

FACTORS OF THERMODYNAMICAL APPROACH TO BUILDINGS LIFE CYCLE

V. Martinaitis

To cite this article: V. Martinaitis (1996) FACTORS OF THERMODYNAMICAL APPROACH TO BUILDINGS LIFE CYCLE, *Statyba*, 2:7, 75-84, DOI: [10.1080/13921525.1996.10531660](https://doi.org/10.1080/13921525.1996.10531660)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/13921525.1996.10531660>



Published online: 26 Jul 2012.



Submit your article to this journal [↗](#)



Article views: 54



Citing articles: 2 View citing articles [↗](#)

PASTATO GYVAVIMO CIKLO TERMODINAMINIO VERTINIMO VEIKSNIAI

V. Martinaitis

1. Įvadas. Pastatai ir energija

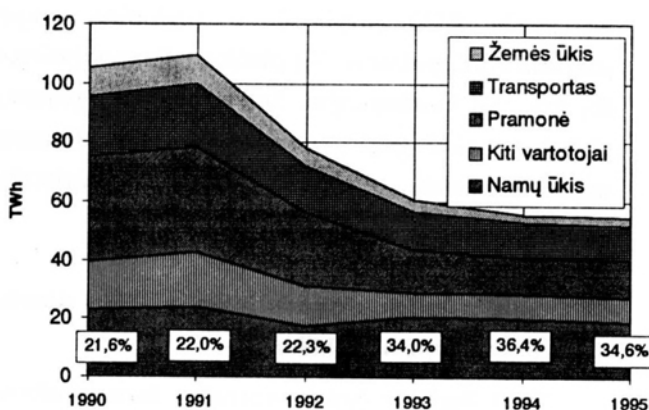
Gyvenamųjų pastatų fondas Lietuvoje 1995 metais buvo apie 73,3 mln. m², o visuomeninių - apie 13 mln. m². Užtikrinant normines komforto sąlygas šiems pastatams šildyti ir vėdinti pagal klimato parametrus norminiais metais reikėtų apie 22 TWh šilumos. Galinių energijos sąnaudų (šiluma, elektra, kuras) kitimas šalyje pagal vartotojų grupes parodytas 1 paveiksle. "Kitų vartotojų" sąvokos pagrindinę dalį sudaro paslaugų, aptarnavimo, valdymo, švietimo struktūros, dar vadinamos "komunaliniu ūkiu", ir jų energijos vartojimo didžiąją dalį sudaro sąnaudos palaikyti pastatuose komfortines sąlygas.

Gyvenamųjų pastatų galinių energijos sąnaudų laukelyje procentais parodyta, kokią dalį bendro kiekio sunaudojo ši vartotojų grupė. "Kitų vartotojų" grupės santykinės sąnaudos kito mažiau: 1990 metais jos sudarė 15,6 %, o 1995 - 15,1 %. Galima teigti, kad jau treji metai nepramoniniai pastatai Lietuvoje sunaudoja pusę galinės energijos. Namų ūkio ir "kitų vartotojų" galinės energijos sąnaudos tuo pačiu laikotarpiu parodytos 2 paveiksle. Nuo 1991 metų pramonės įmonių naudojamos šilumos kiekis sumažėjo beveik trigubai, komunalinio ūkio - dvigubai, o gyvenamųjų namų - kito nedaug. Pastaruosius dvejus metus apie 70 % elektrinėse ir

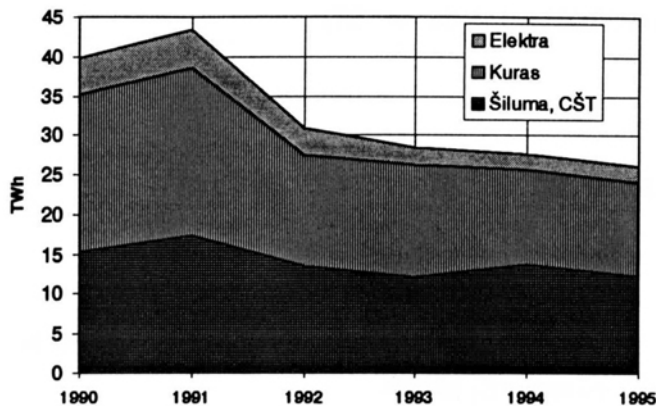
katilinėse pagamintos šilumos sunaudoja taip pat šios dvi vartotojų grupės.

Suprantama, energija reikalinga ne tik pastato eksploatacijai, bet ir sukūrimui. Sprendimai, kuriuos priima projektuotojai pasirinkdami namo atitvaras, konstrukcines bei mechanines sistemas, leidžia sutrumpinti statybos trukmę, todėl energijos sąnaudos naujų namų statybai procentais nuo visos sunaudotos energijos visiems tikslams per pastato gyvavimo ciklą nėra didelės ir vos viršija 5% [1]. Daugiausia šios energijos (apie 70 %) statybose yra sunaudojama gaminant medžiagas ir gaminius. Kita dalis tenka transportui, montavimui ir administravimui. Kai kurie pastatai turi didesnę "statybinę energijos imlumą" statybos fazėje, tačiau įprastame gyvenamajame name dažniau naudojami mažiau energijos reikalaujantys medžio gaminiai, todėl šie pastatai turi mažesnę "statybinę energijos imlumą". JAV duomenimis, šie rodikliai parodyti 3 paveiksle.

Lietuvoje esamo gyvenamojo fondo namų šildymo ir vėdinimo šilumos poreikiai per metus, atsižvelgiant į aukštumą, sudaro apie 0,3-0,2 MWh/m². Karštas vanduo, apšvietimas, buitės technologinė įranga reikalauja beveik dar tiek pat. Taigi jau po 4-5 metų pastatas bus sunaudojęs tiek energijos, kiek jos buvo sunaudota jį statant.

