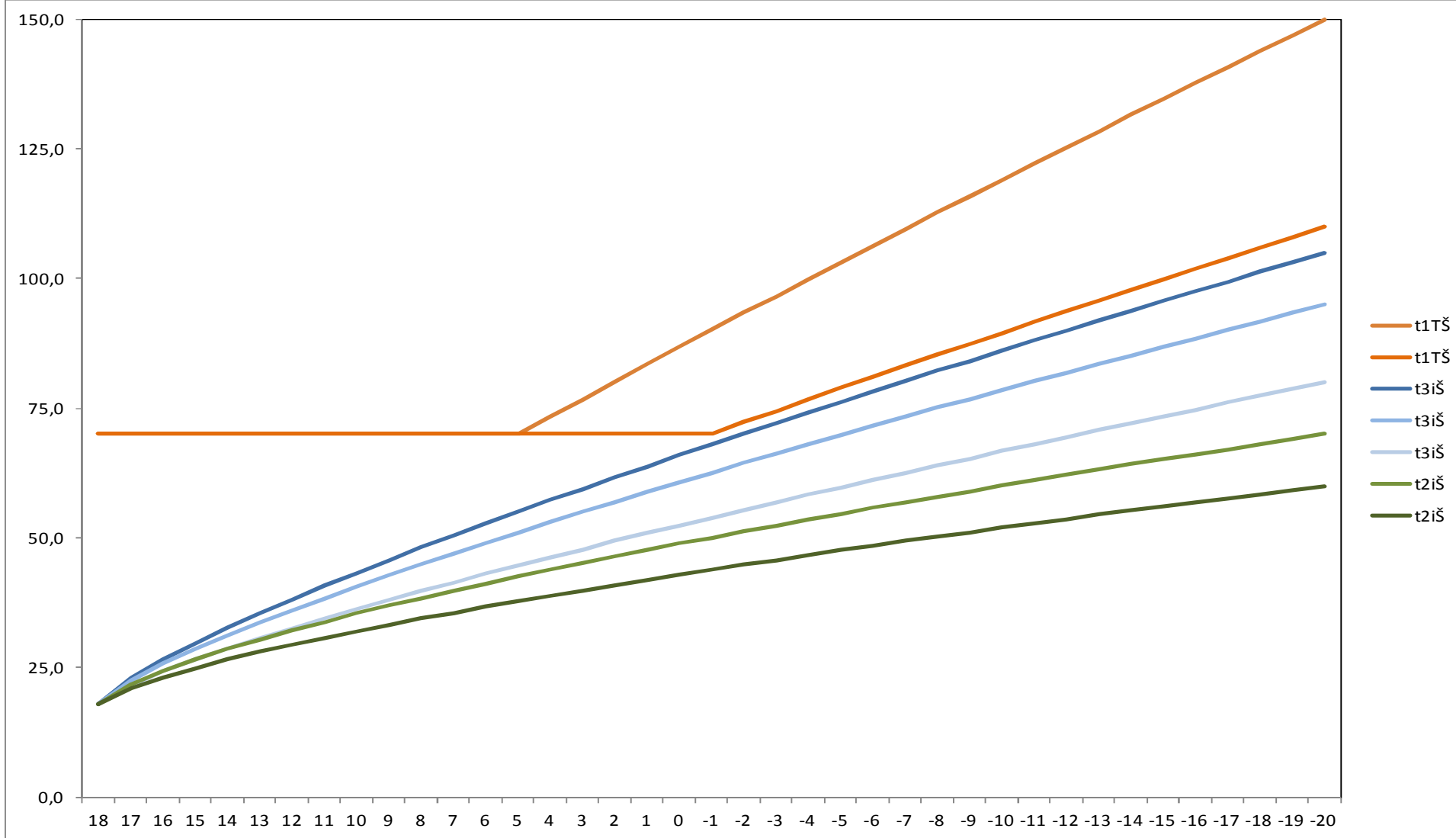
Tipinis aprūpinimo šiluma sistemos darbo režimas

I. Pastatų šildymo ir karšto vandens sistemų darbo režimai

Veikiančiose aprūpinimo šiluma sistemose vartotojų skaičiuojamosios šilumos apkrovos \bar{Q} nuolat kinta ir skiriasi nuo jų statybos metu priimtų projektinių sprendimų. Keičiantis aprūpinamų šiluma pastatų struktūrai, renovuojant pastatus ir jų inžinerines sistemas bei šilumos perdavimo tinklo vamzdynų sistemas sudaromos prielaidos efektyviau vartoti šilumą, mažinti šilumos sąnaudas. Šiuo atveju iškyla ir visos aprūpinimo šiluma sistemas darbo temperatūrinio režimo optimizavimo uždavinys tikslu minimizuoti šilumos nuostolius šilumos perdavimo tinklo vamzdynuose.

