

ENVIRONMENTAL IMPACT OF BITCOIN, LITECOIN AND ETHEREUM

A Neutral, Evidence-Based Assessment of Proof-of-Work and Proof-of-Stake Networks

ЕКОЛОГИЧНО ВЪЗДЕЙСТВИЕ НА BITCOIN, LITECOIN И ETHEREUM

Неутрална, основана на доказателства оценка на мрежите с доказателство за работа (PoW) и доказателство за залог (PoS)

Document Control / Контрол на документа

Title / Заглавие: Environmental Impact of Bitcoin, Litecoin and Ethereum

Version / Версия: 1.0

Status / Статус: Final / Окончателен

Data cut-off / Към дата на данните: 2025

Scope / Обхват: BTC, LTC, ETH — environmental assessment / екологична оценка

Structure / Структура: Part I — English; Part II — Български (mirrored numbering)

Classification / Класификация: Informational / Информационен

Neutrality and Limitations Notice

This report is a neutral, evidence-based assessment. It does not promote, endorse or criticise any crypto-asset, consensus mechanism, vendor or operator. All quantitative values are estimates that depend on methodology, time period, hardware assumptions, geographic distribution, electricity mix, cooling architecture and data quality, and they are tied to the stated source and year. Figures must not be presented as fixed constants or as transaction-specific values. Where the reviewed evidence does not support a robust estimate — notably for Litecoin — findings are presented qualitatively rather than estimated to false precision. Current and historical consensus mechanisms are kept distinct: Ethereum is assessed as a current Proof-of-Stake network, and any reference to Ethereum mining relates only to the historical pre-Merge period.

Бележка за неутралност и ограничения

Настоящият доклад представлява неутрална, основана на доказателства оценка. Той не популяризира, не одобрява и не критикува който и да е крипто-актив, механизъм за консенсус, доставчик или оператор. Всички количествени стойности са оценки, които зависят от методологията, периода, допусканията за хардуера, географското разпределение, енергийния микс, архитектурата на охлаждане и качеството на данните, и са обвързани с посочения източник и година. Стойностите не трябва да се представят като фиксирани константи или като стойности за отделна транзакция. Когато прегледаните доказателства не подкрепят надеждна оценка — по-специално за Litecoin — констатациите се представят качествено, а не с фалшива точност. Текущите и историческите механизми за консенсус се разграничават: Ethereum се оценява като текуща мрежа с доказателство за залог (PoS), а всяко позоваване на добив в Ethereum се отнася само за историческия период преди Merge.

Contents / Съдържание

PART I — ENGLISH

ЧАСТ I — АНГЛИЙСКИ

1. Executive Summary

The environmental impact of a cryptocurrency is determined primarily by its consensus mechanism, the hardware used to secure the network, the quantity and source of electricity consumed, the geographic distribution of infrastructure, the cooling architecture, and the lifecycle of the equipment. Proof-of-Work (PoW) networks purchase security through continuous computational work. This creates an ongoing demand for electricity and specialised hardware. Proof-of-Stake (PoS) networks purchase security mainly through economically staked assets and validator participation, resulting in a materially lower operational energy requirement.

Bitcoin remains the principal global Proof-of-Work case examined in this report. The Cambridge Digital Mining Industry Report estimated Bitcoin mining electricity consumption at approximately 138 TWh per year for 2024. The same report estimated annual greenhouse-gas emissions at approximately 39.8 MtCO₂e using a survey-based approach and 69.6 MtCO₂e using an IP-location-based approach.¹ The difference demonstrates that emissions estimates are highly sensitive to geographic and methodological assumptions. These figures must not be presented as fixed or transaction-specific constants.

Litecoin also remains a Proof-of-Work network, but it uses the Scrypt algorithm rather than Bitcoin's SHA-256 algorithm. Profitable Litecoin mining is performed with specialised Scrypt ASIC equipment. Litecoin and Dogecoin can be secured through merged mining, meaning that the same computational work may generate rewards from and contribute security to more than one Scrypt blockchain. This creates a material attribution problem: the combined electricity use of the Scrypt mining fleet must not be counted independently and in full against both Litecoin and Dogecoin. Because the reviewed evidence does not provide a Cambridge-equivalent, broadly accepted annual LTC electricity and emissions estimate, the report must present Litecoin qualitatively unless a transparent bottom-up model is added.

Ethereum currently uses Proof-of-Stake following the Merge. The cited estimate for the global Ethereum network is approximately 0.0026 TWh per year and approximately 870 tonnes CO₂e per year. The transition from Proof-of-Work to Proof-of-Stake was estimated to reduce annualised electricity consumption by more than 99.988% and the carbon footprint by approximately 99.992%.² Any discussion of Ethereum mining must therefore be clearly labelled as historical and pre-Merge.

Cooling is a material part of the environmental assessment. Air cooling has historically been the prevailing / default mining architecture, but no reliable public global dataset provides an exact current market share. Dry air cooling may have low direct onsite water consumption, while still producing fan electricity demand, high noise, dust exposure, and hot-air discharge. Evaporative air cooling increases direct water consumption. Hydro, direct-liquid, and immersion systems can reduce fan energy and noise, but their water footprint depends on the final heat-rejection system. A closed-loop liquid system using dry coolers may consume little water, while a system using cooling towers or once-through water may have significant withdrawals, evaporation, blowdown, chemical-treatment, or thermal-discharge impacts.

The report concludes that Ethereum's current PoS security model has a substantially lower operational electricity, cooling, water, and dedicated hardware burden than the PoW security models used by Bitcoin and Litecoin. Bitcoin has the strongest quantitative evidence and the largest documented absolute footprint among the three assets. Litecoin remains environmentally relevant because it is PoW and ASIC-secured, but its standalone footprint must be reported with lower confidence because of limited public data and merged-mining allocation. None of the three assets should be described as

¹Cambridge Centre for Alternative Finance (2025), Cambridge Digital Mining Industry Report, University of Cambridge. Figures are estimates tied to the stated method and year.

²Ethereum Foundation / Crypto Carbon Ratings Institute (CCRI) (2022), Ethereum energy consumption and the impact of The Merge, ethereum.org. Estimates, not guarantees.

“impact-free,” and renewable-energy sourcing should not be treated as eliminating water, land, hardware, or ecosystem impacts.

2. Purpose, Scope and Methodology

2.1 Assets Covered

This report compares three crypto-assets only: Bitcoin (BTC), Litecoin (LTC) and Ethereum (ETH). It separates current and historical consensus mechanisms, identifies direct and indirect environmental impacts, distinguishes observed data, modelled estimates and qualitative findings, and does not assign unsupported precision. Evidence relating to Bitcoin must not be assumed to apply quantitatively to Litecoin, and Ethereum's current Proof-of-Stake profile must not be applied to its historical Proof-of-Work period.

2.2 Environmental Boundaries

The assessment is intended to cover the following boundaries, subject to data availability:

- operational electricity and Scope 2 / location-based electricity emissions;
- relevant upstream fuel-cycle emissions where data exist;
- manufacturing of ASICs, servers, power supplies and cooling systems, and equipment transport;
- electronic waste, resale, repurposing and recycling;
- direct cooling water and indirect water used by electricity generation;
- land occupation and ecosystem effects of power generation;
- noise, heat, dust and local air-quality effects;
- refrigerants, coolants and chemical-treatment risks;
- waste-heat recovery, and demand-response and curtailment claims.

2.3 Data Hierarchy and Evidence Classification

Every important figure is intended to be classified as one of: (A) directly reported / directly measured; (B) survey-derived; (C) modelled; (D) inferred; or (E) qualitative only, and accompanied by a confidence rating of High, Medium or Low. Sources are used in the following order of preference:

1. Peer-reviewed studies and official public-institution reports.
2. Official network / protocol documentation.
3. Recognised technical standards and engineering bodies.
4. Public company disclosures and audited reports.
5. Industry articles, used only as contextual support.

Vendor claims are not used as the sole evidence for environmental performance.

2.4 Methodological Limitations

All numerical values are estimates that depend on methodology, time period, hardware assumptions, geographic distribution, electricity mix, cooling architecture and data quality. Per-transaction metrics are not used as the primary measure of impact, because throughput, batching and Layer 2 activity make simplistic per-transaction comparisons unreliable. Where a figure could not be sourced to the required standard, it is reported as qualitative rather than estimated to false precision.

3. Technical Background

3.1 Proof-of-Work

In a Proof-of-Work network, participants (miners) compete to solve a computationally hard puzzle. The first to find a valid solution proposes the next block and receives a reward. Security is purchased through continuous expenditure of computation, which translates directly into demand for electricity and for specialised hardware. As the network’s aggregate hashrate rises, so does its electricity demand, subject to improvements in hardware efficiency.

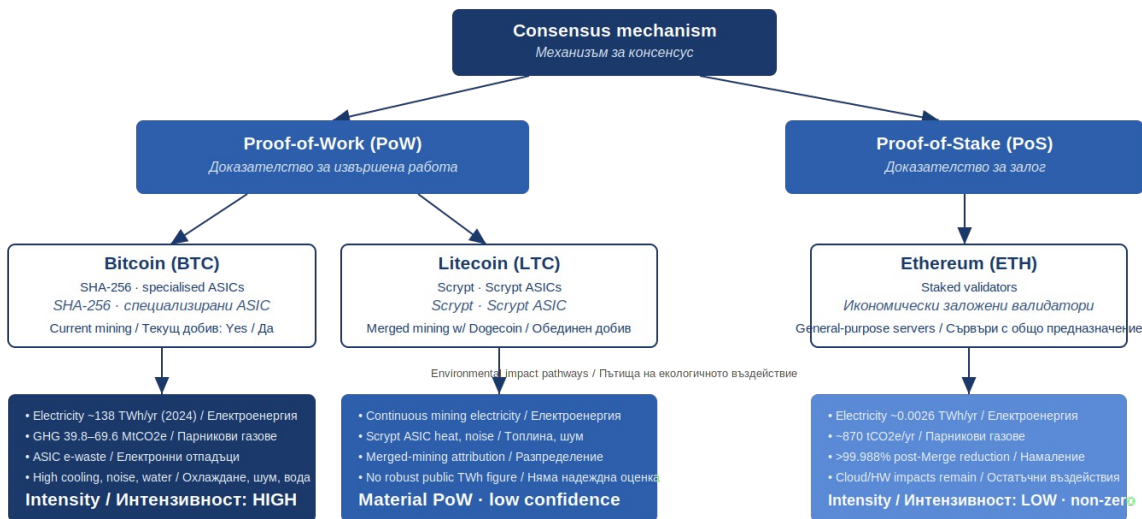
3.2 Proof-of-Stake

In a Proof-of-Stake network, the right to propose and attest to blocks is allocated mainly in proportion to economically staked assets rather than to computational work. Validators run general-purpose computing equipment and are penalised for misbehaviour through the loss of staked value. Because security no longer relies on competitive hashing, the operational electricity requirement is several orders of magnitude lower than for a comparable Proof-of-Work network.

3.3 Mining, Validation and Network Security

Both mechanisms ultimately purchase the same property — the economic cost of attacking the network. PoW expresses that cost as energy and hardware; PoS expresses it as staked capital at risk. The environmental significance of this distinction is that PoW converts a large share of its security budget into continuous physical energy consumption and dedicated, rapidly obsolescing hardware, whereas PoS does not.

