



Standartizuotos energijos taupymo skaičiavimo metodikos duomenų centrams: IT įranga, sistemos ir aušinimas



@streamSAVEplus



streamsaveplus.eu
ena.lt



efektyvumas@ena.lt



Bendrai finansuoja
Europos Sąjunga

Turinys

Įvadas	3
1. IT įrangos ir sistemų duomenų centruose sutaupymų skaičiavimas.....	6
1.1. IT įrangos efektyvumo didinimas duomenų centruose	6
1.1.1. Galutinės energijos sutaupymo skaičiavimas (EVED 8 straipsnis).....	7
1.1.2. Poveikio pirminės energijos suvartojimui skaičiavimas (EVED 4 straipsnis)	11
1.1.3. Sąnaudų, susijusių su IT įrangos ir sistemų atnaujinimu, apžvalga	11
1.1.4. CO ₂ sutaupymų skaičiavimas	13
1.2. Literatūros sąrašas	14
2. Aušinimo sistemų duomenų centruose energijos sutaupymų skaičiavimas	16
2.1. Energijos vartojimo efektyvumo didinimas duomenų centrų aušinimo sistemose.....	16
2.1.1. Galutinės energijos sutaupymo skaičiavimas (EVED 8 straipsnis).....	18
2.1.2. Poveikio pirminės energijos suvartojimui skaičiavimas (EVED 4 straipsnis)	21
2.1.3. Su priemone susijusių sąnaudų apžvalga.....	22
2.1.4. CO ₂ sutaupymų skaičiavimas.....	23
2.2. Literatūros sąrašas	25

Įvadas

Duomenų centras apibrėžiamas kaip statinys arba statinių grupė, skirti talpinti, jungti ir eksploatuoti kompiuterių sistemas ir susijusią įrangą duomenų saugojimui, apdorojimui ir (arba) perdavimui, kartu su tuo susijusia veikla (European Commission, 2022). Tai gali būti keli pastatai arba aiškiai apibrėžtos patalpos, kurios apima ir informacinių ir ryšių technologijų (toliau – IRT) įrangą, ir ją palaikančią infrastruktūrą – elektros paskirstymą, aplinkos kontrolę, patikimumo užtikrinimą ir saugumą. Kompiuterių patalpoje vykdomos pagrindinės informacinių technologijų (toliau – IT) funkcijos: duomenų apdorojimas, saugojimas ir telekomunikacijos (European Commission, 2023c).

Duomenų centrai teikia platų paslaugų spektrą, įskaitant debesų kompiuteriją, dirbtinį intelektą, finansines operacijas ir telekomunikacijas. Jie yra tarp daugiausiai energijos naudojančių objektų, kurie nuolat sunaudoja didelius, elektros energijos kiekius serveriams, duomenų saugykloms ir tinklo įrangai eksploatuoti, taip pat optimalioms aplinkos sąlygoms palaikyti. Energijos paklausą lemia eksponentinis skaitmeninių paslaugų, įskaitant daiktų interneto (toliau – IoT) plėtrą, dirbtinio intelekto apkrovas ir transliavimo platformas, augimas.

Jungtinio tyrimų centro skaičiavimais, pasaulyje duomenų centrai suvartoja maždaug 1,4 % viso elektros energijos kiekio (Booth, John ir kt., 2024). Nors bendras energijos suvartojimas pastaraisiais metais išliko gana stabilus (dėl pastebimo energijos vartojimo efektyvumo didinimo), ši tendencija gali nebesitęsti, nes kompiuteriniai darbo krūviai intensyvėja, ypač diegiant didelio našumo sistemas ir generatyvinio dirbtinio intelekto programas. Todėl prognozuojama, kad jei nebus imtasi priemonių, energijos suvartojimas šiame sektoriuje didės.

Dėl augančios šios srities įtakos, duomenų centrai tampa vienu iš pagrindinių ES energetikos ir klimato politikos akcentų. Tokiomis priemonėmis kaip ES duomenų centrų energijos vartojimo efektyvumo elgesio kodeksas, Energijos vartojimo efektyvumo direktyva ir ES klimato taksonomijos deleguotasis aktas siekiama pagerinti sektoriaus energetinį naudingumą ir sumažinti jo poveikį aplinkai.

Galios vartojimo efektyvumo (angl. power usage effectiveness, PUE) įvertinimas

Metodikose taikomas galios vartojimo efektyvumas (angl. power usage effectiveness, PUE) yra pramonėje naudojamas rodiklis, kiekybiškai įvertinantis, kokia viso duomenų centro energijos dalis tenka pagrindinei IT įrangai, palyginti su energija, suvartota ne IT sistemose, tokiose kaip aušinimas, apšvietimas ir elektros paskirstymas (Sunbird DCIM, 2024). Idealus PUE rodiklis yra 1,0, tai reiškia, kad visa energija skiriama skaičiavimui; PUE virš 1 rodo, kad daugiau energijos eikvojama aušinimui, apšvietimui ir elektros energijos paskirstymui.

PUE rodiklį pirmą kartą 2007 m. pristatė „The Green Grid“ – konsorciumas, skirtas duomenų centrų energijos efektyvumui didinti. Nuo tada PUE yra plačiai taikomas pasaulinis rodiklis, kurio metodika standartizuota pagal ISO/IEC 30134-2:2016 ir EN 50600-4-2:2016 standartus (Sunbird DCIM, 2024).

PUE reikšmių palyginimas prieš ir po efektyvumo didinimo priemonių įgyvendinimo, leidžia paprastai įvertinti ne IT reikmėms tenkančių energijos sąnaudų, ypač aušinimo energijos, kuri paprastai sudaro didžiausią duomenų centro papildomų sąnaudų dalį, sumažėjimą.

Tai ypač tinka modernizavimo arba optimizavimo atvejais, kai:

- IT apkrova išlieka santykinai stabili;
- aušinimo energijos sąnaudų detalioji apskaita yra ribota arba jos nėra;
- yra prieinami agreguoti energijos suvartojimo ir PUE duomenys iš monitoringo sistemų arba energijos vartojimo auditų.

Taikant šį metodą, energijos sutaupymai gali būti apskaičiuojami be detalaus kiekvieno aušinimo komponento energijos suvartojimo matavimo, todėl PUE gali būti naudojamas atliekant energijos auditus pagal Energijos vartojimo efektyvumo direktyvos (ES) 2023/1791 (toliau – EVED) 8 straipsnio reikalavimus.

PUE apibrėžiamas taip:

$$\text{PUE} = \frac{\text{Bendras objekto energijos suvartojimas}}{\text{IT įrangos energijos suvartojimas}}$$

Kur:

- **Bendras objekto energijos suvartojimas** apima visą duomenų centre suvartojamą elektros energiją, įskaitant IT įrangą, aušinimo sistemas, elektros paskirstymą, apšvietimą ir kitas pagalbines sistemas.
- **IT įrangos energijos suvartojimas** apima tik IT infrastruktūros (serverių, duomenų saugyklų, tinklo įrangos) energijos sąnaudas.

Pastaba

Dokumente pateiktos IT įrangos ir sistemų bei duomenų centrų aušinimo energijos sutaupymų vertinimo metodikos yra parengtos remiantis Europos Sąjungos LIFE programa finansuojamo projekto „[Sutaupymų skaičiavimų supaprastinimas ES valstybėse narėse +](#)“ (angl. Streamlining Energy Savings Calculations in the EU Member States +, StreamSAVE+, projekto Nr. 101167618 – LIFE23-CET-streamSAVEplus) metu susistemintomis energijos taupymo apskaičiavimo metodikomis „[Translated Existing Bottom-up Methodologies in EU-27](#)“.

Šiame dokumente išreikštos nuomonės ir požiūriai yra tik autoriaus (-ių) ir nebūtinai atspindi Europos Sąjungos ar CINEA poziciją. Nei Europos Sąjunga, nei CINEA negali būti laikomos atsakingomis už šiame dokumente pateiktą informaciją.



**Bendrai finansuoja
Europos Sąjunga**

1. IT įrangos ir sistemų duomenų centruose sutaupymų skaičiavimas

Atsižvelgiant į tai, kad IT įranga sunaudoja daugiau nei 60 proc. visų duomenų centro energijos sąnaudų, kai tipinis PUE yra 1,6 (ICIS, 2025), jos efektyvumo didinimas yra viena iš greičiausių ir didžiausių poveikį turinčių priemonių siekiant sumažinti bendrą energijos suvartojimą ir poveikį aplinkai. Ši metodika skirta energijos taupymo, susijusio su IT įrangos efektyvumo priemonėmis, įvertinimui. Tai leidžia duomenų centrų operatoriams kiekybiškai įvertinti veiklos patobulinius, priimti pagrįstus investicinius sprendimus ir suderinti veiklos strategijas su platesniais tvarumo tikslais.

1.1. IT įrangos efektyvumo didinimas duomenų centruose

Metodikos tikslas – įvertinti energijos taupymą, gaunamą pagerinus IT įrangos efektyvumą duomenų centruose. Sutelkdama dėmesį į specifines IT priemones, **tokias kaip serverių konsolidavimas, virtualizavimas, darbo krūvio optimizavimas ir aparatinės įrangos atnaujinimas**. Metodika suteikia struktūrizuotą požiūrį į energijos vartojimo poveikio kiekybinį įvertinimą, prioritetinių veiksmų sričių nustatymą ir strateginių investicijų sprendimų palaikymą. Metodika suderinta su ES politikos sistemomis, įskaitant ES duomenų centrų energijos vartojimo efektyvumo elgesio kodeksą, Energijos vartojimo efektyvumo direktyvą 2023/1791 (toliau – EVED) ir ES klimato kaitos taksonomijos deleguotąjį aktą.