Optimizavimo uždavinys gali būti sprendžiamas pasinaudojus (1) lygtimi, įvertinus sistemos vartotojų šilumos apkrovos pokyčius, šilumos perdavimo tinklo vamzdynų pralaidumą, ieškant minimalaus galimo Δt_{pn} , tenkinant sąlygą, kad T_1 būtų didesnis už T_3 . Šiuo atveju gali būti, priklausomai nuo kiekvieno pastato individualių skaičiuojamųjų šilumos apkrovos pokyčių, lyginant su jų statybos metu priimtais projektiniais sprendimais, ieškoma ir optimalaus Δt_{mn} .

I. Pastatų šildymo ir karšto vandens sistemų darbo režimai



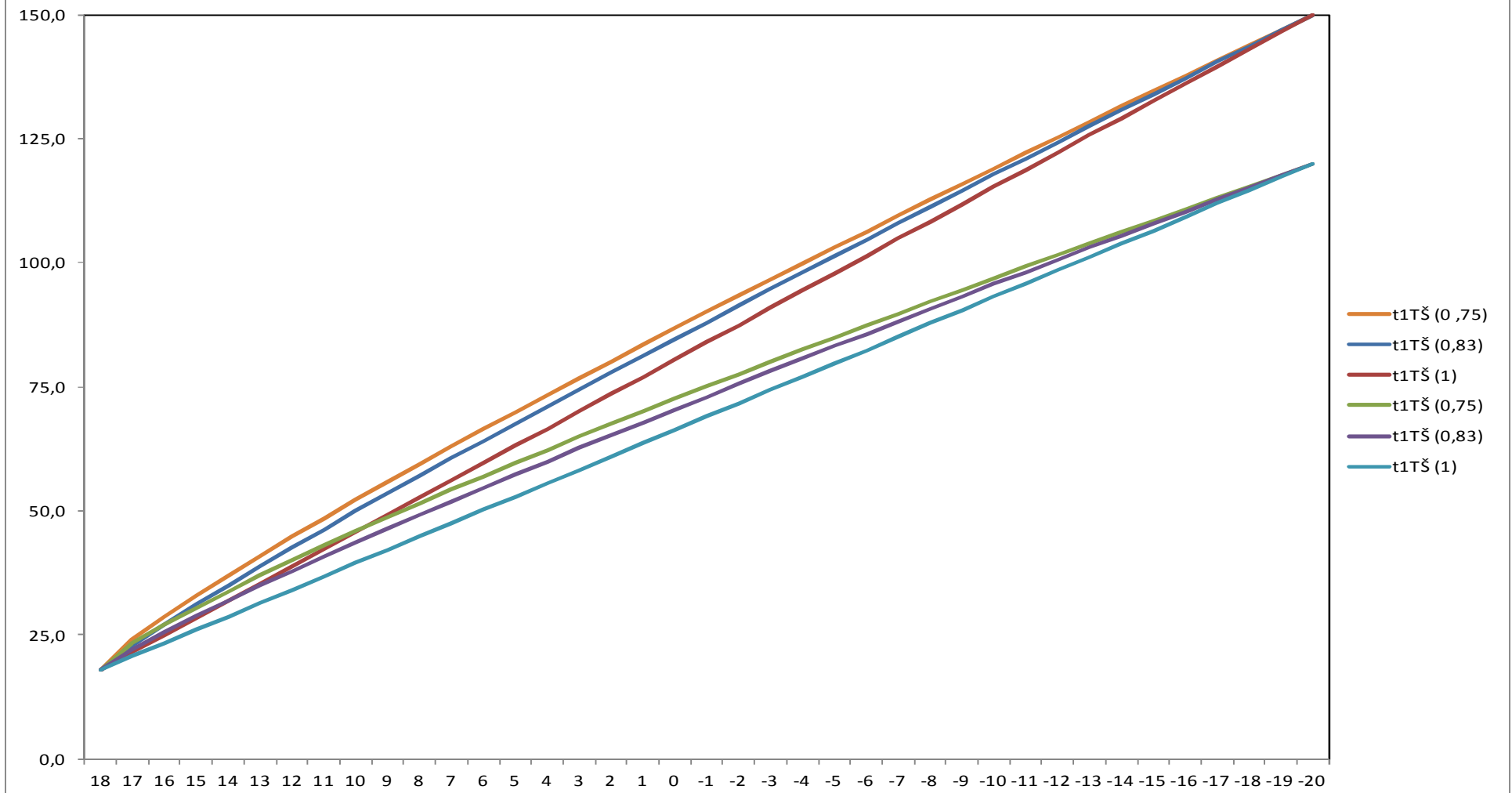
Aprūpinimo šiluma sistemos darbo režimo optimizavimo prielaidos esant skirtingoms šildymo sistemų skaičiuojamosioms charakteristikoms