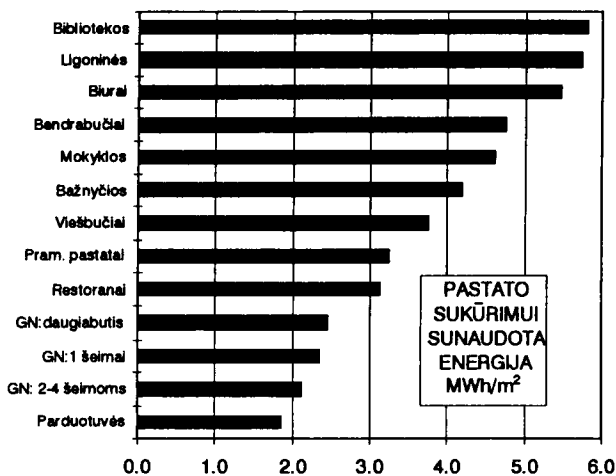


1 pav. Galinių energijos sąnaudų kitimas pagal vartotojų grupes 1990 -1995 metais
Fig. 1. Final energy consumption change by groups of consumers in 1990-1995



2 pav. Namų ūkio ir "kitų vartotojų" galinių energijos sąnaudų kitimas 1990 -1995 metais
Fig. 2. Final energy consumption change for residential and "other" sectors in 1990-1995

Gyvenamosios statybos klausimų ekonominiai ir kompleksiniai ekspertiniai kriterijai leidžia įvertinti konkretaus objekto projektavimo klausimus ir retai nagrinėja dešimtmečio ribas peržengiančias problemas [2, 3]. Pastato gyvavimo ciklas siekia keletą dešimtmečių ar šimtmetį, todėl vien ekonominių (tiesioginių ar išvestinių) kriterijų naudojimas pastatų, kaip vienu iš stambiausių energijos vartotojų, analizei valstybės mastu tampa mažiau patikimas. Taip yra pirmiausia dėl to, kad ekonominių prognozių patikimumas ilgesnei perspektyvai yra mažesnis už kokių nors fizinių dydžių prognozes. Štai aštuntojo dešimtmečio pradžioje mūsų dienoms prognozuotos energijos išteklių kainos (pagal naftos kainas) šiuo metu yra vos ne tris kartus mažesnės. Dalis tuo metu susiformavusių reikalavimų pastatams rėmėsi būtent taip ir nepasitvirtinusiomis ekonominėmis prognozėmis.



3 pav. Pastato pastatymo energijos sąnaudos [1]
Fig. 3. Energy embodied for various buildings types

2. Energetinių sistemų vertinimo kriterijai

Pateikta medžiaga ir patyrimas tvirtina, kad visiškai pagrįsta gyvenamąjį pastatą laikyti intensyviai energiją naudojančia sistema. Logiška tokios sistemos įvertinimui ar net optimizavimui naudoti termodinamikos, kaip universalaus mokslo apie energijos virsmus, metodologiją.

Energiją naudojančių sistemų analizei naudojamą metodiką, tos analizės rezultatus dažnai lemia vertinimo kriterijų pasirinkimas. Jis turėtų priklausyti nuo sprendžiamo uždavinio strateginio užmojo, o patys kriterijai savo pobūdžiu gali priklausyti gana skirtingoms grupėms. Tai būtų *ekonominių, energinių* [4], *ekologinių, ekserginių* [5] kriterijų grupės, ir čia jie išvardinti pagal taikymo populiarumą, ir atvirkščia tvarka - pagal sudėtingumą ir strateginį užmojų. Vartojant termodinamikos terminus būtų galima sakyti, kad atskiros kriterijų grupės kyla iš "komponentų balanso" (pirmasis termodinamikos dėsnis - PTD) arba "procesų negrįžtamumo - entropijos" (antrasis termodinamikos dėsnis - ATD). Pirmosios dvi kriterijų grupės artimesnės PTD požiūriui, o paskutinė grupė paremta ATD požiūriui. Vis plačiau taikomos įvairios šių kriterijų kombinacijos. Štai energetinių sistemų globalus ekologinis vertinimas apibūdinamas *termoekonominių, eksergoekonominių* kriterijų pavadinimais [6, 7, 8].

3. Termodinamika, pirmasis ir antrasis jos dėsniai energijos vartojimo praktikoje

PTD išreiškia įvairių energijos formų balansą virsmų veikiamoje sistemoje. Jis įvertina įvairių

formų energiją, pereinančią sistemos ir išorės ribą, bet neįvertina nei tos energijos kokybės, nei lygio. Visi virsmai laikomi tikimybiškai lygiavėrciais (galinčiais įvykti vienodai lengvai). Jis neįvertina procesų negrįžtamumo ir neužsimena apie pusiausvyrą. Tai energijos ekvivalentumo dėsnis. Deja, praktikoje kokybės požiūriu nėra tas pats, ar tiekti energiją - darbą, ar tiekti energiją - šilumą. Lygio požiūriu juo labiau nėra ekvivalentu tiekti žemos ir aukštos temperatūros tą patį energijos - šilumos kiekį.

ATD jau leidžia įvertinti energijos kokybės ir lygio skirtumus. Jis objektyviai apibrėžia, kuria kryptimi galės vykti virsmai ir patikslina termodinaminės sistemos būklės pusiausvyros sąlygas. Pagal ATD izoliuotos sistemos entropija S gali tik augti arba ribiniu atveju būti pastovi, t.y. dėl vidinio negrįžtamumo sukurta entropija gali tik didėti arba būti lygi nuliui. Eksergijos kaip galimos transformuoti į darbą energijos dalies sąvoka ir esmė apima PTD ir ATD. Kiekvienas realus termodinaminis procesas, esant aplinkos temperatūrai T_a , neatsiejamas nuo eksergijos nuostolių L , kurie pagal ATD randami lygtimi $L = T_a S > 0$.

Deja, ir šildymo, ir energetikos sistemų efektyvumo vertinimo specialistai nesiekia peržengti PTD ribos. Glaustai ir gana paprastai šią problemą aiškina L. Borelis [9], daug nuveikęs techninės termodinamikos pasiekimų metodiniam tobulinimui [10]: "ATD taikymas reikalauja entropijos sąvokos. Štai čia ir prasideda sunkumai. Iš tikrųjų, net šiandien inžinieriai stengiasi neieškoti pastangų vartoti šią sąvoką, tarsi išlaidos dėl šio supratimo neatsipirktų ir dėl to nebūtų reikalo šios kliūtis įveikti. Tokios padėties dramatiškas padarinys yra tas, kad šie inžinieriai suka apsiraminimo ratą apie PTD ir praeina greta ATD glūdinčių turtų".