Duomenų centrai – tai sudėtinga techninė aplinka, kurioje siekiant užtikrinti aukštą prieinamumą, atsparumą gedimams ir veikimo našumą, integruojamos kelios posistemės. Tai apima IRT įrangą, aušinimo sistemas, elektros energijos infrastruktūrą, stebėjimo ir valdymo sistemas bei patį pastatą. Nors visi išvardinti komponentai prisideda prie energijos suvartojimo, ši metodika skirta tik IRT sistemoms, kurios duomenų centre suvartoja daugiausiai energijos.

IRT įranga skirstoma į tris pagrindines kategorijas:

- **serveriai**, kurie naudojami programų vykdymui, apdoroja vartotojų užklausas ir valdo virtualius darbo krūvius;
- **saugojimo įrenginiai, įskaitant kietuosius diskus (HDD, angl. *hard disc drive*), puslaidininkinius diskus (SSD, angl. *solid-state drive*) ir saugojimo masyvus**, kurie naudojami duomenų saugojimui (išlaikymui), atsarginėms kopijoms kurti ir atkurti;
- **tinklo įranga**, pvz., komutatoriai, maršrutizatoriai ir užkardos, valdanti duomenų perdavimą duomenų centre ir per esamus tinklus už jo ribų.

Šių IRT sistemų energijos vartojimo efektyvumo didinimas suteikia didelį potencialą mažinti elektros energijos suvartojimą ir tuo pačiu poveikį aplinkai.

Rekomenduojamos energijos vartojimo efektyvumo didinimo priemonės (sugrupuota pagal įrangos kategorijas):

Serverio optimizavimas gali būti viena iš efektyvių priemonių. Pagrindinės priemonės apima (Booth, John ir kt., 2024; Uptime Institute, 2024; U.S. Environmental Protection Agency, 2016; VMware, 2022):

- serverių virtualizavimas ir darbo krūvio konsolidavimas padeda maksimaliai išnaudoti sistemą sumažindamas aktyvių (naudojamų) mašinų skaičių;

- pasenusių arba nepakankamai naudojamų serverių išmontavimas gali iš karto sumažinti energijos suvartojimą ir atlaisvinti vietas;
- energiją taupančios serverių įrangos, kuri pasižymi patobulintais maitinimo šaltiniais, šilumos valdymo sprendimais ir procesorių energijos valdymu, diegimas¹;
- dinaminis darbo krūvio planavimas leidžiantis, nesutrikdant paslaugų teikimo, išjungti sistemas ne piko valandomis;
- energijos taupymo režimų įjungimas, pvz., dinaminio įtampos ir dažnio mastelio keitimo, procesoriaus veikimo / apkrovos ribojimo ir miego būsenų;
- lengvųjų virtualizacijos platformų, tokių kaip konteineriai (pvz., „Docker“, „Kubernetes“), naudojimas sumažina naudojamų išteklių sąnaudas;
- stebėsenos ir analitikos įrankiai, leidžiantys valdyti energijos vartojimą remiantis serverių spintų (angl. *rack*) arba atskirų serverių lygmens duomenimis.

Duomenų saugyklų sistemose taip pat yra didelis energijos taupymo potencialas (JRC, 2020; SNIA, 2022):

- dubliuotų duomenų šalinimas, glaudinimas ir gyvavimo ciklo optimizavimas. Tokie veiksmai sumažina saugyklos apkrovą ir nereikalingą duomenų dubliavimą;
- saugojimo lygių nustatymas, kai retai naudojami duomenys perkeliama į mažai energijos naudojančius įrenginius, tokius kaip „šaltosios“ saugyklos arba archyviniai diskai;
- energiją taupančios duomenų saugyklų sistemos, palaikančios tokias funkcijas kaip automatinis nenaudojamų diskų išsijungimas;
- senos fizinės IT įrangos keitimas naujesne, efektyvesne, senesnių HDD diskų keitimas SSD diskais arba hibridinėmis sistemomis, siekiant geresnio našumo vienam vatui.

Nors **tinklo infrastruktūros** energijos sąnaudos nėra didelės, ją vis tiek tikslinga optimizuoti (Green Grid, 2021; ITU, 2020):

- efektyvus tinklo projektavimas ir topologijos supaprastinimas, sumažinant nereikalingų jungčių ir nenaudojamų įrenginių skaičių;
- energiją taupančių techninių standartų, pavyzdžiui „Ethernet“ (pvz., IEEE 802.3az), naudojimas, kai energijos suvartojimas kinta priklausomai nuo duomenų pralaidumo;
- prievadų ir ryšių / jungčių valdymas, įskaitant neaktyvių prievadų išjungimą ir ryšio greičių pritaikymą esant mažam srautui;
- tinklo energijos vartojimo stebėseną, kuri padeda planuoti ilgalaikius atnaujinimus ir tiksliai optimizuoti veikimą.

1.1.1. Galutinės energijos sutaupymo skaičiavimas (EVED 8 straipsnis)

Poveikį galutinės energijos suvartojimui galima apskaičiuoti pagal šią lygtį:

$$TFES = \frac{EC_{before}}{PUE} * ICT_{load} * ES_m$$

Metodikos orientacinės skaičiavimo vertės pateiktos lentelėse žemiau. Šios vertės yra paremtos visos ES bendrais duomenimis ir turėtų būti pakoreguotos pagal šalies narės nacionalines aplinkybes:

¹ Energiją taupančios sistemos – tai tokios skaitmeninės, techninės ar programinės sistemos, kurios sugeba stebėti, analizuoti ir optimizuoti savo energijos suvartojimą.

TFES	<i>Bendras galutinės energijos sutaupymas, kWh/metus</i>
EC_{before}	<i>Energijos suvartojimas prieš energijos taupymo veiksmo įgyvendinimą, kWh/metus</i>
PUE	<i>Galios vartojimo efektyvumas, be vienetų</i>
ICT_{load}	<i>Kiekvienam apkrovos komponentui priskirta IRT energijos suvartojimo dalis, %</i>
ES_m	<i>Energijos sutaupymai pagal energijos taupymo priemonės tipą, %</i>

1 lentelė. Energijos suvartojimas prieš energijos taupymo veiksmo įgyvendinimą, skirtingoms duomenų centrų kategorijoms (**EC_{before}**)

Kategorija	IT galia	MWh/metus
Labai mažas	100–500 kW	650–4 000
Mažas	500–1 000 kW	3 250–8 000
Vidutinis	1–2 MW	6 500–17 000
Didelis	2–10 MW	14 000–85 000
Labai didelis	>10 MW	>85 000

2 lentelė. Galios vartojimo efektyvumas skirtingoms duomenų centrų kategorijoms (**PUE**)

Kategorija	IT galia	PUE
Labai mažas	100–500 kW	1,5–1,8
Mažas	500–1 000 kW	1,4–1,7
Vidutinis	1–2 MW	1,3–1,6
Didelis	2–10 MW	1,3–1,5
Labai didelis	>10 MW	1,1–1,4

3 lentelė. Kiekvienam apkrovos komponentui priskirta IRT energijos suvartojimo dalis (**ICT_{load}**)

Apkrova	%
Serveriai	60–70%
Saugojimo įrenginiai	10–15%
Tinklas	10–15%
Kitos IRT apkrovos	5–10%

4 lentelė. Energijos sutaupymai pagal energijos taupymo priemonės tipą (**ES_m**) ir serverių apkrovos sutaupymo gyvavimo trukmė

Apkrova	%	Gyvavimo trukmė (metai)
Serverių virtualizavimas ir konsolidavimas	20–10	6
Pasenusių serverių išmontavimas	5–15	3
Energiją taupančios serverių įrangos diegimas	10–25	5
Išmanusis darbo apkrovų planavimas	10–30	4
Galios valdymo funkcijų aktyvinimas	5–20	4
Efektyvios virtualizacijos / konteinerių platformos	10–20	5
Serverio energijos suvartojimo stebėjimas ir analizė	0–5	2

5 lentelė. Energijos sutaupymai pagal energijos taupymo priemonės tipą (**ES_m**) ir duomenų saugyklų apkrovos sutaupymo gyvavimo trukmė

Apkrova	%	Gyvavimo trukmė (metai)
Duomenų valdymo optimizavimas	5–15	4
Saugojimas lygiais ir energiją taupančios duomenų saugyklų sistemos	10–20	5
Duomenų saugojimo įrangos modernizavimas	10–20	5

6 lentelė. Energijos sutaupymai pagal energijos taupymo priemonės tipą (ES_m) ir tinklų apkrovos sutaupymo gyvavimo trukmė

Apkrova	%	Gyvavimo trukmė (metai)
Efektyvus tinklo projektavimas ir topologijos optimizavimas	5–15	4
Energiją efektyviai vartojanti tinklo įranga	5–15	5
Išmanus prievadų ir ryšių / jungčių valdymas	5–10	4
Tinklo įrenginių energijos vartojimo stebėseną	0–5	2

Metodologiniai aspektai:

Metodika įvertina energijos sutaupymą duomenų centruose, lyginant galutinės energijos suvartojimą prieš ir po konkrečios energijos taupymo priemonės įgyvendinimą, siekiant kiekybiškai įvertinti su IRT susijusiomis intervencijomis siejamą sumažėjimą.