I. Pastatų šildymo ir karšto vandens sistemų darbo režimai

Tuo atveju, kai šildymo sistema jungiama pagal priklausomą schemą, šilumos tiekimo tinklais tiekiamo šilumnešio temperatūra T_1 ir pastato šildymo sistemos šilumnešio temperatūros T_3 ir T_2 turi būti reguliuojamos, taikant didžiausią $r = 0,35$.

Kitas atvejis, kai visų pastatų šildymo sistemos jungiamos pagal nepriklausomą schemą, pastato šildymo sistemos šilumnešio temperatūros T_3 ir T_2 gali būti reguliuojamos taip, kad iš šilumos perdavimo tinklų į šildymo sistemos šilumokaitį patenkančio šilumnešio temperatūra T_1 atitiktų šią sąlygą: $T_1 \geq T_3 + 5 \text{ }^\circ\text{C}$, grįžtančio iš šilumokaičio tenkintų sąlygą $T_4 \leq T_2 + 5 \text{ }^\circ\text{C}$. Šiuo atveju skaičiuojant T_1 , r gali būti priimtas minimalus arba $r = 0$.

I. Pastatų šildymo ir karšto vandens sistemų darbo režimai

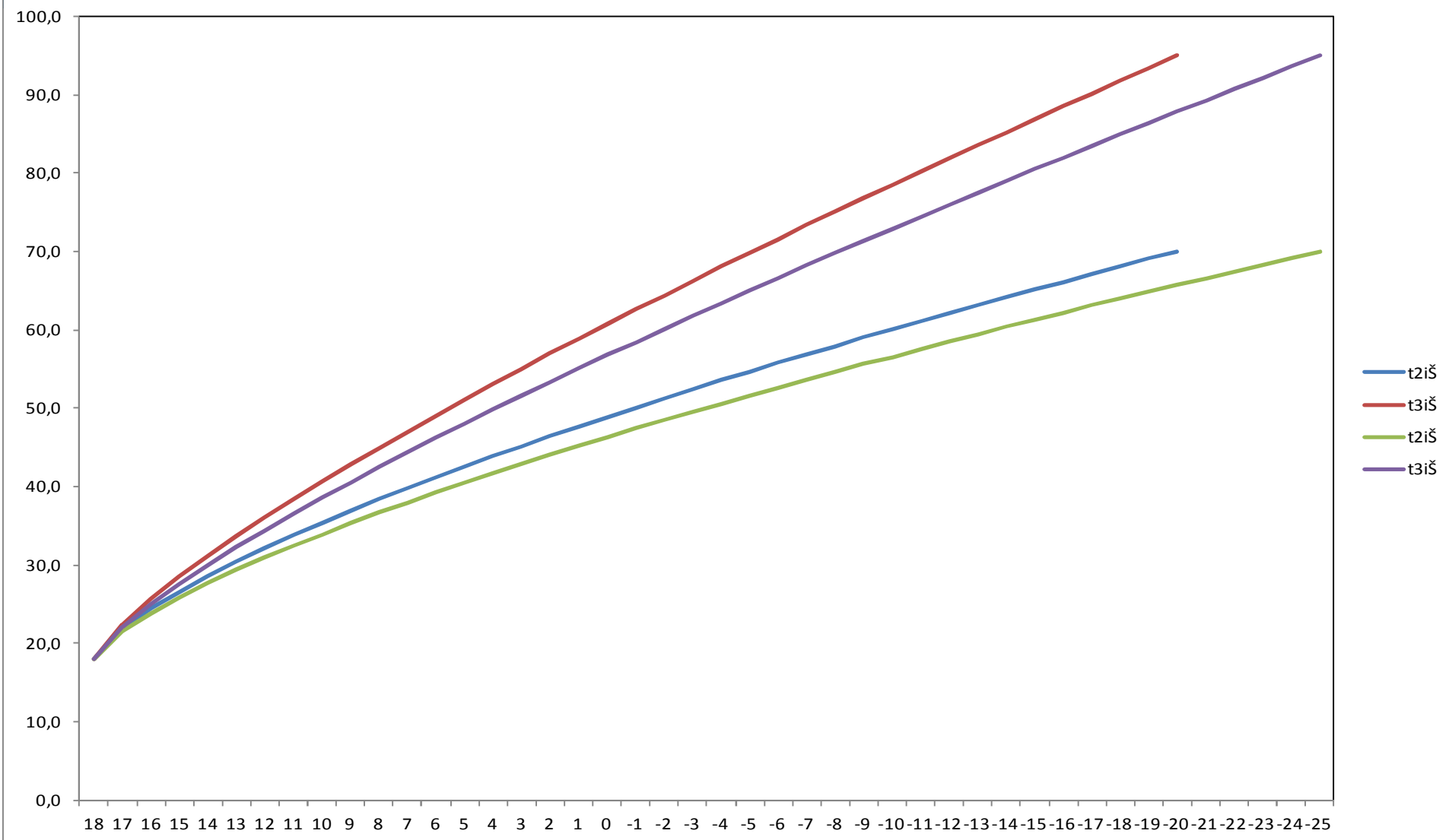


Aprūpinimo šiluma sistemos tiekiamo šilumnešio darbo režimo optimizavimo prielaidos esant vartotojų sistemų nepriklausomai jungimo schemai

I. Pastatų šildymo ir karšto vandens sistemų darbo režimai

Renovavus pastatus (apšiltinus atitvaras, pakeitus langus ir pan.) ir sumažinus skaičiuojamąsias šilumos sąnaudas, bet nerenovavus pastato šildymo sistemos ar nepakeitus šildymo prietaisų paviršiaus ploto, šilumnešio, tiekiamo į šildymo prietaisus, temperatūrinio režimo optimizavimo uždavinys gali būti sprendžiamas pakeičiant proporcingai skaičiuojamųjų šilumos nuostolių per atitvaras sumažėjimo dydžiu reikšmę formulėse.

I. Pastatų šildymo ir karšto vandens sistemų darbo režimai



Optimalaus šildymo sistemos darbo režimo sudarymo prielaidos, kuomet renovavus statinio atitvaras nepakeičiama šildymo sistemos galia