4. Mikroklimato kondicionavimo sistema

Inžinerinių sprendimų visuma patalpos mikroklimatui (komfortui) sudaryti vadinama mikroklimato kondicionavimo sistema (MKS) [11]. Patalpos mikroklimatą apibūdina šie fiziniai parametrai: paviršių ir oro temperatūra, oro drėgnumas, judėjimo greitis, užterštumo laipsnis,

patalpų apšviestumas, triukšmo lygis. Jiems sudaryti naudojami pasyvūs (PMKPs) ir aktyvūs (AMKPs) mikroklimato kondicionavimo posistemiai. PMKPs sudaro pastato (patalpos) atitvaros, šiuo požiūriu apibūdinamos pirmiausia savo šilumos perdavimo koeficientu k , šiluminiu inertiškumu (masyvumu). Anksčiau buvo parodyta, kad šiam posistemui pagaminti ir sumontuoti reikia tam tikro energijos kiekio, tačiau eksploatacija specialių jos sąnaudų praktiškai nereikalauja. AMKPs bendroju atveju sudaro šildymo, vėdinimo, oro kondicionavimo, apšvietimo sistemos, iš kurių pirmosios trys ne visuomet tarp savęs turi griežtas ribas. Pastato gyvavimo ciklo požiūriu AMKPs būdingas nuolatinis energijos naudojimas. Karštam vandeniui reikalingas energijos kiekis sudarytų apie 25-30 % metinių poreikių šildymui, bet tai daugiau priklauso nuo gyventojų įpročių, tradicijų nei nuo klimato. Apšvietimo sistema, atlikdama savo tiesioginę paskirtį, papildo šildymo sistemą. Inžinerinė praktika turėtų siekti ekonomiškai optimalaus PMKPs ir AMKPs parametrų derinio esamam klimatui. Taigi sprendimus lemia klimato ir ekonomikos sąlygos, jas apibūdinantys kriterijai. Kaip buvo minėta, dėl pastatų ilgaamžiškumo strateginio prognozavimo, normavimo srityje vien ekonominiai kriterijai neturėtų būti suabsoliutinti ir likti vieninteliais.

5. Šildymo (AMKPs) termodinaminė analizė

Šiuo metu priimta šildymo sistemas skirstyti į tradicines (konvencionalias) ir netradicines. Dėl ribotos straipsnio apimties tegalima priminti, kad jau klasikinėmis tampančios netradicinės šildymo sistemos siejamos visų pirma su šilumos siurbliais ir koogeneracija (termofikacija). Apskritai šildymo sistemų padėtis per pastaruosius tris dešimtmečius smarkiai pasikeitė. Iki šių pokyčių energijos mainų procesuose dalyvavo tik viena energijos forma - šiluma. Kylant sistemų technologiniam lygiui, jų tiesioginiuose ir reguliavimo procesuose vis plačiau naudojama energija - darbas. Tai minėti koogeneracijos procesai, neišvengiami elektros poreikiai, nauji įrengimai - šilumos siurbliai, šilumnešių cirkuliaciniai siurbliai, sudėtinga valdymo, reguliavimo įranga ir kt.

Ekserginė (termodinaminė) analizė plačiai taikoma šaldymo ir kitų šiluminių mašinų ciklų analizei [12, 13 ir kt.]. Deja, šildymas, būdamas viena seniausių žmonijos technikos sričių, iki šių dienų daugiausia tenkinasi PTD lygio analize, t.y. energijos - šilumos balansais. Gal ir dėl anksčiau nurodytų priežasčių apskritai gana reta MKS ekserginės analizės taikymo pavyzdžių. Visos pastangos šildymo technikos pažangai buvo nukreiptos gerinti šildymo deginant kurą naudingumo koeficientui. Mažinant procesų negrįžtamumo laipsnį buvo siekiama šildomo vandens temperatūrą priartinti prie patalpos temperatūros. Atrodytų, modernaus šildymo elektra metu iš eksergijos gaunama visa šildymo energija. Termodinaminiu požiūriu tai labai neefektyvus procesas. Be to, pačioje jėgainėje iki šilumą paverčiant elektra atsiranda daug eksergijos nuostolių šilumos pavidalu. Tik mažinant šiuos eksergijos nuostolius galima būtų padidinti elektros energijos panaudojimo šildymui rodiklius, tačiau ilgas šiluminių elektrinių technikos vystymosi laikotarpis jų naudingumo koeficiento kilimo potencialą jau beveik išsėmė.

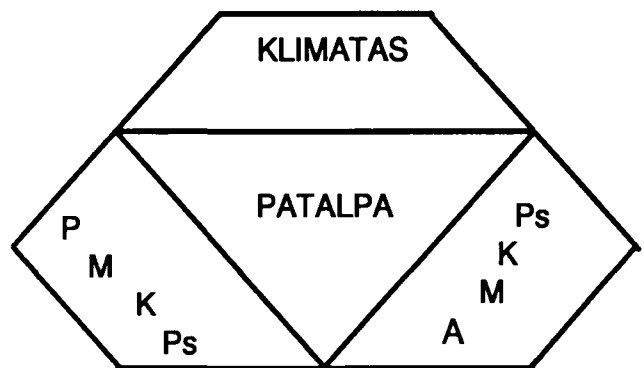
1974 metais pakilus kuro kainoms, imta labiau domėtis termodinamikos naudojimu šildymo technikos problemoms spręsti, šildymo kaip proceso tyrinėjimams taikant ATD [14, 15]. Šiuo dėsniu teigiama, kad kiekvienas su energijos pokyčiais susijęs techninis sprendimas, taigi ir patalpos šildymas, neišvengiamai reikalauja savo veiklai mažiausio būtino eksergijos - galinčios virsti į darbą (mechaninį, elektrinį) disponuojamos energijos dalies - kiekio. ATD lygio analizė leidžia tinkamai parinkti tiek principinius, tiek atskirų procesų sprendimus bet kioje energijos virsmų sistemoje. Šildymo sistemos veikdamos neišvengia termodinaminių nuostolių, todėl tokia analizė reikalinga jų efektyvumui didinti. Ji turi apimti visus procesus ir įrenginius, kurie pirminę energiją paverčia šiluma, ją transportuoja ir skleidžia aplinkoje. Toks požiūris būtų svarbus, bet ne vienintelis pastato, kaip energiją naudojančios sistemos, analizės komponentas.

Tradicinio šildymo būdo pasirinkimas iš karto nulemia, kad visa šildymo energija bus gaminama iš eksergijos. Tokios sistemos termodinaminiu požiūriu neefektyviai naudoja pirminę energiją, pasiekia tik

gana mažus (mažesnius nei 5%) ekserginius naudingumo koeficientus. Tai yra todėl, kad didžiausią šilumos dalį vykstant negrįžtamiems procesams jos gauna iš eksergijos, dažniausiai tiesiogiai iš kuro. Čia visiškai tas pats, per kokius negrįžtamus dalinius procesus (deginimas, šilumos perdavimas esant dideliems temperatūrų skirtumams, įvairių temperatūrų medžiagų srautų maišymas, elektros energijos tiesioginis naudojimas) iš pirminės energijos gauta eksergija bus paverčiama į energiją. Nežiūrint tradicinių šildymo sistemų trūkumų, nereikia pamiršti ir jų pranašumų. Jos reikalauja mažų investicijų, jas galima gerai ir paprastai reguliuoti ir, ypač esant žemoms išorės temperatūroms, turi dabartiniam technikos išvystymo lygiui priimtina ekserginio naudingumo koeficiento reikšmę. Todėl tradicines šildymo deginant organinių kurą sistemas termodinamiškai tikslinga naudoti ir esant dideliems pirminės eksergijos poreikiams, kai žemos išorės temperatūros, vietovėse, kur yra palyginti šalta žiema, kaip Lietuvoje.