Šis metodas pagrįstas galutinės energijos sutaupymo apskaičiavimu, naudojant šias prielaidas:

- *Energijos suvartojimas prieš energijos taupymo veiksmo įgyvendinimą* (kWh/metus) nustatomas pagal duomenų centro energijos poreikį prieš įgyvendinant bet kokias energijos taupymo priemones. Šios energijos sąnaudos kinta priklausomai nuo instaliuotos IT galios bei duomenų centro kategorijos dydžio.
- Šioje metodikoje naudojama duomenų centrų dydžio klasifikacija atitinka kategorijas, nustatytas Komisijos deleguotajame reglamente (ES) 2024/1364 (European Commission, 2024a), kuriuo nustatomas pirmasis bendros ES duomenų centrų vertinimo sistemos etapas. Šis suderinimas užtikrina nuoseklumą su visos ES stebėsenos ir ataskaitų teikimo reikalavimais ir leidžia atlikti skirtingų tipų objektų palyginamąją analizę.
- Galios vartojimo efektyvumo (PUE) rodiklis naudojamas nustatyti, kokią dalį bendro objekto / duomenų centro energijos sunaudoja IT įranga. Šis rodiklis leidžia standartizuotai įvertinti, kaip efektyviai energija duomenų centre patiekama kompiuterinėms (skaičiavimo) apkrovoms. PUE nustatymas turėtų atitikti ISO/IEC 30134-2:2016 (ISO/IEC, 2016) standarte nustatytą metodiką, kuri reglamentuoja šio pagrindinio veiklos rodiklio skaičiavimą ir ataskaitų teikimą.
- Metodikoje atsižvelgiama į energijos suvartojimo pasiskirstymą tarp pagrindinių IRT komponentų. Komponentai apima serverius, saugojimo įrenginius ir tinklo įrangą. Kiekvieno komponento energijos suvartojimas įvertinamas kaip tam tikra dalis bendro IRT energijos suvartojimo.
- Energijos taupymo efektas (ES_m) taikomas atsižvelgiant į įgyvendintą efektyvumo priemonę. ES_m vertės yra pagrįstos ES mastu paskelbtais lyginamaisiais rodikliais ir gali būti pritaikytos atsižvelgiant į nacionalines sąlygas arba individualiam duomenų centrui. Kiekviena taupymo priemonė vertinama atsižvelgiant į jos tipinę gyvavimo trukmę, išreikštą metais, kuri svarbi naudos analizėje ir nustatant gyvavimo ciklo sąnaudas .

Galutinės energijos sutaupymas nustatomas kiekvienos energijos taupymo priemonės taupymo procentą pritaikant atitinkamo IRT komponento energijos suvartojimo daliai.

Kai tam pačiam IRT komponentui (pvz., serveriams) taikomos kelios efektyvumo priemonės, bendras to komponento energijos sutaupymo procentas turėtų būti apskaičiuojamas atskirų sutaupymų efektus dauginant iš eilės, o ne juos sumuojant. Pavyzdžiui, jei dvi nepriklausomos priemonės sumažina serverių apkrovą atitinkamai 15 proc. ir 10 proc., bendras poveikis apskaičiuojamas taip:

Kombinuotas sutaupymas: $1 - (1 - 0,15) * (1 - 0,10) = 0,235$ arba 23,5 proc.

Kai skirtingos energijos taupymo priemonės taikomos daugiau nei vienam IRT komponentui, galutinės energijos sutaupymai kiekvienai apkrovos rūšiai naudojant šį metodą turėtų būti apskaičiuojami atskirai, o bendras sutaupymas gaunamas sudedant visų IRT komponentų sutaupytus energijos kiekius.

Siekiant užtikrinti palyginamumą ir patikimumą, metodikoje naudojami normalizavimo koeficientai, kurie įvertina duomenų centro dydį, naudojimo modelį ir eksploataavimo sąlygas.

Tai apima orientacines vertes:

- bendras IRT energijos suvartojimas pagal duomenų centro kategoriją;
- tipinės PUE reikšmės pagal įrangos tipus;
- IRT apkrovos pasiskirstymas tarp serverių, saugyklų ir tinklo įrangos;
- tipiniai sutaupymai kiekvienai energijos taupymo priemonei;
- įgyvendintų priemonių tikėtina gyvavimo trukmė.

Nagrinėdama kiekvieną IRT komponentą atskirai ir susiedama jį su konkrečiomis energijos taupymo priemonėmis, ši metodika suteikia praktišką ir struktūruotą, visiškai suderintą su Europos reglamentavimo sistema, būdą įvertinti energinio efektyvumo pagerėjimą duomenų centruose.

Orientacinių verčių skaičiavimo duomenų šaltiniai:

Dėl skirtingų duomenų centrų veiklos modelių ir technologinių konfigūracijų ši metodika **nesiremia griežtomis orientacinėmis vertėmis**. Vietoj to, ji grindžiama sektorių lyginamųjų rodiklių ir empiriškai patvirtintų parametrų, gautų iš naujausių ES ir tarptautinių šaltinių, naudojimu. Metodikoje daroma prielaida, kad tinklo ar pastato valdytojai energijos taupymą vertins naudodami išmatuotas arba apskaičiuotas vertes, pagrįstas tipiniais intervalais ir prielaidomis, gautais iš patikimų šaltinių.

Svarbiausi duomenys, tokie kaip IT energijos suvartojimas, galios vartojimo efektyvumas (PUE) ir IRT apkrovos pasiskirstymas, gaunami iš: (Booth, John ir kt., 2024; European Commission, 2024a; International Energy Agency, 2023; United States Department of Energy, 2024; Uptime Institute, 2024).

Šie šaltiniai sudaro pagrindą tipiniams veikimo parametrams, įskaitant:

- veikimo valandas (dažniausiai 8000–8760 val./metus);
- nustatytą energijos vartojimą pagal duomenų centrų dydžio kategorijas;
- PUE intervalus, atitinkančius geriausias praktikas;
- proporcingą IRT energijos suvartojimą pagal apkrovos tipus (serveriai, saugyklos, tinklo įranga).

Su konkrečiomis IRT efektyvumo priemonėmis susijęs energijos sutaupymas ir numatomas gyvavimo laikas yra pagrįsti moksline literatūra ir techninėmis gairėmis, įskaitant (ASHRAE, 2021; CEN-CENELEC, 2022, 2023; Cisco, 2020; Green Grid, 2020, 2021; IDC, 2020, 2021; Intel, 2020; ISO, 2017; ISO/IEC, 2022, 2022, 2023; ITU, 2020; JRC, 2020; SNIA, 2022).

Nors šioje metodikoje pateikiami rekomenduojamų reikšmių intervalai, skirti skaičiavimams atlikti, faktiniai sutaupymai turi būti nustatyti remiantis išmatuotais arba dokumentais pagrįstais duomenimis prieš įgyvendinant priemonę ir po jos įgyvendinimo. Duomenys turėtų būti renkami per reprezentatyvų laikotarpį, atspindintį pastovų arba tipinį IRT veikimą.

Ši metodika yra sukurta taip, kad būtų lengvai keičiama atsižvelgiant į reguliavimo pokyčius ir gerėjantį duomenų prieinamumą. Pagal atnaujintą EVED, visi duomenų centrai, kurių įdiegtoji IT galia yra 500 kW ar daugiau, nuo 2024 m. privalo kasmet teikti ataskaitas apie savo energinį veiksmingumą (European Commission, 2023c).

Ši atskaitomybė apima tokius rodiklius kaip bendras ir IT specifinis energijos suvartojimas, PUE, aušinimo efektyvumas, atsinaujinančių energijos išteklių dalis bei panaudotos perteklinės šilumos kiekis (detaliau [Lietuvos Respublikos energijos vartojimo efektyvumo didinimo įstatymas](#) 16 straipsnis). Duomenys turi būti teikiami per nacionalines platformas arba į centrinę ES duomenų bazę, taip sudarant sąlygas struktūruotam palyginimui ir palengvinant politikos stebėseną tiek valstybių narių, tiek ES lygmeniu.

1.1.2. Poveikio pirminės energijos suvartojimui skaičiavimas (EVED 4 straipsnis)

Galutinės energijos sutaupymo apskaičiavimas pagal EVED 4 straipsnį gali būti atliekamas remiantis ankstesniu galutinės energijos sutaupymo apskaičiavimu (EVED 8 straipsnis).

Poveikį pirminės energijos suvartojimui galima apskaičiuoti pagal šią lygtį:

$$EPEC = FEC_{Baseline} * f_{PE,electricity} - FEC_{Action} * f_{PE,electricity}$$

EPEC	<i>Pirminės energijos suvartojimo efektas, kWh/metus</i>
FEC	<i>Metinis galutinės energijos suvartojimas, kWh/metus</i>
$f_{PE,electricity}$	<i>Faktorius paversti iš galutinės energijos į pirminės energijos sutaupymą, elektros energijai priimamas 2,064</i>
Baseline	<i>Indeksas priemonės pradinės (bazinės) situacijos vertinimui</i>
Action	<i>Indeksas įvertinti situacijai po priemonės įgyvendinimo</i>

1.1.3. Sąnaudų, susijusių su IT įrangos ir sistemų atnaujinimu, apžvalga

Sąnaudų komponentų apžvalga

Šiame skyriuje pateikiama sąnaudų komponentų, susijusių su IRT energijos vartojimo efektyvumo priemonių įgyvendinimu duomenų centruose, apžvalga. Šios orientacinės vertės padeda valstybėms narėms apskaičiuoti sąnaudų efektyvumo rodiklius (angl. cost-effectiveness ratios) (pvz., bendros metinės sąnaudos sutaupytos energijos vienetui).

