Raspodijeljene glavne knjige i kriptovalute

Pristupi rudarenju i konsenzusu

Ante Đerek, Zvonko Konstanjčar

2. studenoga 2023.

Ponavljanje: Raspodijeljeni konsenzus - izazov

Idejno rješenje: treba nam mehanizam kojim ćemo birati slučajan čvor, ali tako da u barem 50% slučajeva izaberemo POŠTEN čvor.

Problem odabira poštenog čvora - motivacija - poticaji

- Nagrada za blokove
- Nagrada za transakcije

Dodatni problemi

- Možemo li zaista konstruirati robustan mehanizam za biranje slučajnog čvora
- Nagrade motiviraju sve čvorove da se uključe - mogu samo dobiti
- Napadači mogu kreirati *sybil* čvorove te preko njih "upravljati" konsenzusom

Ponavljanje: Raspodijeljeni konsenzus - izazov

Idejno rješenje navedenih problema: umjesto slučajnog čvora, biramo čvor proporcionalno resursima koje taj čvor posjeduje, uz uvjet da se ti resursi ne mogu monopolizirati.

Izvedbeno dva pristupa

- Ako je resurs računalna snaga - **proof-of-work** sustav (za sada je taj sustav implementiran u Bitcoinu)
- Ako je resurs posjedovanje valute - **proof-of-stake** sustav (za sada implementirane neke varijante, ali područje aktivnog istraživanja)

Ponavljanje: proof-of-work

Što znači odabir čvora proporcionalno računalnoj snazi koju taj čvor posjeduje?

Idejno rješenje: Pustiti da se čvorovi natječu koristeći njihovu računalnu snagu.

Kod Bitcoina

- proof-of-work je realiziran preko rješavanja kriptografskih slagalica
- Čvor koji predlaže blok mora pronaći broj (koji nazivamo *nonce*) takav da $H(nonce|hash_{prev}|x_1|x_2|\ldots|x_n) < t$, za neki unaprijed zadani prag t.

Ponavljanje: proof-of-work preko kriptografskih slagalica

Nužna svojstva slagalice

- **Teško ju je riješiti** - za Bitcoin u 2018., u prosjeku za pronaći jedan ispravan *nonce* treba ispitati 10^{22} opcija.
- **Ima podesivu težinu** - kod Bitcoina je to ostvareno preko parametra t, pravilo 10-minuta.
- **Jednostavna za provjeru** - kod Bitcoina kada se zna *nonce*, svi lagano mogu provjeriti da on zadovoljava zadanu težinu.

Definicija

Rudarenje je kontinuirani proces rješavanja slagalica, a čvorovi koji sudjeluju u tome nazivaju se rudari.

Ponavljanje: vrijednost Bitcoina

Bitcoin mreža je sigurna ako većina rudara otežana po hash snazi igra po pravilima, tj. poštena je.

Tri važne povezane ideje oko Bitcoina - cirkularna ovisnost

- Sigurnost sustava kriptovalute ovisi o rudarenju
- Rudarenje ovisi o vrijednosti kriptovalute
- Vrijednost kriptovalute ovisi o sigurnosti sustava

Danas..

Posao Bitcoin rudara

- Provjeravaju transakcije
- Izgrađuju i spremaju blokove
- Dogovaraju se koji će blok ići u lanac blokova

Pitanja za danas

- Tko su rudari?
- Zašto to rade?
- Kako to rade?
- Kakav im je poslovni model?
- Kakav im je utjecaj na okoliš?

Treba li ući u taj posao?

Aktivnosti Bitcoin rudara

Glavne aktivnosti rudara

- Osluškuju transakcije
- Održavaju lanac blokova i osluškuju nove blokove
- Sastavljaju nove blokove i traže *nonce*
- Prate status svog bloka
- Zarađuju