I. Pastatų šildymo ir karšto vandens sistemų darbo režimai

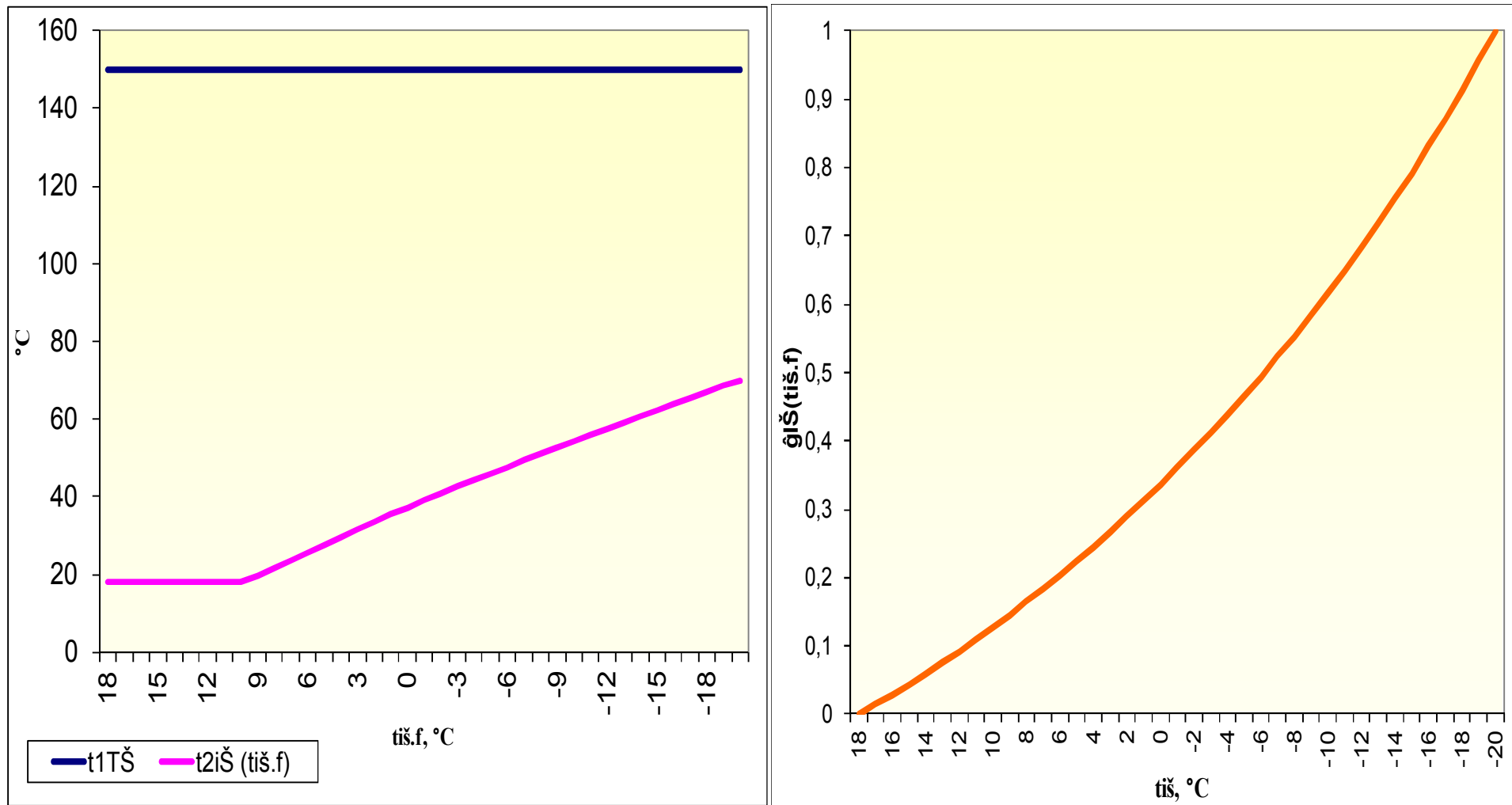
Pilnai renovavus miestų ir gyvenviečių šilumos tiekimo, pastatų šildymo ir karšto vandens sistemas, kokybinį šilumos tiekimo reguliavimo režimą galima pakeisti kiekybiniu. Šilumos tiekimo sistemų renovavimo apimtys ir tempai leidžia tikėtis, kad artimiausioje ateityje bus aktualūs kiekybinio šilumos tiekimo reguliavimo režimų įgyvendinimo bei jų optimizavimo uždaviniai, nuo kurių sprendimo žymia dalimi priklauso sistemų darbo efektyvumas ir patikimumas.

I. Pastatų šildymo ir karšto vandens sistemų darbo režimai

Kiekybinio reguliavimo tiekiamo šilumnešio santykinio srauto ir gražinamo šilumnešio temperatūrinis grafikas, esant pastoviai tiekiamo šilumnešio temperatūrai, priklausomai nuo lauko oro temperatūros, analitine išraiška paskaičiuojamas pagal formules:

$$T_2 = T_1 - \frac{\Delta t_n}{g} \cdot \bar{Q}$$
$$g = \frac{\bar{Q}}{1 + \Delta t_m \cdot \frac{1 - \bar{Q}^{\frac{1}{1+r}}}{\Delta t_n - 0,5\Delta t_{pn}}}$$

I. Pastatų šildymo ir karšto vandens sistemų darbo režimai



Tipinis kiekybinio reguliavimo šilumnešio temperatūros ir santykinio srauto grafikas