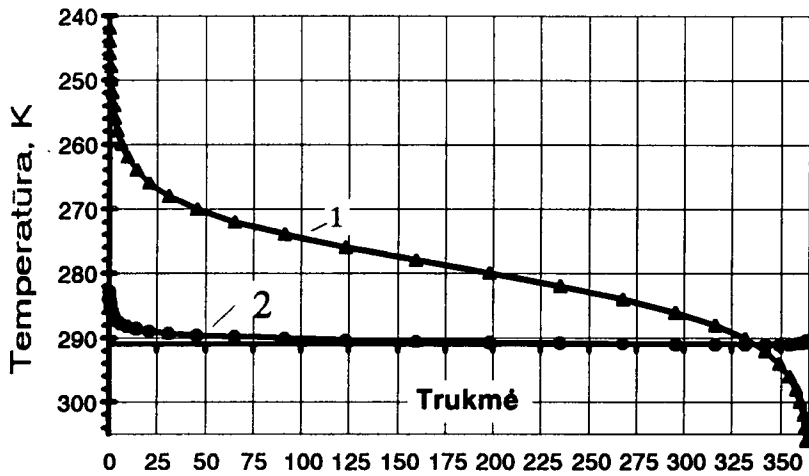
6. Klimatas ir MKS

Pastato ar patalpos fizinis komfortas užtikrinamas vietovės klimato ir pastato mikroklimato kondicionavimo sistemos (PMKPs ir AMKPs) sąveika. Schemiškai tai parodyta 4 paveiksle.



4 pav. Patalpos šiluminio mikroklimato sudarymo energijos poreikių pagrindiniai veiksniai: klimatas ir mikroklimato kondicionavimo sistema (MKS), sudaryta iš pasyvaus (PMKPs) ir aktyvaus (AMKPs) mikroklimato kondicionavimo posistemų

Fig. 4. Mains factors for energy needs for creation of rooms thermal microclimate: climate, passive and active microclimate creation subsystems

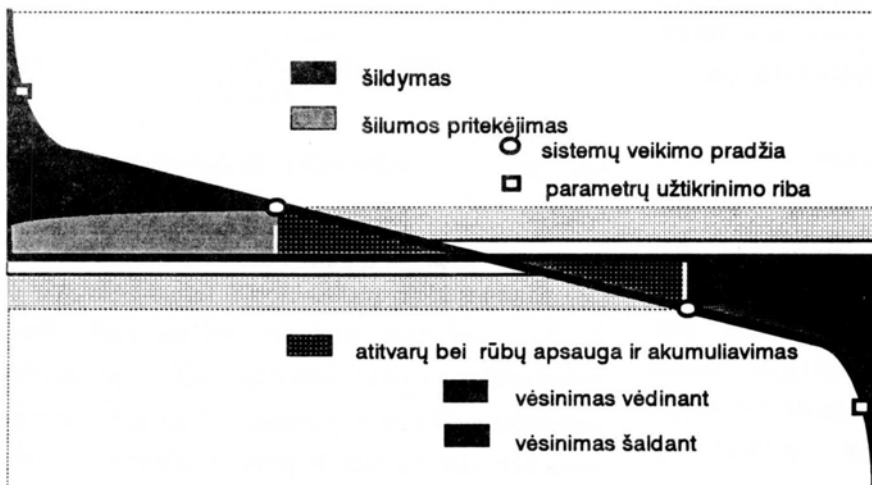


5 pav. Suminės temperatūrų trukmės grafikas Lietuvai artimam klimatui

Fig. 5. Cumulative duration of temperature for Lithuania near climate

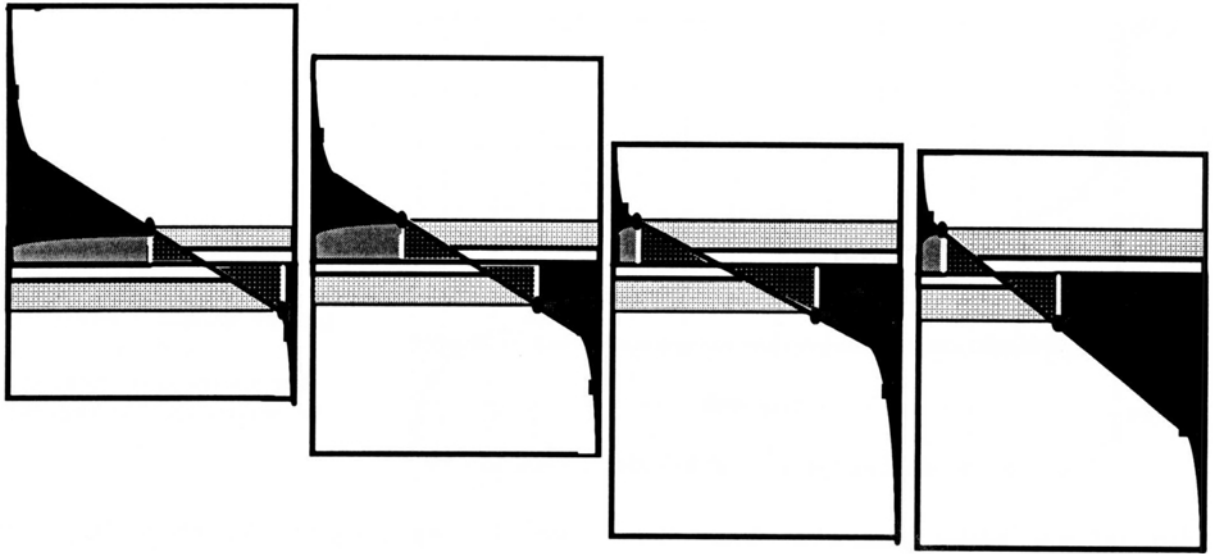
Šių veiksnių būklės parametrai lemia tam reikalingo energijos ir jos kokybinės išraiškos - eksergijos - kiekį pastato gyvavimo ciklui. MKS požiūriu svarbiausias klimato būklės parametras yra išorės temperatūra, kurios kitimas pateikiamas kaip paros vidutinės temperatūros suminė trukmė per metus. Tai pavaizduota 1 kreive 5 paveiksle, o fizinė prasmė ir analitinė išraiška paaiškintos kalbant apie klimato termodinaminį įvertinimą. Plotas po kreive proporcingas pastato šilumos poreikiams. Toks vaizdavimas realiai parodo atvejį naktį, esant tuščioms, plonasienėms patalpoms. Sienų šilumą akumuliuojančios savybės, saulės spinduliavimas, šilumos išsiskyrimai šį reiškinį padaro sudėtingesnį, jį paanalizuoti reikia detaliau. Kad galėtume suvokti reiškinį apskritai, paranku nagrinėti kontinentinę, artimesnę Vakarų Europos šalims švelnaus klimato zoną. Suminės temperatūrų trukmės grafiko pagrindu galima nustatyti mikroklimato kondicionavimo sistemų veikimo būdingus taškus. Tai pavaizduota 6

