

PARTICULARITIES OF DETERMINING PRIMARY ENERGY NEEDS FOR BUILDING MATERIALS

K. Čiuprinskas & V. Martinaitis

To cite this article: K. Čiuprinskas & V. Martinaitis (1997) PARTICULARITIES OF DETERMINING PRIMARY ENERGY NEEDS FOR BUILDING MATERIALS, *Statyba*, 3:11, 35-43, DOI: [10.1080/13921525.1997.10531351](https://doi.org/10.1080/13921525.1997.10531351)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/13921525.1997.10531351>



Published online: 26 Jul 2012.



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



Article views: 51



Citing articles: 1 View citing articles [↗](#)

PIRMINĖS ENERGIJOS POREIKIŲ STATYBINĖMS MEDŽIAGOMS NUSTATYMO YPATUMAI

K. Čiuprinskas, V. Martinaitis

1. Įvadas

Nepramoniniai pastatai Lietuvoje pastaruosius trejus metus sunaudoja pusę galutinės energijos, iš jos apie 70% elektrinių ir katilinių pagamintos šilumos. Užtikrinant normines komforto sąlygas šiems pastatams šildyti ir vėdinti pagal klimato parametrus norminiais metais reikėtų apie 22 TWh šilumos [1]. Taigi šie pastatai energetikos požiūriu yra intensyviai energiją vartojanti sistema. Tačiau energija reikalinga ne tik pastato eksploatacijai, bet ir jo sukūrimui. Šiuos poreikius apsprendžia statybos ir statybinių medžiagų pramonės technologinis lygis. Palyginus su kitų pramonės šakų gaminiais, pastatas yra fiziškai ilgaamžis, todėl strateginiams statybos ir energetikos šakų sąveikos vertinimams tikslinga naudotis gaminio gyvavimo ciklo vertės (*life cycle costs - angl.*) modeliu. Laikoma, kad jis tinka konkuruojantiems projektams palyginti ar atrinkti, tolimos perspektyvos planavimo ir finansavimo sprendimams, vykdomų projektų kontrolei, loginėms koncepcijoms palyginti, padėti apsispręsti keisti pasenusią įrangą. Tokie klausimai negali būti patikimai išnagrinėti vien tik finansinių išlaidų skaičiavimais, ypač kai vyrauja energijos, kitų gamtos išteklių bei aplinkos įtaka. Kita vertus, gyvavimo ciklo vertės modeliai turėtų rodyti gamintojo, gaminio savininko ar užsakovo tikslus. Interesantai gali būti įvairūs - valstybė, investuotojas, nuomininkas, pirkėjas. Dviejų svarbių pramonės šakų - energetikos ir statybinių medžiagų - sąveikos įvertinimu visų pirma suinteresuota valstybė. Tokiu atveju vien ekonominių (tiesioginių ar išvestinių) kriterijų tokio lygio vertinimui nepakanka, nes ilgesnės perspektyvos ekonominių prognozių patikimumas yra mažesnis už kokias nors fizinius dydžius paremtas prognozes. Praktinis pastato gyvavimo ciklas vidutiniškai siekia vos ne šimtmetį, todėl nepatikima apsiriboti ekonominėmis

ar ekspertinėmis prognozėmis. Pavyzdžiu galima pateikti termodinamika pagrįstą energetikos sistemų globalų ekologinį vertinimą, apibūdinamą termoekonominiais ir eksergoekonominiais kriterijais [2-4]. Šiuo atveju siūloma naudotis fiziniu pirminės energijos balanso modeliu. Tai būtų, greta ekonominių, socialinių ir ekologinių, vienas iš požiūrių sprendžiant strateginius statybos ir energetikos sąveikos klausimus [4].

Darbo tikslas - nustatyti pagrindinių statybinių medžiagų ir gaminių energijos poreikių rodiklius, kuriuos būtų galima naudoti pastato gyvavimo ciklo fizinio modelio skaičiavimams, bei, kiek įmanoma, juos sugrupuoti pagal pasirinktus viso technologinio proceso lygmenis.

Šiame darbe nagrinėjami tik energijos poreikiai statybinėms medžiagoms, sudarantys 70-75% (o įvertinus statybos industriją dar apie 13% daugiau), bendro energijos poreikio pastatui sukurti [5, 6, 7]. Kiti energijos poreikiai labai priklauso nuo statybos darbų technologijos, statomo objekto dydžio bei darbų organizavimo, todėl sudėtinga juos vertinti bendruoju atveju, ypač jei vertinamas pastato eksploataavimo laikas, per kurį statybos darbų sąlygos gali labai pasikeisti (labiau nei energijos poreikiai statybinių medžiagų gamybai).

2. Pirminės energijos vartojimo lygmenys

Pastato gyvavimo ciklo požiūriu, konkrečiomis klimato sąlygomis svarbus ir akivaizdus rodiklis galėtų būti pirminės energijos poreikių santykis pastatą naudojant ir statant, tačiau prieš tai būtina aptarti šio santykio narių absoliučių reikšmių radimo ypatybes ir problemas. Energijos poreikių lyginimas ar nustatymas konstrukcinių ir izoliacinių medžiagų gamybos bei statybos montavimo procesams reikalauja lygina-