Didžiausias dėmesys skiriamas tiesioginėms sąnaudoms, t. y. sąnaudoms, tiesiogiai susijusioms su IT aparatinės (angl. hardware) ir programinės (angl. software) įrangos komponentų, susijusių su energijos taupymo priemone, pirkimu, diegimu, konfigūravimu ir eksploatavimu.

Į sąnaudas įskaičiuotos:

- investicinės sąnaudos – išankstinės kapitalo išlaidos naujai energiją taupančiai IRT įrangai, pavyzdžiui, serveriams, duomenų saugykloms ir tinklo įrenginiams, įskaitant aparatinės įrangos įsigijimą ir susijusius diegimo darbus;

- pastoviosios sąnaudos – pasikartojančios sąnaudos, reikalingos įrangai prižiūrėti ir palaikyti (pvz., priežiūros sutartys, programinės įrangos licencijavimas);
- kintamosios sąnaudos – sąnaudos, priklausančios nuo sistemos naudojimo, įskaitant elektros energijos suvartojimą, programinės įrangos atnaujinimus ir sistemos resursų (pvz., serverių galios) pritaikymas pagal naudojimą.

Su pradine, bazine IT situacija susijusios sąnaudos (pvz., senųjų sistemų eksploatavimo sąnaudos ar sena serverių infrastruktūra) taip pat turėtų būti įtraukiamos.

Kitos tiesioginės sąnaudos gali apimti:

- informacijos ir audito sąnaudas (pvz., matavimo priemonės, apskaitos sistemos);
- administravimo ir įgyvendinimo sąnaudas;
- techninio personalo mokymų, susijusių su virtualizacija, energijos vartojimo stebėjimo platformų ar darbo krūvio optimizavimo įrankiais, sąnaudas.

Kai kuriais atvejais, įdiegus IRT efektyvumo priemones galima sutaupyti lėšų arba padidinti pajamas. Pavyzdžiui, serverių konsolidavimas ir virtualizavimas gali sumažinti užimamą grindų plotą, aušinimo poreikį ir priežiūros išlaidas, o tai lemia sąnaudų mažinimą ne tik IT srityje.

7 lentelėje pateikiamos orientacinės, nustatytos ES mastu, pagrindinių sąnaudų komponentų vertės, pagrįstos viešai prieinamais duomenimis ir pramonės įmonių informacija. Vertės išreikštos 2025 m. kainomis eurais (be PVM), gali būti patikslintos naudojant nacionalines vertes.

7 lentelė. Orientacinės duomenų centrų IT įrangos ir sistemų sąnaudų komponentų vertės (be mokesčių ar paramos)

Kategorija	Investicijos (€/kW IRT pajėgumui)	Pastoviosios sąnaudos (OpEx) (€/kW/metams)
Serveriai	2000–3500	100–250
Saugojimo įrenginiai	1500–2500	80–200
Tinklo įranga	1200–2000	60–150

Pastaba: intervalai atspindi skirtumus pagal įrangos klasę (bazinė ar aukštos klasės / „enterprise“), įgyvendinimo apimtį (modernizavimas ar naujos diegimas) ir projekto mastą.

Metodologiniai aspektai:

Sąnaudų komponentai parinkti pagal duomenų centrų IRT atnaujinimus, turinčius tiesioginį poveikį energijos suvartojimui. Komponentai suskirstyti pagal energijos taupymo metodiką, kad būtų galima vienodai vertinti skirtingus objektus ir projektus.

Investicinės sąnaudos apibrėžiamos vienam IRT pajėgumų vienetui (€/kW), o tai leidžia pritaikyti jas įvairiems duomenų centrų dydžiams. Veiklos sąnaudos skirstomos į pastovias palaikymo išlaidas ir kintamas, nuo energijos vartojimo priklausančias, sąnaudas.

Pateiktas sąnaudas galima pakoreguoti remiantis:

- IT aparatinės įrangos ir paslaugų rinkos kainomis;
- nacionaliniais elektros energijos tarifais;
- darbo jėgos sąnaudomis įdiegimui ir konfigūracijai;
- viešosiomis paskatomis ar subsidijų mechanizmais skaitmeninimam energijos efektyvumui gerinti.

Sąnaudų tendencijos (pvz., mažėjanti serverių ar SSD diskų kaina už našumą) taip pat gali būti naudojamos prognozuojant besikeičiantį sąnaudų efektyvumą laikui bėgant.

Orientacinių sąnaudų verčių duomenų šaltiniai:

Šioje metodikoje pateiktos orientacinės sąnaudų vertės yra pagrįstos techninės literatūros, rinkos duomenų ir projekto patirties deriniu. Pagrindinės nuorodos:

- IRT aparatinės įrangos (pvz., „Dell“, HP, „Cisco“) ir energijos stebėjimo sistemų gamintojų ir tiekėjų, pardavėjų katalogai;
- pramonės įmonių ataskaitos, įskaitant (Intel, 2020; SNIA, 2022; Uptime Institute, 2024);
- Europos Komisijos ataskaitos, įskaitant (European Commission, 2023b) ES finansuojamų projektų rezultatus, ypač tuos, kurie orientuoti į duomenų centrų optimizavimą ir skaitmenines energijos paslaugas (GreenDataNet, 2020).

Sąnaudų duomenis, ypač apie didelių duomenų centrų stebėseną ir ataskaitų teikimą, galima patikslinti remiantis konkrečia nacionaline įgyvendinimo patirtimi, gauta vadovaujantis EVED (European Commission, 2023a).

1.1.4. CO₂ sutaupymų skaičiavimas

Šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio mažinimas gali būti apskaičiuojami pagal formulę:

$$GHGSAV = TFES * f_{GHG,electricity} * 10^{-6}$$

GHGSAV	Šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio mažinimas, t CO ₂ e p. a.
TFES	Suminis galutinės energijos sutaupymas, kWh/metus
f_{GHG,electricity}	Emisijos faktorius elektros energijai priimamas 104,39 g CO ₂ /kWh

Orientacinių skaičiavimo verčių duomenų šaltiniai:

Elektros energijos išmetamųjų teršalų faktorius (**f_{GHG,elektra}**) paimtas iš Šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimo stebėsenos ir ataskaitų teikimo reglamento (2018/2066/ES) VI priedo.

Nacionalinės išmetamųjų teršalų faktorių vertės kasmet pateikiamos [JTBK](#) Bendrųjų ataskaitų formų (CRF) 1.A (a) lentelėje. Energijos nešiklių dalis galima pritaikyti prie nacionalinio lygmens pagal EUROSTAT duomenų bazės „Išsamius energijos balansus“.

1.2. Literatūros sąrašas

1. ASHRAE. (2021). Thermal Guidelines for Data Processing Environments (4th ed.). ASHRAE Technical Committee 9.9.
2. Booth, John, Bertoli, Paolo, & Acton, Mark. (2024). 2024 Best Practice Guidelines for the EU Code of Conduct on Data Centre Energy Efficiency. Joint Research Centre – Ispra. <https://e3p.jrc.ec.europa.eu/en/node/186>
3. CEN-CENELEC. (2022). EN 50600-4-7:2022 – IT Equipment Energy Efficiency.
4. CEN-CENELEC. (2023). TR 50600-99-1:2023 – Data Centre Facilities and Infrastructures – Energy Management Framework.
5. Cisco. (2020). Energy Management in Network Infrastructure. <https://www.cisco.com/>
6. European Commission. (2022, January 28). Commission Regulation (EU) 2022/132 of 28 January 2022 amending Regulation (EC) No 1099/2008 of the European Parliament and of the Council on energy statistics. Official Journal of the European Union. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2022/132/oj/eng>
7. European Commission. (2023a). Directive (EU) 2023/1791 of the European Parliament and of the Council of 13 September 2023 on energy efficiency. Official Journal of the European Union. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2023/1791/oj/eng>
8. European Commission. (2023b). GPP Criteria for Data Centres, Server Rooms and Cloud Services. https://environment.ec.europa.eu/topics/green-public-procurement_en
9. European Commission. (2023c). Reporting requirements on the energy performance and sustainability of data centres for the Energy Efficiency Directive. https://energy.ec.europa.eu/publications/reporting-requirements-energy-performance-and-sustainability-data-centres-energy-efficiency_en
10. European Commission. (2024a). Commission Delegated Regulation (EU) 2024/1364 of 14 March 2024 on the first phase of the establishment of a common Union rating scheme for data centres. Official Journal of the European Union. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2024/1364/oj/eng
11. European Commission. (2024b). Taxonomy Regulation. https://finance.ec.europa.eu/regulation-and-supervision/financial-services-legislation/implementing-and-delegated-acts/taxonomy-regulation_en
12. Green Grid. (2020). White Paper #86: Virtualization and Data Center Efficiency. <https://www.thegreengrid.org/>
13. Green Grid. (2021). Network Energy Consumption and Efficiency in Data Centers. <https://www.thegreengrid.org/>
14. GreenDataNet. (2020). GreenDataNet – Energy Efficient Urban Data Centres. <https://cordis.europa.eu/project/id/609062>
15. ICIS. (2025). Europe Data Centre Power Demand. ICIS Explore. <https://www.icis.com/explore/resources/data-centres-hungry-for-power/>
16. IDC. (2020). The Role of SSDs in Improving Storage Energy Efficiency in the Enterprise.
17. IDC. (2021). Data Reduction Techniques and Energy Savings in Storage Systems.
18. Intel. (2020). Improving Data Center Efficiency with Power Management. <https://www.intel.com/>
19. International Energy Agency. (2023). Data Centres and Data Transmission Networks. <https://www.iea.org/reports/data-centres-and-data-transmission-networks>
20. ISO. (2017). ISO/IEC 30134-5:2017. <https://www.iso.org/standard/66934.html>
21. ISO/IEC, I. O. for. (2022). ISO/IEC 30134-6:2022 – Data centre key performance indicators – Part 6: IT Equipment Utilization (ITEU).