I. Pastatų šildymo ir karšto vandens sistemų darbo režimai

Aprūpinimo šiluma sistemos pagal aukščiau įvardijamas formules paskaičiuotas darbo temperatūrinis režimas atitinka stacionarias (pasibaigus pereinamiesiems dėl šiluminės inercijos procesams) šilumos mainų sąlygas. Automatinis reguliatorius pagal lauko oro temperatūrą nesunkiai gali palaikyti tiekiamo į šildymo sistemą paskaičiuotą šilumnešio temperatūrą T_3 , tačiau šiuo atveju dėl šiluminės inercijos pereinamųjų procesų metu nebus užtikrinama pastovi patalpų vidaus oro temperatūra. Kaip vieną iš sprendimo būdų, siūloma įvesti į lauko oro temperatūros matavimo grandinę aktyvų modulį, kuris einamąsias lauko oro temperatūras perskaičiuotų pagal tam tikrą, atitinkantį išorinių pastato atitvarų šilumos mainų procesą nestacionariose sąlygose, matematinį modelį. Reguliavimo proceso metu pasikeitus lauko oro temperatūrai, tiekiamo šilumnešio temperatūrą T_3 reguliatorius turi keisti pagal perkaičiuotą, įvertinus atitvarų šilumos inerciją, menamą lauko oro temperatūrą realiaje laike.

I. Pastatų šildymo ir karšto vandens sistemų darbo režimai

Menamos lauko oro temperatūros, įvertinus atitvarų šilumos inerciją, skaičiavimo matematinis modelis yra toks:

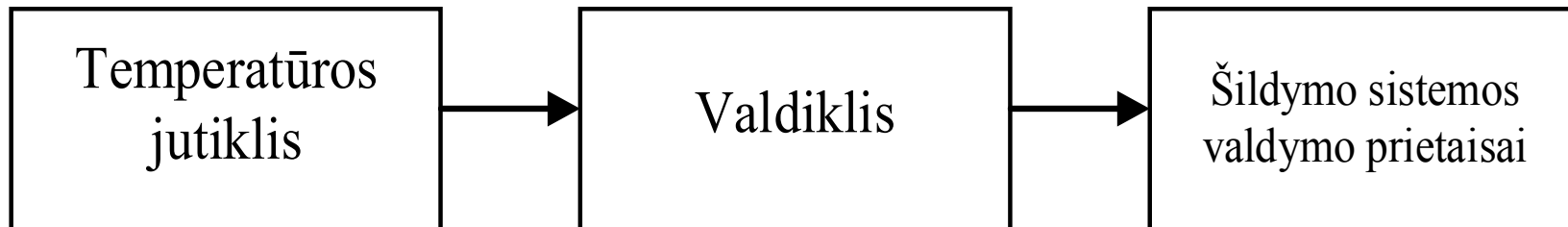
$$T_e' \frac{dt_e'(\tau)}{d\tau} + t_e'(\tau) = (1 - \sigma)t_e(\tau)$$

$$T_e'' \frac{dt_e'(\tau)}{d\tau} + t_e'(\tau) = \sigma t_e(\tau)$$

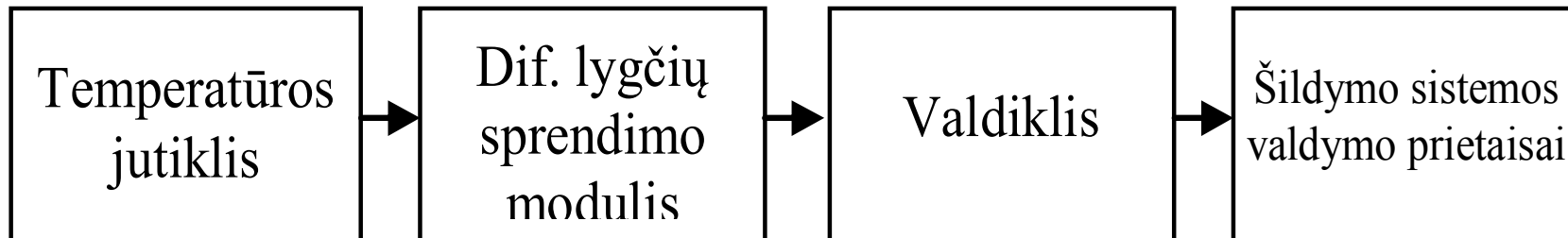
I. Pastatų šildymo ir karšto vandens sistemų darbo režimai

Einamąsias lauko oro temperatūras pagal tam tikrą, atitinkantį išorinių pastato atitvarų šilumos mainų procesą nestacionariose sąlygose, matematinį modelį galima perskaičiuoti valdiklyje - a) atvejis arba įrengti atskirą modulį tarp temperatūros jutiklio ir valdiklio – b) atvejis.