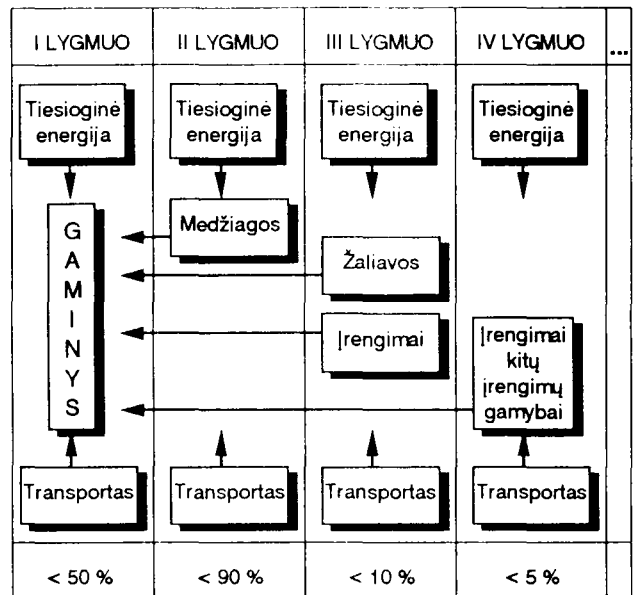
mų variantų tapatingo sistemos ribų apibrėžimo. Energetinis, termodinaminis požiūris tam ypač reiklus. Formaliai sistema turi laiko ir erdvės ribas. Pastato gyvavimo ciklo sąvoka savaime apibrėžia sistemos laiko ribas. Aiškinantis gamyklos ar net pramonės šakos rodiklius energijos poreikių analizė dažniausiai neperžengia gamyklos teritorijos. Už šios ribos gamyklą su kitomis pramonės šakomis tesieja ekonominiai ryšiai, kurių energijos komponentas gamintojo praktiškai nedomina. Konkretaus technologinio proceso ar jo dalies energijos poreikių analizės principas - tai energijos srautų balansas: produktams gaminti panaudotos ir jų tolesniems procesams reikalingos energijos kiekis sudaro naujo gaminio energijos imlumą. Konkretaus technologinio proceso energija formos požiūriu gali būti:

- tiesioginė energija, kaip skystasis kuras, elektra, dujos, karštas vanduo, garas, šiluma;
- netiesioginė energija, kuriai gauti reikalingas kuras (kuras elektrai, šilumai gauti);
- netiesioginė energija, įeinanti į medžiagas ir komponentus.

Technologiniams procesams naudojamos įvairios energijos rūšys (elektra, šiluma, kuras) kokybiniu požiūriu yra nelygiavertės, ir nustatant jų pirminės energijos vertę jos visos turėtų būti perskaičiuotos bent į šiluminę sunaudoto kuro vertę. Gauta reikšmė priklauso visų pirma nuo sistemos ribų pasirinkimo; šios ribos nepaminėjimas gautą rezultatą daro nepatikimu, netinkamu tolesniam naudojimui. Šio perskaičiavimo metu darytos prielaidos turi būti pateikiamos kartu su rezultatais. Kaip teigiama [8], dauguma energijos poreikių duomenų, pasirodančių įvairių šalių šaltiniuose, yra tiesiog prieštaringi. Papildžius minimame straipsnyje nurodytas priežastis sistemos ribų netapatingumu, jos būtų tokios:

- šalių ekonominio lygio ir technologinių procesų skirtumai apskritai;
- panašių technologinių procesų energijos poreikių ir taršos skirtumai;
- žaliavų, darbo efektyvumo, atliekų panaudojimo ir perdurbimo lygio skirtumai;
- sistemos ir su ja susijusių procesų ribų netapatingumas.

Nustatant sistemos ribas erdvėje, energijos poreikių analizei siūlomi 4 lygmenys [9, 21] - žr. 1 pav. Kon-



1 pav. Pirminės energijos vartojimo lygmenys
Fig 1. Levels of primary energy consumption

1 lentelė. Energijos poreikių lygmenų aprašymas
Table 1. Description of energy requirement levels

1 lygmuo	tiesioginiai energijos poreikiai procesui ir transportui
2 lygmuo	tiesioginiai energijos poreikiai procese naudojamų medžiagų gamybai ir transportui
3 lygmuo	tiesioginiai energijos poreikiai procese naudojamų žaliavų ir gamybos priemonių (mašinų) gamybai bei transportui
4 lygmuo	tiesioginiai energijos poreikiai mašinoms, gaminančioms 3 lygmens mašinas, ir transportui

kretnis energijos poreikių lygmenų aprašymas [8] pateikiamas pirmoje lentelėje.

Pastato gyvavimo ciklo fizinio modelio požiūriu į tokius lygmenis galima skirstyti ir visą gaminio technologinį procesą. Žemesnio lygmens tiesioginė energija yra netiesioginė energija aukštesniam lygmeniui.

Šiame darbe taip pat bandoma gauti daugiau ar mažiau apibendrintus statybinių medžiagų gamybos energijos poreikių rodiklius, kuriuos tam tikrose patikimumo ribose būtų galima naudoti fiziniams pastato gyvavimo ciklo vertinimo modeliams. Sunku nustatyti duomenis apie energijos sąnaudas įvairių medžiagų ir gaminių gamybai. Šį faktą akcentuoja praktiškai visi nagrinėti informacijos šaltiniai. Taip

yra dėl to, kad norint gauti pakankamai patikimus duomenis apie konkretų gaminį tektų analizuoti ne vienos, o kelių pramonės šakų įmonių rodiklius. Jei nagrinėjama didesnė gaminių grupė, praktiškai reikia analizuoti visų šalies pramonės šakų įmonių veiklą. Problema ypač komplikuojasi, siekiant susisteminti energijos poreikių duomenis pagal energijos poreikių lygmenis.

Renkant informaciją buvo lygiagrečiai nagrinėjami Lietuvos įmonių duomenys [5, 10-13], užsienio [8, 14, 15] bei buvusios TSRS [16-18] šaltiniai. Tai reikalinga ir galimiems pasikeitimams Lietuvos statybinių medžiagų pramonėje įvertinti, nes tobulinant gamybos technologiją, jai artėjant prie vakarietiškos energijos sąnaudos statybinių medžiagų ir gaminių gamybai turėtų mažėti.

Įvairių šaltinių energijos poreikių rodikliai toms pačioms medžiagoms gerokai skiriasi. Tai visų pirma susiję su nevienodomis nagrinėjimo sąlygomis arba, kitaip sakant, su skirtingų energetinių lygmenų duomenimis. Priede pateikiamos kai kurių medžiagų energijos sąnaudos pagal skirtingus literatūros šaltinius.

3. Informacijos šaltinių apibūdinimas

Informacijos šaltiniai čia apibūdinami tik šio darbo tikslo požiūriu, t.y. siekiant apytikriai rasti, kokios energijos sąnaudos galėtų būti priimtos pagrindinių statybinių medžiagų gamybai atskiriems energijos poreikių vertinimo lygmenims. Taip pat bandyta atsizvelgti į prielaidą (arba esant galimybei ją patikrinti), kad Vakarų šalių technologijų energijos poreikių rodikliai yra mažesni.