22. ISO/IEC, I. O. for. (2023). ISO/IEC 30134-7:2023 – Data centre key performance indicators – Part 7: IT Network Utilization (ITNU).
23. ISO/IEC. (2016). Information Technology – Data Centres – Key Performance Indicators – Part 2: Power Usage Effectiveness (PUE)} (30134-2).
24. ITU. (2020). ITU-T L.1300 – Best practices for green data centres.
25. JRC. (2020). Energy-efficient Cloud Computing Technologies and Policies for an Eco-friendly Cloud Market | Shaping Europe’s digital future. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/energy-efficient-cloud-computing-technologies-and-policies-eco-friendly-cloud-market>
26. SNIA. (2022). Energy Efficient Data Center Storage: An Assessment of Storage Product Power Efficiency. SNIA Green Storage Initiative. <https://snia.org/educational-library/energy-efficient-data-center-storage-assessment-storage-product-power>
27. U.S. Environmental Protection Agency. (2016). Report to Congress on Server and Data Center Energy Efficiency Opportunities | ENERGY STAR. <https://www.energystar.gov/buildings/tools-and-resources/report-congress-server-and-data-center-energy-efficiency>
28. United States Department of Energy. (2024). United States Data Center Energy Usage Report. <https://eta-publications.lbl.gov/>
29. Uptime Institute. (2024). Global Data Center Survey Results 2023. Uptime Institute. <https://uptimeinstitute.com/resources/research-and-reports/uptime-institute-global-data-center-survey-results-2023>
30. VMware. (2022). Virtualization and Power Consumption: Increasing Efficiency with VMware ESXi. <https://www.vmware.com/solutions/cloud-infrastructure/virtualization>

2. Aušinimo sistemų duomenų centruose energijos sutaupymų skaičiavimas

Šios metodikos taikymo sritis apima visas modernizavimo, atnaujinimo ar rekonstrukcijos veiklas, kuriomis siekiama pagerinti duomenų centrų aušinimo sistemų veikimo efektyvumą ir tvarumą, su sąlyga, kad jos nekeičia IT sistemų apkrovos. Šios priemonės apima tiek technologinius, tiek eksploatacinius aušinimo infrastruktūros, užtikrinančios nepertraukiamą IT veikimą, atnaujinimus.

Priemonės gali apimti pasenusių kompiuterinės įrangos patalpų oro šildymo, vėsinimo, drėkinimo, filtravimo ir cirkuliacijos (angl. Computer Room Air Conditioning / Computer Room Air Handling, CRAC/CRAH) įrenginių pakeitimą efektyviau energiją naudojančiais prietaisais; pažangių skysčio pagrindu veikiančių aušinimo sprendimų, tokių kaip tiesioginis lustų aušinimas (angl. direct-to-chip) arba panardinamasis aušinimas (angl. immersion cooling), taikymą, kai įranga dirba didelėmis apkrovoms; laisvojo aušinimo sistemų, naudojančių aplinkos orą ar vandenį mechaninio aušinimo poreikiui mažinti, diegimą; oro srautų optimizavimo sprendimus, įskaitant šaltųjų / karštųjų koridorių izoliavimą, pakeltų grindų konfigūracijos keitimą ar išmanų ventiliacijos valdymą. Be to, įtraukiama ir integracija su išmaniosiomis valdymo sistemomis, automatizavimo platformomis ar energijos valdymo sistemomis, kurios gerina apkrovos pritaikymą ir mažina energijos naudojimą tuščiosios eigos režimu.

Siūloma energijos sutaupymo metodika grindžiama PUE (angl. power usage effectiveness) rodikliu. Šio rodiklio pokyčių analizė leidžia kiekybiškai įvertinti energijos sutaupymą, nustatant infrastruktūros, palaikančios IT veikimą (ypač aušinimo sistemų), efektyvumo pokytį. PUE rodiklis atspindi viso objekto energijos suvartojimo ir IT įrangos energijos suvartojimo santykį, todėl yra išsamus ir praktiškas bendro infrastruktūros veikimo efektyvumo indikatorius.

Stebint PUE mažėjimą po energijos vartojimo efektyvumo priemonių įgyvendinimo (pavyzdžiui, pakeitus aušinimo sistemas, optimizavus oro srautus ar pritaikius skysčiu pagrįstą aušinimą), galima įvertinti energijos suvartojimo sumažėjimą, priskirtiną duomenų centrų aušinimo sistemoms. Šis rodiklis lengvai pritaikomas energijos sutaupymo vertinimo sistemoje ir ypač vertingas tais atvejais, kai matavimų duomenys yra neišsamūs, nenuoseklūs arba neprieinami.

Be to, metodika leidžia palyginti rezultatus atsižvelgiant į skirtingus IT įrangos apkrovos profilius, todėl ją galima taikyti įvairaus dydžio duomenų centrams. Tai užtikrina standartizuotų ataskaitų teikimą ir sudaro sąlygas rezultatų palyginimui bei agregavimui regioniniu ar nacionaliniu lygmeniu. Metodika atitinka ES reglamentų reikalavimus (pvz.: Energijos vartojimo efektyvumo direktyvą (EVED)), yra pagrįsta, lanksti ir prisideda prie įmonių energinio efektyvumo strategijų kūrimo.

2.1. Energijos vartojimo efektyvumo didinimas duomenų centrų aušinimo sistemose

Metodikos esmė – palyginti PUE reikšmes prieš ir po energijos vartojimo efektyvumo didinimo priemonių įgyvendinimo, pavyzdžiui, keičiant pasenusią įrangą (pvz., senos kartos CRAC įrenginius), optimizuojant oro srautus arba diegiant pažangias technologijas (pvz., skysčio aušinimo sprendimus). Mažėjanti PUE reikšmė rodo efektyvesnį energijos naudojimą, kai mažiau energijos sunaudojama ne IT reikmėms.

PUE pagrįsta metodika yra patikima, patikrinama ir nuosekliai taikoma, todėl ypač tinkama tais atvejais, kai atskirų įrenginių energijos apskaita (angl. submetering) yra ribota. Ši metodika, suteikdama praktinį, aukšto lygio būdą vertinti infrastruktūros efektyvumą IT apkrovos atžvilgiu, naudojama energijos vartojimo auditų rengimo procese, padeda užtikrinti atitiktį teisės aktams (pvz., EVED 8 straipsniui) ir rengti įmonių tvarumo ataskaitas.

Taikymo sritis: metodika taikoma duomenų centrų aušinimo sistemoms ir yra skirta infrastruktūros, užtikrinančios optimalias IT įrangos šilumines sąlygas, energijos suvartojimui vertinti. Ji ypač aktuali modernizavimo projektams, kai pasenusios ar neefektyvios aušinimo technologijos keičiamos siekiant sumažinti energijos sąnaudas, taip pat modernizavimo iniciatyvoms, diegiant pažangesnes ar išmanesnes aušinimo sistemas.

Metodika sukurta įvertinti energijos sutaupymą taikant priemones, kurios nekeičia IT apkrovos viso vertinimo laikotarpio metu. Tinkamos priemonės apima tradicinių CRAC (angl. Computer Room Air Conditioning) arba CRAH (angl. Computer Room Air Handling) įrenginių keitimą efektyvesniais modeliais, šaltnešio vandens sistemų ar lauko oro ekonomizerių diegimą, taip pat skysčio aušinimo sprendimų, tokių kaip lustų aušinimo (angl. direct-to-chip) ar panardinamojo aušinimo, taikymą.

Metodika tinkama įvairių tipų duomenų centrams – įmonių nuosaviems centrams, didelio masto debesijos platformoms, kolokacijos paslaugų teikėjams bei decentralizuotiems kraštiniais (angl. edge) centrums. Nepriklausomai nuo verslo modelio, IT architektūros ar objekto masto, ji gali būti taikoma skirtingoms konfigūracijoms – nuo senos infrastruktūros iki modernių modulinį sprendimų.