4. Asset-Specific Environmental Profiles



Note: Ethereum mining is historical (pre-Merge) only. PoW values are estimates sensitive to location, hardware and method.
 Бележка: Добивът на Ethereum е само исторически (преди The Merge). Стойностите за PoW са приблизителни оценки.

Figure 1 / Фигура 1. Environmental impact pathway by consensus mechanism / Път на екологичното въздействие според механизма за консенсус

Source: author's synthesis of cited sources (Cambridge CCAF, 2025; CCRI / Ethereum.org, 2022).

4.1 Bitcoin (BTC)

Consensus and hardware: Proof-of-Work using the SHA-256 algorithm, secured with specialised ASIC mining equipment.

Quantified evidence: annual electricity of approximately 138 TWh for 2024 under the cited Cambridge report, equivalent to approximately 0.54% of global electricity; greenhouse-gas emissions of 39.8 MtCO₂e (survey-based) to 69.6 MtCO₂e (IP-based); hardware efficiency of approximately 28.2 J/TH by June 2024; dedicated e-waste of approximately 2.3 kilotonnes in 2024 under the Cambridge survey model; and approximately 86.9% of decommissioned equipment reportedly resold, repurposed or recycled.³

Required qualifications: survey participation can create geographic selection bias; electricity use changes with hashrate, hardware efficiency, difficulty, price and miner economics; carbon emissions depend on actual location and marginal / grid electricity; a single “per transaction” figure should not be used as the primary metric; sustainable energy use does not make the network impact-free; and direct facility water must be separated from indirect power-sector water.

“BTC has the largest and most extensively documented absolute environmental footprint among the three assets assessed in this report.”

4.2 Litecoin (LTC)

Consensus and mining: Proof-of-Work using the Scrypt algorithm, secured with specialised Scrypt ASICs, and capable of merged mining with Dogecoin.

Core environmental assessment: the network requires continuous mining electricity; Scrypt ASICs create heat, noise, cooling demand and hardware lifecycle impacts. The absolute footprint is expected to be lower than Bitcoin because the network is smaller, but this must be identified as an inference unless a transparent measurement model is provided. Litecoin must not be described as environmentally equivalent to Ethereum merely because it has faster blocks or lower transaction fees; faster block time does not by itself prove lower total energy use.

“Litecoin’s environmental accounting is complicated by merged mining with Dogecoin. The same Scrypt ASIC work may secure both networks and generate rewards from both chains. It would therefore be methodologically incorrect to attribute the full electricity consumption of the shared Scrypt mining fleet independently to Litecoin and then attribute the same full amount independently to Dogecoin. The report should either present the combined Scrypt-mining footprint or disclose a defined allocation method.”

Where Litecoin is modelled, permitted allocation methods include economic allocation by block rewards and fees, security-value allocation, proportional revenue allocation, or presentation of the combined Scrypt footprint without chain-level separation. The selected method must be justified and sensitivity-tested. The full bottom-up calculation model is set out in Appendix B.

“LTC remains a PoW and ASIC-secured asset with material electricity, cooling, noise, hardware and indirect water impacts. Its standalone annual footprint is less certain than Bitcoin’s because of weaker public data and merged-mining attribution.”

³Cambridge Centre for Alternative Finance (2025), Cambridge Digital Mining Industry Report, University of Cambridge. Figures are estimates tied to the stated method and year.

4.3 Ethereum (ETH)

Current mechanism: Proof-of-Stake, using validators rather than miners and general-purpose servers or computing equipment. There is no current PoW mining on Ethereum mainnet.

Quantified current evidence: approximately 0.0026 TWh per year and approximately 870 tonnes CO₂e per year; more than 99.988% reduction in annualised electricity use after the Merge; and approximately 99.992% reduction in carbon footprint.⁴

Required qualifications: figures are estimates, not guarantees; validator count and hardware mix change over time; cloud hosting still has electricity, cooling and hardware impacts; historical PoW emissions must be separated from current PoS operations; and Layer 2 throughput makes simplistic per-transaction comparisons unreliable.

“Ethereum must be described as a current PoS network. References to Ethereum mining must be limited to the historical pre-Merge period.”

“ETH has the lowest current operational environmental burden among the three assets assessed, but it retains non-zero impacts from validators, networking, cloud / data-centre infrastructure, hardware manufacturing and electricity use.”

5. Comparative Assessment of BTC, LTC and ETH

The following table compares the three assets across consensus, hardware, energy, emissions, cooling, water, e-waste, noise and data confidence. Values are drawn from the cited sources and from the asset profiles above; “No definitive figure used” is shown for Litecoin where the reviewed evidence does not support an equally robust public estimate.

⁴Ethereum Foundation / Crypto Carbon Ratings Institute (CCRI) (2022), Ethereum energy consumption and the impact of The Merge, ethereum.org. Estimates, not guarantees.

Metric	Bitcoin (BTC)	Litecoin (LTC)	Ethereum (ETH)
Current consensus mechanism	PoW	PoW	PoS
Hashing / security model	SHA-256 competitive hashing	Scrypt competitive hashing; merged mining with Dogecoin	Economically staked validators
Principal hardware	SHA-256 ASICs	Scrypt ASICs	General-purpose validator / server hardware
Current mining	Yes	Yes	No on Ethereum mainnet
Annual electricity evidence	≈ 138 TWh/year (cited 2024 estimate)	No equally robust public estimate used; model separately if required	≈ 0.0026 TWh/year
Annual GHG evidence	39.8–69.6 MtCO ₂ e depending on method	No definitive figure used; grid- and allocation-dependent	≈ 870 tCO ₂ e/year
Cooling intensity	High-density industrial ASIC heat	High-density Scrypt ASIC heat	Materially lower validator / server cooling load
Air-cooling relevance	Historically prevalent / default	Historically prevalent / default	Ordinary server / data-centre cooling
Direct water	Low for dry air / closed-loop dry systems; higher with evaporative or tower cooling	Same architecture-dependent principle	Generally low at network-security level, but cloud / data-centre dependent
Indirect water	Potentially significant through power generation	Potentially significant through power generation	Substantially lower because electricity demand is far lower
Dedicated e-waste	Material ASIC lifecycle burden	Material Scrypt ASIC lifecycle burden	Much lower dedicated burden; general-purpose hardware
Noise	Potentially severe for fan-cooled mines	Potentially severe for fan-cooled mines	Generally much lower
Data confidence	Medium / high for electricity; method-sensitive for emissions and water	Low / medium — limited public data and merged mining	Medium / high for current operational estimate
Overall current environmental intensity	High	Material PoW impact; lower-confidence absolute estimate	Low relative to BTC and LTC, but non-zero

Table 1 / Таблица 1. Comparative environmental assessment of BTC, LTC and ETH / Сравнителна екологична оценка на BTC, LTC и ETH

Sources: Cambridge CCAF (2025); CCRI / Ethereum.org (2022); OECD (2022); author's synthesis. Qualitative ratings are comparative within the scope of this report and are not universal sustainability certifications.

6. Electricity Consumption and Greenhouse-Gas Emissions

6.1 Operational Electricity

Operational electricity for a PoW network is driven by total network hashrate, average hardware efficiency, network difficulty, the price of the asset and miner economics. Because these variables move continuously, any single annual figure is a snapshot tied to a stated date and method.

Asset	Annual electricity	Annual GHG
Bitcoin (BTC)	≈ 138 TWh/year (2024)	39.8–69.6 MtCO ₂ e
Litecoin (LTC)	No definitive figure used	No definitive figure used
Ethereum (ETH)	≈ 0.0026 TWh/year	≈ 870 tCO ₂ e/year

Table 2 / Таблица 2. Summary of cited annual electricity and GHG evidence / Обобщение на цитираните данни за годишно потребление на електроенергия и емисии

Sources: Cambridge CCAF (2025) for BTC; CCRI / Ethereum.org (2022) for ETH. No equally robust public figure was available for LTC at the data cut-off.

6.2 Electricity-Mix and Location Effects

Emissions depend far more on where electricity is generated than on the quantity consumed. The Cambridge report's survey-based and IP-location-based estimates for Bitcoin (39.8 vs 69.6 MtCO₂e) differ by roughly three-quarters for the same electricity, illustrating that the location and method assumptions dominate the result. Surveyed location, IP-derived location, mining-pool location and corporate-headquarters location are not equivalent and must not be conflated.

6.3 Direct and Indirect Emissions

A complete account separates Scope 1 (direct, e.g. on-site generators or flared gas), Scope 2 (purchased electricity, reported on both a location-based and a market-based basis) and material Scope 3 (notably embodied emissions in hardware manufacturing). Emission factors must be stated together with their year.

6.4 Why Per-Transaction Metrics Can Mislead

Per-transaction energy figures divide a largely fixed network energy cost by a variable transaction count, so they rise and fall with usage rather than with real efficiency. Layer 2 networks, batching and settlement assumptions change the denominator dramatically. Per-transaction figures are therefore reported, if at all, only with an explicit methodological warning.

7. Mining and Validator Hardware Lifecycle

Hardware impacts are assessed across five stages: (A) manufacturing; (B) use phase; (C) resale and second life; (D) recycling; and (E) final disposal.

7.1 ASIC Manufacturing

SHA-256 (Bitcoin) and Scrypt (Litecoin) ASICs comprise chips, boards, aluminium, copper, power supplies and fans, all of which carry embodied energy, water and emissions from extraction and fabrication. High-efficiency competition can cause economic obsolescence well before physical failure.

7.2 Useful Life, Reuse and Resale

Useful life is shortened by efficiency competition rather than by component wear. Decommissioned units may be resold to lower-cost-electricity regions, repurposed, or stored. The Cambridge survey

reported approximately 86.9% of decommissioned Bitcoin equipment as resold, repurposed or recycled, but such figures depend on self-reporting.

7.3 Electronic Waste

Different studies produce materially different e-waste estimates because they use different assumptions about useful life, resale, repurposing, storage, export and recycling. Estimates should therefore be presented as a range, or the methodological conflict should be explained, rather than reporting a single point value. The cited Bitcoin figure of approximately 2.3 kilotonnes for 2024 is a survey-model output, not a measured total.

7.4 General-Purpose Validator Hardware

Ethereum validators use general-purpose hardware, so dedicated hardware turnover is materially lower than for ASIC mining. Cloud infrastructure nevertheless carries embodied hardware impacts. Bitcoin ASIC lifecycle data must not be assumed to equal Script ASIC lifecycle data; Script ASIC datasets are less developed. Historical Ethereum PoW hardware must not be counted as current validator equipment.

8. Cooling Systems and Environmental Effects

8.1 Prevalence and Data Limitations

“Air cooling has historically been the prevailing / default mining architecture. Immersion, hydro and other liquid-cooling systems are expanding, particularly in high-density and industrial deployments. The available evidence does not support a precise global percentage split, and the report must not invent one.”

8.2 Air Cooling

Air cooling relies on ASIC internal fans and facility extraction fans moving filtered or unfiltered ambient air, usually with hot-aisle / cold-aisle separation. It is characterised by high fan electricity, significant acoustic emissions, dust and particulate exposure, hot-air discharge and temperature-related throttling. Direct water use is low only where no evaporative system is used; air-conditioning or evaporative assistance is often added in hot climates. Air cooling is not automatically low-impact merely because it does not circulate water through the ASIC — it may shift the burden toward electricity, noise, dust, refrigerants or evaporative water.