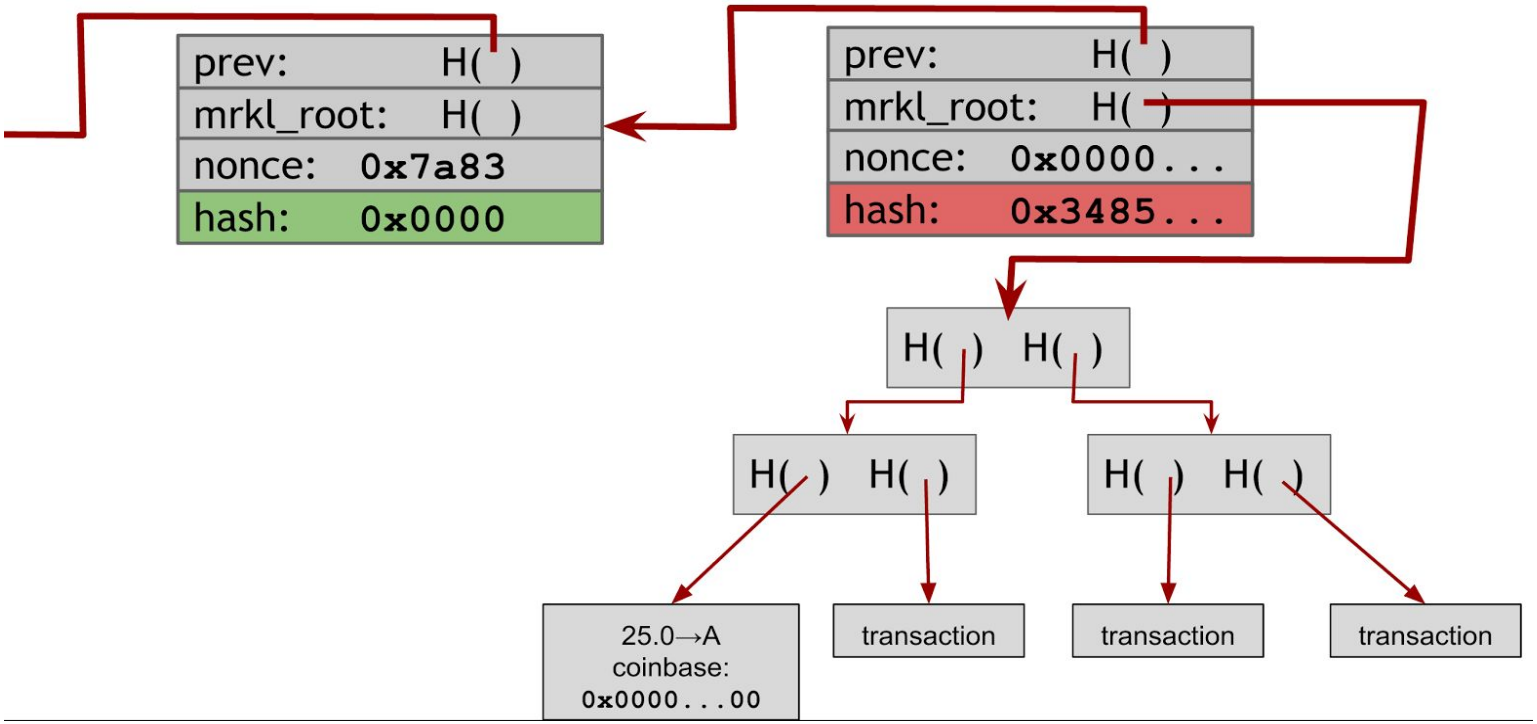
Dvije kategorije aktivnosti rudara

- **Validiraju transakcije i blokove** (primarni posao) - pomažu održavanju sigurnosti Bitcoin sustava
- **Utrkuju se u predlaganju blokova i tako zarađuju** (sekundarni posao) - nisu nužne za Bitcoin mrežu, ali motiviraju rudare da odrađuju primarni posao.

Sastavljanje ispravnog bloka

Osnovne aktivnosti

- Sakupljanje validnih transakcija, sami rudari biraju koliko, te organiziranje njih u Merkleovo stablo
- Izgradnja bloka s zaglavljem koje pokazuje na prethodni blok

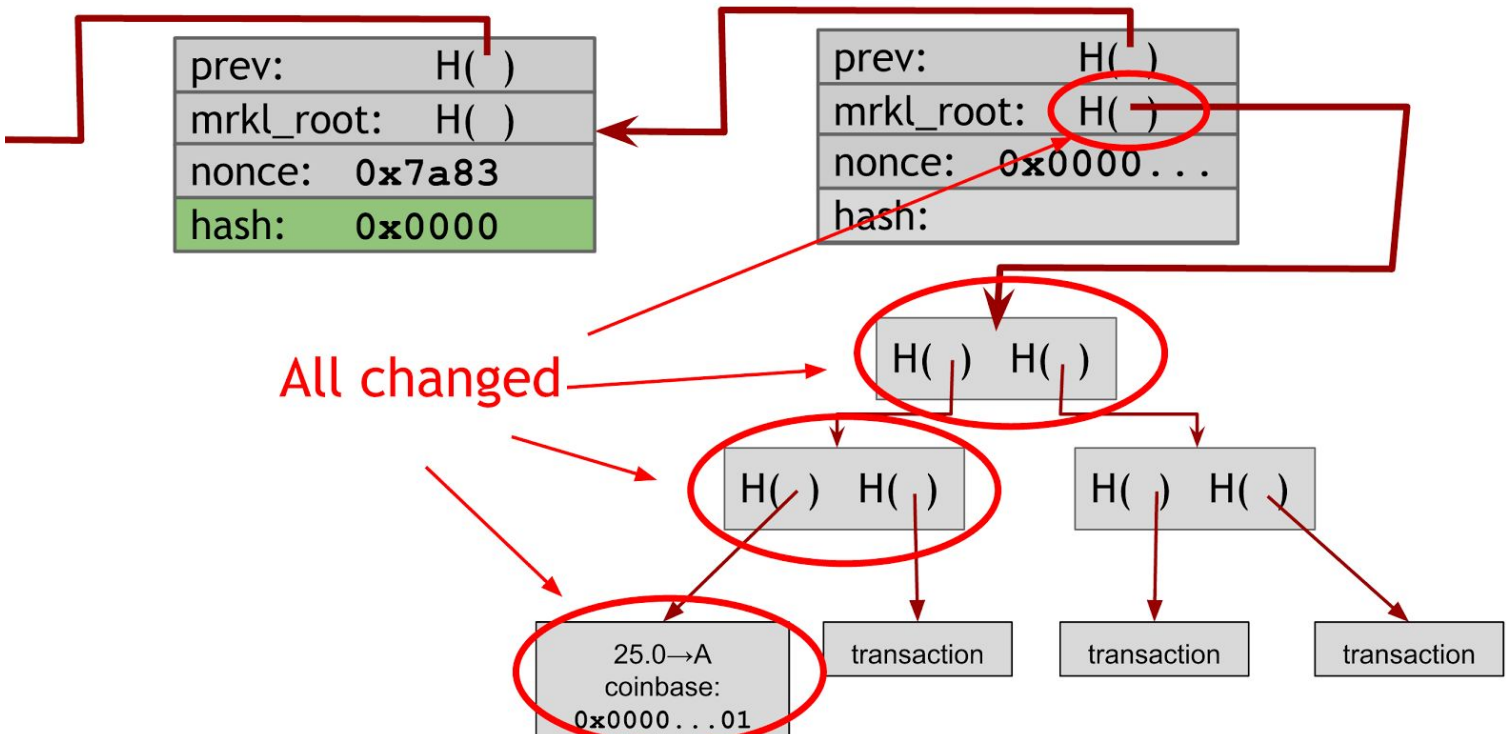


Izvor: `bitcoinbook.cs.princeton.edu`

Sastavljanje ispravnog bloka

Potraga za *nonce* (32-bitna vrijednost)

- *nonce* u zaglavlju bloka
- Dodatni *nonce* u coinbase transakciji



Izvor: `bitcoinbook.cs.princeton.edu`

Sastavljanje bloka

Zadatak

Rješavaju li svi rudari isti zadatak?

