



RockChain tečaj: JEDINICA 1. Uvod u industriju ukrasnog kamena i rudarstva.



Ovo djelo licencirano je pod [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

"Financirano sredstvima Europske unije. Izneseni stavovi i mišljenja su stavovi i mišljenja autora i ne moraju se podudarati sa stavovima i mišljenjima Europske unije ili Europske izvršne agencije za obrazovanje i kulturu (EACEA). Ni Europska unija ni EACEA ne mogu se smatrati odgovornima za njih."



Erasmus+



Transilvania
University
of Braşov



Sadržaj

1. PREGLED SEKTORA: OPSEG, UTJECAJ, GLAVNE ZEMLJE.....	4
1.1. Europski sektor kamena — razmjer i glavne zemlje	4
1.2. Vodeći europski proizvođači i izvoznici	4
1.3. Vrste kamenja i segmenti	4
1.4. Globalni sektor prirodnog kamena — Opseg i rast	5
2. VRSTE UKRASNOG KAMENJA (MRAMOR, GRANIT, ŠKRILJEVAC, VAPNENAC...)	7
2.1. Mramor.....	7
2.2. Granit.....	7
2.3. Škriljevac.....	7
2.4. Vapnenac	7
2.5. Pješčenjak	8
2.6. Travertin	8
2.7. Onyx.....	8
2.8. Kvarcit	8
2.9. Ostali ukrasni kamenovi	8
2.10. Sažetak.....	9
3. OD KAMENOLOMA DO TRŽIŠTA: INDUSTRIJSKI PROCES	10
3.1. Geološka istraživanja i istraživanja	10
3.2. Planiranje i razvoj kamenoloma	10
3.3. Vađenje (kamenolom)	10
3.4. Rukovanje blokovima i transport	10
3.5. Primarna obrada (piljenje i rezanje ploča)	11
3.6. Sekundarna obrada (završna obrada i oblikovanje)	11
3.7. Kontrola kvalitete i ocjenjivanje	11
3.8. Pakiranje i logistika	11
3.9. Komercijalizacija i tržište	11
4. KLJUČNI DIONICI: MSP, UDRUGE, INSTITUCIJE	13
4.1. Mala i srednja poduzeća i poduzeća	13
4.2. Udruge	13



4.3.	Institucije i istraživači.....	13
4.4.	Podrška dionicima	14
5.	TRENTNI IZAZOVI: TROŠKOVI ENERGIJE, EMISIJE CO ₂ , SLJEDIVOST	15
5.1.	Troškovi energije	16
5.2.	Emisije CO ₂ i utjecaj na okoliš.....	16
5.3.	Sljedivost.....	17
5.4.	Sažetak.....	17
6.	PRAVNI I OKOLIŠNI KONTEKST (EUROPSKI ZELENII DOGOVOR, TAKSONOMIJA...)	18
6.1.	Europski zeleni dogovor (2019.–).....	18
6.2.	EU taksonomija za održive financije (2020.–)	19
6.3.	Ostalo relevantno zakonodavstvo EU-a	19
6.4.	Sažetak.....	20
	REFERENCE	21

1. PREGLED SEKTORA: OPSEG, UTJECAJ, GLAVNE ZEMLJE

1.1. Europski sektor kamena — razmjer i glavne zemlje

U Europi su prihodi od tržišta prirodnog kamena iznosili približno 1.879,8 milijuna USD ($\approx 1,88$ milijardi USD) u 2024., s očekivanim rastom na 2.695,1 milijun USD ($\approx 2,7$ milijardi USD) do 2030., što odražava CAGR od 6,4%.

Drugi izvor procjenjuje šire europsko tržište prirodnog kamena i mramora na 16,04 milijarde USD u 2021., s rastom na 18,44 milijarde USD u 2025. (CAGR $\approx 3,55\%$), a predviđa se da će dosegnuti 24,39 milijardi USD do 2033.

1.2. Vodeći europski proizvođači i izvoznici

Italija: Vodeći proizvođač u EU ($\approx 51\%$ ekstrakcije i prerade). Poznat po visokokvalitetnom kararskom mramoru i brojnim nalazištima granita.

Španjolska: Druga u EU ($\approx 19\%$ proizvodnje), s jakom proizvodnjom granita, mramora i škriljevca — posebno iz Galicije, odgovorne za $\approx 90\%$ europskog krovnog škriljevca (≈ 4 milijuna tona/godišnjaka).

Portugal: Glavni izvoznik granita i vapnenca, s popularnim sivim i ružičastim granitom koji se široko koristi u popločavanju i oblogama.

Grčka: Poznata po mramoru; također proizvođač granita u manjim količinama

Norveška, Švedska, Finska: Poznati po granitima visoke čvrstoće (npr. Blue Pearl, Balmoral Red) koji se uglavnom izvoze kao sirovi blokovi.

Njemačka, Francuska, Poljska: Posjeduju domaće kamenolome, ali se znatno oslanjaju na uvoz prerađenih kamenih proizvoda; poznate tradicionalne proizvodne zone poput Bavarske šume u Njemačkoj i Bretanje u Francuskoj.

Istočna Europa (Ukrajina, Kazahstan itd.): Imaju manja, uglavnom domaća tržišta, ali nose geološki potencijal.

1.3. Vrste kamenja i segmenti

U Europi granit ima najveći udio prihoda ($\approx 37,7\%$) u 2024. godini (

Mramor je najbrže rastući segment u Europi i SAD-u.

U Španjolskoj je škriljevac izuzetno dominantan materijal za krovove, čineći 90% europske opskrbe krovovima od škriljevca.

1.4. Globalni sektor prirodnog kamena — Opseg i rast

Veličina tržišta

Globalno tržište prirodnog kamena procjenjuje se na 41,81 milijardu USD u 2025. godini, a predviđa se da će dosegnuti 43,27 milijardi USD u 2026., postupno napredujući do 60,86 milijardi USD do 2035., s CAGR-om od 3,5% od 2026. do 2035.

Globalno tržište prirodnog kamena brzo je raslo u 2022. i očekuje se daljnji rast do 2028., uz značajan CAGR u predviđenom razdoblju. S povećanom potražnjom za estetskim i izdržljivim građevinskim materijalima te napretkom u tehnologijama rezanja, završne obrade i ugradnje, tržište prirodnog kamena dodatno je ojačano. Zahvaljujući svojoj primjeni u građevinarstvu, dizajnu interijera i uređenju okoliša, prirodni kamen pronašao je ogromno tržište zahvaljujući svojoj izdržljivosti, bezvremenosti i svestranosti. Nadalje, postoji rastući trend korištenja ekološki prihvatljivih i održivih građevinskih materijala, što dodatno podržava potražnju za prirodnim kamenom u različitim industrijama.



Slika 1. Globalna veličina tržišta prirodnog kamena do 2035. godine. Izvor: <https://www.businessresearchinsights.com/market-reports/natural-stone-market-118807>

Regionalna rasprostranjenost

- Azijsko-pacifička regija dominira, doprinoseći s više od 46% globalne potražnje, osobito potaknute Kinom i Indijom, potaknutu brзом urbanizacijom i rastom infrastrukture.
- Europa drži oko 18,5% globalnog tržišta prirodnog kamena u 2024. godini i približno 25% globalne potrošnje
- Sjeverna Amerika čini otprilike 21% potrošnje.

Ključni pokretači i trendovi

- Građevinarstvo ostaje glavni pokretač (≈42% potražnje), osobito za podove, obloge i vrhunske arhitektonske primjene.
- Obnova/restauracija (posebno povijesnih lokaliteta) doprinosi ≈28% potražnje.
- Trendovi održivosti povećavaju upotrebu kamena: oko 19% zelenih građevinskih projekata navodi prirodni kamen zbog njegove reciklabilnosti i niskog utjecaja na okoliš.

Izazovi

Ograničenja u opskrbnom lancu, ekološki propisi, visoki troškovi obrade i logistički izazovi su prisutni, osobito u Europi.

Sažetak

Industrija prirodnog kamena je značajna i stalno raste—osobito u Europi gdje nasljeđe, kvalitetni materijali i potražnja za obnovom jačaju sektor. Globalna pozornica, međutim, jasno je pod dominacijom Azijsko-pacifičke regije, zahvaljujući urbanizacijskom bumu. Ključni europski igrači poput Italije i Španjolske i dalje su značajni ne samo regionalno, već i globalno u pogledu izrade i izvoza.