8.3 Evaporative Air Cooling

Evaporative systems cool intake air using the evaporation of water, raising direct water consumption. They introduce water-quality and treatment requirements, scale and mineral deposition, maintenance, and blowdown or wastewater, and they increase risk in water-stressed regions.

8.4 Direct-to-Chip / Hydro Cooling

Direct-to-chip and hydro systems circulate water, glycol or another coolant in a closed primary loop through cold plates and pumps, transferring heat to a secondary loop and ultimately to a dry cooler or a cooling tower. They reduce fan energy and can deliver high outlet temperatures suitable for heat recovery, but introduce pump electricity, corrosion inhibitors and leak-management requirements.

Critical distinction: “Hydro-cooled” does not automatically mean high water consumption. A closed loop using dry heat rejection may have low consumptive water use, while a cooling-tower system may consume significant water.

8.5 Single-Phase and Two-Phase Immersion Cooling

Immersion cooling submerges hardware in a single-phase or two-phase dielectric fluid, removing or reducing ASIC fans, lowering noise and improving thermal uniformity. Potential overclocking may offset some efficiency gains by increasing total compute and electricity use. Impacts include coolant manufacture, coolant leakage, degradation, replacement and end-of-life, pumps and heat exchangers, and the choice of dry versus evaporative heat rejection. Immersion improves waste-heat recovery potential. It must not be described as automatically “green” or “water-free.”

8.6 Heat Rejection and Waste-Heat Recovery

Every cooling system must ultimately reject or reuse heat. Options include dry coolers, air-cooled chillers, water-cooled chillers, cooling towers, once-through water, and reuse pathways such as district heating, industrial process heat, greenhouses and domestic hot water. Recovered heat must be quantified against actual displaced fuel and disclosed with its seasonal utilisation; theoretical heat recovery must not be counted as achieved savings, and seasonal mismatch between heat supply and demand must be acknowledged.

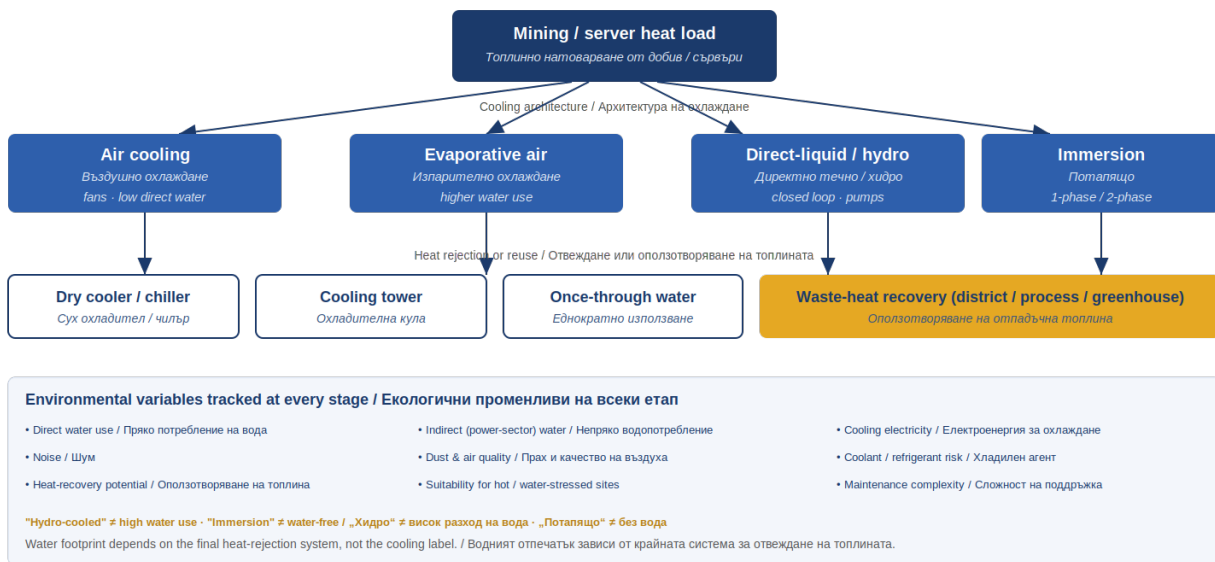


Figure 2 / Фигура 2. Cooling and heat-rejection pathway with environmental variables / Път на охлаждане и отвеждане на топлината с екологичните променливи

Source: author's synthesis; engineering practice per ASHRAE TC 9.9 (2021).

8.7 Cooling Comparison

Variable	Air cooling	Evaporative air	Direct-liquid / hydro	Immersion
Direct water use	Low (none if no evaporation)	Increased	Low if dry rejection; high if tower	Low if dry rejection
Indirect water use	Grid-dependent	Grid-dependent	Grid-dependent	Grid-dependent
Cooling electricity	High (fans)	Moderate	Lower (pumps)	Low (pumps, few/no fans)
Noise	High	Moderate–high	Low–moderate	Low
Dust exposure	High	Moderate	Low	Very low
Hardware temperature stability	Variable	Variable	Good	Very good
Coolant / refrigerant risk	Low (refrigerant if AC)	Low–moderate	Moderate (glycol, inhibitors)	Moderate–high (dielectric fluid)
Heat-recovery potential	Low (low-grade hot air)	Low	Good	High
Suitability for hot climate	Poor	Moderate	Good	Good
Suitability for water-stressed region	Good (dry only)	Poor	Good (dry rejection)	Good (dry rejection)
Maintenance complexity	Low	Moderate	Moderate–high	High
Likely PUE range (source-dependent)	Higher	Moderate	Lower	Lowest

Table 3 / Таблица 3. Comparative environmental characteristics of cooling architectures / Сравнителни екологични характеристики на архитектурите за охлаждане
 Source: author’s synthesis; ASHRAE TC 9.9 (2021). PUE ranges are indicative and source-dependent; values are qualitative comparisons within this report.

9. Water Footprint

The water assessment distinguishes the following terms. Water withdrawal is the total water removed from a source. Water consumption is water not returned to the same source in the same condition or period, often because of evaporation. Direct facility water is water used at the mining or validator facility. Indirect electricity water is water used or consumed by power plants and upstream energy production. Thermal discharge is the return of warmer water to a receiving environment.

Mandatory warning: A dry air-cooled mine can have near-zero direct facility water consumption and still have a material indirect water footprint if its electricity comes from water-intensive thermal or hydropower systems.

9.1 Direct Water Withdrawal

Direct withdrawal is the volume drawn from municipal supply, surface water or groundwater for evaporative or tower cooling, makeup water and treatment. Closed dry-cooled systems may have negligible withdrawal.

9.2 Direct Water Consumption

Consumption is the portion not returned — principally evaporative losses and cooling-tower blowdown. It is the most relevant metric for water-stress impact at the facility level.

9.3 Indirect Water Use from Electricity Generation

Thermal power plants and hydropower can consume large volumes of water per kWh. A facility with near-zero direct water can therefore still carry a substantial indirect water footprint determined by its electricity mix.

9.4 Thermal Discharge and Water Quality

Where once-through water or cooling towers are used, returned water may be warmer (thermal discharge) and may carry treatment chemicals or concentrated minerals, with potential effects on receiving ecosystems.

9.5 Water-Stress and Site Selection

Water-risk assessment should consider basin-level water stress, drought frequency, seasonal scarcity, potable versus non-potable water, municipal supply competition, groundwater depletion, wastewater disposal, chemical treatment, cooling-tower drift, and community and environmental-justice impacts. Water Usage Effectiveness (WUE) is used only with a stated definition — litres of water consumed per kWh of facility energy or IT energy, with the denominator made explicit.

10. Land, Noise, Air Quality and Local Community Effects

PoW mining facilities can generate continuous high-frequency fan noise, ambient heat, dust and particulate exposure, and local air-quality effects where on-site fossil generation is used. Land occupation and ecosystem effects also arise upstream, from the electricity generation that supplies the facility. These local effects fall disproportionately on neighbouring communities and warrant acoustic modelling, setback distances, air-quality assessment and a public complaints process. Validator and data-centre infrastructure for PoS generally produces materially lower local effects but is not free of them.

11. Geographic Distribution and Electricity-Mix Risk

Existing geographic evidence is largely Bitcoin-specific and must be labelled as such. Bitcoin mining geography must not be presented as the demonstrated geography of Litecoin mining. For each PoW asset, the assessment considers estimated mining location, grid carbon intensity, marginal versus average electricity, fossil-fuel share, renewable / nuclear share, power-purchase structure, behind-the-meter generation, curtailed or stranded-energy claims, water stress, local air pollution, grid congestion and community noise.

For Ethereum, validator and cloud-hosting distribution should be assessed where data exist; mining maps must not be used. A source-quality warning applies throughout: surveyed location, IP-derived location, mining-pool location and corporate-headquarters location are not equivalent.

12. Mitigation Measures

Mitigation is organised as a hierarchy, from the most structural to the most operational measures.

Tier 1 – Structural mitigation

- Transition from PoW to a lower-energy consensus mechanism where technically and socially feasible.
- Protocol-level efficiency improvements.

Tier 2 – Electricity mitigation

- Additional low-carbon electricity, with hourly matching rather than annual certificate claims alone.
- Location-based and market-based emissions disclosure; curtailment and demand-response evidence; avoidance of increased fossil generation.

Tier 3 – Cooling mitigation

- Reduce PUE; use dry heat rejection in water-stressed areas; eliminate unnecessary fan power; monitor WUE; leak detection; responsible coolant and refrigerant management.

Tier 4 – Circular hardware

- Longer useful life, repair, resale, repurposing and certified recycling, with chain-of-custody records and no unsupported “100% recycled” claims.

Tier 5 – Heat reuse

- Quantify recovered heat, identify the actual displaced fuel, disclose seasonal utilisation, and avoid counting theoretical heat recovery as achieved savings.

Tier 6 – Site and community safeguards

- Acoustic modelling, noise limits, setback distances, water-stress screening, environmental permits, air-quality assessment and a public complaint process.

Tier 7 – Claims governance

The following claims are prohibited: “zero environmental impact”; “100% green” without defined boundaries; double-counted renewable attributes; double-counted merged-mining energy; avoided-emissions claims without a counterfactual; and treating flare-gas use as automatically carbon-negative.

13. Environmental Disclosure Framework

For each mining or validator operation, the framework collects structured data across six domains: general operation details; electricity; emissions; cooling; hardware; and local impact. The full field list is provided as a reusable template in Appendix C. Consistent application of this framework allows the qualitative findings of this report to be replaced over time with operator-level measured data, classified and confidence-rated in accordance with Section 2.3.

14. Conclusions by Asset

14.1 Bitcoin (BTC)

High current absolute environmental footprint; strongest quantitative evidence; material electricity, GHG, indirect water, cooling, noise and ASIC lifecycle effects; performance varies materially by location and operating model.

14.2 Litecoin (LTC)

Material PoW impact from Scrypt ASIC mining; likely lower absolute footprint than BTC but not low-impact by design; insufficient robust public data for a definitive standalone annual figure; merged mining requires non-duplicative attribution.