paveiksle. Kaip ir 5 paveiksle, piešinio ilgis atitinka metų trukmę (365 dienas), vidutinės paros išorės temperatūras - vertikalios ašies reikšmės. Horizontali ašinė linija - patalpoje reikalinga palaikyti temperatūra, su plonesnėmis linijomis apribotais ruožais - leistiniais nukrypimais nuo jos. Klimato duomenys, sistemų veikimo ribiniai taškai, trys būdingi plotai (atskirai šildymo, atskirai vėsinimo) yra tam tikro regiono specifinis derinys. 7 paveiksle parodyta, kaip būdingi plotai ir taškai išsidėsto skirtingose klimato zonose. Diagramų ašinės linijos yra tos pačios patalpų temperatūros lygyje. Lietuvos klimatas greičiau tarpinis tarp dviejų kairėje esančių diagramų. Jose vyrauja šilumos poreikius vaizduojantis plotas. Dvi dešinėsios diagramos vaizduoja šiltų kraštų - Artimųjų Rytų, Viduržemio jūros - klimato atvejus. Jose vyrauja vėsinimo poreikius vaizduojantis plotas. Charakteringų taškų ir plotų prasmė tokia pati, kaip ir 6 paveiksle.



6 pav. Mikroklimato kondicionavimo sistemų veikimo būdingi taškai ir zonos

Fig. 6. Characteristic points and zones for working of microclimate creation systems



7 pav. Skirtingo klimato regionų mikroklimato kondicionavimo sistemų veikimo būdingi taškai ir zonos
 Fig. 7. Characteristic points and zones for working of microclimate creation systems for different regions

Parodyti ribiniai taškai ir plotai yra konkrečios vietovės statybos praktikos, tradicijų, ekonominio lygio rezultatas. Jie atspindi statybos ir higienos normose, įrengimų standartuose. Jų atskirų niuansų mokslinis pagrįstumas gali būti ginčytinas, nes kartais nukopijuojama net ne metodika, o kitai klimatinei ir ekonominei zonai būdingi sprendimai. Galima įtarti, kad kai kuriose šalyse lobistinė statybinių ir izoliacinių medžiagų pramonės politika kelia per griežtus reikalavimus atitvarų šiluminėms charakteristikoms. Šios politikos atspindžiai jaučiami ir Lietuvoje, ypač izoliacinių medžiagų importo praktikoje.

Statybinės normos laikytinos ilgalaikio strateginio užmojo technikos teisine sistema. Kaip minėta, jas kuriant reikėtų mažinti vyravusią ekonominių kriterijų įtaką. Visų pirma juos turėtų papildyti termodinaminiai ir ekologiniai kriterijai.

7. Termodinaminis klimato įvertinimas

Termodinaminė analizė siekia įvertinti vartojamos energijos kokybę, išreiškiamą per eksergiją. Šildymas, naudodamas santykinai didelį energijos kiekį, turėtų būti analizuojamas šiuo požiūriu. Kadangi šilumos kaip energijos formos poreikius šildymui daugiausia diktuoja klimatinės sąlygos, svarbu žinoti besąlygiškai reikalingą, t.y. tepriklausantį nuo klimatinų sąlygų eksergijos kiekį

šildymui. Kitaip sakant, reikia žinoti klimato sąlygojamus absoliučius ir santykinus eksergijos poreikių rodiklius. Teoriniai šio klausimo pradmenys buvo paliesti [16, 17]. ATD naudojimas klimatinų sąlygų įvertinimui leidžia apibrėžti gamtos dėsnų nustatytus minimalius būtinus eksergijos poreikius AMKPs veikimui. Tai tampa viena iš ribinių sąlygų pasirenkant (ar optimizuojant) šio posistemio (atskiru atveju - šildymo sistemos) įrangos ir procesų derinius. Čia bus nagrinėjamas vien pagrindinis klimatinis faktorius - išorės oro temperatūra, ir beveik neatsižvelgiama į aukščiau nurodytas "statybos tradicijas".

Bet kuriuo momentu, kai išorės temperatūra T , patalpos ar pastato šildymui reikalingas šilumos srautas randamas

$$\dot{Q}(T) = \dot{Q}^{\max} \frac{(T_{in} - T)}{(T_{in} - T_{ex}^c)}, \quad (1)$$

kur \dot{Q}^{\max} - maksimalus skaičiuojamas šilumos srautas; T_{in} - patalpos vidaus temperatūra; T_{ex}^c - išorės skaičiuojama temperatūra.

Šilumos kiekį pasirinktomis temperatūromis T_1 ir T_2 apribotam periodui galima rasti žinant temperatūros kitimą vietovėje $z(T)$, jo pobūdis parodytas 1 kreive 6 paveiksle. Tam šios funkcijos integralas dauginamas iš pastato šiluminės savybės nusakančių dydžių:

$$Q = \sum_i A_i k_i \int_{T_1}^{T_2} z(T) dT, \quad (2)$$

A_i - i atitvaros plotas; k_i - i atitvaros šilumos perdavimo koeficientas.