2. VRSTE UKRASNOG KAMENJA (MRAMOR, GRANIT, ŠKRILJEVAC, VAPNENAC...)

U sektoru ukrasnog kamena (neki drugi nazivi: arhitektonski kamen, kamen dimenzija), pojam se odnosi na prirodni kamen koji se koristi u dekorativne i arhitektonske svrhe – uglavnom u građevinarstvu, spomenicima, unutaršnjem uređenju i umjetnosti.

Glavne vrste ukrasnih kamenova su:

2.1. Mramor

- Sastav: Metamorfna stijena, rekristalizirani vapnenac (kalcit/dolomit).
- Značajke: Fino zrnato, lako polirati, elegantne žile, raznolikost boja (bijela, crna, zelena, ružičasta).
- Namjena: podovi, zidne obloge, skulpture, spomenici, luksuzne radne ploče.
- Poznati primjeri: Carrara (Italija), Pentelic (Grčka), Makrana (Indija), Rosa Portugues (Portugal).

2.2. Granit

- Sastav: Magmatska stijena (kvarc, feldspat, mika).
- Značajke: Vrlo tvrd, izdržljiv, otporan na vremenske uvjete; širok raspon boja (siva, crna, crvena, plava).
- Namjena: Fasade, popločavanje, spomenici, radne ploče, stepenice.
- Poznati primjeri: Balmoral Red (Finska), Blue Pearl (Norveška), Rosa Beta (Italija).

2.3. Škriljevac

- Sastav: Metamorfna stijena iz škriljevca.
- Značajke: Lako se razdvaja u tanke slojeve, otporne na vremenske uvjete, tamne nijanse (siva, crna, zelena, ljubičasta).
- Namjena: krovovi, podovi, obloge, bilijarski stolovi.
- Poznati primjeri: galicijski škriljevac (Španjolska – 90% europskog krovnog škriljevca), velški škriljevac (UK).

2.4. Vapnenac

- Sastav: Sedimentna stijena, uglavnom kalcit.
- Značajke: Mekši od mramora/granita, topli bež/kremasti tonovi, može biti fosilni.
- Namjena: Fasade, unutarnje obloge, podovi, povijesne zgrade.
- Poznati primjeri: Jura (Njemačka), Moca Cream (Portugal), Vicenza Stone (Italija).

2.5. Pješčenjak

- Sastav: Sedimentne stijene, cementirana zrna pijeska (kvarc dominantan).
- Značajke: Lako se reže/rezbari, zemljani tonovi (žuta, crvena, smeđa, siva).
- Namjena: zidovi, popločavanje, ukrasni stupovi, uređenje okoliša.
- Poznati primjeri: Yorkshire pješčenjak (UK), Dholpur (Indija), Raj Green (Indija).

2.6. Travertin

- Sastav: Porozna varijanta vapnenca, nastala taloženjem u toplim izvorima.
- Značajke: Karakteristične šupljine/vene, zemljane boje (krem, bež, zlatna).
- Namjena: podovi, pročelja, kupaonice, spomenici.
- Poznati primjeri: Tivoli travertin (Italija), Denizli travertin (Turska).

2.7. Onyx

- Sastav: Prugasti oblik kalcedona/kvarca ili kalcitnog prstenastog kamena (često korišten dekorativno).
- Značajke: Prozirne, upečatljive trake boja (zelena, medena, crvena).
- Upotrebe: Dekorativni paneli, luksuzni interijeri, instalacije s pozadinskim osvjetljenjem.
- Poznati primjeri: meksički oniks, pakistanski zeleni oniks.

2.8. Kvarcit

- Sastav: Metamorfirani pješčenjak (visok sadržaj kvarca).
- Karakteristike: Vrlo tvrd, blistavi izgled, raspon boja.
- Upotrebe: radne ploče, obloge, popločavanje.
- Poznati primjeri: Taj Mahal kvarcit (Brazil), bijeli makaube (Brazil).

2.9. Ostali ukrasni kamenovi

- Bazalt (vulkanski, tamni, koristi se za popločavanje i spomenike).
- Serpentine (metamorfni, ukrasni kamen, unutarnji paneli, skulpture)
- Tuf i porfir (vulkanski, dekorativni popločavanje, povijesna rimska namjena).
- Breccia (kutni fragmenti spojeni cementom, ukrasni zidovi/podovi).
- Alabaster (mekani gips, prozirni, skulpture i mali predmeti).



2.10. Sažetak

Glavni ukrasni kamenovi su mramor, granit, vapnenac, pješčenjak, škriljevac, travertin, oniks i kvarcit, a mnoge lokalne sorte daju svakoj zemlji jedinstveni identitet u sektoru kamena.

3. OD KAMENOLOMA DO TRŽIŠTA: INDUSTRIJSKI PROCES

Industrijski proces od ukrasnog kamenoloma do tržnice prolazi kroz nekoliko faza.

3.1. Geološka istraživanja i istraživanja

Cilj: Identificirati i procijeniti naslage (mramor, granit, vapnenac itd.).

Aktivnosti:

- Geološko kartiranje, uzorkovanje i bušenje.
- Testiranje boje, teksture, žila, strukturnog integriteta, uzoraka loma.
- Studije izvedivosti (rezerve, trošak vađenja, tržišna potražnja).

3.2. Planiranje i razvoj kamenoloma

Planiranje:

- Odlučite o dizajnu kamenoloma, visini klupa, pristupnim cestama.
- Procjena utjecaja na okoliš (EIA).
- Dozvole i licence (zemlje i EU).

Postavljanje infrastrukture: pristupne ceste, opskrba vodom/električnom energijom, područja za upravljanje otpadom.

3.3. Vađenje (kamenolom)

Različite tehnike ovisno o vrsti kamena i željenoj kvaliteti bloka:

- Dijamantne žičane pile: Za mramor, granit, travertin (precizno, minimalno otpada).
- Strojevi za motorne pile: Rezanje mekog/srednjeg tvrdog kamena (vapnenac, mramor).
- Bušenje i cijepanje klinovima: Tradicionalna metoda za škriljevac, pješčenjak.
- Kontrolirano miniranje: Povremeno se koristi, ali izbjegava u ukrasnom kamenu (uzrokuje lomove).

3.4. Rukovanje blokovima i transport

- Blokovi se režu u pravilne oblike.
- Teški dizalice, utovarivači i kamioni prevoze ih s tla kamenoloma u stočne dvorište.
- Blokovi ocijenjeni po boji, uzorku, pukotinama i dimenzijama.

- Prijevoz do prerađivačkih pogona (na obližnjem otoku Braču, ali često udaljenom).

3.5. Primarna obrada (piljenje i rezanje ploča)

- Pokretne pile ili rezači blokova: Režite velike blokove na ploče (debljine 2–10 cm).
- Kalibracija ploče: Osigurava ujednačenu debljinu.
- Linije poliranja: Ploče polirane abrazivima (dijamantni, smolasti jastučići) do sjajnih, oštih, brušenih ili teksturiranih završnih slojeva.
- Otpad kao nusproizvod (kaša, prah, ostaci otpada) upravlja se ili reciklira gdje je to moguće.

3.6. Sekundarna obrada (završna obrada i oblikovanje)

- Površinske završne obrade: Polirane, brušene, plamene, čekićane u grmlju, pjeskarene, kožne, antikne.
- Oblikovanje rubova i profiliranje: Za radne ploče, stepenice, prozorske daske.
- Posebni proizvodi: Kameni, pločice, obloge, ukrasni predmeti, mozaici
- Tretman smolom: Neki mramori i oniks ojačani smolom/staklenim vlaknima radi čvrstoće.

3.7. Kontrola kvalitete i ocjenjivanje

- Inspekcija ujednačenosti boja, završne obrade površine, debljine, točnosti dimenzija.
- Klasifikacija kamenih blokova u prvu, drugu, treću klasu (prema pukotinama i drugim prekidima, komercijalna kvaliteta).
- Testiranje fizičkih i mehaničkih svojstava (upijanje vode, gustoća, tlačna čvrstoća, otpornost na mraz).