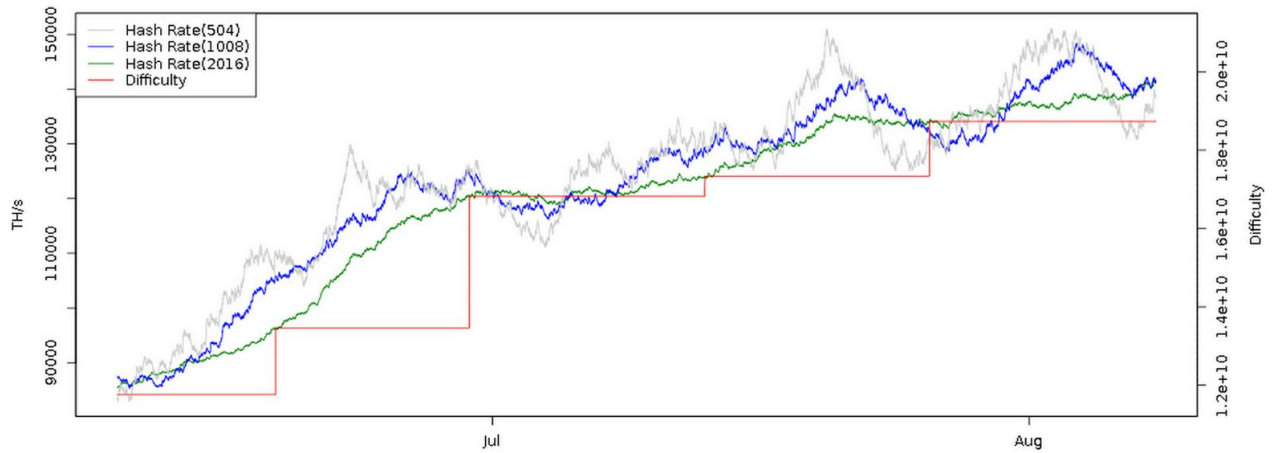
Zadatak

Postoji li rješenje zadatka?

Određivanje težine sastavljanja bloka

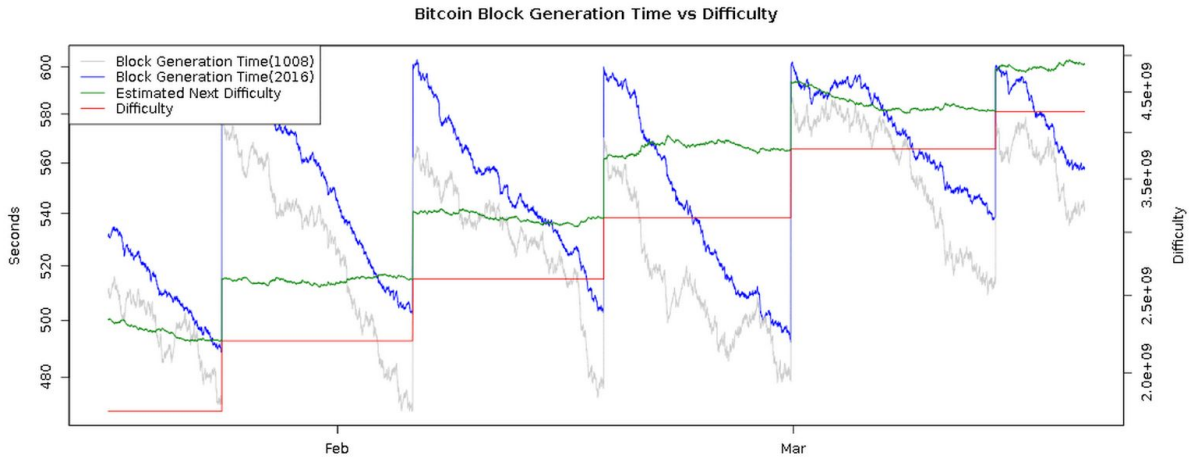
Promjena nakon svakih 2016 blokova

- $t_{n+1} = \frac{t_n \cdot 2016 \cdot 10\text{minuta}}{T_n}$, gdje je T_n vrijeme potrebno za rudarenje zadnjih 2016 blokova
- Svaki rudar računa nezavisno težine t_n i prihvaća blokove koji zadovoljavaju njegovu težinu
- Rudari koji rudare na različitim granama mreže, mogu rudariti s različitim težinama
- Promjena otprilike svaka dva tjedna