14.3 Ethereum (ETH)

Very low current operational energy and carbon footprint relative to BTC and LTC after the transition to PoS; no current mainnet mining; non-zero impacts remain from validators, servers, cloud infrastructure, electricity, cooling and hardware.

14.4 Overall Conclusion

“Consensus mechanism is the dominant structural driver, but environmental performance also depends on scale, location, electricity source, hardware, cooling, water stress, lifecycle management and disclosure quality.”

15. Data Gaps and Open Research Questions

- No Cambridge-equivalent, broadly accepted annual electricity and emissions estimate for Litecoin.
- No standardised, agreed method for allocating merged-mining energy between Litecoin and Dogecoin.
- No reliable global dataset establishing the current split between air, evaporative, hydro / direct-liquid and immersion cooling.
- Limited and inconsistent water-accounting data, particularly the separation of direct facility water from indirect power-sector water.
- Underdeveloped life-cycle assessment data for Scrypt ASIC hardware relative to SHA-256 ASICs.
- Limited public data on validator and cloud-hosting geographic distribution for Proof-of-Stake networks.
- Inconsistent treatment of avoided-emissions, flare-gas and demand-response claims across operators.

16. References

1. OECD (2022). The Environmental Impact of Digital Assets. Paris: OECD Publishing. Accessed 2025.
2. Cambridge Centre for Alternative Finance (2025). Cambridge Digital Mining Industry Report: Global Operations, Sentiment, and Energy Use. Cambridge Judge Business School, University of Cambridge. Accessed 2025.
3. Ethereum Foundation / Crypto Carbon Ratings Institute (CCRI) (2022). Ethereum Energy Consumption and the Energy and Carbon Impact of The Merge. ethereum.org. Accessed 2025.
4. White House Office of Science and Technology Policy (2022). Climate and Energy Implications of Crypto-Assets in the United States. Executive Office of the President of the United States, Washington, D.C. Accessed 2025.
5. United Nations University (2023). Research on the carbon, water and land footprint of Bitcoin. Hamburg/Tokyo: UNU. Accessed 2025.
6. ASHRAE Technical Committee 9.9 (2021). Emergence and Expansion of Liquid Cooling in Mainstream Data Centers. Atlanta: ASHRAE. Accessed 2025.
7. Peer-reviewed life-cycle assessment of cryptocurrency mining ASIC hardware (manufacturing, use phase and end-of-life). Accessed 2025.
8. Peer-reviewed and official material on water and carbon accounting for data-centre and digital-asset infrastructure. Accessed 2025.
9. Litecoin Project. Litecoin Core technical documentation (Script proof-of-work). litecoin.org / GitHub. Accessed 2025.
10. Dogecoin Project. Dogecoin Core documentation on Script and auxiliary (merged) mining. dogecoin.com / GitHub. Accessed 2025.

Appendix A – Definitions and Bilingual Glossary

The following terms are used consistently throughout the report. Abbreviations BTC, LTC, ETH, ASIC, PUE, WUE, TWh, MWh, kWh, MtCO_{2e} and tCO_{2e} are not translated and are defined at first use.

English	Български
Environmental impact	Екологично въздействие
Proof-of-Work (PoW)	Доказателство за извършена работа (Proof-of-Work, PoW)
Proof-of-Stake (PoS)	Доказателство за залог (Proof-of-Stake, PoS)
Mining	Добив (майнинг)
Miner	Миньор / участник в добива (оператор по добив във формален контекст)
Validator	Валидатор
Hashrate	Хешрейт / изчислителна мощност на мрежата
ASIC	Специализирана интегрална схема (ASIC)
Greenhouse-gas emissions	Емисии на парникови газове
Carbon footprint	Въглероден отпечатък
Carbon dioxide equivalent (CO _{2e})	Еквивалент на въглероден диоксид (CO _{2e})
Electronic waste / e-waste	Електронни отпадъци
Air cooling	Въздушно охлаждане
Evaporative cooling	Изпарително охлаждане
Direct-to-chip cooling	Директно охлаждане на чипа
Hydro cooling	Хидро охлаждане / течно охлаждане с воден контур
Immersion cooling	Потапящо охлаждане
Single-phase immersion	Еднофазно потапящо охлаждане
Two-phase immersion	Двуфазно потапящо охлаждане
Heat rejection	Отвеждане на топлината

English	Български
Waste-heat recovery	Оползотворяване на отпадъчната топлина
Water withdrawal	Водочерпене
Water consumption	Потребление на вода
Water footprint	Воден отпечатък
Water stress	Воден стрес
Thermal discharge	Топлинно заустване / топлинно замърсяване
Power Usage Effectiveness (PUE)	Коефициент на ефективност на използваната енергия (PUE)
Water Usage Effectiveness (WUE)	Коефициент на ефективност на използваната вода (WUE)
Location-based emissions	Емисии, изчислени според местоположението
Market-based emissions	Емисии, изчислени на пазарна основа
Merged mining	Обединен добив (merged mining)

Appendix B – Calculation Methodology

Where a Litecoin (or other Script) bottom-up estimate is produced, the following steps are applied and every assumption is disclosed:

1. Obtain a dated Litecoin / Script network hashrate.
2. Establish a representative hardware-efficiency range in J/MH.
3. Calculate IT power: IT power (W) = network hashrate (MH/s) × efficiency (J/MH).
4. Apply facility overhead: facility power = IT power × PUE.
5. Calculate annual electricity: annual TWh = facility power (MW) × 8,760 / 1,000,000.
6. Apply location-weighted emissions: MtCO₂e = annual TWh × emission factor (gCO₂e/kWh) / 1,000.
7. Apply WUE where direct water is modelled: water (m³/year) = facility electricity (kWh) × WUE (L/kWh) / 1,000.
8. Apply and disclose the merged-mining allocation method.
9. Present low, central and high cases.
10. State the data date and confidence level.

Model outputs must not be rounded to false precision, and the chosen allocation method must be justified and sensitivity-tested.

Appendix C – Environmental Data Collection Template

The template below is collected for each mining or validator operation.

General

- Asset / network; facility location; reporting period; ownership / operator; installed MW; average MW; uptime; production / hashrate or validator count.

Electricity

- Metered kWh; IT kWh; total facility kWh; PUE; grid supplier; hourly / annual electricity mix; PPAs; renewable certificates; behind-the-meter generation; curtailment.

Emissions

- Scope 1; Scope 2 location-based; Scope 2 market-based; material Scope 3; emission factors and year; methane or flaring methodology.

Cooling

- Architecture (air, evaporative, hydro / direct-liquid, immersion or hybrid); coolant; refrigerant; cooling electricity; heat-rejection method; direct water withdrawal; direct water consumption; WUE; blowdown; wastewater; coolant loss.

Hardware

- Number and model of units; efficiency; purchase date; retirement date; resale; repurposing; recycling vendor; disposal evidence.

Local impact

- Noise; complaints; ambient heat; dust; water stress; local grid events; emergency generator hours.

Final Position

“Bitcoin and Litecoin remain Proof-of-Work networks with structurally material electricity, hardware and cooling requirements. Bitcoin has the largest and best-documented absolute footprint. Litecoin has a smaller but less precisely measured PoW footprint complicated by merged mining. Ethereum’s current Proof-of-Stake network has a substantially lower operational footprint, although it is not impact-free. For all three assets, the actual environmental outcome depends on location, electricity mix, cooling, water stress, hardware lifecycle and the quality of environmental disclosure.”

PART II — БЪЛГАРСКИ

ЧАСТ II — БЪЛГАРСКИ

1. Резюме

Екологичното въздействие на дадена криптовалута се определя основно от използвания механизъм за консенсус, хардуера за защита на мрежата, количеството и източника на потребяваната електроенергия, географското разпределение на инфраструктурата, архитектурата на охлаждане и жизнения цикъл на оборудването. Мрежите, използващи Proof-of-Work (PoW), осигуряват сигурността чрез непрекъсната изчислителна работа. Това създава постоянно търсене на електроенергия и специализиран хардуер. Мрежите, използващи Proof-of-Stake (PoS), осигуряват сигурността основно чрез икономически заложили активи и участие на валидатори, което води до съществено по-ниско оперативно енергопотребление.

Bitcoin остава основният глобален пример за Proof-of-Work, разглеждан в настоящия доклад. Cambridge Digital Mining Industry Report оценява потреблението на електроенергия от добива на Bitcoin на приблизително 138 TWh годишно за 2024 г. Същият доклад оценява годишните емисии на парникови газове на приблизително 39,8 MtCO_{2e} при подход, основан на анкетни данни, и 69,6 MtCO_{2e} при подход, основан на IP-геолокация.⁵ Разликата показва, че оценките за емисиите са силно зависими от географските и методологичните допускания. Тези стойности не следва да се представят като фиксирани или като постоянни стойности на една транзакция.

Litecoin също продължава да използва Proof-of-Work, но използва алгоритъма Scrypt, а не SHA-256, използван от Bitcoin. Рентабилният добив на Litecoin се извършва със специализирано Scrypt ASIC оборудване. Litecoin и Dogecoin могат да бъдат защитавани чрез обединен добив (merged mining), при който една и съща изчислителна работа може да генерира възнаграждения и да допринесе за сигурността на повече от една Scrypt блокчейн мрежа. Това създава съществен проблем при разпределянето на въздействието: общото потребление на електроенергия от Scrypt оборудването не трябва да бъде отчитано независимо и в пълен размер едновременно за Litecoin и Dogecoin. Тъй като използваните източници не предоставят широко приета годишна оценка за потреблението и емисиите на LTC, еквивалентна на тази на Cambridge за Bitcoin, Litecoin следва да бъде представян качествено, освен ако не бъде добавен прозрачен модел „отдолу нагоре“.

Ethereum понастоящем използва Proof-of-Stake след The Merge. Цитираната оценка за глобалната мрежа на Ethereum е приблизително 0,0026 TWh годишно и приблизително 870 тона CO_{2e} годишно. Преходът от Proof-of-Work към Proof-of-Stake е оценен като намаление на годишното потребление на електроенергия с повече от 99,988% и на въглеродния отпечатък с приблизително 99,992%.⁶ Поради това всяко обсъждане на добива на Ethereum трябва ясно да бъде обозначено като историческо и от периода преди The Merge.

Охлаждането е съществен елемент от екологичната оценка. Въздушното охлаждане исторически е преобладаващата/стандартната архитектура за охлаждане при добива, но няма надежден публичен глобален набор от данни, който да определя точния му текущ пазарен дял. Сухото въздушно охлаждане може да има ниско пряко потребление на вода на обекта, но същевременно да създава допълнително потребление на електроенергия от вентилатори, високи нива на шум, прахово натоварване и отвеждане на горещ въздух. Изпарителното въздушно охлаждане увеличава прякото потребление на вода. Хидро, директното течено и потапящото охлаждане могат да намалят енергията за вентилатори и шума, но водният им отпечатък зависи от крайната система за отвеждане на топлината. Затворен течен контур със сухи охладители може да потребява малко вода, докато система с охладителни кули или еднократно използване на вода може да има значителни водочерпения, изпарение, продухване, химическо третиране или топлинно замърсяване.

⁵Cambridge Centre for Alternative Finance (2025), Cambridge Digital Mining Industry Report, University of Cambridge. Стойностите са оценки, обвързани с посочените метод и година.