3.8. Pakiranje i logistika

- Ploče pakirane u drvene snopove (sanduke).
- Pločice pakirane u palete ili kutije.
- Blokovi su ponekad dolazili sirovi.
- Prijevoz kamionima, željeznicom ili kontejnerima.

3.9. Komercijalizacija i tržište

- Izravna prodaja: Od kamenolomskih tvrtki do distributera, izvođača, arhitekata.



- Kameni sajmovi i izložbe: Marmomac (Italija), Xiamen Stone Fair (Kina), Coverings (SAD).
- Distribucijska mreža: veletrgovci, kamenokopa, proizvođači.
- Krajnje namjene: arhitektura, spomenici, restauracija, uređenje okoliša, luksuzni dizajn.

Vrlo je važan trend održivosti, što znači da su recikliranje mulja, pročišćavanje vode, optimizacija rehabilitacije kamenoloma i procjene životnog ciklusa sve veći prioriteti.

4. KLJUČNI DIONICI: MSP, UDRUGE, INSTITUCIJE

4.1. Mala i srednja poduzeća i poduzeća

Većinu industrije dominiraju MSP-ovi (mala i srednja poduzeća), osobito u Europi, iako postoje i velike integrirane grupe.

- Tvrtke za vađenje kamena – vade sirove blokove (često obiteljska mala i srednja poduzeća).
- Tvrtke za preradu – pilane, pogoni za poliranje, proizvođači (pločice, ploče, radne ploče).
- Distributeri i trgovci – kamenolomi, veletrgovci, izvoznici/uvoznici.
- Dizajnerski i obrtnički studiji – klesari, kipari, arhitektonske radionice.
- Velike integrirane tvrtke – vertikalno integrirane grupe koje upravljaju kamenolomom, preradom i prodajom.

4.2. Udruge

Ta tijela predstavljaju tvrtke, lobiraju za povoljne propise, promiču održivost i organiziraju sajmove.

Međunarodna karijera

- Svjetska udruga za prirodni kamen (WONASA) – globalna industrijska mreža.
- ISRM (Međunarodno društvo za mehaniku stijena) – tehnička/znanstvena zajednica relevantna za metode ekstrakcije.
- ICOMOS Odbor za kamen – stručnjaci za očuvanje baštine koji koriste prirodni kamen.

Europski

- EUROROC – Europska federacija industrija prirodnog kamena, krovna organizacija za nacionalne udruge.
- Construction Products Europe (CPE) – pokriva kamen kao građevinski materijal.

4.3. Institucije i istraživači

Pružiti znanstvene, tehničke i političke okvire.

- Sveučilišta i tehnički instituti – geologija, rudarstvo, znanost o materijalima, restauracija.
 - o npr. Sveučilište u Pisi (Italija), Politehničko sveučilište u Madridu (Španjolska), NTUA Atena (Grčka).
- Istraživački centri.

- CTMARMOL (Španjolska) – tehnološki centar za mramor.
- CEVALOR (Portugal) – tehnološki centar za prirodni kamen.
- Tijela za standardizaciju i certifikaciju
 - CEN (Europski odbor za standardizaciju) – ispitivanje kamena i standardi proizvoda.
 - ISO (Međunarodna organizacija za standardizaciju) – standardi za prirodni kamen.
- Vlada i institucije EU-a
 - Ministarstva industrije, trgovine i okoliša (dozvole, dozvole za kamenolome, propisi o zaštiti okoliša).
 - EU programi koji podržavaju inovacije, održivost i kružno gospodarstvo u sektoru kamena.

4.4. Podrška dionicima

- Sajmovi i izložbe (glavne komercijalne platforme):
 - Marmomac (Verona, Italija) – vodeći svjetski sajam kamena.
 - Sajam kamena Xiamen (Kina) – najveći svjetski sajam prirodnog kamena.
 - Coverings (SAD) – Najbolja izložba pločica i kamena u Sjevernoj Americi.
- Arhitekti i dizajneri – specificiraju ukrasni kamen u projektima.
- Konzervatorske/Heritage Authorities – odaberite kamen za spomenike i restauraciju.
- Ekološke nevladine organizacije i lokalne zajednice – utječu na održivost kamenoloma i korištenje zemljišta.



5. TRENUTNI IZAZOVI: TROŠKOVI ENERGIJE, EMISIJE CO₂, SLJEDIVOST

Industrija ukrasnog kamena suočava se s nekoliko strateških izazova koji nadilaze samo vađenje i završnu obradu. Danas su tri najhitnija:

- troškove energije,
- CO₂ emisije, i
- Prativost.

5.1. Troškovi energije

Vađenje, piljenje, poliranje i transport vrlo su energetske zahtjevni. Cijene energije u Europi (posebno nakon 2021.) dramatično su porasle, smanjujući konkurentnost u odnosu na proizvođače s nižim troškovima (Kina, Indija, Turska).

Procesi najviše pogođeni:

- Rezanje dijamantnom žicom, mehaničke pile, linije za poliranje – velika potrošnja električne energije.
- Dizel za kamenolomsku opremu i transport blokova/kamenja.

Utjecaji:

- Smanjene profitne marže za mala i srednja poduzeća.
- Neke tvrtke smanjuju smjene ili odgađaju ulaganja.

Trendovi/rješenja:

- Prijelaz na obnovljive izvore energije u kamenolomima/postrojenjima (solarna, vjetar).
- Energetski učinkovitije tehnologije rezanja (višežične pile).
- EU poticaji za industrijske projekte energetske učinkovitosti.

5.2. Emisije CO₂ i utjecaj na okoliš

Izravne emisije:

- Dizelska mehanizacija u kamenolomima.
- Prijevoz teških blokova (ponekad interkontinentalnih).

Neizravne emisije:

- Potrošnja električne energije (posebno ako je mreža napajana fosilnim gorivima).

Izazovi:

- Ukrasni kamen natječe se s keramikom, inženjerskim kvarcom i betonom – svi se oni reklamiraju kao "kontrolirani" ili "ekološki prihvatljivi".
- Pritisak od certifikata za zelene gradnje (LEED, BREEAM) koji zahtijevaju dokumentaciju o ugljičnom otpisu.

Trendovi/rješenja:

- Procjena životnog ciklusa (LCA) i deklaracije okolišnih proizvoda (EPD) za kamene proizvode.
- Recikliranje mulja, prašine i otpada (za agregate, punila, cementnu industriju).
- Obveze smanjenja ugljika (EU Zeleni plan → neto nultu emisiju do 2050.).

- Razvoj logistike s niskim utjecajem (željeznički promet, učinkovitost brodarstva).

5.3. Sljedivost

Arhitekti, klijenti i regulatori sve više zahtijevaju dokaz o podrijetlu (etičko nabavljanje, utjecaj na okoliš, pošten rad).

Također, EU propisi o održivim opskrbnim lancima se pooštavaju.

Izazovi:

- Mnogi kamenčići trguju preko posrednika – teško je potvrditi podrijetlo kamenoloma.
- Rizik od "pranja kamena" (lažno označavanje podrijetla radi izbjegavanja carina ili stjecanja prestiža).

Trendovi/rješenja:

- Digitalni sustavi sljedivosti (QR kodovi, blockchain od certificiranog kamenoloma do tvornice i do krajnjeg korisnika.
- ISO i CEN standardi za označavanje i testiranje.
- Snažniju ulogu industrijskih udruga (npr. EUROROC, nacionalne federacije) u stvaranju transparentnih certifikacijskih shema.
- Sljedivost postaje konkurentna prednost (npr. "100% talijanski mramor iz Carrare").

5.4. Sažetak

Sektor ukrasnog kamena pod pritiskom je da smanji troškove, dokaže održivost i osigura transparentnost. Tvrtke koje ulažu u čistu energiju, mjere svoj ugljični otisak i usvajaju sustave sljedivosti bit će najbolje pozicionirane da ostanu konkurentne u Europi i globalno.

6. PRAVNI I OKOLIŠNI KONTEKST (EUROPSKI ZELENİ DOGOVOR, TAKSONOMIJA...)

Pravni i okolišni kontekst za industriju ukrasnog kamena u Europi temelji se na dva stupa: Europskom zelenom dogovoru i EU taksonomiji. Ova dva stupa mijenjaju način na koji se regulira i financira vađenje, prerada i komercijalizacija kamena.