a)



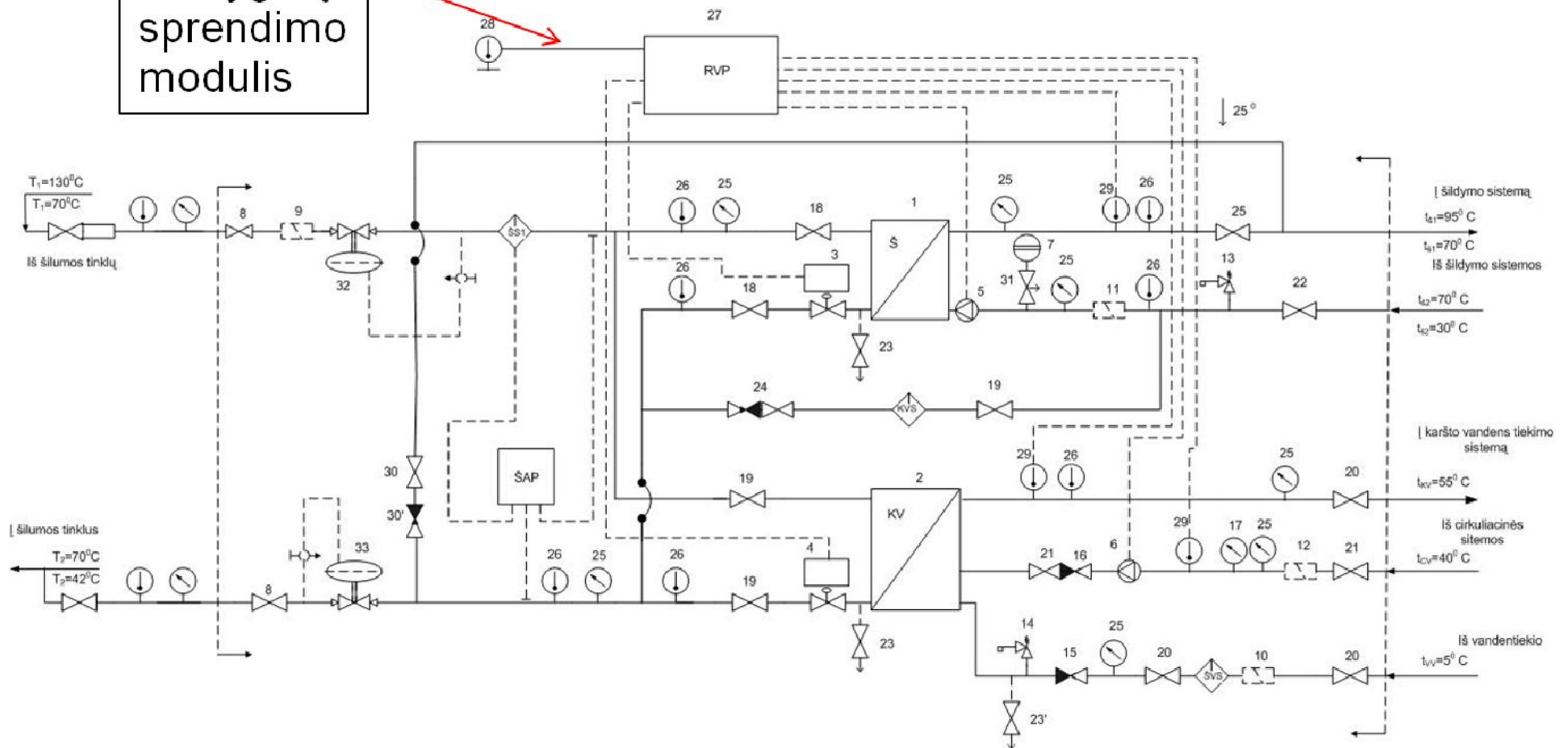
b)



I. Pastatų šildymo ir karšto vandens sistemų darbo režimai

Dif. lygčių
sprendimo
modulis

Šilumos punkto technologinė vienos pakopos schema, kai šilumnešis šildymo sistemai ir karštam vandeniui ruošiamas plokšteliniais šilumokaičiais



AČIŪ UŽ DĖMESĮ