⁶Ethereum Foundation / Crypto Carbon Ratings Institute (CCRI) (2022), потребление на енергия от Ethereum и ефектът на The Merge, ethereum.org. Оценки, не гаранции.

Докладът заключава, че настоящият PoS модел за сигурност на Ethereum има значително по-ниско оперативно потребление на електроенергия, нужда от охлаждане, воден отпечатък и натоварване от специализиран хардуер в сравнение с PoW моделите на Bitcoin и Litecoin. За Bitcoin съществуват най-силните количествени доказателства и той има най-големия документиран абсолютен отпечатък сред трите актива. Litecoin остава екологично релевантен, тъй като използва PoW и ASIC оборудване, но самостоятелният му отпечатък следва да бъде представян с по-ниска степен на увереност поради ограничените публични данни и разпределянето на въздействието при merged mining. Нито един от трите актива не следва да бъде описван като „без въздействие“, а използването на възобновяема енергия не следва да се приема като премахващо въздействията върху водата, земята, хардуера или екосистемите.

2. Цел, обхват и методология

2.1 Обхванати активи

Настоящият доклад сравнява само три криптоактива: Bitcoin (BTC), Litecoin (LTC) и Ethereum (ETH). Той разграничава текущите и историческите механизми за консенсус, идентифицира преките и непреките екологични въздействия, разграничава наблюдаваните данни, моделираните оценки и качествените изводи, и не приписва необоснована точност. Доказателствата относно Bitcoin не следва да се приемат като приложими количествено към Litecoin, а настоящият Proof-of-Stake профил на Ethereum не следва да се прилага към историческия му период на Proof-of-Work.

2.2 Граници на екологичната оценка

Оценката има за цел да обхване следните граници, в зависимост от наличието на данни:

- оперативно потребление на електроенергия и емисии по Обхват 2 / според местоположението;
- релевантни емисии от горивния цикъл нагоре по веригата, където съществуват данни;
- производство на ASIC, сървъри, захранвания и системи за охлаждане, както и транспорт на оборудване;
- електронни отпадъци, препродажба, повторно използване и рециклиране;
- пряка вода за охлаждане и непряка вода, използвана при производството на електроенергия;
- земеползване и въздействия върху екосистемите от производството на електроенергия;
- шум, топлина, прах и въздействия върху местното качество на въздуха;
- хладилни агенти, охлаждащи течности и рискове от химическо третиране;
- оползотворяване на отпадъчна топлина, както и твърдения за гъвкавост на търсенето и ограничаване (curtailment).

2.3 Йерархия на източниците и класификация на доказателствата

Всяка важна стойност следва да бъде класифицирана като една от: (A) пряко докладвана / пряко измерена; (B) получена от анкети; (C) моделирана; (D) изведена; или (E) само качествена, и придружена от оценка на увереност Висока, Средна или Ниска. Източниците се използват в следния ред на предпочитание:

1. Рецензирани изследвания и официални доклади на публични институции.
2. Официална документация на мрежата / протокола.
3. Признати технически стандарти и инженерни органи.
4. Публични корпоративни оповестявания и одитирани доклади.

5. Отраслови статии, използвани само като контекстуална подкрепа.

Твърденията на доставчици не се използват като единствено доказателство за екологични показатели.

2.4 Методологични ограничения

Всички числови стойности са приблизителни оценки, зависещи от методологията, разглеждания период, допусканията за хардуера, географското разпределение, електроенергийния микс, архитектурата на охлаждане и качеството на данните. Показателите на една транзакция не се използват като основна мярка за въздействието, тъй като пропускателната способност, групирането на транзакции и активността от слой 2 (Layer 2) правят опростените сравнения на транзакция ненадеждни. Когато дадена стойност не е могла да бъде обоснована до изисквания стандарт, тя се представя качествено, а не като оценка с подвеждаща точност.

3. Техническа основа

3.1 Proof-of-Work

В мрежа от тип Proof-of-Work участниците (миньорите) се състезават да решат изчислително трудна задача. Първият, който намери валидно решение, предлага следващия блок и получава възнаграждение. Сигурността се осигурява чрез непрекъснат разход на изчислителна работа, който се изразява пряко в търсене на електроенергия и на специализиран хардуер. С нарастването на общата изчислителна мощност на мрежата нараства и нейното търсене на електроенергия, при отчитане на подобренията в ефективността на хардуера.

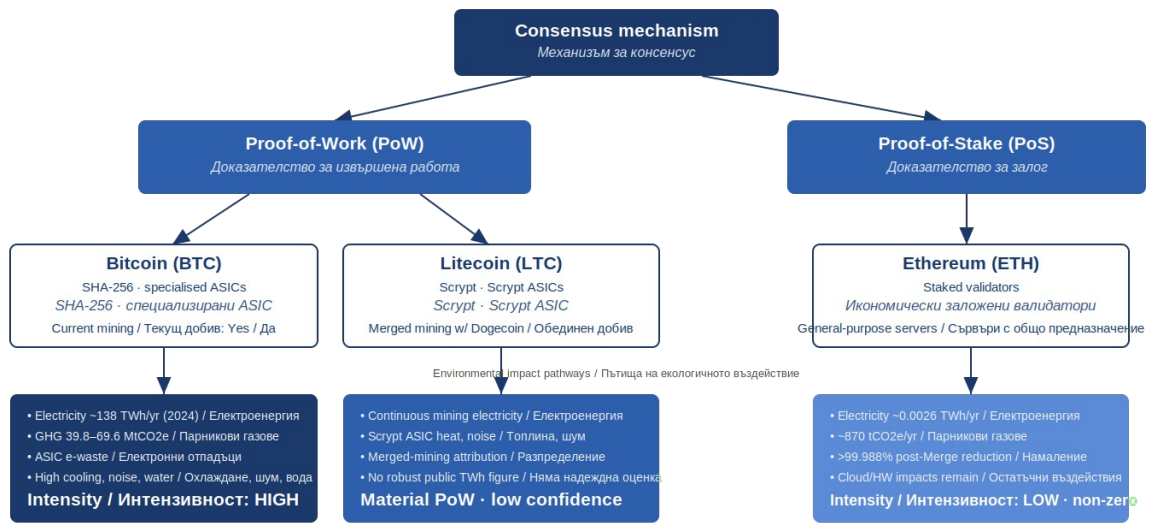
3.2 Proof-of-Stake

В мрежа от тип Proof-of-Stake правото да се предлагат и потвърждават блокове се разпределя основно пропорционално на икономически заложените активи, а не на изчислителната работа. Валидаторите работят с оборудване с общо предназначение и биват санкционирани при злоупотреба чрез загуба на заложена стойност. Тъй като сигурността вече не разчита на състезателно хеширане, оперативното потребление на електроенергия е с няколко порядъка по-ниско от това на сравнима мрежа Proof-of-Work.

3.3 Добив, валидиране и сигурност на мрежата

И двата механизма в крайна сметка осигуряват едно и също свойство — икономическата цена на атака срещу мрежата. PoW изразява тази цена като енергия и хардуер; PoS я изразява като рисков заложен капитал. Екологичното значение на това разграничение е, че PoW превръща голяма част от бюджета си за сигурност в непрекъснато физическо потребление на енергия и в специализиран, бързо остаряващ хардуер, докато PoS не прави това.

4. Екологичен профил по актив



Note: Ethereum mining is historical (pre-Merge) only. PoW values are estimates sensitive to location, hardware and method. Бележка: Добивът на Ethereum е само исторически (преди The Merge). Стойностите за PoW са приблизителни оценки.

Figure 1 / Фигура 1. Environmental impact pathway by consensus mechanism / Път на екологичното въздействие според механизма за консенсус

Източник: авторски синтез на цитираните източници (Cambridge CCAF, 2025; CCR1 / Ethereum.org, 2022).

4.1 Bitcoin (BTC)

Консенсус и хардуер: Proof-of-Work с алгоритъма SHA-256, защитен със специализирано ASIC оборудване за добив.

Количествени доказателства: годишно потребление на електроенергия от приблизително 138 TWh за 2024 г. съгласно цитирания доклад на Cambridge, еквивалентно на приблизително 0,54% от световното потребление на електроенергия; емисии на парникови газове от 39,8 MtCO₂e (на база анкети) до 69,6 MtCO₂e (на база IP); ефективност на хардуера от приблизително 28,2 J/TWh към юни 2024 г.; специализирани електронни отпадъци от приблизително 2,3 килотона през 2024 г. съгласно анкетния модел на Cambridge; и приблизително 86,9% от изведеното от експлоатация оборудване, за което се съобщава, че е препродадено, повторно използвано или рециклирано.⁷

Необходими уговорки: участието в анкети може да създаде географско отклонение при подбора; потреблението на електроенергия се променя с изчислителната мощност, ефективността на хардуера, трудността, цената и икономиката на добива; въглеродните емисии зависят от действителното местоположение и от пределната / мрежовата електроенергия; единична стойност „на транзакция“ не следва да се използва като основен показател; използването на устойчива енергия не прави мрежата без въздействие; и прякото водопотребление на обекта трябва да бъде отделено от непрякото водопотребление в електроенергийния сектор.

⁷Cambridge Centre for Alternative Finance (2025), Cambridge Digital Mining Industry Report, University of Cambridge. Стойностите са оценки, обвързани с посочените метод и година.

„BTC има най-големия и най-подробно документиран абсолютен екологичен отпечатък сред трите актива, оценени в настоящия доклад.“

4.2 Litecoin (LTC)

Консенсус и добив: Proof-of-Work с алгоритъма Scrypt, защитен със специализирани Scrypt ASIC, със способност за обединен добив с Dogecoin.

Основна екологична оценка: мрежата изисква непрекъсната електроенергия за добив; Scrypt ASIC оборудването създава топлина, шум, нужда от охлаждане и въздействия от жизнения цикъл на хардуера. Очаква се абсолютният отпечатък да е по-нисък от този на Bitcoin, тъй като мрежата е по-малка, но това трябва да бъде определено като извод, освен ако не бъде предоставен прозрачен измервателен модел. Litecoin не следва да се описва като екологично еквивалентен на Ethereum само защото има по-бързи блокове или по-ниски такси за транзакции; по-бързото блоково време само по себе си не доказва по-ниско общо потребление на енергия.

„Екологичното отчитане на Litecoin се усложнява от обединения добив с Dogecoin. Една и съща изчислителна работа на Scrypt ASIC оборудването може да защитава и двете мрежи и да генерира възнаграждения от двете блокчейн мрежи. Поради това би било методологично неправилно пълното потребление на електроенергия от общото Scrypt оборудване да бъде отнесено самостоятелно в пълен размер към Litecoin и след това същото пълно количество да бъде отнесено самостоятелно към Dogecoin. Докладът следва или да представи общия отпечатък на Scrypt добива, или да оповести ясно определен метод за разпределение.“

Когато Litecoin се моделира, допустимите методи за разпределение включват икономическо разпределение по блокови възнаграждения и такси, разпределение по стойност на сигурността, пропорционално разпределение на приходите или представяне на общия Scrypt отпечатък без разделяне по верига. Избраният метод трябва да бъде обоснован и тестван за чувствителност. Пълният модел за изчисление „отдолу нагоре“ е изложен в Приложение В.