6.1. Europski zeleni dogovor (2019.–)

Europski zeleni plan glavna je strategija EU-a za postizanje klimatske neutralnosti do 2050. godine.

Izravno utječe na eksploatacijske industrije, uključujući ukrasni kamen. Ključna područja koja utječu na kamenu industriju su:

Klima i energija

- Cilj: -55% emisija stakleničkih plinova do 2030. godine.
- Kamenolomi i prerađivački pogoni → pod pritiskom da smanje emisije povezane s dizelom i električnom energijom.
- Zagovarajte obnovljive izvore energije i učinkovite tehnologije u vađenju i preradi.

Akcijski plan za kružno gospodarstvo (CEAP)

- Prioritet daje smanjenju otpada i recikliranju.
- Otpad iz kamenoloma (mulj, otpad) mora se sve više valorizirati (agregati, punila, dodaci cementu).
- Očekuje se da će tvrtke izvještavati o učinkovitosti korištenja resursa i stopama recikliranja.

Regulacija održivih proizvoda (prema okviru Ecodesigna)

- Građevinski proizvodi (uključujući kamen) moraju pokazati dugotrajnost, mali otisak i mogućnost recikliranja.
- Povoljno za prirodni kamen u odnosu na keramiku/beton (kamen = dugotrajnost, niska obrada).

Bioraznolikost i korištenje zemljišta

- Vađenje kamenoloma u područjima Natura 2000 suočava se sa strogim ograničenjima.
- Operateri moraju provesti planove obnove (obnova zemljišta, kompenzacija bioraznolikosti).

6.2. EU taksonomija za održive financije (2020.–)

Sustav klasifikacije koji definira koje su aktivnosti "ekološki održive" i ključne za financiranje, subvencije i vjerodostojnost investitora. Kriteriji relevantni za sektor kamena:

Da bi bile "taksonomski usklađene", kamene aktivnosti moraju:

1. Značajno doprinose ublažavanju/prilagodbi klimatskim promjenama (npr. izdržljivi, niskougljični materijali u građevinarstvu).
2. Ne nanositi značajnu štetu (DNSH) drugim ekološkim ciljevima (voda, kružno gospodarstvo, bioraznolikost, onečišćenje).
3. Ispuniti minimalne mjere zaštite (rad, upravljanje, ljudska prava).

No ti okviri nude i neke mogućnosti za kamen:

- Prirodni kamen ima dobre rezultate po izdržljivosti i reciklabilnosti – može se smatrati održivim građevinskim proizvodom u usporedbi s keramikom/betonom.
- Ako tvrtke dokažu nizak CO₂ otisak i sljedivost, mogu pristupiti tržištima zelenog financiranja, subvencija i javne nabave.

I postavite neke izazove i rizike, na primjer:

- MSP-ovi često nemaju resurse za izvještavanje o taksonomiji, LCA studije i revizije.
- Rizik: ako proizvođači kamena ne zadovolje taksonomske kriterije, banke ih mogu klasificirati kao "ne-zelene", čime se ograničava pristup ulaganjima.

6.3. Ostalo relevantno zakonodavstvo EU-a

- Regulacija građevinskih proizvoda (CPR)
- Postavlja pravila za CE označavanje i deklaracije proizvoda.
- Vjerojatno će u budućnosti biti potrebne Deklaracije okolišnih proizvoda (EPD) za kamen.
- Direktiva o industrijskim emisijama (IED)
- Kontrolira prašinu, buku, ispuštanje vode iz kamenoloma i prerađivačkih pogona.
- Okvirna direktiva o otpadu
- Zalaže se za valorizaciju otpada iz kamenoloma i pravilno zbrinjavanje mulja.
- Direktiva o izvještavanju o održivosti poduzeća (CSRD)

- Velike tvrtke (a kasnije i mala i srednja poduzeća u opskrbnim lancima) moraju objaviti ekološke i društvene rezultate.

Ti propisi imaju različite implikacije za industriju kamena, kao što su:

- Veći troškovi usklađenosti: Više izvještavanja o okolišu, praćenja i revizija.
- Konkurentska prilika: Ako se pravilno plasira na tržište, prirodni kamen može se pozicionirati kao "održivi izbor" za razliku od keramike ili betona.
- Pritisak financiranja: Samo projekti usklađeni s taksonomijom privlače zeleno financiranje i zajmove s nižim kamatama.
- Poticaj za inovacije: Tehnologije recikliranja, obnovljivi izvori energije, digitalna sljedivost postaju strateška ulaganja.

6.4. Sažetak

Pravni i ekološki kontekst u Europi se zaoštrava, ali također daje prirodnom kamenu jedinstvenu priliku: ako proizvođači mogu dokumentirati trajnost, nizak ugljični otisak i odgovorno nabavljanje, kamen bi mogao biti prepoznat kao preferirani održivi građevinski materijal prema EU Zelenom paktu i taksonomiji.

REFERENCE

Izveštaji o istraživanju tržišta i savjetovanje, Grand View Research, Inc.,
(<https://www.grandviewresearch.com/>)

Veličina i perspektiva tržišta prirodnog kamena u Europi, 2024.-2030.
(https://www.grandviewresearch.com/horizon/outlook/natural-stone-market/europe?utm_source=chatgpt.com)

Globalno izvješće o tržištu prirodnog kamena i mramora 2025., Veličina tržišta, udio, CAGR, prognoza, prihodi (https://www.cognitivemarketresearch.com/natural-stone-and-marble-market-report?utm_source=chatgpt.com)

LinkedIn, Globalno tržište prirodnog kamena 2025
(https://www.linkedin.com/pulse/global-market-natural-stone-2025-maksym-kurechko--xbgce?utm_source=chatgpt.com)

Globalni uvidi u rast, Izvještaj o istraživanju tržišta i savjetovanje,
(<https://www.globalgrowthinsights.com/>)

Industrija škriljevca u Španjolskoj - Wikipedia
(https://en.wikipedia.org/wiki/Slate_industry_in_Spain?utm_source=chatgpt.com)

Izvešće o tržištu građevinskog kamena, globalna prognoza za 2025. do 2033.,
(https://dataintelo.com/report/construction-stone-market?utm_source=chatgpt.com)

Veličina tržišta prirodnog kamena i udio u industriji,
(https://www.reanin.com/reports/global-natural-stone-market?utm_source=chatgpt.com)

EUROPSKI ZELENI SPORAZUM,
https://www.esdn.eu/fileadmin/ESDN_Reports/ESDN_Report_2_2020.pdf

EU taksonomija za održive aktivnosti - Financije - Europska komisija,
https://finance.ec.europa.eu/sustainable-finance/tools-and-standards/eu-taxonomy-sustainable-activities_en

B. Crnković, Lj. Šarić, GRAĐENJE PRIRODNIM KAMENOM, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1992.



RockChain tečaj: JEDINICA 2. Osnove blockchaina.



Ovo djelo licencirano je pod [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

"Financirano sredstvima Europske unije. Izneseni stavovi i mišljenja su stavovi i mišljenja autora i ne moraju se podudarati sa stavovima i mišljenjima Europske unije ili Europske izvršne agencije za obrazovanje i kulturu (EACEA). Ni Europska unija ni EACEA ne mogu se smatrati odgovornima za njih."



Erasmus+



Transilvania
University
of Brasov





Sadržaj

1. ŠTO JE BLOCKCHAIN? PODRIJETLO I EVOLUCIJA	3
1.1. Uvod	3
1.2. Definicija blockchaina	3
1.3. Podrijetlo i evolucija	3
2. OSNOVNI POJMOVI: BLOKOVI, LANAC, HASH, VREMENSKA OZNAKA, KRIPTOGRAFIJA	6
3. DISTRIBUIRANE KNJIGE I DECENTRALIZACIJA	11
4. PAMETNI UGOVORI: DEFINICIJA I UPOTREBA	13
5. USPOREDBA S TRADICIONALNIM BAZAMA PODATAKA	14
6. SLUČAJEVI UPOTREBE U LOGISTICI, FINANCIJAMA, UPRAVLJANJU OTPADOM I RUDARSTVU	16
6.1. Primjeri upotrebe u logistici	16
6.2. Slučajevi upotrebe u financijama	17
6.3. Slučajevi upotrebe u upravljanju otpadom	18
6.4. Slučajevi upotrebe u rudarstvu	19
REFERENCE	22

1. ŠTO JE BLOCKCHAIN? PODRIJETLO I EVOLUCIJA

1.1. Uvod

Posljednjih godina digitalne tehnologije postale su neophodan element za inovacije i konkurentnost u raznim industrijama. Jedna od tehnologija koja se ističe potencijalom za veću transparentnost, sigurnost i učinkovitost u upravljanju podacima i procesima je blockchain.