Lietuvos Respublikos statybinių medžiagų pramonės 1990 metų apžvalgoje [10] pateikti duomenys apie įmonių įvairių energijos rūšių (šilumos, sutartinio kuro ir elektros) sunaudojimą konkrečioms statybinėms medžiagoms gaminti. Energijos poreikių lygmuo nei tiesiogiai, nei netiesiogiai neapibrėžtas. Duomenys įvertina tik pačių įmonių energijos suvartojimą produkcijos gamybai, neatsizvelgiant į žaliavų paruošimą (išskyrus tuos atvejus, kai žaliavas ruošia pati įmonė, tačiau tai nėra akivaizdžiai nurodoma). Apskritai galima laikyti, kad šis šaltinis pateikia pirmojo lygmens duomenis. Lietuvos statybos ir architektūros instituto 1992 metų darbe

[11] ir tų pačių autorių informacijoje apie keletą medžiagų, papildytame straipsnyje [12] pateikiama duomenų apie Lietuvoje gaminamas statybines medžiagas. Įvertinamos energijos sąnaudos žaliavų paruošimui. Tokius duomenis galima priskirti antrajam energijos poreikių vertinimo lygmeniui.

Nacionalinės energijos vartojimo efektyvumo didinimo programos A. Kaminsko parengtame statybinės industrijos ir statybinių medžiagų pramonės skyriuje [5] pateikiami apibendrinti Lietuvos įmonių duomenys, aprašomos energijos poreikių statybinių medžiagų pramonei kitimo tendencijos. Pateikiami 1990 ir 1994 metų duomenys. Energijos sąnaudų lygmuo, kaip ir pirmąjį šaltinio, čia neapibrėžtas, tačiau jį tektų priskirti pirmajam lygmeniui. To paties autoriaus ankstesniame darbe [13] pateikiamos vidutinės Lietuvoje gaminamų statybinių medžiagų energijos poreikių reikšmės įvertinant žaliavų paruošimą, todėl jo duomenys priskirtini antrajam lygmeniui.

Visi nagrinėti Lietuvos statybinių medžiagų pramonę apibūdinantys literatūros šaltiniai duomenis apie energijos sąnaudas pateikia remdamiesi institutu "Termoizoliacija" atliktais tyrimais. Išsamiausiai, esant aiškiau apibrėžtomis energijos poreikių lygmenų sąlygoms, šie duomenys pateikiami [13] šaltinyje. Iš akivaizdžiai sutampančių reikšmių galima spręsti, kad šaltiniai [11] ir [12] remiasi šaltiniu [13]. Šio šaltinio reikšmės skiriasi nuo [10] ir [5] šaltinių informacijos susistemavimo laipsniu.

Galima teigti, kad tikriausiai vienintelis pasaulyje iki šiol žinomas detalus energijos poreikių pramonei žinynas [14] yra sukaupęs įvairių užsienio šalių ir įvairių autorių duomenis. Informacija pateikiama apibūdinant energijos poreikių lygmenis. Autoriams pavyko surinkti labai vertingą medžiagą, bet nepavyko jos susisteminti ir apibendrinti, arba to ir nebuvo siekta, norint skaitytojui pateikti nemodifikuotą medžiagą. Duomenys sunkiai lyginami dėl produkcijos savybių neapibrėžtumo ir klasifikavimo skirtumų. Matyt, susidūrę su duomenų sistemavimo problema, pateikdami energijos poreikių rodiklius autoriai daugeliu atvejų palieka informacijos pateikėjų - gamintojų nurodytas pastabas. Siekdami susisteminti bent tas pastabas, autoriai sudarė keleto šimtų pastabų sąrašą. Tačiau konkrečiu atveju skaitytojas gali priskirti pateiktą reikšmę tam tikram

lygmeniui. Tiesa, net įvertinus energijos poreikių lygmenis skirtingų šalių duomenys dažnai prieštaringi. Naujosios Zelandijos tyrinėtojų darbe [8] tiesiogiai nagrinėjama pastatų statybos įtaka aplinkosaugai, šiltnamio efekto raidai. Toks tikslas pareikalavo iš autorių įvertinti energijos sąnaudas visais keturiais aukščiau minėtais energijos poreikių lygmenimis. Jie nurodomi pateikiant informaciją apie konkrečios medžiagos gamybos energijos poreikius, nors ne visuomet pavykę įvertinti jas iki ketvirtą lygmenį. Deja, minimame straipsnyje negalima rasti papildomos informacijos apie energijos poreikių pasiskirstymą tarp atskirų lygmenų. Didžiosios Britanijos BSRIA leidinyje [15], skirtame daugiausia aplinkos ir pastatų sąveikai įvertinti, yra keliolikos pagrindinių statybinių medžiagų gamybos energijos poreikių duomenys. Energijos poreikių lygmuo neapibrėžtas, nurodoma, kad informacija tinkama tik orientaciniam įvertinimui.

Buvusios TSRS duomenis pateikiančius šaltinius galima skirstyti į tris grupes. Pirmąją, bendro pobūdžio informaciją apie energijos poreikius pramonėje, atstovautų žinybas [18], kuriame nurodomi šilumos poreikiai kai kurioms medžiagoms ir gaminiams. Kaip paprastai tokio pobūdžio informacijoje, energijos poreikių lygmuo neapibrėžtas. Antroji grupė - specializuotų mokslinio tyrimo ir projektavimo institucijų leidiniai [16, 19, 20], kur nurodomi vidutiniai sutartinio kuro suvartojimo rodikliai pagrindinėms statybinėms medžiagoms ir gaminiams. Šaltinyje [16] taip pat įvertintos kuro sąnaudos užpildų gabenimui iki vartojimo vietos. Kitoms medžiagoms energijos poreikių lygmuo neapibrėžtas - labiausiai tikėtina, kad vertinamas tik pagrindinis gamybos procesas. Šaltiniuose [19, 20] taip pat nurodomi atskirų energijos rūšių poreikiai bei pagrindinių žaliavų suvartojimas. Trečią grupę sudarytų leidiniai, nagrinėjantys sistemų energetinio, termodinaminio efektyvumo klausimus. Tokioms priskirtina ir knyga [17]. Joje pateiktą informaciją tektų skirti ketvirtam energijos poreikių lygmeniui. Tenka pastebėti, kad [17] susisteminti ir ketvirtam lygmeniui priskirtini duomenys daugiausia gauti analizuojant [14] duomenis.