Priemonės apima įvairias technologijas ir strategijas, skirtas sumažinti su aušinimu susijusias energijos sąnaudas duomenų centruose. Toliau pateikiamos technologijos, įvertintos atsižvelgiant į gerosios praktikos gaires (Acton ir kt., 2024; Acton ir kt., 2023):

- **Tradicinių CRAC ir CRAH įrenginių keitimas** apima pasenusios įrangos pakeitimą naujesniais, efektyvesniais modeliais, pasižyminčiais patobulinta oro srautų sistema, kintamo greičio ventiliatoriais ir integruotomis valdymo sistemomis.
- **Orinių sistemų pakeitimas šaltnešio vandens (angl. Chilled water) sistemomis** užtikrina efektyvesnį šilumos perdavimą ir sudaro sąlygas centralizuotam aušinimui. Šios sistemos paprastai pasižymi aukštesniu naudingumo koeficientu (COP) ir leidžia taikyti kintamo srauto sprendimus.
- **Oro ir vandens ekonomizeriai (angl. air-side ir water-side economizers, dar vadinami „free cooling“)** mažina mechaninio aušinimo poreikį, išnaudodami lauko orą arba aplinkos vandenį, kai leidžia aplinkos sąlygos. Ši technologija ypač efektyvi vidutinio klimato zonose ir gali reikšmingai sumažinti energijos sąnaudas vėsesniu metų laikotarpiu.
- **Tiesioginis mikroschemų / lustų aušinimas skysčiu (angl. direct-to-chip liquid cooling)** skirtas didelės apkrovos sistemoms, kai aušinimo skystis tiekiamas tiesiogiai prie labiausiai šylančių komponentų, tokių kaip CPU ir GPU. Šis metodas užtikrina ženkliai didesnę šilumos perdavimo efektyvumą ir leidžia didinti IT sistemų apkrovą.
- **Panardinamasis aušinimas (angl. immersion cooling)**, taikomas kai serverių plokštės visiškai panardinamos į šilumai laidų, tačiau elektrai nelaidų skystį, užtikrinant tylų veikimą ir itin aukštą šiluminį efektyvumą. Be to, tokios sistemos sudaro palankias sąlygas perteklinės (atliekinės) šilumos panaudojimui.

Ši metodika taikoma tiek esamai infrastruktūrai, tiek modernioms modulinėms sistemoms ir nepriklauso nuo serverių tipų ar IT apkrovos. Jos lankstumas leidžia prisitaikyti prie skirtingų aušinimo sistemų konfigūracijų, apskaitos lygio bei eksploatacinio valdymo sudėtingumo.

Ribinės sąlygos: metodika tinkama taikyti visose ES valstybėse narėse ir visuose Europos klimato regionuose, su sąlyga, kad IT apkrovos svyravimai yra tinkamai normalizuojami. Ji skirta esamiems duomenų centrums, kuriuose įgyvendinamos aušinimo efektyvumo didinimo priemonės – tiek modernizuojant esamas sistemas, tiek optimizuojant eksploatavimą ar diegiant naujas technologijas.

Metodika netinka naujai statomiems duomenų centrums, nebent yra aiškiai apibrėžta ir nustatyta prieš – eksploatacinė (angl. pre-commissioning) PUE atskaitos reikšmė. Metodikai taikyti būtina turėti patikimus metinio IT energijos suvartojimo (kWh) duomenis arba jų įverčius, taip pat pradinę ir po priemonių įgyvendinimo PUE reikšmes, nustatytas remiantis tiesioginiais matavimais arba agreguotais objekto lygmens energijos duomenimis.

Metodika parengta atsižvelgiant į reglamentų reikalavimus, ypač į EVED 8 straipsnį, ir papildo metodines sistemas, pateiktas „streamSAVE+“ skaičiavimuose bei ES Duomenų centrų elgesio kodekse (angl. EU Code of Conduct for Data Centres). Metodika padeda energijos auditoriams ir nacionalinėms institucijoms vienodai vertinti energijos vartojimo efektyvumą duomenų centruose.

Esminiai IT naudojimo pokyčiai arba reikšminga infrastruktūros plėtra, gali pareikalauti papildomų korekcijų ar papildomų metodikų taikymo, siekiant užtikrinti energijos sutaupymo skaičiavimo rezultatų tikslumą ir patikimumą.

2.1.1. Galutinės energijos sutaupymo skaičiavimas (EVED 8 straipsnis)

$$TFES = EC_{Before} \cdot S_{Cooling} \cdot (PUE_{before} - PUE_{after})$$

TFES	<i>Bendras galutinės energijos sutaupymas, kWh/metus.</i>
EC_{Before}	<i>Metinis IRT įrangos (serverių, duomenų saugyklų, tinklo įrangos) energijos suvartojimas, kWh/metus.</i>
S_{Cooling}	<i>Įvertinta arba išmatuota aušinimo dalis ne IRT įrangos (aušinimas, UPS, apšvietimas)</i>
PUE_{before}	<i>Galios vartojimo efektyvumo rodiklis prieš priemonės įgyvendinimą (be matavimo vienetų)</i>
PUE_{after}	<i>Galios vartojimo efektyvumo rodiklis po atnaujinimo / taupymo priemonės įgyvendinimo (be matavimo vienetų)</i>

Orientacinės skaičiavimo reikšmės pateiktos toliau esančiose lentelėse. Atkreiptinas dėmesys, kad šios reikšmės pagrįstos visos ES masto duomenimis ir turėtų būti pakoreguotos nacionaliniu lygmeniu.

8 lentelė. Orientacinės PUE reikšmės skirtingoms duomenų centrų aušinimo priemonėms

Priemonė	PUE prieš priemonės įdiegimą	PUE po priemonės įdiegimą	Tarnavimo trukmė metais
CRAC/CRAH įrenginių modernizavimas į kintamo greičio sistemas	> 1,8	1,5–1,6	15
Perėjimas prie vandeninių aušinimo sistemų su oro ekonomizeriais	> 1,6	1,3–1,5	15
Laisvojo aušinimo (angl. free cooling) diegimas (oro, vandens, TES ir kt.)	1,6–1,8	1,2–1,4	15

Priemonė	PUE prieš priemonės įdiegimą	PUE po priemonės įdiegimą	Tarnavimo trukmė metais
Aušinimo skysčiu diegimas – tiesioginis aušinimas lustui arba panardinimas (angl. direct-to-chip or immersion)	1,6–1,8	1,02–1,1	15
Dvifazio / pasyvaus aušinimo optimizavimas (pvz., termosifoninės kilpos)	1,5–1,7	1,1–1,3	15
Šiluminės energijos kaupimo (TES) integravimas piko apkrovų mažinimui ir laisvajam aušinimui	1,6–1,8	1,2–1,4	15

Siekiant tiksliau įvertinti bazinio PUE intervalus, atsižvelgiant ir į duomenų centro dydį, galima naudotis toliau pateiktomis lentelėmis.

9 lentelė. Metinis energijos suvartojimas duomenų centre prieš priemonės įgyvendinimą pagal skirtingas duomenų centrų kategorijas (EC_{before})

Kategorija	IT galia	MWh per metus
Labai mažas	100–500 kW	650–4 000
Mažas	500–1 000 kW	3 250–8 000
Vidutinis	1–2 MW	6 500–17 000
Didelis	2–10 MW	14 000–85 000
Labai didelis	> 10 MW	>85 000

10 lentelė. PUE pagal skirtingas duomenų centrų kategorijas

Kategorija	IT galia	PUE
Labai mažas	100–500 kW	1,5–1,8
Mažas	500–1 000 kW	1,4–1,7
Vidutinis	1–2 MW	1,3–1,6
Didelis	2–10 MW	1,3–1,5
Labai didelis	>10 MW	1,1–1,4

11 lentelė. Ne IRT apkrovų (aušinimo, UPS, apšvietimo) energijos suvartojimas prieš priemonės įgyvendinimą pagal duomenų centrų kategorijas (EC_{before})

Kategorija	IT galia	Energijos suvartojimas MWh per metus
Labai maži	100–500 kW	360–2 700
Maži	500–1 000 kW	1 900–5 700
Vidutiniai	1–2 MW	4 000–13 000
Dideli	2–10 MW	9 300–65 000
Labai dideli	> 10 MW	> 65 000

12 lentelė. Įvertintas aušinimo energijos suvartojimas prieš priemonės įgyvendinimą pagal duomenų centrų kategorijas (EC_{before})

Kategorija	IT galia	Energijos suvartojimas MWh per metus
Labai maži	100–500 kW	293–2 000
Maži	500–1 000 kW	1 300–3 600
Vidutiniai	1–2 MW	2 275–6 800
Dideli	2–10 MW	4 200–29 750

Labai dideli	> 10 MW	> 21 250 – > 25 500
--------------	---------	---------------------

13 lentelė. Įvertinta aušinimo dalis ($S_{Cooling}$) ne IRT apkrovose pagal duomenų centrų kategorijas

Kategorija	IT galia	$S_{Cooling}$, %
Labai maži	100–500 kW	80–75
Maži	500–1 000 kW	70–65
Vidutiniai	1–2 MW	55–50
Dideli	2–10 MW	44–48
Labai dideli	>10 MW	32–40

Metodologiniai aspektai:

Ši metodika skirta įvertinti energijos sutaupymą duomenų centrų aušinimo srityje, lyginant galutinės energijos suvartojimą prieš ir po konkrečių priemonių diegimo.