U industriji ukrasnog kamenja, gdje je optimizacija resursa vrlo važna, ova tehnologija omogućuje bilježenje i verifikaciju transakcija, što čini odgovorno upravljanje resursima učinkovitim i podržava principe cirkularnog gospodarstva (Crosby, Pattanayak, Verma, & Kalyanaraman, 2016; Yaga, Mell, Roby, & Scarfone, 2018).

1.2. Definicija blockchaina

Blockchain je distribuirana tehnologija koja omogućuje pohranu i prijenos informacija na zaštićen, transparentan i decentraliziran način. Poznata je i kao Distributed Ledger Technology (DLT).

Prema Crosbyju, Pattanayaku, Vermi i Kalyanaramanu (2016), blockchain se može razumjeti kao distribuirana javna knjiga svih transakcija, potvrđena jednoglasnošću sudionika. Slično tome, Yaga, Mell, Roby i Scarfone (2018) definiraju blockchain kao distribuiranu knjigu podataka implementiranu kao lanac blokova, od kojih svaki sadrži skup kriptografski povezanih transakcija. Ove značajke osiguravaju da se podaci ne mogu mijenjati bez utjecaja na cijeli lanac te da se povjerenje održava kolektivno od strane mreže, a ne središnje vlasti.

Iako je postao globalno poznat kroz kriptovalute, blockchain nije ograničen samo na to područje.

1.3. Podrijetlo i evolucija

Podrijetlo blockchaina usko je povezano s financijskom krizom 2008. godine, koja je smanjila povjerenje javnosti u tradicionalno bankarstvo i financijske institucije. U tom kontekstu, Satoshi Nakamoto objavio je rad "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System", u kojem je predložio decentralizirani elektronički sustav plaćanja temeljen na peer-to-peer mreži i distribuiranoj knjizi (Nakamoto, 2008). Ovaj rad, objavljen u listopadu 2008., smatra se rodnim listom blockchaina. Nekoliko mjeseci kasnije, u siječnju 2009., pokrenuta je Bitcoin mreža, prva praktična primjena tehnologije. Pokazao je da je moguće prenijeti novac i druge oblike digitalne vrijednosti između dva sudionika, bez potrebe za

posrednikom, poput banaka ili procesora plaćanja, a transakcije se mogu potvrditi uz dogovor sudionika mreže.

Od ove prve primjene, blockchain je doživio brzu evoluciju, koja se može podijeliti u nekoliko faza.

Blockchain 1.0

Prva faza odgovara razdoblju u kojem se tehnologija gotovo isključivo koristila za digitalne valute. Pažnja je bila usmjerena na sigurne i decentralizirane financijske transakcije, a Bitcoin je ostao glavna primjena. Ova faza nazvana je Blockchain 1.0.

Blockchain 2.0

Druga faza obilježena je pojavom Ethereum platforme 2015. godine, koju je predložio Vitalik Buterin. Ethereum je uveo koncept pametnih ugovora, samoizvršnih programa koji rade na blockchainu i omogućuju automatizaciju složenih procesa, od financijskih transakcija do upravljanja lancem opskrbe. Ova inovacija radikalno je proširila mogućnosti blockchaina, pretvarajući ga u infrastrukturu sposobnu za hosting decentraliziranih aplikacija.

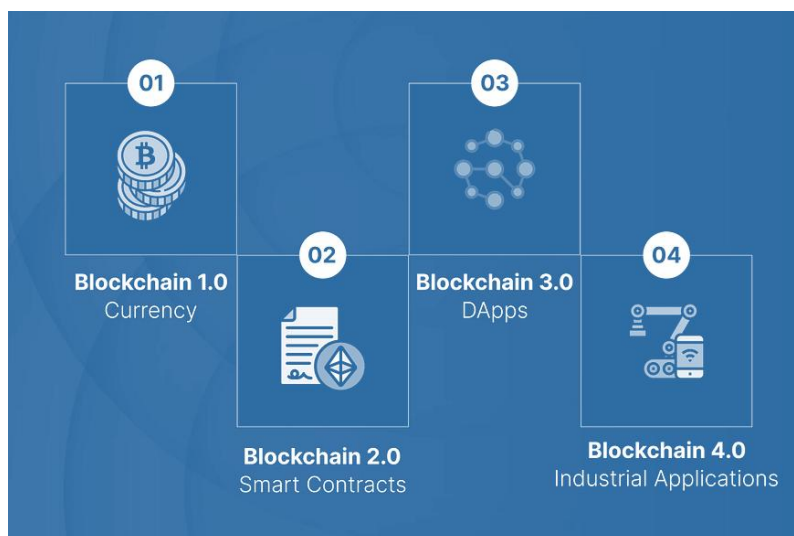
Blockchain 3.0

Širenje korištenja tehnologija izvan financijskog područja i integracija u industrijski i društveni sektor dovelo je do treće faze nazvane Blockchain 3.0. Od 2019. godine blockchain tehnologija koristi se za sljedivost proizvoda, sigurnost medicinskih podataka, validaciju digitalnog identiteta ili upravljanje obnovljivom energijom (Guo, 2025). Tapscott i Tapscott (2016) naglašavaju da blockchain ima potencijal revolucionirati način na koji tvrtke i vlade upravljaju informacijama i resursima, kroz transparentnost i smanjenje broja posrednika.

Blockchain 4.0

Danas se govori o četvrtoj fazi, Blockchain 4.0, koja ima za cilj integraciju s drugim novim tehnologijama, poput umjetne inteligencije, Interneta stvari ili virtualne stvarnosti, s naglaskom na skalabilnost, održivost i interoperabilnost.

Blockchain je već dugo nadilazio granice financijskog područja i pokazao se iznimno vrijednim za praćenje resursa i održivo upravljanje materijalnim tokovima. U industriji upravljanja otpadom i rudarstvu, blockchain se može koristiti za praćenje puta otpada, certificiranje procesa recikliranja i osiguravanje usklađenosti s ekološkim propisima (BlockWaste Project, 2023).



Slika 1. Evolucija blockchaina. Izvor: <https://medium.com/coinmonks/blockchain-4-0-the-next-generation-of-blockchain-technology-78de1cac6479>

Kao što je prikazano na Slici 1, evolucija blockchaina može se pratiti od njegove početne upotrebe u digitalnim valutama (Blockchain 1.0), preko pojave pametnih ugovora (Blockchain 2.0) i decentraliziranih aplikacija (Blockchain 3.0), do njegove trenutne faze industrijskih primjena (Blockchain 4.0), što naglašava postupno širenje funkcionalnosti i utjecaja.

Vrste blockchaina

Kako se tehnologija razvijala, razvijeno je nekoliko vrsta blockchaina, prilagođenih različitim potrebama organizacija. Ove vrste mogu se podijeliti u četiri glavne kategorije: javni, privatni, konzorcijski i hibridni blockchaini.

Javni blockchaini su potpuno otvoreni, svatko može sudjelovati u mreži, provjeravati transakcije i pregledavati podatke. Relevantni primjeri su Bitcoin i Ethereum. Ova vrsta blockchaina je vrlo transparentna, ali skalabilnost i brzina transakcija i dalje predstavljaju izazov.

Nasuprot tome, privatne blockchaine upravlja jedna organizacija koja kontrolira pristup mreži. To nudi brzinu i učinkovitost, ali ograničava pristup informacijama i procesu validacije. Na taj način razina transparentnosti se smanjuje, jer ne mogu svi korisnici provjeriti podatke, a stupanj decentralizacije ostaje koncentriran u rukama jedne organizacije.

Međurješenje je blockchain konzorcija, gdje nekoliko organizacija surađuje na upravljanju mrežom. U tom slučaju kontrola se dijeli među sudionicima, što omogućuje ravnotežu između učinkovitosti i decentralizacije.