Reikalingas eksergijos srautas gaunamas iš šilumos srauto išraiškos, pasinaudojus *Carno faktoriumi*

$$\eta_C = \frac{(T_b - T)}{T_b}$$

$$\dot{E}(T) = \dot{Q}(T) \eta_C \quad (3)$$

arba

$$\dot{E}(T) = \dot{Q}^{max} \frac{(T_{in} - T)(T_b - T)}{(T_{in} - T_{ex}) T_b} \quad (4)$$

T_b vadinamąja "bazine temperatūra" dažniausiai imama patalpų vidutinė temperatūra (18°C, 291 K).

$$E = \sum_i A_i k_i \int_{T_1}^{T_2} \frac{(T_b - T)}{T_b} z(T) dT, \quad (5)$$

Šildymo technikoje 2 lygties integralo skaitinė reikšmė pateikiama kaip daugiamečių klimato statistikos duomenų rezultatas. Jis vadinamas vietovės "dienolaipsniais" ir naudojamas sezoniniams šilumos poreikiams nustatyti. Šį dydį galima žymėti DL^q energijai-šilumai. Analogiškai 5 lygties integralą galima vadinti "dienolaipsniais" energijai-eksergijai ir žymėti DL^{ex} . Pagal ilgamečių klimato stebėjimų duomenis nustatoma funkcija $z(T)$ abiems atvejams lieka ta pati. Jos analitinei išraiškai buvo pasirinktos eksponentės ar hiperbolinio tangento pagrindu išreikštos funkcijos, kur pirmoji iš jų užrašoma taip [16]:

$$z(T) = \frac{N}{1 + \exp(2a(T_m - T))}; \quad (6)$$

N - nagrinėjamo periodo trukmė, šiuo atveju 365; a - vietovei būdingas dydis; T_m - periodo vidutinė temperatūra.

Skaičiuojant eksergijos poreikius eksponentinės ar hiperbolinio tangento formos funkcija $z(T)$ dauginama iš *Carno faktoriaus*, turinčio kintamąjį T . Gaunamas ryšys tarp išorės temperatūros ir ją atitinkančios eksergijos poreikių trukmės, svarbus interpretuojant eksergijos poreikių kaitą metų eigoje.

Integruojant pasinaudojus sumine temperatūrų trukmės išraiška gauname "dienolaipsnius" eksergijai:

$$LD^{ex} = \frac{N}{T_b} \int_{T_{min}}^{T_b} \frac{(T_b - T)}{1 + \exp(2a(T_m - T))} dT. \quad (7)$$

Kaip buvo minėta, tik nuo klimato priklausanti energijos ar eksergijos poreikių dydį lemia suminio temperatūrų trukmės grafiko forma ir padėtis T_b atžvilgiu. Pagrindiniu santykinu klimatinių sąlygų įtakos šildymui termodinaminio vertinimo rodikliu būtų periodo vidutinis šilumos poreikių *Carno faktorius* $\overline{\eta_C} = LD^{ex} / LD^q$, kuris nepriklauso nuo taikomų normų, parametrų reglamentavimo. Skirtingi atskirų regionų šildymo sezono ribos temperatūra T_s , jos nustatymo reglamentas leidžia greta vien klimatinių sąlygų termodinamiškai įvertinti vietovės inžinerinę šildymo praktiką grupė kitų santykinų termodinaminių rodiklių, kurie čia nepateikiami. Gautas rodiklis $\overline{\eta_C}$ parodo, kurią šildymui reikalingos energijos dalį esant tam tikroms klimatiniams sąlygoms būtina turi sudaryti eksergija. Teoriškai kita šildymui reikalinga energijos dalis gali būti anergija.

1 lentelė. Klimato termodinaminių rodiklių skaitiniai pavyzdžiai

Table 1. Numerical examples of thermodynamical indices of climate

Vietovė	Dienolaipsniai, kai $T_b = (273+18)$ K,				$\overline{\eta_C}$
	Šilumai		Eksergijai		
	$T_s = 273+10$ K	$T_s = T_b$	$T_s = 73+10$ K	$T_s = T_b$	
Lozana	2679	3274	140.8	152.3	0.0464
Vilnius	4041	4443	254.0	262.0	0.0590
Kvebekas	4834	5127	307.0	313.0	0.0610

8. Statybinės dalies (PMKPs) termodinaminė analizė

PMKPs pasižymi savo kompleksiskumu, bet, einant nuo paprasto prie sudėtingo, pastato atitvarose tektų išskirti konstruktyvinę ir šilumos izoliavimo dedamąsias. Tuomet energijos sąnaudų termodinaminė analizė apimtų konstrukcinių ir izoliacinių medžiagų gamybos procesus bei statybos montavimo procesą. Kaip buvo minėta, lemiamą reikšmę turi medžiagų gamybos procesas, vertinamas apie 70 % bendrų pastato statybinės dalies sukūrimo energijos sąnaudų. Uždavinio sprendimas galėtų turėti keletą etapų, iš kurių trimis pirmaisiais tektų laikyti:

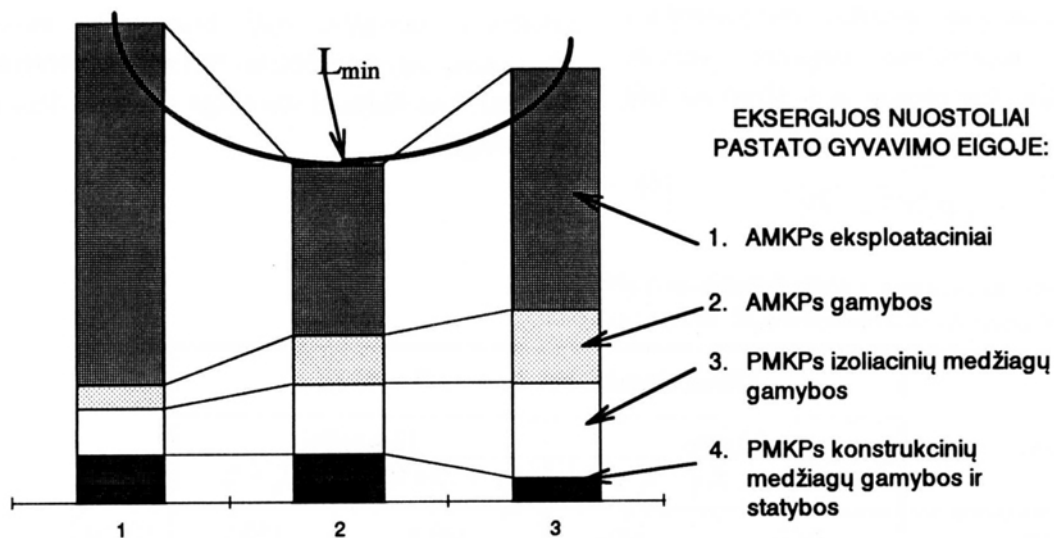
- dabar šalyje egzistuojančių eksergijos sąnaudų PMKPs medžiagų gamybai rodiklius, neįvertinant esamų technologinių procesų bei įrangos lygio;
- ekspertiškai vertinamas galimos eksergijos sąnaudas PMKPs medžiagų gamybai, remiantis aukštesnio lygio technologijų pavyzdžiais;
- statybinių medžiagų technologinių procesų ir įrangos termodinaminį optimizavimą. Šis uždavinys pakankamą tyrimo periodą gali būti sprendžiamas visai savarankiškai.