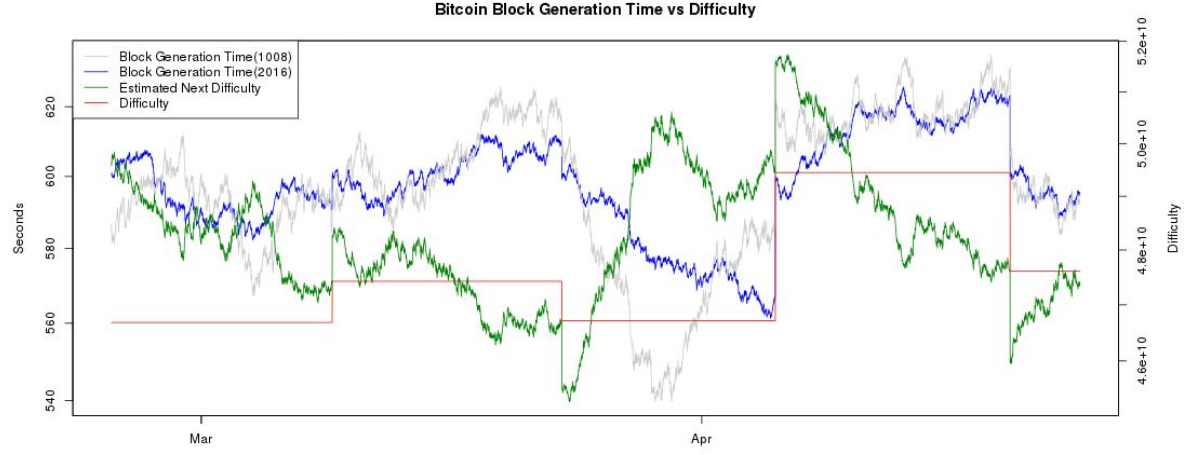


Izvor: `bitcoinbook.cs.princeton.edu`

Vrijeme sastavljanja bloka

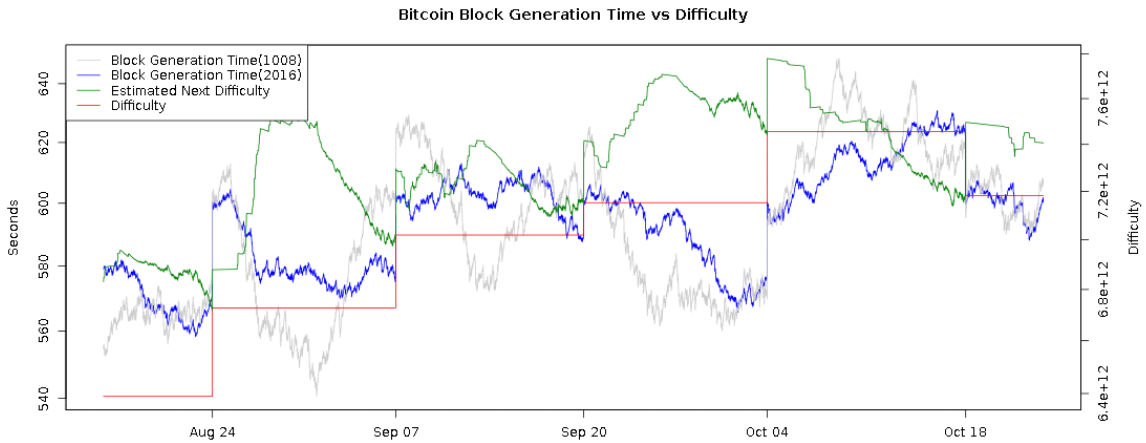


2014. godina, izvor: `bitcoinbook.cs.princeton.edu`



2015. godina, izvor: `bitcoinbook.cs.princeton.edu`

Vrijeme sastavljanja bloka



2018. godina, izvor: `bitcoinwisdom.com/bitcoin/difficulty`

Hardver za rudarenje

Težak zadatak: kako bi se dobio hash, kod Bitcoina je potrebno napraviti dvostruki SHA-256 bloka.

- CPU (engl. Central Processing Unit)
  - Prvi rudari, u praksi se više ne koriste
  - Hashrate: $\propto 10^5$ (za Ethereum: $\propto 10^5$)
  - Kod današnjih težina trebalo bi u prosjeku nekoliko tisuća godina da se sastavi blok
- GPU (engl. Graphical Processing Unit)
  - Rudarenje je moguće paralelizirati
  - Hashrate: $\propto 10^8$ (za Ethereum: $\propto 10^7$)
  - Imaju dosta ugrađenog hardvera koji nije potreban za rudarenje - problem grijanja

Hardver za rudarenje

Neki naslovi

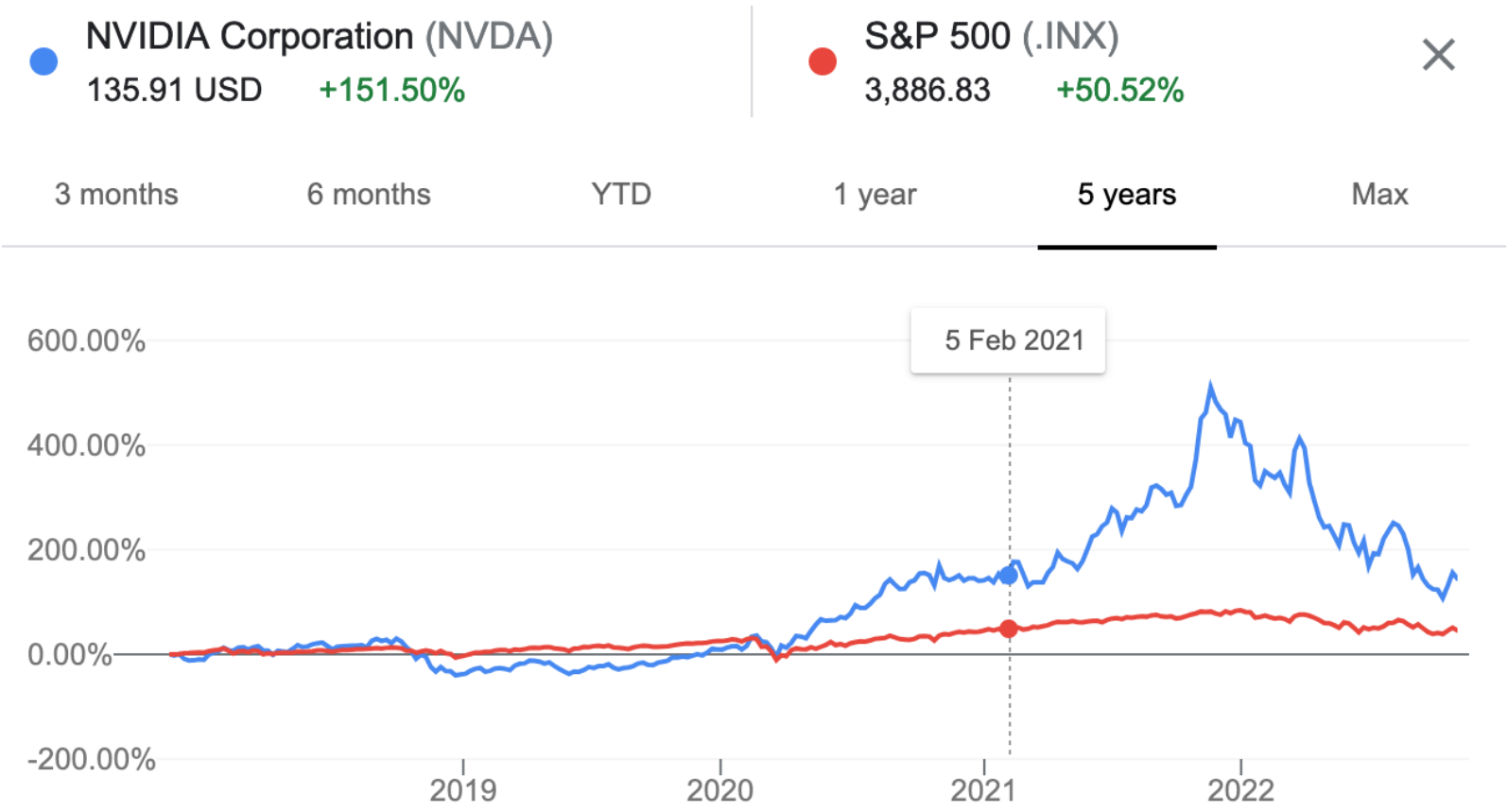
- Zagrebački vatrogasci: Znamo da je rudarenje 'in', ali evo kako preopterećenje instalacija može završiti, www.tportal.hr, 2018.
- Russian nuclear scientists arrested for Bitcoin mining plot, www.bbc.com, 2018.