Hibridni blockchain kombinira elemente prethodne dvije vrste. Primjer je IBM Food Trust, koji se koristi za praćenje hrane. Omogućuje da neki podaci budu javni, dok drugi ostaju privatni, ovisno o potrebama uključenih partnera.

Kako bi se istaknule razlike između glavnih vrsta blockchaina, Tablica 1 sažima neke ključne kriterije, poput pristupačnosti, transparentnosti, brzine transakcija i razine kontrole.

Tablica 1. Usporedna analiza tipova blockchaina.

Vrsta blockchaina	Pristupačnost	Transparentnost	Brzina transakcija	Razina kontrole	Primjeri
Javni	Svatko može sudjelovati, otvoreno za sve	Vrlo visoko – svi podaci su vidljivi sudionicima	Niže, zbog velikog broja čvorova i složenih mehanizama konsenzusa	Distribuirana – kontrola se dijeli među svim sudionicima	Bitcoin, Ethereum
Vojnik	Ograničeni, samo ovlašteni korisnici	Niska – pristup podacima je ograničen	Visoko – malo čvorova i brzi mehanizmi validacije	Centralizirano – kontrola koju provodi jedna organizacija	Hyperledger Fabric
Konzorcij	Ograničeno na članice	Medij – podaci su vidljivi među sudionicima konzorcija	Visoki – brzi konsenzus među ograničenom skupinom čvorova	Djelomično decentralizirano – kontrola koju dijeli nekoliko organizacija	R3 Corda, Korum
Hibrid	Kombinacija javnog i privatnog pristupa	Varijabla – neki podaci su javni, drugi privatni	Medij – ravnoteža između sigurnosti i performansi	Kombinirana kontrola: neki procesi otvoreni, drugi centralizirani	IBM Food Trust

Izvor: Prilagođeno prema Mougayar, W. (2016). *Poslovni blockchain*. Wiley.

Od svojih početaka u kontekstu financijske krize 2008. godine, blockchain se brzo razvio od tehnologije povezane isključivo s kriptovalutama do digitalne infrastrukture sa složenim i raznolikim primjenama. Činjenica da postoji više vrsta blockchaina omogućuje prilagodbu tehnologija različitim scenarijima, od potpuno transparentnih javnih mreža do privatnih mreža za korporacije. Danas blockchain stoji na raskrižju tehnoloških inovacija i dubokih promjena u društvu i gospodarstvu, s potencijalom da preoblikuje način na koji se podaci upravljaju i povjerenje gradi u digitalnom okruženju.

2. OSNOVNI POJMOVI: BLOKOVI, LANAC, HASH, VREMENSKA OZNAKA, KRIPTOGRAFIJA

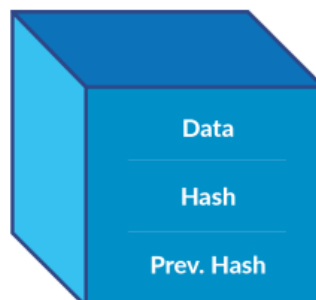
Za razumijevanje blockchaina potrebno je razjasniti neke temeljne koncepte koji čine njegov operativni mehanizam. Ključni tehnički elementi koji omogućuju blockchain uključuju blokove, lanac koji ih povezuje, hash funkcije, vremenske oznake i kriptografske mehanizme (Yaga i sur., 2018).

Blokovi su jedinice podataka koje sadrže skup potvrđenih transakcija i kriptografskih hasheva koji se povezuju s prethodnim blokovima, čime se formiraju nepromjenjivi zapisi u blockchain mreži.

Svaki blok u blockchainu je digitalni spremnik koji pohranjuje podatke o transakcijama u cijelo vrijeme za mrežu. Kada dođu nove transakcije, grupiraju se u blok. Nakon toga mreža potvrđuje te transakcije, blok se blokira i kriptografski povezuje s prethodnim blokovima. To stvara lanac u kojem se sadržaj svakog bloka ne može mijenjati bez utjecaja na ostale.

Glavne komponente bloka u blockchainu su:

- Podaci
- Hash bloka
- Hash prethodnog bloka



Slika 2. Komponente bloka u blockchainu. Izvor: <https://mastechninfotrellis.com/hubfs/Fundamentals-of-Blockchain-Technology-Explained.pdf>

Podaci su najvažniji dio bloka. Podaci unutar bloka mogu biti bilo koje vrste, ovisno o blockchain aplikaciji – od ugovornih ugovora u pametnim ugovorima do zapisa o glasanju, medicinskih informacija i još mnogo toga, ovisno o slučaju upotrebe.

Hash bloka je kod generiran na temelju podataka u bloku. Identificira Blok i sav njegov sadržaj te je uvijek jedinstven. Ako se podaci unutar bloka na bilo koji način promijene, mijenja se i hash, što je vrlo važno za sigurnost blockchaina. Taj hash povezuje jedan blok s drugim, tvoreći trajni lanac.

Prethodni hash je hash kod prethodnog bloka. To stvara stvarni lanac blokova i ključno je za ispravnost blockchaina. Svaki blok uključuje hash prethodnog, što otežava izmjenu podataka bilo kojeg bloka bez utjecaja na cijeli lanac. Prvi blok u blockchainu ne sadrži prethodni hash i naziva se Genesis blok. Veza između blokova ostvaruje se pomoću

kriptografskih hash funkcija, koje osiguravaju da čak i mala izmjena u jednom bloku mijenja sve sljedeće blokove. Ovaj mehanizam jamči nepromjenjivost i jača povjerenje u blockchain sustav. Hash datoteke stoga igraju ključnu ulogu u osiguravanju integriteta i sigurnosti podataka.



Slika 3. Kriptografski hash u akciji. Izvor: <https://sectigostore.com/blog/hash-function-in-cryptography-how-does-it-work/>

Lanac je karika koja povezuje blokove, tako da tvore siguran i nepromjenjiv slijed.

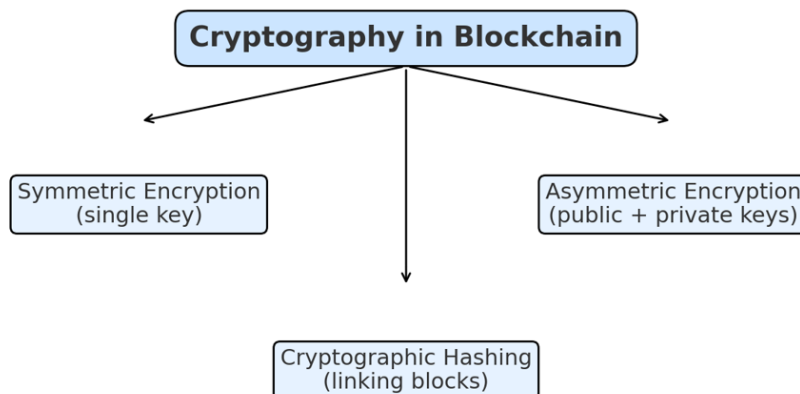
Lanac blockchaina je niz blokova, od kojih svaki sadrži popis transakcija i služi kao okosnica decentraliziranih sustava. Ti su blokovi povezani kronološki, tvoreći lanac (Chilz, 2024).

Vremenska **oznaka** je digitalni zapis koji bilježi točan trenutak kada je blok stvoren i potvrđen. Služi za utvrđivanje kronološkog redoslijeda transakcija i za osiguranje da su informacije u knjizi točne i transparentne, zaštićene pravilima koja sprječavaju daljnje promjene.

Kriptografija je znanost o kodiranju podataka radi njihove zaštite i osiguravanja integriteta i sigurnosti transakcija, sprječavanja bilo koje treće strane da pristupe podacima tijekom komunikacijskog procesa (Crosby i sur., 2016).