Statybinių medžiagų gamybos proceso ekserginės analizės pavyzdžių yra [18], tačiau dabartiniame daug tobulėjimo rezervų turinčiame statybinių medžiagų gamybos technologiniame lygyje ši analizė gali ar net ir turi būti atsieta nuo pastato gyvavimo trukmės problemos. Be to, tam reikalingi ne tik balansiniai energijos vartojimo rodikliai tam

tikros medžiagos gamybos procese, bet ir to proceso atskirų fazių būklės parametrai - temperatūra, koncentracijos, slėgiai. Tai palyginti kruopščios ir brangios analizės reikalaujantys darbai. Taigi šiuo metu energetinius klausimus reikėtų visų pirma sieti su ekonomikos bei aplinkosaugos klausimais, o tam tikrame tokios analizės plėtotės, tobulinimo etape tai gali būti išvystyta iki ekserginės analizės ir tapti čia nagrinėjamos problemos konteksto dalimi.

9. Pastato energijos poreikių termodinaminis įvertinimas

Pateiktos analizės rezultate siūlomas pastato gyvavimo ciklo termodinaminio įvertinimo modelis. Jis galėtų būti apibūdintas taip: ATD naudojimas klimato sąlygoms įvertinti leidžia nustatyti gamtos dėsnų apibrėžtus minimalius būtinus eksergijos poreikius AMKPs veikimui. Tai tampa viena iš ribinių sąlygų renkantis (ar optimizuojant) šio posistemio (atskiru atveju šildymo sistemos) įrangos ir procesų derinius, leidžiančius gauti minimalius eksergijos nuostolius AMKPs eksploatacijai L_{ac} ir gamybai L_{ag} . Konstrukcinių ir izoliacinių medžiagų gamybos procesų termodinaminė analizė, jos tobulinimas leistų rasti minimalius eksergijos nuostolius PMKPs gamybai, susidedančius iš L_{pk} ir L_{pi} . Minėtos eksergijos nuostolių dedamosios parodytos 8 paveiksle.



8 pav. Pastato gyvavimo ciklo pagrindinių eksergijos nuostolių optimizavimo modelis

Fig. 8. Model of principal exergy loss optimisation for building life cycle

Šių atskirų eksergijos nuostolių dedamųjų sujungimas į bendrą optimizacinį uždavinį leistų nustatyti energijos naudojimo pastatuose termodinamiškai optimalų derinį. Tai būtų, greta ekonominių, socialinių ir ekologinių, vienas iš požiūrių strateginiams statybos ir energetikos sąveikos klausimams spręsti.

10. Išvados

1. Pastatai Lietuvoje laikytini intensyviai energiją naudojančia sistema. Pastato gyvavimo ciklo, siekiančio keletą dešimtmečių ar šimtmetį, analizei, optimizavimui, prognozėms galima taikyti fizinius kriterijais pagrįstą termodinamikos, kaip universalios mokslų apie energijos virsmus, metodologiją.
2. Termodinamikos taikymas šioje srityje negali tradiciškai apsiriboti pirmuoju termodinamikos dėsniumi, o turi būti išplėstas iki ekserginės analizės, apimančios pirmąjį (PTD) ir antrąjį (ATD) termodinamikos dėsnius. Tai leistų įvertinti energijos kokybės ir lygio skirtumus visuose pastato gyvavimo ciklo procesuose.
3. Mikroklimato kondicionavimo sistemų mokslas ir inžinerinė praktika turėtų siekti ekonomiškai optimalaus pasyvaus ir aktyvaus posistemų derinio esamoms klimato ir ekonomikos sąlygoms. Tačiau strateginio prognozavimo, normavimo srityje ekonominiai kriterijai neturėtų būti vieninteliais lemiančiais sprendimus, o tokios prognozės - pakankamai patikimomis. Su pastato mikroklimato kondicionavimo sistemomis susijusios statybos normos, būdamos ilgalaikio strateginio užmojo technikos teisine sistema, greta ekonominių kriterijų turėtų būti įvertinamos ir termodinaminiais bei ekologiniais kriterijais.
4. Aukšto technologinio lygio aktyvaus mikroklimato kondicionavimo posistemio energijos mainų procesuose lygiaverčiai dalyvuoja abi energijos formos - šiluma ir darbas. Priimant principinius sprendimus šis posistemis (pvz., šildymas), vartodamas santykinai didelį energijos kiekį, turėtų būti analizuojamas konkrečioms klimatinėms sąlygoms tos energijos kokybės ir lygio atžvilgiu. Šiandienėje inžinerinėje ir net mokslinėje praktikoje paplitęs

tokių sistemų vertinimas, apsiribojant vien PTD ir ekonomika, yra netoleruotinas.

5. ATD panaudojimas įvertinti klimatinės sąlygas leidžia apibrėžti gamtos dėsnių nustatytus minimalius būtinus eksergijos poreikius aktyvaus mikroklimato kondicionavimo posistemio veikimui. Gautas rodiklis, parodantis, kurią šildymui reikalingos energijos dalį esant tam tikroms klimatinėms sąlygoms būtina turi sudaryti eksergija.
6. Pastato statybinės dalies termodinaminė analizė apimtų konstrukcinių ir izoliacinių medžiagų gamybos procesus bei statybos montavimo procesą. Uždavinio sprendimo trimis pirmaisiais etapais tektų laikyti:
 - esamų eksergijos sąnaudų medžiagų gamybai rodiklius,
 - ekspertiškai vertinamų, aukštesnio lygio technologijų pavyzdžiais paremtų, galimų eksergijos sąnaudų medžiagų gamybai prognoze,
 - statybinių medžiagų technologinių procesų ir įrangos termodinaminį optimizavimą.
7. Atskirų pastato gyvavimo ciklo eksergijos nuostolių dedamųjų sujungimas į bendrą optimizacinį uždavinį leistų nustatyti energijos naudojimo pastatuose termodinamiškai optimalų derinį konkrečioms klimatinėms sąlygoms. Tai būtų, greta ekonominių, socialinių ir ekologinių, vienas iš požiūrių strateginiams statybos ir energetikos sąveikos klausimams spręsti.