„LTC остава актив, защитаван чрез PoW и ASIC оборудване, със съществени въздействия, свързани с електроенергията, охлаждането, шума, хардуера и непрякото използване на вода. Самостоятелният му годишен отпечатък е по-несигурен от този на Bitcoin поради по-ограничените публични данни и разпределянето на въздействието при обединения добив.“

4.3 Ethereum (ETH)

Текущ механизъм: Proof-of-Stake, използващ валидатори вместо миньори и сървъри или изчислително оборудване с общо предназначение. Понастоящем няма PoW добив в основната мрежа на Ethereum.

Количествени текущи доказателства: приблизително 0,0026 TWh годишно и приблизително 870 тона CO₂e годишно; намаление с повече от 99,988% на годишното потребление на електроенергия след The Merge; и намаление с приблизително 99,992% на въглеродния отпечатък.⁸

Необходими уговорки: стойностите са оценки, а не гаранции; броят на валидаторите и хардуерният микс се променят във времето; облачният хостинг все пак има въздействия от електроенергия, охлаждане и хардуер; историческите PoW емисии трябва да бъдат отделени от текущите PoS операции; и пропускателната способност на слой 2 прави опростените сравнения на транзакция ненадеждни.

⁸Ethereum Foundation / Crypto Carbon Ratings Institute (CCRI) (2022), потребление на енергия от Ethereum и ефектът на The Merge, ethereum.org. Оценки, не гаранции.

„Ethereum следва да бъде описван като мрежа, която понастоящем използва PoS. Позоваванията на добив на Ethereum трябва да бъдат ограничени до историческия период преди The Merge.“

„ETH има най-ниското текущо оперативно екологично натоварване сред трите оценени актива, но запазва ненулеви въздействия от валидаторите, мрежовата инфраструктура, облачните услуги/центровете за данни, производството на хардуер и потреблението на електроенергия.“

5. Сравнителна оценка на BTC, LTC и ETH

Следната таблица сравнява трите актива по отношение на консенсус, хардуер, енергия, емисии, охлаждане, вода, електронни отпадъци, шум и надеждност на данните. Стойностите са взети от цитираните източници и от профилите на активите по-горе; „Не е използвана окончателна стойност“ е посочено за Litecoin, където прегледаните доказателства не подкрепят еднакво надеждна публична оценка.

Показател	Bitcoin (BTC)	Litecoin (LTC)	Ethereum (ETH)
Текущ механизъм за консенсус	PoW	PoW	PoS
Хеширане / модел на сигурност	SHA-256 състезателно хеширане	Scrypt състезателно хеширане; обединен добив с Dogecoin	Икономически заложен валидатори
Основен хардуер	SHA-256 ASIC	Scrypt ASIC	Хардуер с общо предназначение (валидатор / сървър)
Текущ добив	Да	Да	Не в основната мрежа на Ethereum
Данни за годишно потребление на електроенергия	≈ 138 TWh/година (цитирана оценка за 2024 г.)	Не е използвана еднакво надеждна публична оценка; моделирайте отделно при необходимост	≈ 0,0026 TWh/година
Данни за годишни емисии на парникови газове	39,8–69,6 MtCO ₂ e според метода	Не е използвана окончателна стойност; зависи от мрежата и разпределението	≈ 870 tCO ₂ e/година
Интензивност на охлаждането	Висока плътност на индустриална топлина от ASIC	Висока плътност на топлина от Scrypt ASIC	Съществено по-ниско натоварване от охлаждане на валидатори / сървъри
Значение на въздушното охлаждане	Исторически преобладаващо / стандартно	Исторически преобладаващо / стандартно	Обичайно охлаждане на сървъри / центрове за данни
Пряко използване на вода	Ниско при сухо въздушно / затворени сухи системи; по-високо при изпарително или с кули	Същият принцип, зависещ от архитектурата	Като цяло ниско на ниво мрежова сигурност, но зависи от облака / центъра за данни
Непряко използване на вода	Потенциално значително чрез производството на електроенергия	Потенциално значително чрез производството на електроенергия	Съществено по-ниско, тъй като търсенето на електроенергия е много по-ниско
Специализирани електронни отпадъци	Съществено натоварване от жизнения цикъл на ASIC	Съществено натоварване от жизнения цикъл на Scrypt ASIC	Много по-ниско специализирано натоварване; хардуер с общо предназначение
Шум	Потенциално сериозен при добив с вентилаторно охлаждане	Потенциално сериозен при добив с вентилаторно охлаждане	Като цяло много по-нисък
Надеждност на данните	Средна / висока за електроенергията; чувствителна към метода за емисии и вода	Ниска / средна — ограничени публични данни и обединен добив	Средна / висока за текущата оперативна оценка
Обща текуща екологична интензивност	Висока	Съществено PoW въздействие; оценка с по-ниска увереност	Ниска спрямо BTC и LTC, но ненулева

Таблица 1 / Table 1. Сравнителна екологична оценка на BTC, LTC и ETH / Comparative environmental assessment of BTC, LTC and ETH

Източници: Cambridge CCAF (2025); CCRI / Ethereum.org (2022); OECD (2022); авторски синтез. Качествените оценки са сравнителни в рамките на настоящия доклад и не представляват универсални сертификати за устойчивост.

6. Потребление на електроенергия и емисии на парникови газове

6.1 Оперативно потребление на електроенергия

Оперативното потребление на електроенергия в PoW мрежа се определя от общата изчислителна мощност на мрежата, средната ефективност на хардуера, трудността на мрежата, цената на актива и икономиката на добива. Тъй като тези променливи се изменят непрекъснато, всяка единична годишна стойност е моментна снимка, обвързана с посочена дата и метод.

Актив	Годишно потребление	Годишни емисии
Bitcoin (BTC)	≈ 138 TWh/година (2024)	39,8–69,6 MtCO ₂ e
Litecoin (LTC)	Не е използвана окончателна стойност	Не е използвана окончателна стойност
Ethereum (ETH)	≈ 0,0026 TWh/година	≈ 870 tCO ₂ e/година

Таблица 2 / Table 2. Обобщение на цитираните данни за годишно потребление на електроенергия и емисии / Summary of cited annual electricity and GHG evidence

Източници: Cambridge CCAF (2025) за BTC; CCRI / Ethereum.org (2022) за ETH. Към крайната дата на данните не беше налична еднакво надеждна публична стойност за LTC.

6.2 Влияние на електроенергийния микс и местоположението

Емисиите зависят много повече от това къде се произвежда електроенергията, отколкото от потребеното количество. Оценките на доклада на Cambridge за Bitcoin на база анкети и на база IP-геолокация (39,8 спрямо 69,6 MtCO₂e) се различават с около три четвърти за едно и също количество електроенергия, което показва, че допусканията за местоположението и метода доминират над резултата. Местоположението от анкети, изведеното по IP местоположение, местоположението на пула за добив и местоположението на корпоративното седалище не са еквивалентни и не трябва да се смесват.

6.3 Преки и непреки емисии

Пълното отчитане разграничава Обхват 1 (преки, напр. генератори на място или изгаряне на газ), Обхват 2 (закупена електроенергия, отчитана както според местоположението, така и на пазарна основа) и съществен Обхват 3 (по-специално вградените емисии при производството на хардуер). Емисионните фактори трябва да бъдат посочени заедно с тяхната година.

6.4 Защо показателите на транзакция могат да подвеждат

Стойностите на енергия на транзакция разделят до голяма степен фиксиран мрежов енергиен разход на променлив брой транзакции, поради което се покачват и спадат с използването, а не с реалната ефективност. Мрежите от слой 2, групирането на транзакции и допусканията за сетълмент променят значително знаменателя. Поради това стойностите на транзакция се представят, ако изобщо се представят, само с изрична методологична уговорка.

7. Жизнен цикъл на оборудването за добив и валидиране

Въздействията от хардуера се оценяват на пет етапа: (A) производство; (B) фаза на използване; (C) препродажба и втори живот; (D) рециклиране; и (E) окончателно изхвърляне.

7.1 Производство на ASIC

SHA-256 (Bitcoin) и Scrypt (Litecoin) ASIC оборудването се състои от чипове, платки, алуминий, мед, захранвания и вентилатори, всички от които носят вградена енергия, вода и емисии от добива и производството. Конкуренцията за висока ефективност може да доведе до икономическо остаряване много преди физическа повреда.

7.2 Полезен живот, повторно използване и препродажба

Полезният живот се съкращава от конкуренцията за ефективност, а не от износване на компонентите. Изведените от експлоатация устройства могат да бъдат препродадени в региони с по-ниска цена на електроенергията, повторно използвани или съхранявани. Анкетата на Cambridge съобщава за приблизително 86,9% от изведеното от експлоатация оборудване на Bitcoin като препродадено, повторно използвано или рециклирано, но такива стойности зависят от самостоятелното докладване.

7.3 Електронни отпадъци

Различните изследвания дават съществено различни оценки за електронните отпадъци, тъй като използват различни допускания за полезния живот, препродажбата, повторното използване, съхранението, износа и рециклирането. Поради това оценките следва да се представят като диапазон или да се обясни методологичното противоречие, вместо да се докладва единична точкова стойност. Цитираната стойност за Bitcoin от приблизително 2,3 килотона за 2024 г. е резултат от анкетен модел, а не измерена обща стойност.

7.4 Хардуер с общо предназначение за валидиране

Валидаторите на Ethereum използват хардуер с общо предназначение, поради което обновяването на специализиран хардуер е съществено по-ниско, отколкото при ASIC добива. Облачната инфраструктура все пак носи вградени въздействия от хардуера. Данните за жизнения цикъл на ASIC на Bitcoin не следва да се приемат за равни на тези на Scrypt ASIC; наборите от данни за Scrypt ASIC са по-слабо развити. Историческият PoW хардуер на Ethereum не трябва да се отчита като текущо оборудване за валидиране.

8. Системи за охлаждане и екологични ефекти

8.1 Разпространение и ограничения на данните

„Въздушното охлаждане исторически е преобладаващата/стандартната архитектура за охлаждане при добива. Потапящото, хидро и другите системи за течно охлаждане се разширяват, особено при инсталации с висока плътност и индустриален мащаб. Наличните доказателства не позволяват определянето на точен глобален процентен дял и докладът не следва да създава такъв.“

8.2 Въздушно охлаждане

Въздушното охлаждане разчита на вътрешните вентилатори на ASIC и на изсмукващите вентилатори на съоръжението, които движат филтриран или нефилтриран околнен въздух, обикновено с разделяне на горещ/студен коридор. То се характеризира с висок разход на електроенергия от вентилатори, значителни акустични емисии, прахово натоварване, отвеждане на горещ въздух и температурно ограничаване на производителността. Прякото водопотребление е ниско само когато не се използва изпарителна система; в горещ климат често се добавя климатизация или изпарително подпомагане. Въздушното охлаждане не е автоматично с ниско въздействие само защото не циркулира вода през ASIC — то може да измести натоварването към електроенергия, шум, прах, хладилни агенти или изпарителна вода.

8.3 Изпарително въздушно охлаждане

Изпарителните системи охлаждат входящия въздух чрез изпарение на вода, което повишава прякото потребление на вода. Те въвеждат изисквания за качество и третиране на водата, образуване на котлен камък и минерални отлагания, поддръжка, както и продухване или отпадъчни води, и увеличават риска в региони с воден стрес.