Izvor: `bitcoinwisdom.com/bitcoin/difficulty`

Hardver za rudarenje

Izvor: `google.com`

Hardver za rudarenje

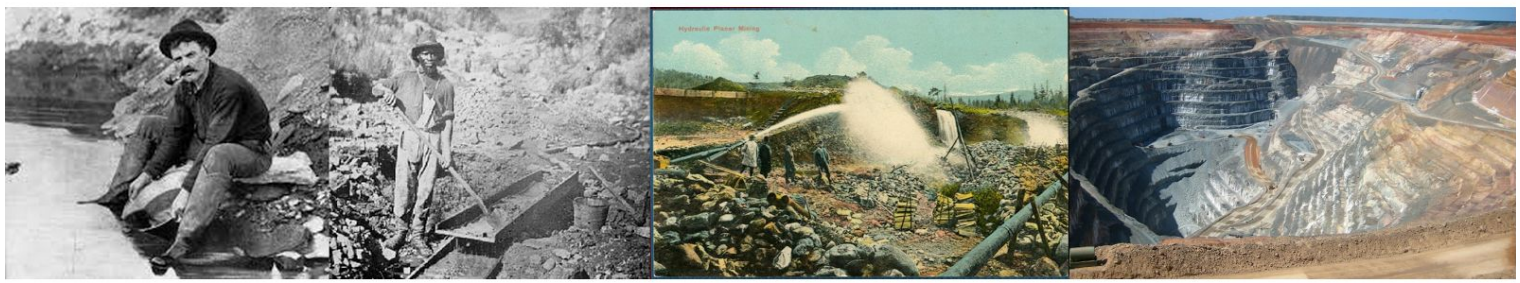


Izvor: `google.com`

Hardver za rudarenje

- FPGA (engl. Field Programmable Gate Array)
  - Oko 2011. godine neki rudari prelaze s GPU na FPGA
  - Bolje performanse od GPU, ali ne dovoljno
  - Imaju dosta ugrađenog hardvera koji nije potreban za rudarenje
- ASIC (engl. Application Specific Integrated Circuit)
  - Najbrži razvoj čipa u povijesti - od definicije problema do čipa
  - Mogu se birati modeli (razlike u cijeni, potrošnji energije, itd.)
  - Hashrate: $\propto 10^{13}$ (za Ethereum: $\propto 10^{8}$)
  - Kako se hash snaga mreže stabilizirala, oprema za rudarenje ima dulji vijek trajanja
  - Veći dio vremena zarada rudara je uglavnom dolazila od rasta vrijednosti Bitcoina, a ne od nagrada za rudarenje
- Profesionalno rudarenje
  - Detalji kako ti centri funkcioniraju nisu u potpunosti poznati - poslovna tajna
  - Tri ključna parametra za uspostavu centra: **klima, cijena struje, brzina mreže**

Evolucija rudarenja



Izvor: `bitcoinbook.cs.princeton.edu`

- Slična evolucija poslovanja - individualni rudari su s vremenom nestali (sav profit odlazi velikim centrima)
- U oba slučaja najviše su zaradili oni koji su prodavali opremu
- Strategija za male rudare - altcoini u ranim fazama

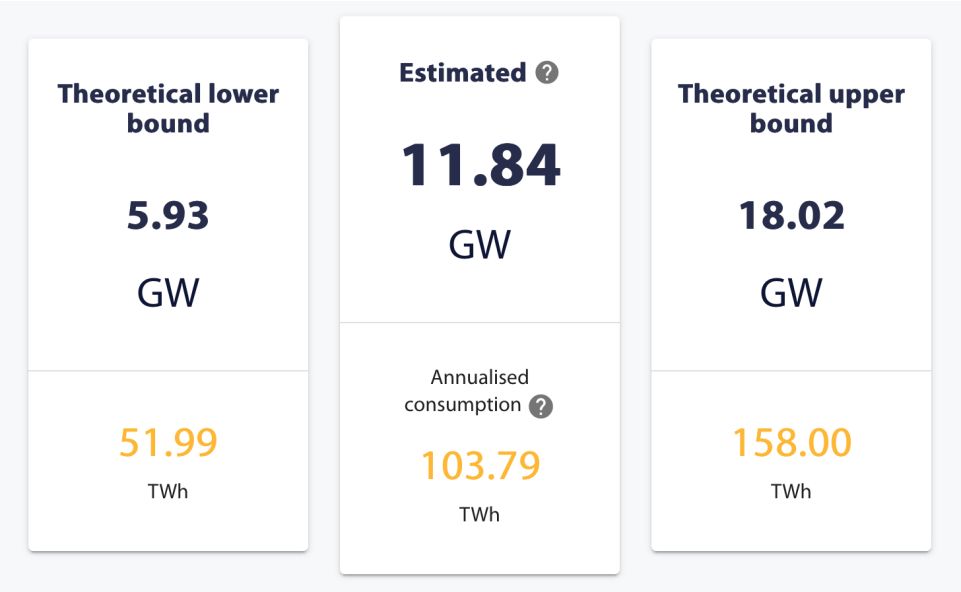
Energija i ekologija

- Landauerov princip (Ralph Landauer, 1960. god.)
  - Bilo koja nereverzibilna računarska operacija mora iskoristiti neki minimalan iznos energije
  - Brisanje bilo kojeg bita informacije troši $kT \ln 2$ J, $k = 1.3910^{-23}$ J/K Boltzmannova konstanta
  - Svaki put kada se bitovi okrenu na nereverzibilan način sigurno se troši neki minimum energije (električna energija prelazi u toplinu)
- Ugrađena energija (eng. embodied energy)
  - Energija potrebna za proizvodnju opreme za rudarenje
  - S vremenom sve manja - mreža postaje stabilnija
- Električna struja
  - Uvijek će trebati - Landauerov princip
  - Potrošnja pada kako ASIC sustavi postaju efikasniji
- Hlađenje
  - Veća potrošnja, ako se rudari u centrima
  - Energija u formi električne struje