Pradedant rinkti šią informaciją buvo tikėtasi, kad energijos sąnaudos medžiagų gamybai Lietuvoje (ir kitose buvusios Sąjungos šalyse) bus gerokai dides-

nės, negu analogiškų medžiagų gamybai išsivysčiusiose šalyse, kur technologija pažangesnė ir kur energija pradėta taupyti seniau. Surinkus daugiau medžiagos paaiškėjo, kad dažnai Vakarų šalių šaltinių pateikiamos reikšmės yra dar didesnės, ir būtent dėl to, kad gerokai "giliau" siekia jų vertinimas.

4. Medžiagų energijos poreikiai

Aukščiau nurodytam darbo tikslui pasiekti buvo pasirinkta 10 pagrindinių statybinių medžiagų: silikatinės plytos, keraminės plytos, mineralinė vata, polistirolas, cementas, mediena, plienas, stiklas, betonas, gelžbetonis. Pradžioje aptariamos tik nagrinėtuose šaltiniuose sutinkamos energijos poreikių reikšmės.

1. Silikatinės plytos. Šaltinyje [13] nurodomos reikšmės virš dviejų kartų didesnės nei šaltiniuose [5, 10], kur jos apylygės. Tikriausiai pastaruosiuose šaltiniuose nėra įvertinta žaliavų paruošimo. Jų energijos poreikių pirmam ir antram lygmeniui atitinkamai galima būtų skirti 800 ir 1770 MJ/m³. Didžiojoje Britanijoje [14] energijos sąnaudos ne molio plytų (tik neapibrėžta kokių) gamybai, įvertinant tik pagrindinį procesą - pirmą lygmenį, yra 2,6 - 3,0 kartus mažesnės, nei Lietuvoje gaminamų silikatinių plytų.

2. Keraminės plytos. [13] šaltinio nurodomos reikšmės praktiškai lygios (5% didesnės) su [5, 10] duomenimis. Tektų manyti, kad pastaruosiuose šaltiniuose taip pat įvertintas žaliavų paruošimas. Olandijos duomenų reikšmės [14] apie 2 kartus didesnės už Didžiosios Britanijos duomenų reikšmes, tačiau abiem atvejais sąlygos nespacificuotos. Ten pat JAV duomenys vertinant energijos poreikius tik pagrindiniam procesui ir aptarnavimui 2,3 karto didesni, nei Didžiosios Britanijos energijos poreikiai, sprendžiant pagal aprašą galintys pretenduoti į trečią ar ketvirtą lygmenį. Energijos poreikius pirmam ir antram lygmeniui atitinkamai galima būtų priimti 3250 ir 3800 MJ/m³. Ketvirtajam lygmeniui galima būtų priimti apie 7500 MJ/m³ reikšmę, bet esant galimybei ją reikėtų tikslinti.

3. Mineralinė vata. [13] šaltinio reikšmės praktiškai lygios su [5, 10] tų pačių gaminių duomenimis, tik [10] reikšmės apie 10% mažesnės. Greičiausiai pastaruosiuose šaltiniuose taip pat įvertintas žaliavų

paruošimas. Dėl kitokios gamybos technologijos M250 markės mineralinės vatos plokščių gamybos energijos sąnaudos beveik 2 kartus (apie 90%) didesnės nei kitų markių. Mineralinės vatos demblių energijos sąnaudų reikšmės apie 25% didesnės nei pačios mineralinės vatos ir jos plokščių. Olandijos gamintojų duomenimis, įvertinus pagrindinį procesą, transportą, aptarnavimą akmens vatos [14] energijos poreikiai apie 2 kartus mažesni už lietuviškus duomenis, kuriuose įvertinami energijos poreikiai žaliavos gavybai. Anglijoje gaminamos mineralinės vatos [14] energijos poreikių reikšmė, nesant pakankamai apibrėžtam vertinimo lygmeniui, yra apie 4,3 karto mažesnė už minėtus lietuviškus duomenis. Apibendrinus energijos poreikius pirmajam lygmeniui galima būtų priskirti 13, antrajam - 18 MJ/kg. M250 markės gaminiams atitinkamai būtų siūloma 25 ir 30 MJ/kg.

4. Polistirolas. [5] šaltinio tų pačių metų duomenų reikšmės praktiškai lygios su [10] pateikiamomis reikšmėmis (nuo 1990 iki 1994 m. sumažėjus produkcijos gamybai ir įmonių apkrovai, energijos sąnaudos 1 m³ polistirolu gamybai išaugo dvigubai). Šaltiniuose [11, 12] reikšmės apie 23% didesnės už reikšmes [5, 10]. Tikėtina, kad pastaruosiuose šaltiniuose žaliavų paruošimas įvertintas tik iš dalies. Naujosios Zelandijos [8] antrojo lygmens duomenų reikšmės apie 4 kartus viršija Lietuvoje gaminamo polistirolu energijos sąnaudas, neatsižvelgiant į žaliavų paruošimą [5, 10]. JAV duomenys tik pagrindiniam procesui apie 6 kartus didesni už Lietuvos analogiškus duomenis [10] ir netgi 1,5 karto didesni nei Naujosios Zelandijos duomenys, kuriuose įvertinami energijos poreikiai pagrindiniam procesui ir žaliavoms. Duomenys gana prieštaringi, tačiau orientaciniam vertinimui siūlomos tokios reikšmės: I lygmuo - 1000, II - 1500, III - 2400, IV - 3200 MJ/m³.

5. Cementas. Visų nagrinėtų šaltinių pateikiamos reikšmės labai artimos. Duomenų [16] reikšmės apie 10% mažesnės už [5] pateiktas reikšmes. Tikėtina, kad abu šie šaltiniai atitinka antrąjį lygmenį (6,9 MJ/kg). Olandijos gamintojų reikšmės tik pagrindiniam procesui 37% mažesnės nei Lietuvos [5]. Tai galėtų atitikti pirmąjį lygmenį (4,7 MJ/kg). JAV ir Švedijoje - pagrindiniam procesui, transportui ir aptarnavimui - sąnaudos apie 11% didesnės nei Lietuvoje [5], kas pretenduoja į trečiąjį lygmenį (7,7

MJ/kg). Naujojoje Zelandijoje ketvirtąjį lygmens duomenys apie 30% didesni nei Lietuvoje [5], įvertinus antrąjį lygmenį.