Taikomas metodas grindžiamas galutinės energijos sutaupymo apskaičiavimu naudojant šiuos parametrus:

- **Bazinis energijos suvartojimas** nustatomas pagal duomenų centro energijos poreikį iki modernizavimo priemonių įgyvendinimo. Paprastai jis išreiškiamas kilovatvalandėmis per metus (kWh/metus) ir priklauso nuo įdiegtos IT galios bei duomenų centro dydžio kategorijos.
- **Duomenų centrų dydžio klasifikacija**, naudojama suderinta su Komisijos deleguotuoju reglamentu (ES) 2024/1364, kuriuo nustatomas pirmasis bendros ES duomenų centrų vertinimo schemos etapas. Toks suderinimas užtikrina nuoseklumą su ES stebėsenos ir ataskaitų teikimo reikalavimais bei leidžia palyginti skirtingų tipų objektus.
- **Galios vartojimo efektyvumo rodiklis (PUE)** naudojamas įvertinti, kokia bendros objekto energijos dalis tenka IT įrangai. Šis rodiklis (be matavimo vienetų) suteikia standartizuotą būdą įvertinti, kaip efektyviai energija vartojama skaičiavimo apkrovoms duomenų centre. Idealiausiu atveju $PUE = 1$.
- Metodikoje daroma prielaida, kad **aušinimo energijos suvartojimas** sudaro apie 40 proc. ir gali siekti iki 50 proc. metinio duomenų centro energijos suvartojimo, kaip nurodyta mokslinėje literatūroje (Zhang ir kt., 2022). Atsižvelgiant į tai, apskaičiuotas metinis aušinimui tenkantis energijos suvartojimas skirtingoms duomenų centrų kategorijoms bei atitinkamos jo dalys procentais.
- Tikimasi, kad įdiegus pažangesnes aušinimo priemones, **PUE reikšmė pagerės**.
- Kiekvienai priemonei taip pat priskiriama **numatoma eksploataavimo trukmė** (metais), kuri naudojama gyvavimo ciklo ir sąnaudų – naudos analizei. Šios trukmės atitinka Europos Komisijos pasiūlymo (2019) VIII priedo reikšmes dėl priemonių gyvavimo trukmės ir sutaupymų mažėjimo laikui bėgant paslaugų sektoriuje.

Galutinės energijos sutaupymai apskaičiuojami taikant duomenų centro metinio energijos suvartojimo dalį, tenkančią aušinimui (išmatuotą arba paskaičiuotą), ir nustatant PUE skirtumą tarp bazinės ir modernizuotos priemonės.

Orientacinių skaičiavimo reikšmių duomenų šaltiniai:

Dėl didelės duomenų centrų projektavimo, veikimo modelių ir technologinių konfigūracijų įvairovės ši metodika nesiremia griežtai nustatytais reikšmėmis. Vietoje to ji grindžiama sektoriaus etaloniniais rodikliais ir empiriškai pagrįstais parametrais, gautais iš naujausių ES ir tarptautinių šaltinių. Metodikoje daroma prielaida, kad energijos sutaupymai bus vertinami remiantis išmatuotomis arba

apskaičiuotomis reikšmėmis, papildytomis tipiniais intervalais ir prielaidomis, pagrįstomis pripažintais šaltiniais.

Bazinių reikšmių PUE_{before} ir reikšmių po modernizavimo PUE_{after} nustatymas grindžiamas naujausia mokslinė literatūra, atsižvelgiant į skirtingų aušinimo technologijų ypatumus:

- CRAC/CRAH įrenginių modernizavimas į kintamo greičio sistemas: (Acton ir kt., 2024; 2023; F. Zhou ir kt., 2024; Alkrush ir kt., 2024);
- Perėjimas prie šalto vandens sistemų su oro ekonomaizeriais: (F. Zhou ir kt., 2024; Sunbird DCIM, 2024; Alkrush ir kt., 2024);
- Laisvojo aušinimo (angl. free cooling) (oro pusės, vandens pusės, TES (thermal energy storage) ir kt.) diegimas: (Zhang ir kt., 2022; Mi ir kt., 2023; F. Zhou ir kt., 2024; Alkrush ir kt., 2024);
- Aušinimo skysčiu (angl. liquid cooling) (tiesioginis aušinimas lustui arba panardinimas) diegimas: (Haghshenas ir kt., 2022; Kong ir kt., 2024; F. Zhou ir kt., 2024; Alkrush ir kt., 2024);
- Dvifazio / pasyvaus aušinimo optimizavimas (pvz., termosifoninės kilpos): (Y. Zhou ir kt., 2025; Jing ir kt., 2024; Kong ir kt., 2024);
- Šiluminės energijos kaupimo (TES, thermal energy storage) integravimas piko apkrovų mažinimui ir laisvajam vėsinimui (angl. free cooling): (Zhang ir kt., 2022; Mi ir kt., 2023).

Orientacinės PUE reikšmės gali būti koreguojamos atsižvelgiant į konkretaus duomenų centro eksploataavimo sąlygas.

Metodikoje laikoma, kad aušinimo dalis metiniame ne IRT įrangos energijos suvartojime $S_{cooling}$ svyruoja nuo 32 proc. iki 80 proc. Šios reikšmės apskaičiuotos remiantis aušinimo dalimi bendrame metiniame duomenų centrų energijos suvartojime (Zhang ir kt., 2022; Jing ir kt., 2024; Li ir kt., 2024).

Nors metodikoje pateikiami rekomenduojami reikšmių intervalai, faktiniai sutaupymai turi būti nustatomi remiantis išmatuotais arba apskaičiuotais duomenimis prieš ir po priemonės įgyvendinimo. Duomenys turi būti renkami per reprezentatyvų laikotarpį, apimantį stabilų ar tipinį IRT veikimo režimą.

2.1.2. Poveikio pirminės energijos suvartojimui skaičiavimas (EVED 4 straipsnis)

Poveikis pirminės energijos suvartojimui gali būti apskaičiuojamas pagal šią lygtį:

$$EPEC = FEC_{Baseline} \cdot f_{PE,electricity} - FEC_{Action} \cdot f_{PE,electricity}$$

EPEC	<i>Pirminės energijos suvartojimo efektas, kWh/metus</i>
FEC_{Baseline}	<i>Metinis galutinės energijos suvartojimas prieš modernizaciją, kWh/metus</i>
f_{PE,electricity}	<i>Faktorius paversti iš galutinės energijos į pirminės energijos sutaupymą elektros energijai priimamas 2,064</i>
FEC_{Action}	<i>Metinis galutinės energijos suvartojimas po modernizacijos, kWh/metus</i>

Orientacinių skaičiavimo reikšmių duomenų šaltiniai

Orientacinės reikšmės, skirtos pirminės energijos suvartojimo poveikiui įvertinti, yra pagrįstos visos ES šalių duomenimis, todėl jas būtina pritaikyti nacionaliniu lygiu.

Galutinės elektros energijos pavertimo į pirminę energiją koeficientas (2,064) nustatomas remiantis ES-27 energijos balanso duomenimis („Eurostat“, 2023 m.), įvertinant, kiek pirminės energijos reikia pagaminti vienetai galutinės elektros energijos.

2.1.3. Su priemone susijusių sąnaudų apžvalga

Pagrindinių sąnaudų apžvalga

Projektuojant ir eksploatuojant duomenų centrus ilgalaikėje perspektyvoje aušinimo technologijų sąnaudos yra esminis veiksnys, ypač didėjant serverių spintų (angl. rack) galiai ir siekiant aukštesnio energinio efektyvumo.

Bunger ir kt. (2019) tyrime, kai 2 MW galios duomenų centro vienos serverių spintos (angl. rack) galia siekė 10 kW, nustatyta, kad bendrosios investicijos (angl. CapEx), tenkančios vienam vatui, yra beveik tokios pat tiek tradicinėms oro aušinimo (angl. air cooling) sistemoms, tiek panardinamojo aušinimo (angl. immersive liquid cooling) sprendimams. Konkrečiai:

- Aušinimo oru sistema: 6,46 €/W;
- Aušinimo skysčiu sistema (10 kW/spintai): 6,42 €/W.

Nepaisant didesnių pradinių investicijų, susijusių su panardinamojo aušinimo technologija (pvz., hermetiški korpusai, dielektrinis skystis ir mikrosiurbiai), reikšmingi sutaupymai pasiekiami atsisakant tradicinių mechaninio vėsinimo komponentų, tokių kaip šaldytuvai (angl. chillers) ir CRAH. Papildomai sąnaudos mažėja dėl mažesnių UPS ir skirstymo įrangos poreikių, taip pat dėl mažesnių fizinės infrastruktūros (erdvės, izoliavimo sprendimų) reikalavimų.

Didėjant duomenų centro galiai, aušinimo skysčiu ekonominis pranašumas dar labiau išryškėja. Esant 20 kW vienai serverių spintai (angl. rack), CapEx sumažėja iki 5,83 €/W, o esant 40 kW – iki 5,54 €/W, t. y. sutaupoma iki 14 proc. lyginant su baziniu oro aušinimo scenarijumi. Šį pokytį daugiausia lemia mažesnis reikalingų serverių spintų skaičius tam pačiam skaičiavimo pajėgumui užtikrinti, todėl mažėja išlaidos serverių spintoms, izoliavimo sprendimams, grindų plotui ir susijusiai infrastruktūrai.