Koliko energije troši Bitcoin mreža

- Top-down pristup
  - Svakih 10 min pronađe se jedan blok i rudari dobe nagradu od 6.25 BTC koji vrijede približno 387,500.00 USD
  - Otprilike 646 USD svake sekunde je stvoreno u Bitcoin ekosustavu i predano rudarima
  - Troškovi struje su oko 0.05 USD za 1 kWh (0.015 USD za 1 MJ)
  - Kada bi rudari sav novac trošili na struju tada bi uzimali iz mreže 43 GW (2015. godine to je bilo 0.37 GW)
- Bottom-up pristup
  - jedni od efikasnijih ASIC sustava za rudarenje rade na $10.8 GHash/s/W$
  - Hashrate mreže - $51.043 EHash/s$
  - Potrebno je oko 4.7 GW energije za taj broj hasheva po sec.

Koliko energije troši Bitcoin mreža

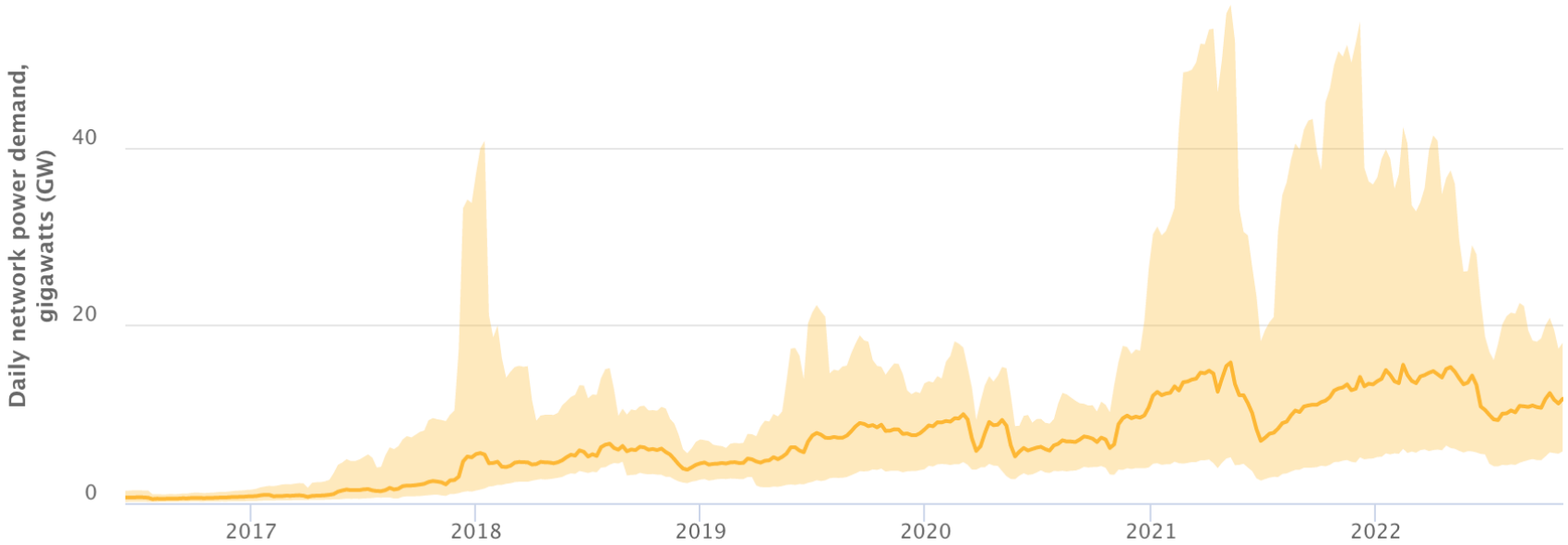


Izvor: `www.cbeci.org`

Koliko je GW energije

- Jedna od najvećih hidroelektrana proizvede - $10 GW$
- Najveća nuklearna elektrana na svijetu proizvede - $7 GW$
- Prosječna hidroelektrana proizvede - $1 GW$, a nuklearka - $4 GW$
- Ukupna godišnja potrošnja električne struje u RH - $18.35 TWh$, što je ekvivalentno prosječnoj snazi $2.1 GW$

Koliko energije troši Bitcoin mreža



Izvor: `www.cbeci.org`

Ekonomija malog rudara

- Bitcoin
  - Spremni ste investirati u Bitcoin rudarenje
  - Kupite ASIC (npr. Dragonmint 16T) - 3,500.00 USD
  - HashRate - $1.610^{13} \rightarrow u_x = 3.110^{-7}$
  - U prosjeku nalazimo 1 blok u 60 godina $\rightarrow \lambda = 1.6310^{-2}$ blokova/godini
  - Vjerojatnost da smo u godinu dana završili k blokova je $\frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!}$

k	0	1	> 1
vjerojatnost	98.38%	1.6%	0.02%

Ekonomija malog rudara

- Ethereum
  - Spremni ste investirati u Ethereum rudarenje
  - Kupite GPU (npr. MSI Radeon R9 390X) - 500.00 USD
  - Hashrate - $2.9 \cdot 10^7$
  - U prosjeku nalazimo 0.25 blokova u godinu dana $\rightarrow \lambda = 0.25$ blokova/godini
  - U prosjeku godišnje zarađujemo 168 USD (ne računajući troškove struje).
  - Vjerojatnost da smo u godinu dana završili k blokova je $\frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!}$

k	0	1	> 1
vjerojatnost	78%	19.5%	2.5%

Bazeni Bitcoin rudara

Zajedničko osiguranje malih rudara. Rudari udružuju resurse i formiraju bazen te zajedno traže odgovarajući *nonce*.