8.4 Директно охлаждане на чипа / хидро охлаждане

Директното охлаждане на чипа и хидро системите циркулират вода, гликол или друга охлаждаща течност в затворен първичен контур през студени плочи и помпи, пренасяйки топлината към вторичен контур и в крайна сметка към сух охладител или охладителна кула. Те намаляват енергията за вентилатори и могат да осигурят високи изходни температури, подходящи за оползотворяване на топлина, но въвеждат разход на електроенергия за помпи, корозионни инхибитори и изисквания за управление на течове.

Критично разграничение: „Хидро охлаждане“ не означава автоматично високо потребление на вода. Затворен контур със сухо отвеждане на топлината може да има ниско консумативно водопотребление, докато система с охладителна кула може да консумира значителни количества вода.

8.5 Еднофазно и двуфазно потапящо охлаждане

Потапящото охлаждане потапя хардуера в еднофазна или двуфазна диелектрична течност, премахвайки или намалявайки вентилаторите на ASIC, понижавайки шума и подобрявайки температурната равномерност. Потенциалното овъркловане може да компенсира част от печалбите в ефективност чрез увеличаване на общата изчислителна работа и потреблението на електроенергия. Въздействията включват производството на охлаждаща течност, течове, деградация, подмяна и край на жизнения цикъл на течността, помпи и топлообменници, както и избора между сухо и изпарително отвеждане на топлината. Потапящото охлаждане подобрява потенциала за оползотворяване на отпадъчна топлина. То не трябва да се описва като автоматично „зелено“ или „без вода“.

8.6 Отвеждане на топлината и оползотворяване на отпадъчна топлина

Всяка система за охлаждане в крайна сметка трябва да отведе или да оползотвори топлината. Възможностите включват сухи охладители, въздушно охлаждани чилъри, водно охлаждани чилъри, охладителни кули, еднократно използване на вода и пътища за оползотворяване като централно отопление, индустриална технологична топлина, оранжерии и битова гореща вода. Оползотворената топлина трябва да бъде количествено определена спрямо действително заместеното гориво и оповестена със сезонната ѝ степен на използване; теоретичното оползотворяване на топлина не трябва да се отчита като постигнати спестявания, а сезонното несъответствие между предлагането и търсенето на топлина трябва да бъде признато.

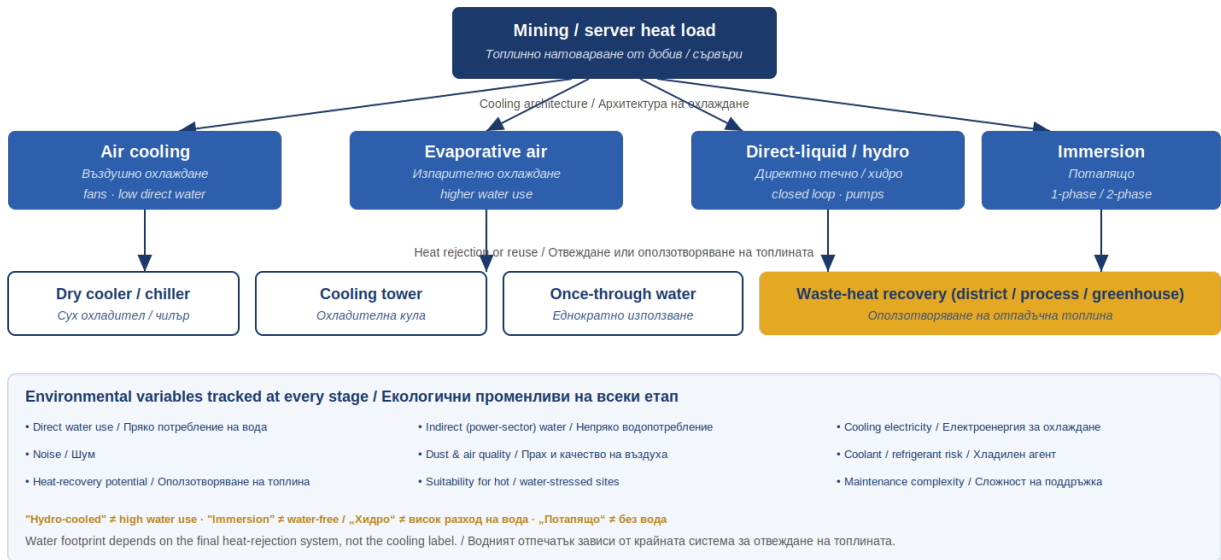


Figure 2 / Фигура 2. Cooling and heat-rejection pathway with environmental variables / Път на охлаждане и отвеждане на топлината с екологичните променливи
 Източник: авторски синтез; инженерна практика съгласно ASHRAE TC 9.9 (2021).

8.7 Сравнение на системите за охлаждане

Променлива	Въздушно	Изпарително	Директно течно / хидро	Потапящо
Пряко използване на вода	Ниско (липсва без изпарение)	Повишено	Ниско при сухо отвеждане; високо при кула	Ниско при сухо отвеждане
Непряко използване на вода	Зависи от мрежата	Зависи от мрежата	Зависи от мрежата	Зависи от мрежата
Електроенергия за охлаждане	Висока (вентилатори)	Умерена	По-ниска (помпи)	Ниска (помпи, малко/без вентилатори)
Шум	Висок	Умерен–висок	Нисък–умерен	Нисък
Прахово натоварване	Високо	Умерено	Ниско	Много ниско
Температурна стабилност на хардуера	Променлива	Променлива	Добра	Много добра
Риск от хладилен агент / охлаждаща течност	Нисък (хладилен агент при климатизация)	Нисък–умерен	Умерен (гликол, инхибитори)	Умерен–висок (дielekтрична течност)
Потенциал за оползотворяване на топлина	Нисък (нискокачествен горещ въздух)	Нисък	Добър	Висок
Пригодност за горещ климат	Слаба	Умерена	Добра	Добра
Пригодност за регион с воден стрес	Добра (само сухо)	Слаба	Добра (сухо отвеждане)	Добра (сухо отвеждане)
Сложност на поддръжката	Ниска	Умерена	Умерена–висока	Висока
Вероятен диапазон PUE (зависи от източника)	По-висок	Умерен	По-нисък	Най-нисък

Таблица 3 / Table 3. Сравнителни екологични характеристики на архитектурите за охлаждане / Comparative environmental characteristics of cooling architectures

Източник: авторски синтез; ASHRAE TC 9.9 (2021). Диапазоните на PUE са индикативни и зависят от източника; стойностите са качествени сравнения в рамките на настоящия доклад.

9. Воден отпечатък

Оценката на водата разграничава следните понятия. Водочерпене е общото количество вода, иззето от източник. Потребление на вода е водата, която не се връща в същия източник в същото състояние или период, често поради изпарение. Пряка вода на обекта е водата, използвана в съоръжението за добив или валидиране. Непряка вода от електроенергията е водата, използвана или потребявана от електроцентралите и при производството на енергия нагоре по веригата. Топлинно заустване е връщането на по-топла вода в приемна среда.

Задължително предупреждение: Съоръжение със сухо въздушно охлаждане може да има почти нулево пряко потребление на вода на обекта и въпреки това да има съществен непряк воден отпечатък, ако електроенергията му се произвежда чрез водоинтензивни топлоелектрически или хидроенергийни системи.

9.1 Пряко водочерпене

Прякото водочерпене е обемът, иззет от градско водоснабдяване, повърхностни или подземни води за изпарително или кулно охлаждане, допълваща вода и третиране. Затворените сухоохлаждани системи може да имат пренебрежимо водочерпене.

9.2 Пряко потребление на вода

Потреблението е частта, която не се връща — основно изпарителни загуби и продухване на охладителни кули. Това е най-релевантният показател за въздействието върху водния стрес на ниво съоръжение.

9.3 Непряко използване на вода от производството на електроенергия

Топлоелектрическите централи и водноелектрическите централи могат да потребяват големи обеми вода на kWh. Поради това съоръжение с почти нулево пряко водопотребление все пак може да носи съществен непряк воден отпечатък, определен от неговия електроенергиен микс.

9.4 Топлинно заустване и качество на водата

Когато се използва еднократно използване на вода или охладителни кули, върнатата вода може да е по-топла (топлинно заустване) и да съдържа третиращи химикали или концентрирани минерали, с потенциални ефекти върху приемните екосистеми.

9.5 Воден стрес и избор на обект

Оценката на водния риск следва да отчита водния стрес на ниво басейн, честотата на засушаванията, сезонния недостиг, питейната спрямо непитейната вода, конкуренцията за градско водоснабдяване, изчерпването на подземните води, изхвърлянето на отпадъчни води, химическото третиране, отнасянето на капки от охладителните кули и въздействията върху общностите и екологичната справедливост. Коефициентът на ефективност на използваната вода (WUE) се използва само с посочена дефиниция — литри потребена вода на kWh енергия на съоръжението или ИТ енергия, като знаменателят се посочва изрично.

10. Земеползване, шум, качество на въздуха и въздействие върху общностите

Съоръженията за PoW добив могат да генерират непрекъснат високочестотен шум от вентилатори, околна топлина, прах и прахово натоваване, както и въздействия върху местното

качество на въздуха, когато се използва местно производство на електроенергия от изкопаеми горива. Земеползване и въздействия върху екосистемите възникват и нагоре по веригата — от производството на електроенергията, която захранва съоръжението. Тези местни ефекти се отразяват непропорционално върху съседните общности и налагат акустично моделиране, отстояния, оценка на качеството на въздуха и процес за обществени жалби. Инфраструктурата за валидиране и центровете за данни при PoS обикновено създават съществено по-ниски местни ефекти, но не са лишени от тях.

11. Географско разпределение и риск от електроенергийния микс

Съществуващите географски доказателства са до голяма степен специфични за Bitcoin и трябва да бъдат обозначени като такива. Географията на добива на Bitcoin не трябва да се представя като доказана география на добива на Litecoin. За всеки PoW актив оценката отчита прогнозното местоположение на добива, въглеродната интензивност на мрежата, пределната спрямо средната електроенергия, дела на изкопаемите горива, дела на възобновяемата / ядрената енергия, структурата на закупуване на електроенергия, производството зад електромера, твърденията за ограничена или неоползотворена енергия, водния стрес, местното замърсяване на въздуха, претоварването на мрежата и шума за общността.

За Ethereum разпределението на валидаторите и облачния хостинг следва да се оценява там, където съществуват данни; не трябва да се използват карти на добива. През целия анализ важи предупреждение за качеството на източниците: местоположението от анкети, изведеното по IP местоположение, местоположението на пула за добив и местоположението на корпоративното седалище не са еквивалентни.

12. Мерки за ограничаване на въздействието

Ограничаването е организирано като йерархия — от най-структурните до най-оперативните мерки.

Ниво 1 – Структурно ограничаване

- Преход от PoW към механизъм за консенсус с по-ниско потребление на енергия, където това е технически и социално осъществимо.
- Подобрения на ефективността на ниво протокол.

Ниво 2 – Ограничаване чрез електроенергия

- Допълнителна нисковъглеродна електроенергия, с часово съответствие, а не само с годишни сертификатни твърдения.
- Оповестяване на емисиите според местоположението и на пазарна основа; доказателства за ограничаване и гъвкавост на търсенето; избягване на увеличаване на производството от изкопаеми горива.