Toliau pateiktoje lentelėje apibendrinamos orientacinės investicijų, tenkančių vienam vatui, reikšmės skirtingoms duomenų centrų aušinimo konfigūracijoms, esant skirtingoms serverių spintų galioms. Į šias reikšmes įtraukti visi pagrindiniai sąnaudų komponentai, susiję su aušinimo infrastruktūros diegimu: mechaninės ir elektros sistemos, įrangos kainų priedai ar sutaupymai, taip pat infrastruktūros modifikacijos. Reikšmės pateiktos eurai vienam vatui (€/W) ir atspindi normalizuotas sąnaudų prielaidas, taikomas 2 MW galios duomenų centrui.

14 lentelė. Orientacinės duomenų centrų aušinimo efektyvumo didinimo sąnaudų reikšmės (be mokesčių ir fiskalinių paskatų)

Sąnaudų komponentas	Aušinimas oru(10 kW/spintai) – esama padėtis	Aušinimas skysčiu (10 kW/spintai)	Aušinimas skysčiu (20 kW/spintai)	Aušinimas skysčiu (40 kW/spintai)
Aušintuvai / CRAH	0,00 €	-0,84 €	-0,84 €	-0,84 €
Skysčio aušinimo technologija	0,00 €	0,71 €	0,65 €	0,63 €
Sausieji aušintuvai ir CRAC	0,00 €	0,29 €	0,29 €	0,29 €

Vamzdynų ir siurblių modifikacijos	0,00 €	0,03 €	-0,03 €	-0,04 €
UPS ir skirstymo įrangos sumažėjimas	0,00 €	-0,13 €	-0,13 €	-0,13 €
Erdvės, stovų ir izoliavimo sutaupymai	0,00 €	-0,09 €	-0,58 €	-0,83 €
Bendros CapEx sąnaudos vienam vatui [€2024/W]	6,46 €	6,42 €	5,83 €	5,54 €

Metodologiniai aspektai

Išlaidos (angl. **CapEx**) apima visas pradines investicijas, reikalingas duomenų centro aušinimo infrastruktūrai įdiegti. Jos apima platų sąnaudų spektrą, pradedant pačia aušinimo įranga: **oro aušinimo sistemose** – aušintuvai (angl. chillers) ir kompiuterių patalpų oro apdorojimo įrenginiai (CRAH); **aušinimo skysčių sistemose** – sausieji aušintuvai ir panardinamojo aušinimo komponentai, tokie kaip mikro–siurbliai, dielektrinis skystis, hermetiški korpusai, šilumokaičiai ir sandarios jungtys. Be to, į CapEx įtraukiamos **mechaninės ir elektros sistemos**, apimančios tokius komponentus kaip vamzdynai, vožtuvai, nepertraukiamo maitinimo šaltiniai (UPS), skirstymo įranga ir elektros kabeliai. CapEx taip pat apima **statybos ir įrengimo sąnaudas**, įskaitant pakeltas grindis, karštų ir šaltų koridorių izoliavimo sprendimus, ŠVOK (HVAC) sistemų vamzdynus bei visus konstrukcinius pakeitimus, reikalingus aušinimo sprendimui įgyvendinti. Galiausiai, įtraukiamos **projektavimo ir projektų valdymo sąnaudos**, kurios apima inžinerines paslaugas, montavimo darbus, darbų techninę priežiūrą ir bendrą projekto priežiūrą.

Orientacinių sąnaudų duomenų šaltiniai

Šioje metodikoje pateiktos orientacinės sąnaudų reikšmės pagrįstos Schneider Electric paskelbtu nagrinėto atvejo tyrimu (Bunger ir kt., 2019).

Prireikus, sąnaudų duomenys gali būti tikslinami remiantis įgyvendinimo patirtimi pagal EVED, ypač atsižvelgiant į didelių duomenų centrų stebėsenos ir ataskaitų teikimo praktiką (jei tokie duomenys yra prieinami).

2.1.4. CO₂ sutaupymų skaičiavimas

Šiltnamio efektą sukeliančių dujų sutaupymai gali būti apskaičiuojami pagal šią lygtį:

$$GHGSAV = TFES \cdot f_{GHG,electricity} \cdot 10^{-6}$$

GHGSAV	Šiltnamio efektą sukeliančių dujų sutaupymai, t CO ₂ e per metus
TFES	Metinis galutinės energijos suvartojimas, kWh per metus
f_{GHG,electricity}	Emisijos faktorius elektros energijai priimamas, 104,39 g CO ₂ /kWh

Prieš ir po priemonės įgyvendinimo galutinės energijos suvartojimo (TFES) reikšmės gali būti paimtos iš sutaupymų skaičiavimo pagal EVED 8 straipsnį, pateikto 2.1.1 skyriuje.

Elektros CO₂ emisijos koeficientas (104,39 g CO₂/kWh) nustatomas remiantis ŠESD direktyvos 2018/2066/ES VI priedu, su paskutiniais pakeitimais pagal Komisijos įgyvendinimo reglamentą (ES) 2024/2493, ir taikomas tiesioginėms emisijoms iš elektros energijos apskaičiuoti.

Orientacinių skaičiavimo reikšmių duomenų šaltiniai

Emisijos koeficientų reikšmės energijos nešėjams ($f_{GHG,ec}$) yra pateiktos ES Reglamento 2018/2066 dėl šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų stebėsenos ir ataskaitų teikimo VI priede.

Nacionalinės emisijos koeficientų reikšmės kasmet teikiamos Jungtinių Tautų bendrosios klimato kaitos konvencijos sekretariatui (UNFCCC) ir pateikiamos Bendrųjų ataskaitų formatu (CRF) 1.A(a) lentelėje. Energijos nešiklių dalys gali būti pritaikomos nacionaliniu lygmeniu remiantis Eurostat duomenų bazės Galutinio energijos balanso (angl. complete energy balances) duomenimis.

2.2. Literatūros sąrašas

1. Acton, M., Bertoldi, P., & Booth, J. (2023). 2023 Best Practice Guidelines for the EU Code of Conduct on Data Centre Energy Efficiency Version 14.1.0 (Final version). <https://jointresearch-centre.ec.europa.eu>
2. Acton, M., Bertoldi, P., & Booth, J. (2024). 2024 Best Practice Guidelines for the EU Code of Conduct on Data Centre Energy Efficiency. <https://joint-research-centre.ec.europa.eu>
3. Alkrush, A. A., Salem, M. S., Abdelrehim, O., & Hegazi, A. A. (2024). Data centers cooling: A critical review of techniques, challenges, and energy saving solutions. *International Journal of Refrigeration*, 160, 246–262. <https://doi.org/10.1016/J.IJREFRIG.2024.02.007>
4. Bungler, R., Torell, W., & Avelar, V. (2019). Capital Cost Analysis of Immersive Liquid-Cooled vs. Air-Cooled Large Data Centers: White Paper 282. https://www.se.com/ww/en/download/document/SPD_WP282_EN/
5. European Commission. (2019). COMMISSION RECOMMENDATION (EU) 2019/1658 of 25 September 2019 on transposing the energy savings obligations under the Energy Efficiency Directive. In *Official Journal of the European Union*. https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32019H1658#anx_1.app_VIII
6. Haghshenas, K., Setz, B., Bloch, Y., & Aiello, M. (2022). Enough Hot Air: The Role of Immersion Cooling. <http://arxiv.org/abs/2205.04257>
7. Jing, Y., Xie, L., Li, F., Zhan, Z., Wang, Z., Yang, F., Fan, J., Zhu, Z., Zhang, H., Zhao, C., Shi, Z., Jiang, H., Xie, X., & Jiang, Y. (2024). Field test of cooling systems in two air-cooled data centers: Various regions, air distributions and evaporative cooling technologies. *Applied Thermal Engineering*, 248, 123189. <https://doi.org/10.1016/J.APPLTHERMALENG.2024.123189>
8. Kong, R., Zhang, H., Tang, M., Zou, H., Tian, C., & Ding, T. (2024). Enhancing data center cooling efficiency and ability: A comprehensive review of direct liquid cooling technologies. In *Energy* (Vol. 308). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.132846>
9. Li, X., Wang, X., He, Z., Chen, X., & Li, Z. (2024). Combining physical laws and ANN for predicting energy consumption of data center cooling systems. *Energy and Buildings*, 311, 114170. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2024.114170>
10. Mi, R., Bai, X., Xu, X., & Ren, F. (2023). Energy performance evaluation in a data center with water-side free cooling. *Energy and Buildings*, 295. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113278>
11. Sunbird DCIM. (2024). Is PUE Still the Most Important Metric for Data Center Efficiency? <https://www.sunbirdcim.com/blog/pue-still-most-important-metric-data-centerefficiency>
12. Zhang, Y., Zhao, Y., Dai, S., Nie, B., Ma, H., Li, J., Miao, Q., Jin, Y., Tan, L., & Ding, Y. (2022). Cooling technologies for data centres and telecommunication base stations – A comprehensive review. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 334). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130280>
13. Zhou, F., Gu, W., & Ma, G. (2024). Advancements in data center cooling systems: From refrigeration to high performance cooling. In *Energy and Buildings* (Vol. 320). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114634>
14. Zhou, Y., Wang, Z., Wei, F., Li, S., Liu, J., & Yu, D. (2025). Sustainability of direct air-side free cooling data centers in China: An assessment based on operational optimization. *Applied Thermal Engineering*, 273. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2025.126462>