6. Mediena. Medienos ir jos gaminių duomenys labai skiriasi, todėl gaminius reikėtų nagrinėti atskirai. Taip pat tikėtina, kad didelių skirtumų priežastis - skirtingos džiovinimo sąlygos. Medienai siūlomos reikšmės pirmam, antram ir ketvirtam lygmeniui atitinkamai būtų: 272, 396 ir 850 MJ/m³. Lentoms ir stalių dirbiniais reikšmės apie 10 kartų didesnės. Dar imlesnės energijai medienos plaušo ir pjuvenų plokštės, fanera ir kiti apdailos elementai.

7. Plienas. [18] šaltinyje nurodomas tik šilumos kiekis (greičiausiai tik pagrindinio proceso), todėl reikšmės tesiekia 0,15 - 0,53 MJ/kg. Atsižvelgiant į kitų šaltinių informaciją, šiuos duomenis reikėtų laikyti klaidingais, nes jie apie 100 kartų skiriasi nuo daugumos kitų. Plienui didžiausia dalis energijos turėtų būti eikvojama lydymui, pirminis apdorojimas taip pat atliekamas esant karštai būklei, todėl tokių skirtumų tarp gamintojų duomenų negali būti. Galbūt apsirakta pervedinėjant vienetus? Kitas duomenų kraštutinis būtų praktiškai sutampantys [17] ir [8] duomenys, silpnai legiruotam plienui siekiantys 56 MJ/kg ir plieniniams vamzdžiams 57 MJ/kg. Šaltiniuose [8, 17] paprastai nurodomos 4 lygmens ar jam gana artimos reikšmės. Ketvirtą lygmenį atitinkantys duomenys plienui [8] nurodomi lygūs 35 MJ/kg, o pirmajam lygmeniui [15] nurodoma 13,2 MJ/kg. Aišku, plienas būna įvairių rūšių ir su įvairiomis savybėmis, todėl negalima tikėtis vienareikšmių atsakymų. Plieno gamybos pirmajam lygmeniui būtų galima priskirti 13, antrajam 24, ketvirtajam 34 MJ/kg. Plieno gaminių (vamzdžių, profilių) pirmas, antras ir ketvirtas lygmuo atitinkamai būtų 16, 28 ir 56 MJ/kg.

8. Stiklas. Duomenys buvo pateikti tik užsienio šaltiniuose. Visų jų reikšmės apylygės (atsižvelgiant į nežinomas gaminių savybes). Pirmąjį lygmenį atitiktų Didžiosios Britanijos pateikiama orientacinė reikšmė - 10 MJ/kg [15]. Antrajam lygmeniui priskirtini JAV duomenys, kuriuose įvertinus pagrindinį procesą ir aptarnavimą reikia 22 MJ/kg [14], ir trečiajam - JAV duomenys pagrindiniam procesui, gabenimui, gamybinės bazės sukūrimui ir priežiūrai - 31 MJ/kg [14].

9. **Betonas.** [5, 16] pateikiamos reikšmės apie 2 kartus mažesnės nei [13] šaltinio. Juose greičiausiai neįvertintas žaliavų paruošimas (pirmas lygmuo - 2160 MJ/kg). Antrojo lygmens [13] reikšmė būtų 4300 MJ/kg. Betono gaminių reikšmės iki 2-2,5 karto viršija betono reikšmes. Didžiosios Britanijos nespecifikuotas betonas - apylygis su [16] pateikiamu betonu. Ten pat energijos sąnaudos betono blokams apie 38% viršija tokias reikšmes betonui. Naujojoje Zelandijoje [8] ketvirto lygmens reikšmės betono ruošiniams apylygės su Lietuvos [13] antru lygmeniu. Ketvirtajam lygmeniui siūloma reikšmė - 6030 MJ/kg (Didžiosios Britanijos [14] ir Olandijos [14] duomenys).

10. **Gelžbetonis.** [13] šaltinio reikšmės apie 2,5 karto didesnės nei [5], kuriame neatsižvelgta į žaliavų paruošimą. Šaltinio [17] reikšmė, nors ir pretenduoja į ketvirtąjį lygmenį, pernelyg skiriasi nuo kitų šaltinių (apie 5 kartus didesnė). Olandijoje [14] lengvajam sustiprintajam betonui nurodoma apie 2,7 karto didesni energijos poreikiai nei Anglijoje [14] to paties energijos poreikių lygmens paprastam betonui. Pirmajam lygmeniui siūloma priimti 2300 MJ/kg [5], antrajam - 5950 [13], ketvirtajam 8000 MJ/kg [12, 17].

Šiame straipsnyje daugiausia remiamasi 1990 m. Lietuvos pramonės įmonių duomenimis, kai jos dirbo normaliu pajėgumu. Vėliau sumažėjus produkcijos gamybai ir esant nepakankamai įmonių apkrovai, energijos sąnaudos produkcijos vienetui, pagal 1994 m. duomenis, išaugo [13]. Analizuojant pastatus, įvertinus jų ilgaamžiškumą, tikslinga daryti prielaidą, kad pramonės įmonės dirbs normaliu pajėgumu, todėl patikimesni prognozavimui yra 1990 m. duomenys. Be to, tobulėjant statybinių medžiagų technologijai ir pasenusią įrangą keičiant nauja energijos sąnaudos produkcijos vienetui turėtų mažėti.

Pastato gyvavimo ciklo fizinio modelio skaičiavimams, nesant duomenų, suklasifikuotų energijos poreikių lygmenų požiūriu, siūloma laikytis 2 lentelėje pateiktų reikšmių. Šiame etape neturima daugiau mažiau patikimos tiesioginės ar išvestinės informacijos apie trečio ar ketvirto lygmens energijos poreikius (nurodytos *italic* šriftu reikšmės tėra spėjamos, numatomos priimti energijos poreikių modeliavimui).