Bez obzira tko pronađe blok - manager bazena prima nagradu i raspoređuje ostalima.

Podjela zarade:

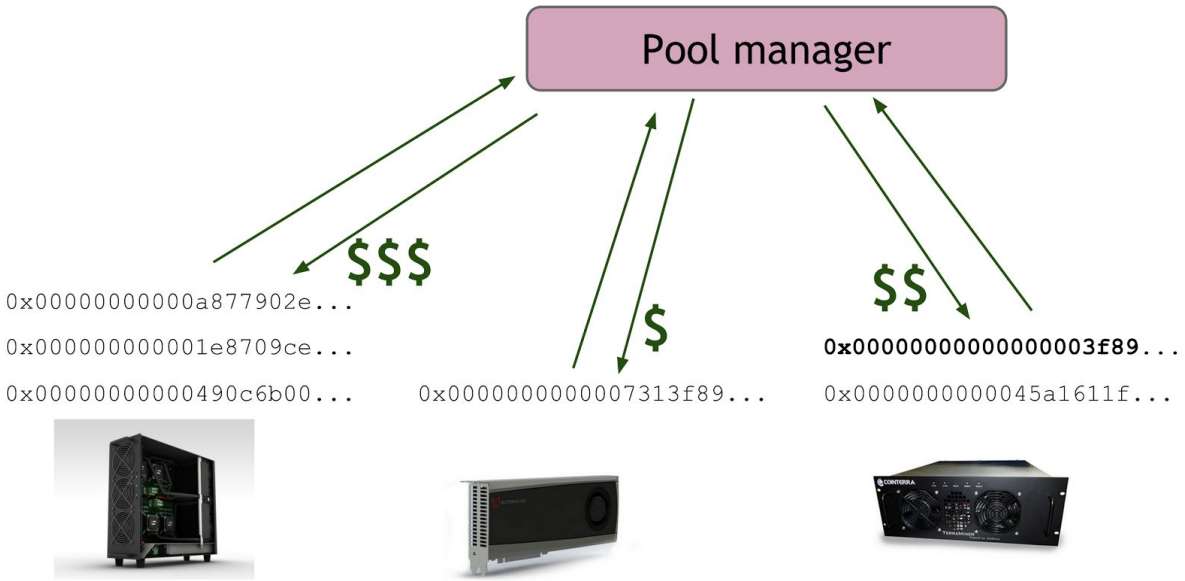
- Pay-per-share model - jednako za svaki hash koji zadovoljava neki uvjet
- Proporcionalan model - iznos ovisi je li bazen našao blok ili ne (ako da, onda zarada proporcionalna radu)

Bazeni Bitcoin rudara - podjela zarade

```
4AA087F0A52ED2093FA816E53B9B6317F9B8C1227A61F9481AFED67301F2E3FB
D3E51477DCAB108750A5BC9093F6510759CC880BB171A5B77FB4A34ACA27DEDD
00000000008534FF68B98935D090DF5669E3403BD16F1CDFD41CF17D6B474255
BB34ECA3DBB52EFF4B104EBBC0974841EF2F3A59EBBC4474A12F9F595EB81F4B
00000000002F891C1E232F687E41515637F7699EA0F462C2564233FE082BB0AF
0090488133779E7E98177AF1C765CF02D01AB4848DF555533B6C4CFCA201CBA1
460BEFA43B7083E502D36D9D08D64AFB99A100B3B80D4EA4F7B38E18174A0BFB
0000000000000000078FB7E1F7E2E4854B8BC71412197EB1448911FA77BAE808A
652F374601D149AC47E01E777613845618 1FA4F9D0EEDD8C4FDE3BEF6B1B7ECE
785526402143A291CFD60DA09CC80DD066BC723FD5FD20F9B50D614313529AF3
000000000041EE593434686000AF77F54CDE839A6CE30957B14EDEC10B15C9E5
9C20B06B01A0136F192BD48E0F372A4B9E6BA6ABC36F02FCED22FD9780026A8F
```