Literatūra

1. B.Stein, J.S.Reynolds. Mechanical and electrical equipment for buildings. New York: Wiley cop. 8th ed., 1992. 1627 p.
2. Э.К.Завадская. Системотехническая оценка технологических решений строительного производства. Ленинград: Стройиздат, 1991. 256 с.
3. V.Martinaitis. Lietuvos pastatų šiluminio renovavimo mikroekonominis tikslingumas // Lietuvos mokslo darbai. Aplinkos inžinerija. N 1(3). V.: Technika, 1995, p. 4-19.
4. S.W.Bullard et al.: Net Energy Analysis // Resources and Energy, 1, North Holland Publishing Company, 1978, p. 267-313.
5. J.Szargut, D.R.Morris, F.R.Steward. Exergy Analysis of Thermal, Chemical and Metallurgical Processes, Hemisphere Publishing Corp., N.Y., 1988. 198 p.
6. M.R. von Spakovsky, D.Favrat, M.Batato. A Global Second Law Approach to the Evaluation of Energy Conversion Systems taking into Account Economic and

- Environmental Factors // Entropy, No 164/165, 1991, p. 35-44.
7. C.A.Frangopoulos. An Introduction to Environomic Analysis and Optimization of Energy-Intensive Systems // Proceedings of the International Symposium on Efficiency, Costs, Optimization and Simulation of Energy Systems - ECOS '92. ASME, N.Y., 1992, p. 24 -30.
 8. M.R. von Spakovsky. Methode globale d'evaluation des systemes energetiques, basee sur l'approche exergetique etendue a des considerations economiques et environnementales. // Project report to OFEN (Office Federal de L'Energie), Ecole Polytechnique Federale, Lausanne, Switzerland, 1992. 28 p.
 9. L.Borel. Thermodynamique et energetique, 3 ed. Preses polytechniques romandes, Lausanne, 1991. 710 p.
 10. L. Borel. La Thermodynamique de l'ingenieur // Revue generale de thermique, No 356-357, VIII-IX 1991, p. 444-449.
 11. В.Н.Богусловский. Строительная теплофизика. Москва: Высш.школа, 1982. 415 с.
 12. В.М.Бродянский. Термодинамический анализ низко-температурных процессов. Москва: Изд-во МЭИ, 1966. 180 с.
 13. А.И.Андрющенко. Термодинамические расчеты оптимальных параметров тепловых электростанций. Москва: Высш. школа, 1963. 230 с.
 14. Z.Rant. Heiztechnik und der zweite Hauptsatz der Thermodynamik // Gaswarme 12, 1963 N 8, S. 297-304.
 15. H.D. Baehr, Zur Thermodynamik des Heizens I. // Der 2 Hauptsatz und die konventionellen Heizsysteme Brennstoff - Wärme - Kraft, 32 (1980) 1, S. 9 - 15.
 16. V.Martinaitis. Dėl sezoninių šilumos poreikių skaičiavimo pagal "laipsnių dienas"// Vilniaus technikos universiteto mokslo darbai. Santechnika ir hidraulika. N 21. V.: Technika, 1994, p. 56-64.
 17. V.Martinaitis. Termodinaminis klimato įvertinimas mikroklimato kondicionavimo sistemų energijos poreikių požiūriu // Pastatų mikroklimato sistemos: Tarptautinės konferencijos "Miestų inžinerija ir aplinka", įvykusios Vilniuje 1994 m. spalio 22-23 d., medžiaga. V: Technika, p. 1-5.
 18. Ю.В.Пустовалов, М.И.Судникович. Роль эксергетических балансов в выявлении резервов экономии энергоресурсов // Создание малоотходных технологий и совершенствование утилизационного оборудования: Сб. научн. тр. Москва: МЭИ, 1988, с. 23-43.

Įteikta 1996 10 04

FACTORS OF THERMODYNAMICAL APPROACH TO BUILDINGS LIFE CYCLE

V.Martinaitis

S u m m a r y

The article suggests that non-industrial buildings in Lithuania consume half the final energy including appr.70% heat produced in electric power plants and boiler-houses. In order to ensure standard heating and ventilation conditions for these buildings in terms of climate parameters of a normal year it would require heat consumption of some 22 TWh. However, the energy is required not only for operation and maintenance of the

building (for active microclimatic conditioning systems - AMCS), but also for setting up the building (for passive microclimatic conditioning systems - PMCS). The above input is therefore determined by technological level in the building and building materials industries. Rather exact evaluations show that in the course of several next years already, primary energy consumption used for a building maintenance shall be equal to that used while construction thereof. In terms of a building life cycle, this is a fairly short term. Therefore these buildings in terms of energetic approach make an intensive energy-consumption system. It is hereby suggested to apply an exergetic analysis for a life cycle of a building under certain climatic conditions and PMCS and AMCS combinations defined by the local produce technology level. Using solely economical (both direct or derived) criteria for this intention is therefore insufficient, because the reliability of economic forecasts for longer prospect falls below any other forecasts of physical quantities. As an example for this, a globally-ecological evaluation of energetic systems based on thermodynamics is therefore presented, and is characterised by thermo-economic and exergo-economic criteria.

Further, the article provides formulas and indices for thermodynamic evaluation of climatic conditions which indicate minimum requirements of exergy for operation of AMCS. Furthermore, MCS operating points and zones characteristic of different climatic regions are provided. Tasks for MCS thermodynamic analysis have been formulated to include the processes of production of building and insulation materials, and construction erection process. These should be considered the first three stages of the above task:

- indices of present exergetic input in production of materials;
- forecast of potential exergetic input in production of materials;
- thermodynamic optimisation of technological processes and equipment of building materials.

It is therefore considered, that the integration of separate exergetic loss components of building life cycle into a general optimisation task shall enable establishment of thermodynamically-optimum combination of exergetic use in the buildings under concrete climatic conditions. This would launch, apart from economic, social and ecological aspects, an approach for handling strategic issues of construction and energetic interaction.

Vytautas MARTINAITIS. Doctor, Associated Professor. Department of Heating and Ventilation. Vilnius Gediminas Technical University, 11 Saulėtekio Ave, 2040 Vilnius, Lithuania.

Doctor's degree at Belorussian Polytechnical Institute (1982, power engineering and thermoengineering). Since 1989 he has been working at Vilnius Technical University. Research courses: in Belorussia (1982), Spain (1992-1993), Switzerland (1993-1994), the UK (1995). Research interests: optimization of energy consumption in buildings.