2 lentelė. Kai kurių pagrindinių statybinių medžiagų energijos poreikiai pagal energijos vartojimo lygmenis

Table 2. Energy requirement for few main construction materials, by energy consumption levels

Gaminy	Mato vnt.	Energijos poreikiai pagal lygmenis (MJ / mat.vnt.)			
		I	II	III	IV
Silikatinės plytos	m ³	800	1770	2300	2700
Keraminės plytos	m ³	3250	3800	4500	7500
Mineralinė vata	kg	13	18	22	26
Polistirolas	m ³	1000	1500	2400	3200
Cementas	kg	4.9	6.9	7.7	9.0
Mediena	m ³	272	396	730	850
Plienas	kg	13	24	30	34
Stiklas	kg	10	22	28	31
Betonas	m ³	2160	4300	5600	6030
Gelžbetonis	m ³	2300	5950	7300	8000

5. Išvados

1. Lietuvos statybinių medžiagų pramonės energijos poreikių vertinimuose nepakankamai apibrėžtai nurodomi technologinio proceso apimties lygmenys, todėl pateikiami duomenys negali būti tiesiogiai naudojami fiziniam gaminio gyvavimo ciklo vertės (*life cycle costs - angl.*) nustatymo modeliui.
2. Vakarų šalyse, kur technologija pažangesnė ir kur energija pradėta taupyti seniau, jos poreikių statybinių medžiagų gamybai duomenys daugeliu atvejų yra didesni nei Lietuvoje. Tai tegali būti paaiškinama skirtingo lygmens technologinio proceso eigoje parinkimu nurodant energijos poreikius.
3. Strateginiams statybos ir energetikos šakų sąveikos vertinimams tikslinga naudoti fizinį pastato gyvavimo ciklo vertės modelį, kurio pradinio aprašo sudarymui visą gaminio technologinio proceso eigą būtina pagrįstai suskirstyti į keturis darbe aptariamus lygmenis.
4. Pasiūlytos dešimtys pagrindinių statybinių medžiagų (silikatinų plytų, keraminių plytų, mineralinės vatos, polistirolas, cemento, medienos, plieno, stiklo, betono ir gelžbetonio) energijos poreikių reikšmės, suklasifikuotos pagal lygmenis ir taikytinos pastato gyvavimo ciklo fizinio modelio skaičiavimams.

5. Šiuo metu skaičiavimams Lietuvos sąlygomis patikimais galima laikyti antrojo lygmens duomenis. Ketvirtojo lygmens energijos poreikių statybinių medžiagų ir gaminių gamybai duomenims nustatyti reikalinga kitų šalies pramonės šakų energijos poreikių analizė.
6. Statybos pramonės vystymui prognozuoti reikalingas pagrindinių konstrukcinių ir izoliacinių medžiagų gamybos bei statybos montavimo procesų energijos poreikių monitoringas pagal atskirus technologinius procesus bei skirtingus technologinius lygmenis.

Literatūra

1. M. Gedgaudas, V. Martinaitis. Daugiaaukščių gyvenamųjų pastatų šildymo sistemų renovavimo efektyvumo įvertinimas // Lietuvos mokslų akademija. Energetika, N 2. V.: Academia, 1996, p. 31-39.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. Nacionalinės energijos vartojimo efektyvumo didinimo programa, statybinės industrijos ir statybinių medžiagų pramonės paprogramė: Mokslinio darbo ataskaita / Statybos ministerija. Vad. A. Kaminskas. V., 1995. 87 p.
6. Vienbučių namų iš mažagabaričių ir lengvų dirbinių konstrukciniai - technologiniai sprendimai ir konstrukcijų iš šių dirbinių skaičiavimas: Mokslinio darbo ataskaita / VTU. Vad. G. Marčiukaitis. V., 1995. 186 p.
7. B. Stein, J.S. Reynolds. Mechanical and electrical equipment for buildings. New York: Wiley cop. 8th ed., 1992. 1627 p.
8. Andrew H. Buchanan and Brian G. Honey. Energy and carbon dioxide implication of building construction // Energy and Buildings, 20, 1994, p. 205-217.
9. V. Martinaitis. Pastato gyvavimo ciklo termodinaminio vertinimo veiksniai // Lietuvos mokslo darbai. Statyba N 3(7), V.:Technika, 1996, p. 75-84.
10. S. Mačiulis, A. Babrauskaitė. Lietuvos Respublikos statybinių medžiagų pramonės techninė-ekonominė 1990 metų apžvalga / Institutas "Termoizoliacija". V., 1991. 140 p.
11. V. Stankevičius, J. Karbauskaitė. Skatinimo priemonių šilumos izoliacinių medžiagų vartotojams (įvertinant pastatų eksploataciją) paruošimas: Mokslinio darbo ataskaita / LASI. K., 1992. 82 p.
12. Ю.П. Карбаускайте, В.Ю. Станкявичюс, В.Б. Эленбергас. Определение оптимального сопротивления теплопередаче наружных ограждений по энергетическим затратам // АВОК, No. 3-4, 1991, с. 12-15.
13. Naujų statybinių medžiagų ir konstrukcijų kūrimo bei jų gamybos plėtojimo prioritetinės kryptys: Mokslinio darbo ataskaita / Statybos ministerija. Vad. A. Kaminskas. V., 1990. 87 p.
14. I. Boustead, G.F. Hancock. Handbook of industrial energy analysis. Ellis Horwood Publishers, 1979. 422 p.
15. Environmental code of practice for buildings and their services / S.P. Halliday, BSRIA. Bourne Press, 1994. 130 p.
16. Руководство по выбору проектных решений фундаментов / НИИОСП, НИИЭС ЦНИИПроект Госстроя СССР. М.: Стройиздат, 1984. 192 с.
17. Е.И. Янговский, Л.А. Левин. Промышленные тепловые насосы. М.: Энергоатомиздат, 1989. 128 с.
18. Теплоэнергетика и теплотехника. Общие вопросы. Справочник / Под общ. ред. В.А. Григорьева и В.М. Зорина. М.: Энергия, 1980. 528 с.
19. Технично-экономический обзор работы предприятий промышленности теплоизоляционных материалов СССР за 1990 год. Ч. I, II, III / Государственный институт "Термоизоляция". Вильнюс, 1991. 192 с.
20. Технично-экономический обзор работы предприятий промышленности акустических строительных материалов СССР за 1990 год / Государственный институт "Термоизоляция". Вильнюс, 1991. 64 с.
21. N. Kohler. Analyse energetique de la construction, utilisation et demolition de batiments. These no. 623; EPFL, Lausanne, 1986. 120 p.