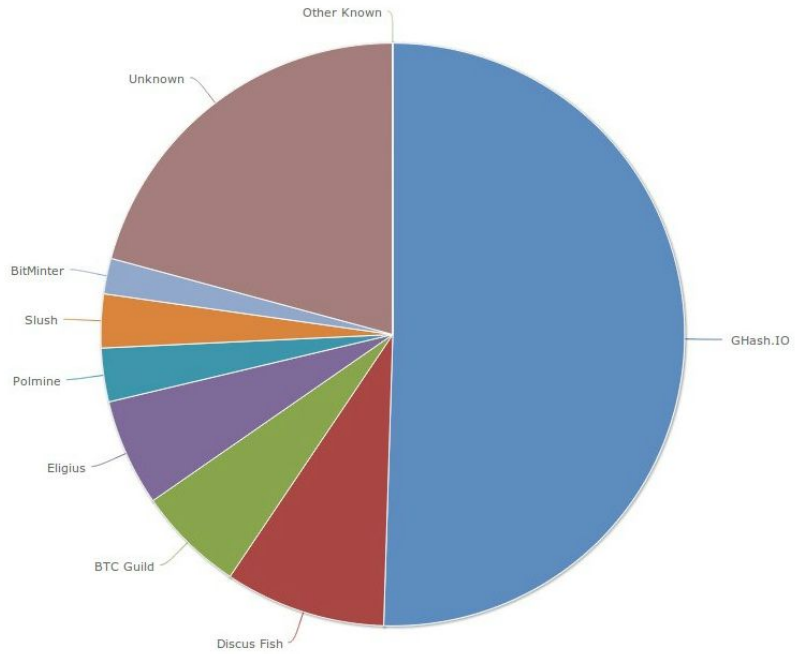
Izvor: `bitcoinbook.cs.princeton.edu`

Bazeni Bitcoin rudara - podjela zarade



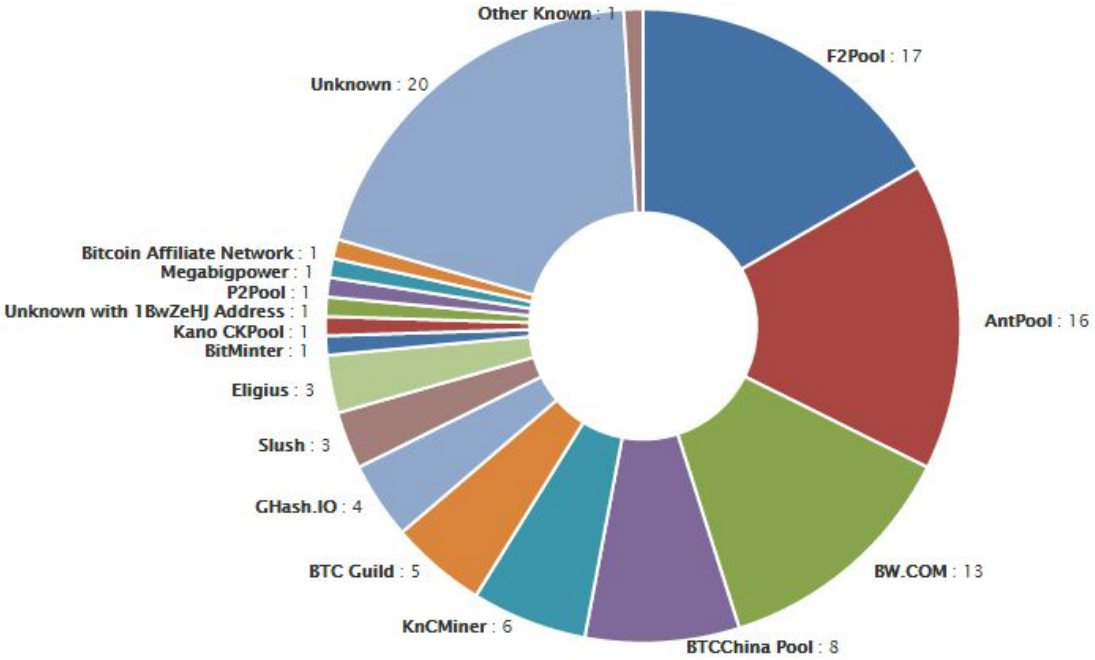
Izvor: `bitcoinbook.cs.princeton.edu`

Bazeni Bitcoin rudara - distribucija hashratea



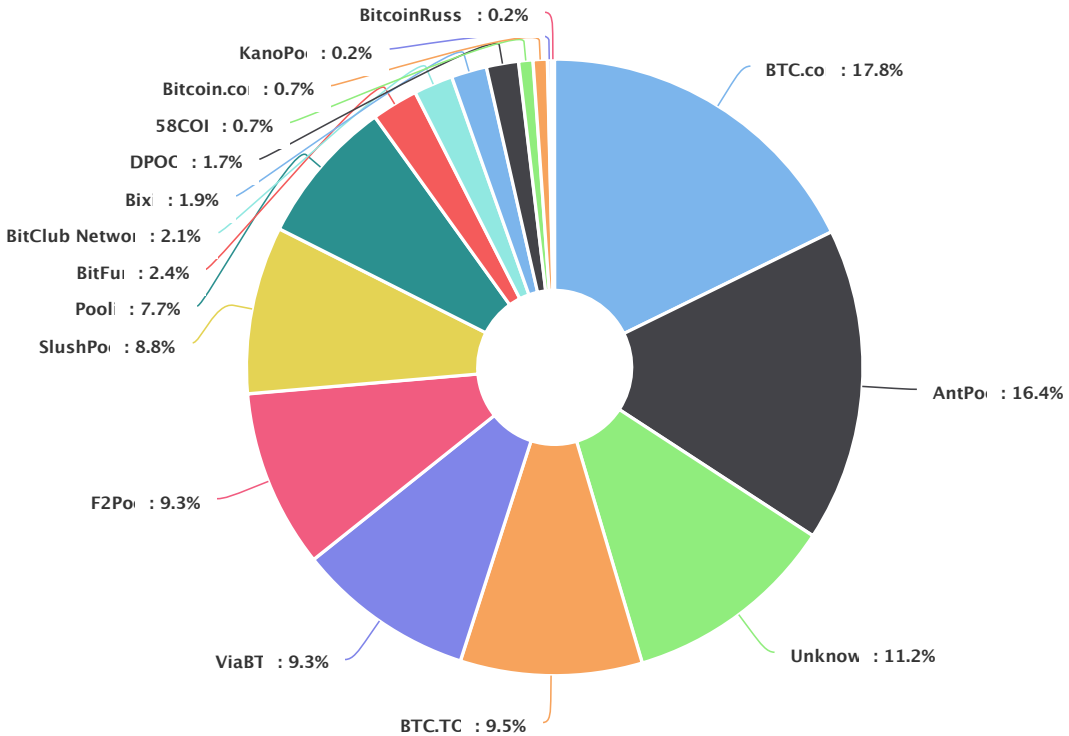
2014. godina, izvor: `bitcoinbook.cs.princeton.edu`

Bazeni Bitcoin rudara - distribucija hashratea



2015. godina, izvor: `bitcoinbook.cs.princeton.edu`

Bazeni Bitcoin rudara - distribucija hashratea



2018. godina, izvor: `www.blockchain.com`

Bazeni Bitcoin rudara - prednosti i nedostaci

Prednosti

- Smanjuju rizike i volatilnosti
- Mali rudari mogu se uključiti u posao
- Održavanje softvera mreže je jednostavnije - ipak neka razina centralnosti

Nedostaci

- **51 % napad** - nije lagano utvrditi tko je s kime povezan
- U načelu rudari mogu napustiti bazene, ali pitanje je kako to funkcionira u praksi
- Smanjuje se broj čvorova koji validiraju transakcije (tj. vrte kompletan softver)