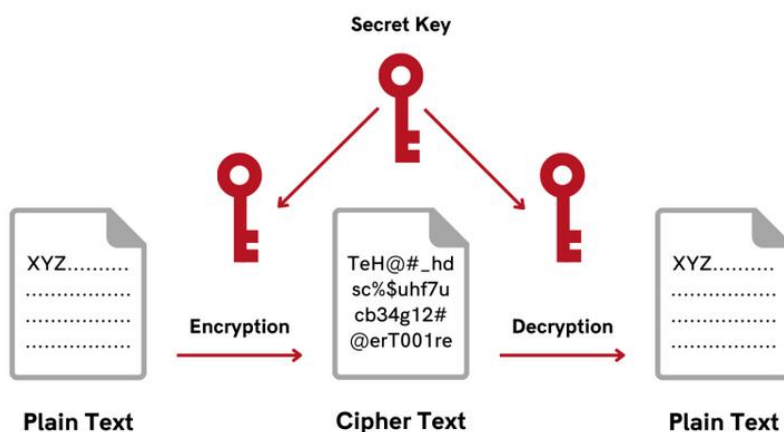
Kriptografija u blockchainu koristi se za zaštitu transakcija koje se odvijaju između dva čvora u blockchain mreži. Temelji se na dva glavna mehanizma: enkripciji (simetrični i asimetrični ključ) i kriptografskom heširanju.

Ti mehanizmi prikazani su na Slici 4, koja ističe kako enkripcija i heširanje zajedno rade za zaštitu blockchain transakcija.



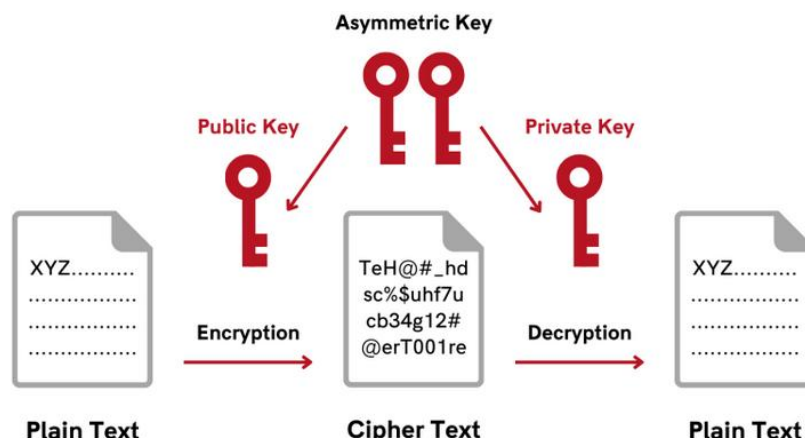
Slika 4. Kriptografija u blockchainu.

Simetrična enkripcija koristi sličan ključ i za enkripciju i za dešifriranje. Algoritam i ključ zajedno šifriraju izvorne osjetljive informacije pretvarajući otvoreni tekst u šifrirani tekst.



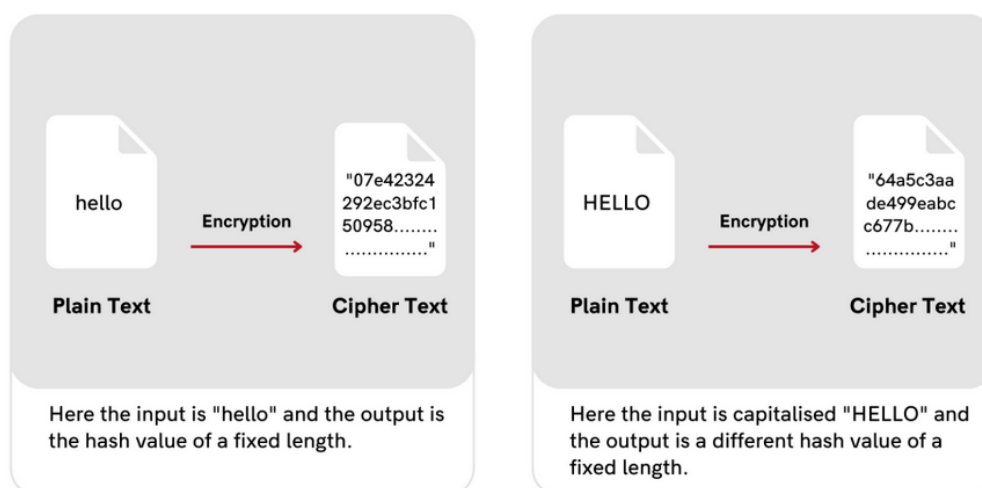
Slika 5. Simetrična kriptografija. Izvor: https://blog.cfte.education/what-is-cryptography-in-blockchain/#Definition_of_Cryptography

Asimetrična enkripcija koristi različite ključeve, poput javnog ključa i privatnog ključa, za šifriranje. Javni ključ koristi se za šifriranje podataka i može ga vidjeti svatko drugi, a privatni ključ, koji nije dostupan svima, koristi se za dešifriranje podataka.



Slika 6. Kriptografija s asimetričnim ključem. Izvor: https://blog.cfte.education/what-is-cryptography-in-blockchain/#Definition_of_Cryptography

Kriptografsko heširanje pretvara podatke u jedinstvene nizove, koji omogućuju otkrivanje bilo kakvih promjena i osiguravaju sigurnu vezu između blokova. Ne uključuje korištenje ključeva, već koristi šifru za formiranje hash vrijednosti fiksne duljine. Korištenjem hash algoritma, bilo koja informacija iz običnog teksta može se pretvoriti u jedinstveni niz teksta. Bez obzira na duljinu ulazne vrijednosti, hash uvijek ima fiksnu duljinu. Ovo načelo prikazano je na slici 7, gdje ulazi 'hello' i 'HELLO' proizvode različite hash vrijednosti iste fiksne duljine.



Slika 7. Hash funkcija. Izvor: https://blog.cfte.education/what-is-cryptography-in-blockchain/#Definition_of_Cryptography

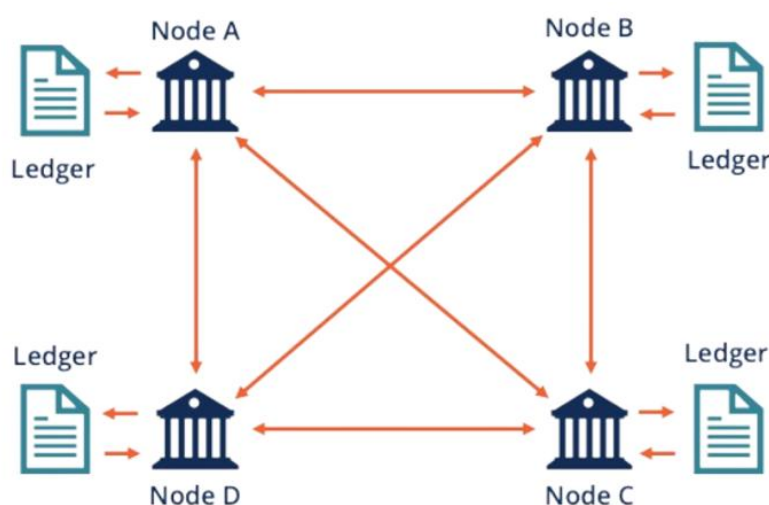
Korištenjem ovih mehanizama, kriptografija osigurava integritet i povjerljivost podataka, čini transakcije sigurnima i provjerljivima te daje blockchainu karakter decentralizirane i pouzdane knjige.

3. DISTRIBUIRANE KNJIGE I DECENTRALIZACIJA

Distribucija knjiga

Tehnološka infrastruktura i protokoli koji omogućuju istovremeni pristup, validaciju i ažuriranje zapisa u umreženoj bazi podataka nazivaju se tehnologija distribuiranih knjiga (DLT) (Harvard Law School Forum on Corporate Governance, 2022). Za razliku od tradicionalnih baza podataka, koje su centralizirane i održavane od strane jedne organizacije, DLT je decentraliziran i djeluje na¹ peer-to-peer mreži (Crosby i sur., 2016). Svaki sudionik, odnosno čvor, u mreži ima kopiju knjige, a svaka ažuriranja knjige izrađuju se i bilježe neovisno od strane svakog čvora. Knjiga se održava putem dogovora između čvorova, osiguravajući da su sve kopije knjige identične.