Priedas. Energijos poreikių pagrindinėms statybinėms medžiagoms, pateikiamų skirtingų literatūros šaltinių, palyginimas

Annex. Comparison of different data sources for energy requirement of the main building materials

Medžiaga	Inf. šalt.	Pastabos	Mato vnt.	MJ / vnt.
PLYTOS				
Plytos silikatinės	10	2	m ³	800
Plytos silikatinės	12		m ³	1773
Plytos silikatinės	18	2	m ³	573
Plytos silikatinės	13	2	m ³	1773
Plytos silikatinės, 1990 m.	5		m ³	717
Plytos silikatinės, 1994 m.	5		m ³	849
Plytos nespacificuotos	14	A(2,41),I,S,4	m ³	283
Plytos "inžinerinės"	15		m ³	7258
Plytos molio	13	2	m ³	3809
Plytos molinės	10	2	m ³	3671
Plytos molinės, 1990 m.	5		m ³	3530
Plytos molinės, 1994 m.	5		m ³	3256
Plytos molinės	5		m ³	3256
Plytos molio	14	J(2,59,173),1,5	m ³	4500
Plytos molio	14	H(2,50),I,5	m ³	3240
Plytos molio	14	J(6,22,615),I,S,5	m ³	9414
Plytos molio	14	D(1,704,713),5,1	m ³	7488
BETONAS IR GELŽBETONIS				
Betono gaminiai	13		m ³	4379
Betono gaminiai, 1990 m.	5		m ³	2087
Betono gaminiai, 1994 m.	5		m ³	2119
Bet. ir g/b surenkami gam.	16		m ³	2491
Betoninės apdailos plytelės	10		m ³	10 123
Betoninės apdailos plytelės	10		m ³	8070
Betonas	14	J(2,59,634,635),1	m ³	2563
Betono blokai	14	J(2,41,127,633),1	m ³	3550
Betoniniai vamzdžiai	14	J(2,41,633),1	m ³	3550
Betonas lengvasis, sustipr.	14	J(6,22,639),1	m ³	6840
Betonas lengvasis	14	J(2,22,59,637),1	m ³	5220
Betono ruošiniai	8	44	m ³	4780
Betono blokai	15		m ³	2268
Gelžbetonis	17	1	m ³	26 400
G/b surenkamos konstr.	18		m ³	1956
G/b surenkamos konstr.	13		m ³	5947
G/b surenkamos konstr.	12		m ³	5947
G/b surenk. konstr., 1990 m.	5		m ³	2297
G/b surenk. konstr., 1994 m.	5		m ³	2301
G/b 3 sl. pl. su putų polistir.	12		m ³	6923
Vertikalios 3 sl. sieninės	13		m ³	6923
Denginio plokštės PNKL	13		m ³	11 530
Denginio pl. kompleksinės	13		m ³	5314
Denginio pl. kompleksinės	13		m ³	4921
Betono mišinys	16		m ³	586
Betono mišinys	14	B(6,640,641),1	m ³	175
Betono mišinys	14	J(6,22,638),1	m ³	2000
Betonas	8	44	m ³	3840
Cementas	16		kg	6.59
Cementas, 1990 m.	5		kg	7.32
Cementas, 1994 m.	5		kg	9.22
Cementas	14	A(6,22,199)	kg	5.83
Cementas	14	F(1,4,54,127)	kg	7.68
Cementas	8	44	kg	8.98
Cementas	15		m ³	10

Medžiaga	Inf. šalt.	Pastabos	Mato vnt.	MJ / vnt.
ŠILUMOS IZOLIATAI				
Min.vatos dembliai	10		m ³	2233
Min.vatos plokštės, dembliai	11		m ³	2198
Min.vatos dembliai, 1990 m.	5		m ³	2245
Min.vatos dembliai, 1994 m.	5		m ³	2169
Min.vatos persiūti dembliai	13		m ³	2131
Min.vatos plokštė M-125	10		m ³	2027
Min.vat.pl.- pusketės M-125	12		m ³	2257
Min.vat.pl.- pusketės M-125	13		m ³	2257
Min.vatos kietos pl. M-250	10		m ³	7786
Min.vatos kietos pl.M-250	13		m ³	8620
Min.vatos plokštės - kietos	11		m ³	8617
Min.vatos plokštė M-175	10		m ³	2329
Min.vatos standž. pl.M-175	13		m ³	3236
Min.vatos pl.- standžios	11		m ³	3236
Mineralinė vata	10		m ³	1506
Min.vata technolog. M-100	13		m ³	1269
Min.vata ir jos gaminiai	13		m ³	1750
Min.vatos termoizol. konstr.	13		m ³	3869
Mineralinės vatos gaminiai	18		m ³	553
Akmens vata	14	F(6,22), I, 1	m ³	1750
Mineralinė vata	15		m ³	828
Polistirolas	11		m ³	1237
Polistirolas	12		m ³	1237
Polistirolas, 1990 m.	5		m ³	979
Polistirolas, 1994 m.	5		m ³	2198
Polistirolas PSB m-25	10		m ³	1090
Polistirolas PSBSm	10		m ³	1069
Polistirolas	14	A(1,16)	m ³	5974
Polistirolas	8	42	m ³	4000
ĮVAIRIOS MEDŽIAGOS				
Plieniniai vamzdžiai	18		kg	0.528
Plienas silpnai legiruotasis	17		kg	56.00
Plienas ir juodieji metalai	18		kg	0.126
Plienas ir juodieji metalai	18		kg	0.276
Plienas maišytos rūdos	14	A(2,74,586)	kg	0.120
Plienas	8	44	kg	34.90
Plienas	15		kg	13.20
Plieno vamzdžiai	8	44	kg	56.90
Stiklas plokščias	14	D(1,704,716),I	kg	21.77
Stiklas plokščias	14	H(1,55,652),I,S	kg	31.42
Stiklas	14	H(2,50,127),I,S	kg	22.53
Stiklas	14	F(2,649)	kg	25.09
Stiklas	8	44	kg	31.50
Stiklas	15		m ³	82 800
Stiklas	15		kg	9.20
Medienos plaušo plokštės	18	1	m ³	3086
Medienos pjuvenų plokštės	18		m ³	4396