Ниво 3 – Ограничаване чрез охлаждане

- Намаляване на PUE; сухо отвеждане на топлината в зони с воден стрес; премахване на ненужната мощност на вентилаторите; наблюдение на WUE; откриване на течове; отговорно управление на охлаждащи течности и хладилни агенти.

Ниво 4 – Кръгов хардуер

- По-дълъг полезен живот, ремонт, препродажба, повторно използване и сертифицирано рециклиране, с проследимост на собствеността и без необосновани твърдения за „100% рециклиране“.

Ниво 5 – Повторно използване на топлина

- Количествено определяне на оползотворената топлина, идентифициране на действително заместеното гориво, оповестяване на сезонната степен на използване и избягване на отчитането на теоретично оползотворяване на топлина като постигнати спестявания.

Ниво 6 – Защити за обекта и общността

- Акустично моделиране, ограничения на шума, отстояния, проверка за воден стрес, екологични разрешителни, оценка на качеството на въздуха и процес за обществени жалби.

Ниво 7 – Управление на твърденията

Забранени са следните твърдения: „нулево екологично въздействие“; „100% зелено“ без определени граници; двойно отчитане на възобновяеми характеристики; двойно отчитане на енергията от обединен добив; твърдения за избегнати емисии без съпоставителен сценарий; и третиране на използването на факелен газ като автоматично въглеродно-отрицателно.

13. Рамка за екологично оповестяване

За всяка операция по добив или валидиране рамката събира структурирани данни в шест области: общи данни за операцията; електроенергия; емисии; охлаждане; хардуер; и местно въздействие. Пълният списък с полета е представен като шаблон за повторна употреба в Приложение С. Последователното прилагане на тази рамка позволява качествените изводи на настоящия доклад с течение на времето да бъдат заменени с измерени данни на ниво оператор, класифицирани и оценени по увереност съгласно раздел 2.3.

14. Заключение по актив

14.1 Bitcoin (BTC)

Висок текущ абсолютен екологичен отпечатък; най-силни количествени доказателства; съществени въздействия от електроенергия, парникови газове, непряка вода, охлаждане, шум и жизнен цикъл на ASIC; показателите варират съществено според местоположението и оперативния модел.

14.2 Litecoin (LTC)

Съществено PoW въздействие от Scrypt ASIC добива; вероятно по-нисък абсолютен отпечатък от BTC, но не и нисковъздействащ по своя замисъл; недостатъчно надеждни публични данни за окончателна самостоятелна годишна стойност; обединеният добив изисква разпределение без дублиране.

14.3 Ethereum (ETH)

Много ниско текущо оперативно енергийно и въглеродно въздействие спрямо BTC и LTC след прехода към PoS; понастоящем няма добив в основната мрежа; остават ненулеви въздействия от валидатори, сървъри, облачна инфраструктура, електроенергия, охлаждане и хардуер.

14.4 Общо заключение

„Механизмът за консенсус е основният структурен фактор, но екологичните резултати зависят също от мащаба, местоположението, източника на електроенергия, хардуера, охлаждането, водния стрес, управлението на жизнения цикъл и качеството на оповестяването.“

15. Пропуски в данните и открити изследователски въпроси

- Липса на широко приета годишна оценка за потреблението и емисиите на Litecoin, еквивалентна на тази на Cambridge.
- Липса на стандартизиран, общоприет метод за разпределяне на енергията от обединен добив между Litecoin и Dogecoin.
- Липса на надежден глобален набор от данни, установяващ текущия дял между въздушно, изпарително, хидро / директно течно и потапящо охлаждане.
- Ограничени и непоследователни данни за водното отчитане, особено разделянето на пряката вода на обекта от непряката вода в електроенергийния сектор.
- Недостатъчно развити данни за оценка на жизнения цикъл на Scrypt ASIC хардуера спрямо SHA-256 ASIC.
- Ограничени публични данни за географското разпределение на валидаторите и облачния хостинг при Proof-of-Stake мрежите.
- Непоследователно третиране на твърденията за избегнати емисии, факелен газ и гъвкавост на търсенето сред операторите.

16. Източници

1. OECD (2022). The Environmental Impact of Digital Assets. Paris: OECD Publishing. Accessed 2025.
2. Cambridge Centre for Alternative Finance (2025). Cambridge Digital Mining Industry Report: Global Operations, Sentiment, and Energy Use. Cambridge Judge Business School, University of Cambridge. Accessed 2025.
3. Ethereum Foundation / Crypto Carbon Ratings Institute (CCRI) (2022). Ethereum Energy Consumption and the Energy and Carbon Impact of The Merge. ethereum.org. Accessed 2025.
4. White House Office of Science and Technology Policy (2022). Climate and Energy Implications of Crypto-Assets in the United States. Executive Office of the President of the United States, Washington, D.C. Accessed 2025.
5. United Nations University (2023). Research on the carbon, water and land footprint of Bitcoin. Hamburg/Tokyo: UNU. Accessed 2025.
6. ASHRAE Technical Committee 9.9 (2021). Emergence and Expansion of Liquid Cooling in Mainstream Data Centers. Atlanta: ASHRAE. Accessed 2025.
7. Peer-reviewed life-cycle assessment of cryptocurrency mining ASIC hardware (manufacturing, use phase and end-of-life). Accessed 2025.
8. Peer-reviewed and official material on water and carbon accounting for data-centre and digital-asset infrastructure. Accessed 2025.
9. Litecoin Project. Litecoin Core technical documentation (Scrypt proof-of-work). litecoin.org / GitHub. Accessed 2025.
10. Dogecoin Project. Dogecoin Core documentation on Scrypt and auxiliary (merged) mining. dogecoin.com / GitHub. Accessed 2025.

Приложение А – Определения и двуезичен речник

Следните термини се използват последователно в целия доклад. Съкращенията BTC, LTC, ETH, ASIC, PUE, WUE, TWh, MWh, kWh, MtCO_{2e} и tCO_{2e} не се превеждат и се дефинират при първа употреба.

English	Български
Environmental impact	Екологично въздействие
Proof-of-Work (PoW)	Доказателство за извършена работа (Proof-of-Work, PoW)
Proof-of-Stake (PoS)	Доказателство за залог (Proof-of-Stake, PoS)
Mining	Добив (майнинг)
Miner	Миньор / участник в добива (оператор по добив във формален контекст)
Validator	Валидатор
Hashrate	Хешрейт / изчислителна мощност на мрежата
ASIC	Специализирана интегрална схема (ASIC)
Greenhouse-gas emissions	Емисии на парникови газове
Carbon footprint	Въглероден отпечатък
Carbon dioxide equivalent (CO _{2e})	Еквивалент на въглероден диоксид (CO _{2e})
Electronic waste / e-waste	Електронни отпадъци
Air cooling	Въздушно охлаждане
Evaporative cooling	Изпарително охлаждане
Direct-to-chip cooling	Директно охлаждане на чипа
Hydro cooling	Хидро охлаждане / течно охлаждане с воден контур
Immersion cooling	Потапящо охлаждане
Single-phase immersion	Еднофазно потапящо охлаждане
Two-phase immersion	Двуфазно потапящо охлаждане
Heat rejection	Отвеждане на топлината
Waste-heat recovery	Оползотворяване на отпадъчната топлина
Water withdrawal	Водочерпене
Water consumption	Потребление на вода
Water footprint	Воден отпечатък
Water stress	Воден стрес
Thermal discharge	Топлинно заустване / топлинно замърсяване
Power Usage Effectiveness (PUE)	Коефициент на ефективност на използваната енергия (PUE)
Water Usage Effectiveness (WUE)	Коефициент на ефективност на използваната вода (WUE)
Location-based emissions	Емисии, изчислени според местоположението
Market-based emissions	Емисии, изчислени на пазарна основа
Merged mining	Обединен добив (merged mining)

Приложение В – Методология за изчисления

Когато се изготвя оценка „отдолу нагоре“ за Litecoin (или друг Scrypt актив), се прилагат следните стъпки и се оповестява всяко допускане:

1. Получаване на датирана изчислителна мощност на мрежата Litecoin / Scrypt.

2. Установяване на представителен диапазон на ефективност на хардуера в J/MH.
3. Изчисляване на ИТ мощност: ИТ мощност (W) = изчислителна мощност (MH/s) × ефективност (J/MH).
4. Прилагане на режимни разходи на съоръжението: мощност на съоръжението = ИТ мощност × PUE.
5. Изчисляване на годишна електроенергия: годишни TWh = мощност на съоръжението (MW) × 8 760 / 1 000 000.
6. Прилагане на претеглени по местоположение емисии: MtCO_{2e} = годишни TWh × емисионен фактор (gCO_{2e}/kWh) / 1 000.
7. Прилагане на WUE, където се моделира пряка вода: вода (m³/година) = електроенергия на съоръжението (kWh) × WUE (L/kWh) / 1 000.
8. Прилагане и оповестяване на метода за разпределение при обединен добив.
9. Представяне на нисък, централен и висок сценарий.
10. Посочване на датата на данните и нивото на увереност.

Резултатите от модела не трябва да се закръгляват до подвеждаща точност, а избраният метод за разпределение трябва да бъде обоснован и тестван за чувствителност.

Приложение С – Шаблон за събиране на екологични данни

Шаблонът по-долу се събира за всяка операция по добив или валидиране.

Общи данни

- Актив / мрежа; местоположение на съоръжението; отчетен период; собственост / оператор; инсталирани MW; средни MW; време на работа; производство / изчислителна мощност или брой валидатори.

Електроенергия

- Измерени kWh; ИТ kWh; общо kWh на съоръжението; PUE; доставчик от мрежата; часов / годишен електроенергиен микс; споразумения за изкупуване на електроенергия (PPA); сертификати за възобновяема енергия; производство зад електромера; ограничаване (curtailment).

Емисии

- Обхват 1; Обхват 2 според местоположението; Обхват 2 на пазарна основа; съществен Обхват 3; емисионни фактори и година; методология за метан или изгаряне на газ.

Охлаждане

- Архитектура (въздушно, изпарително, хидро / директно течно, потапящо или хибридно); охлаждаща течност; хладилен агент; електроенергия за охлаждане; метод за отвеждане на топлината; пряко водочерпене; пряко потребление на вода; WUE; продухване; отпадъчни води; загуба на охлаждаща течност.

Хардуер

- Брой и модел на единиците; ефективност; дата на закупуване; дата на извеждане от експлоатация; препродажба; повторно използване; доставчик за рециклиране; доказателство за изхвърляне.

Местно въздействие

- Шум; жалби; околна топлина; прах; воден стрес; местни събития в мрежата; часове работа на аварийен генератор.

Финална позиция

„Bitcoin и Litecoin продължават да използват Proof-of-Work и имат структурно съществени изисквания за електроенергия, хардуер и охлаждане. Bitcoin има най-големия и най-добре документиран абсолютен отпечатък. Litecoin има по-малък, но по-неточно измерен PoW отпечатък, усложнен от обединения добив. Настоящата Proof-of-Stake мрежа на Ethereum има значително по-нисък оперативен отпечатък, въпреки че не е без въздействие. За трите актива действителният екологичен резултат зависи от местоположението, електроенергийния микс, охлаждането, водния стрес, жизнения цикъл на хардуера и качеството на екологичното оповестяване.“