Priedo tęsinys

Medžiaga	Inf. šalt.	Pastabos	Mato vnt.	MJ / vnt.
Fanera	18		m ³	6281
Medis (ąžuolas)	17		m ³	1340
Mediena pjautinė, 1990 m.	5		m ³	272
Stalių dirbiniai, 1990 m.	5		m ³	15 120
Mediena pjautinė	16		m ³	2784
Mediena pjautinė	8	44	m ³	848
Mediena (džiovinta ore)	15		m ³	396
Kieto medžio lentos	8	44	m ³	20 600
Minkšto medžio lentos	8	44	m ³	15 470
Fanera	8	44	m ³	9440
Fanera apdailos	8	44	m ³	1 200

Skilties "Pastabos" paaiškinimai

Raidės : A - tik pagrindinis procesas; B - pagrindinis procesas plius transportas; D - pagrindinis procesas plius aptarnavimas; F - pagrindinis procesas plius transportas plius aptarnavimas; H - pagrindinis procesas plius transportas plius kapitaliniai įdėjiniai plius aptarnavimas; J - nespécifikuota sistema; I - reikšmė gauta iš literatūros, bet informacija nepakankama lyginti su kitomis reikšmėmis (reikšmės nekoreguotos pagal kuro gamybos efektyvumą); S - apytikrės reikšmės, gautos pagal analogiją su tu pačių ar panašių sistemų išsamesniais duomenimis.

Skaičiai skliaustuose: (1) - JAV duomenys; (2) - Didžiosios Britanijos duomenys; (6) - Olandijos duomenys.

Skaičiai: 1 - nesant duomenų apie medžiagos tankį ar konstrukcijos storį, jie imami iš kitų šaltinių; 2 - skaičiuojama 322 pl. plius 0,23 m³ skiedinio 1 m³ mūro; 4 - nežinoma, kiek plytų reikia 1 m³; 5 - į m³ perskaičiuojama per tankį;

- 41 - tiesioginės ir transporto en.sąn. procesui;
- 42 - energija, reikalinga proceso medžiagoms;
- 43 - energija, reikalinga nagrinėjamo proceso pagrindu (bazei) sukurti;
- 44 - energija, reikalinga pagaminti mašinoms, gaminančioms mašinas.

Daugelis pastabų taupant vietą čia nepateikiamos, nes jos tik nusako konkretaus atvejo ypatybes. Be to, ši lentelė - tik didesnės lentelės ištrauka, todėl čia taip pat nepateikiamos pastabos, skirtos kitai lentelės daliai.

Įteikta 1997 05 10

PARTICULARITIES OF DETERMINING PRIMARY ENERGY NEEDS FOR BUILDING MATERIALS

K. Čiuprinskas, V. Martinaitis

Summary

Civil buildings in Lithuania consume one half of final energy or about 70% of heat generated in thermoelectric and heat power stations. However, energy is necessary not only for exploitation but also for the creation of buildings: manufacture of building materials, transportation and construction. For global energy saving in the construction industry, at the state level, it is important to determine an optimum ratio between energy requirement for building creation and exploitation. Taking into account the durability of buildings for the evaluation of strategic relationships between energetics and construction industry it is reasonable to use a physical building life cycle energy

requirement model, because the reliability of an economical prognosis is usually lower than that in physical processes. In this work generalised ratios are suggested for energy requirement by the main building materials, which can be used in the calculation of a physical building life cycle model. In collecting this information three sources were used, namely: from Lithuania, former USSR and Western countries.

In the beginning we hoped that the collected information would show higher energy needs for the production of building materials in Lithuania and other former USSR countries than those in developed countries, where manufacturing technology is more modern, and energy saving measures have been implemented earlier. After collecting more data, it was evident from foreign literature that in Western countries the energy needs are bigger because they are based on other energy needs estimation levels. In the estimation data of energy needs for the Lithuanian building materials industry the levels of technological processes are not clearly described. In this case an application of such data for a physical model of life cycle cost estimations

cannot be used directly. For a more detailed analysis 10 building materials were chosen: silicate brick, ceramic brick, rockwool, polycirol, cement, timber, steel, glass, concrete, ferro-concrete.

Energy requirements are classified according to 4 levels of full technological processes, i.e.: for the main process, for raw materials, for machines and for machines that produce these machines. Taking into account the indetermination of the information of data sources, the values can be recommended only for a tentative evaluation. More precise values can be obtained by a detailed analysis of the Lithuanian industry. For building construction industry prognosis one monitoring for building and insulation material manufacturing processes is necessary taking into account different technological levels and processes

Kęstutis ČIUPRINSKAS, Assistant Professor, Department of Heating and ventilation, Vilnius Gediminas Technical University (VGTU, formerly VTU), 11 Saulėtekio Ave, 2040 Vilnius, Lithuania.

Master of Science (power and heat engineering), VTU, 1992. First degree in Construction Engineering, VTU, 1991. Doctoral student, VGTU, 1991-...Publications: co-author of 4 scientific publications. Research interests: optimization of energy consumption in buildings.

Vytautas MARTINAITIS, Doctor, Associate Professor. Department of Heating and Ventilation. Vilnius Gediminas Technical University (VGTU, formerly VTU), 11 Saulėtekio Ave, 2040 Vilnius, Lithuania.

Doctor's degree at Belorussian Polytechnical Institute (1982, power engineering and thermoengineering). He has been working since 1972 at Kaunas Polytechnics Institute, since 1986 until 1989 at Algeria, Constantin university, since 1989 at Vilnius Technical University. Research courses: in Belorussia (1982), in Spain (1992-1993), in Switzerland (1993-1994), the UK (1995). Member of International Association of Energy Economics. Research interests: Optimisation of energy consumption of buildings.