DLT je tehnologija koja se koristi za izgradnju blockchaina, a infrastruktura omogućuje korisnicima da vide koje su promjene napravljene i od koga, smanjujući potrebu za revizijom podataka, osiguravajući integritet podataka i pružajući pristup samo onima kojima je potreban. To je ilustrirano na Slici 8, gdje četiri čvora razmjenjuju ažuriranja kako bi njihovi registri ostali identični, što pokazuje kako DLT održava transparentnost i sinkronizaciju bez središnje vlasti



Slika 8. Distribuirane knjige. Izvor: <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/cryptocurrency/distributed-ledgers/>

Distribuirana knjiga je jedna od ključnih logičkih komponenti blockchain okruženja. Njegova najistaknutija značajka je decentralizacija (Yaga i sur., 2018).

Decentralizacija

¹ peer-to-peer = izravno dijeljenje resursa i informacija između uređaja ili korisnika bez potrebe za središnjom autoritetom ili poslužiteljem



Decentralizacija je temeljno načelo koje vodi blockchain i distribuirane knjige. Umjesto da postoji jedna točka kontrole, mreža se dijeli među svim sudionicima. To smanjuje rizik od napada jer ne postoji jedinstveni entitet na koji bi se vršio pritisak.

Decentralizacija smanjuje ovisnost o posrednicima, dajući pojedincima veću kontrolu nad njihovim podacima (Harvard Law School Forum on Corporate Governance, 2022). Decentralizacija sustava upravljanja otpadom poboljšava lokalno recikliranje i ponovnu upotrebu resursa, značajno smanjujući utjecaj na okoliš u usporedbi s centraliziranim sustavima.

4. PAMETNI UGOVORI: DEFINICIJA I UPOTREBA

Pametni ugovori su samoizvršni digitalni sporazumi pohranjeni na blockchainu. Uvjeti ugovora napisani su kao kod i automatski se provode čim se ispune zadani uvjeti, bez potrebe za posrednicima. Ova automatizacija smanjuje kašnjenja, sprječava sporove i osigurava transparentnost (Europska komisija, EU Blockchain Observatory and Forum, 2020; Tapscott i sur. 2016).

Ključni element pametnih ugovora je automatizacija. To znači da se određene radnje, poput ažuriranja certifikata, provode čim se ispune uvjeti iz ugovora, bez potrebe za ljudskom intervencijom (Saber i sur., 2018).

Još jedan ključni aspekt je nepromjenjivost pametnih ugovora. Nakon što je ugovor implementiran na blockchainu, ne može se mijenjati. Na taj način sve uključene strane mogu vjerovati da će uvjeti koji su prvotno utvrđeni ostati nepromijenjeni.

Još jedan temeljni aspekt je transparentnost. Blockchain omogućuje svim stranama da vide iste uvjete i ishode, eliminirajući potencijalne nesporazume. Osim toga, korištenjem kriptografije ovi ugovori nude povećanu razinu sigurnosti, smanjujući rizik od prijevara ili manipulacija.

5. USPOREDBA S TRADICIONALNIM BAZAMA PODATAKA

Upravljanje podacima u industrijama poput prirodnog kamena tradicionalno se oslanjalo na centralizirane baze podataka. Iako su ti sustavi učinkoviti za interne zapise tvrtke, suočavaju se s ograničenjima u višestranačkim ekosustavima gdje su transparentnost i sljedivost ključni (Zheng i sur., 2018).

U slučaju tradicionalnih baza podataka, kontrola je u rukama jedne organizacije ili IT administratora, koji daje centraliziranu vlast nad informacijama. Osim toga, pohranjeni podaci mogu se mijenjati, brisati ili prepisivati, što stvara pitanja povjerenja u situacijama kada je integritet informacija ključan. Transparentnost je također smanjena, jer se vanjske strane – poput kupaca ili regulatora – često oslanjaju na izvještaje koje pruža vlasnička organizacija, izvještaje koji ne odražavaju uvijek punu stvarnost. Međutim, ove baze podataka pokazuju se učinkovitima kada se koriste unutar internih radnih tokova jedne organizacije, ali gube svoju važnost pri upravljanju prekograničnim lancima opskrbe s više uključenih strana.

Nasuprot tome, baze podataka temeljene na blockchainu funkcioniraju na principu distribuiranih knjiga. Kopije baze podataka pohranjuju se na svim sudjelujućim čvorovima, čime se eliminira rizik od jedne točke kvara (Europska komisija, 2020). Osim toga, nakon što je transakcija potvrđena, ona postaje nepromjenjiva, čime se jamči integritet podataka. Još jedna velika prednost je što sve uključene strane mogu izravno provjeriti informacije, bez oslanjanja na središnju vlast, što jača povjerenje među akterima. Štoviše, blockchain omogućuje integraciju sa pametnim ugovorima, što omogućuje automatizaciju procesa, poput automatskog ažuriranja materijalnih putovnica.

Kako bismo bolje razumjeli razlike između dviju vrsta baza podataka, sljedeća tablica prikazuje sintetičku usporedbu između tradicionalnih i baza podataka temeljenih na blockchainu.

Tablica 2. Usporedba tradicionalnih baza podataka i blockchain baza podataka.

Aspekt	Tradicionalna baza podataka	Blockchain baza podataka
Kontrola	Centralizirano	Decentralizirana
Integritet podataka	Uređivalo se	Nepromjenjivi
Transparentnost	Ograničeni	Dijeljeno među svima
Zahtjev za povjerenjem	Visoki (po ovlasti)	Low (u kodu)
Automatizacija	Zahtijeva vanjske alate	Ugrađeno putem pametnih ugovora

Važnost ove usporedbe za industriju prirodnog kamena je značajna. Na primjer, praćenje procesa recikliranja kamenog otpada preko granica zahtijeva suradnju više aktera i visoku razinu povjerenja među njima. Blockchain tehnologija omogućuje potrebnu sljedivost i olakšava usklađenost s europskim smjernicama o upravljanju otpadom. Istovremeno,



izvještavanje o održivosti – ključni uvjet za usklađivanje s Europskim zelenim planom i taksonomskim kriterijima – postaje mnogo jednostavnije kada se podaci ne mogu mijenjati. Tako blockchain ne samo da rješava probleme transparentnosti i povjerenja, već donosi i veliku praktičnu prednost u ispunjavanju zakonodavnih i ekoloških zahtjeva.

6. SLUČAJEVI UPOTREBE U LOGISTICI, FINANCIJAMA, UPRAVLJANJU OTPADOM I RUDARSTVU

Blockchain i pametni ugovori nisu apstraktne tehnologije—već se primjenjuju u logistici, financijama, upravljanju otpadom i rudarstvu. Njihova integracija u sektor prirodnog kamena može zatvoriti materijalne krugove, smanjiti neučinkovitosti i osigurati usklađenost s politikama održivosti EU-a (Saber i sur., 2018).

6.1. Primjeri upotrebe u logistici

Walmart, jedan od najvećih svjetskih trgovaca, suočio se s velikim problemom: sljedivošću hrane u svom opskrbnom lancu. Praćenje izvora kontaminiranog proizvoda moglo je potrajati do sedam dana, što je značilo visoke troškove i rizike za zdravlje potrošača.

Godine 2017. Walmart je lansirao platformu Food Trust, temeljenu na blockchainu, zajedno s IBM-om. Integrira svaku fazu opskrbnog lanca – od farme do prerađivača i trgovine – u distribuiranu i transparentnu knjigu (IBM, 2017).

Rezultat je bio spektakularan: vrijeme potrebno za praćenje podrijetla proizvoda smanjilo se sa 7 dana na samo 2,2 sekunde. Na taj je način Walmart uspio povećati operativnu učinkovitost, smanjiti otpad i, što je najvažnije, pružiti potrošačima veću sigurnost i povjerenje (Walmart Global Tech, 2021 a,b).

Blockchain ne samo da omogućuje brzo prepoznavanje izvora kontaminacije hrane, već i pomaže u smanjenju otpada, jer su povlačenja proizvoda s tržišta usmjerena samo na pogođene serije. To značajno poboljšava način na koji se upravlja procesom opoziva.

Grafikon na slici 9 uspoređuje tradicionalne metode upravljanja podacima s rješenjima temeljenim na blockchainu koristeći pet ključnih kriterija: sljedivost, povjerenje, troškove revizije, sigurnost hrane i brzinu. Sjenčana područja prikazuju performanse svake metode: siva za tradicionalne metode i plava za blockchain.



Slika 9. Walmartova implementacija Blockchain tehnologije.

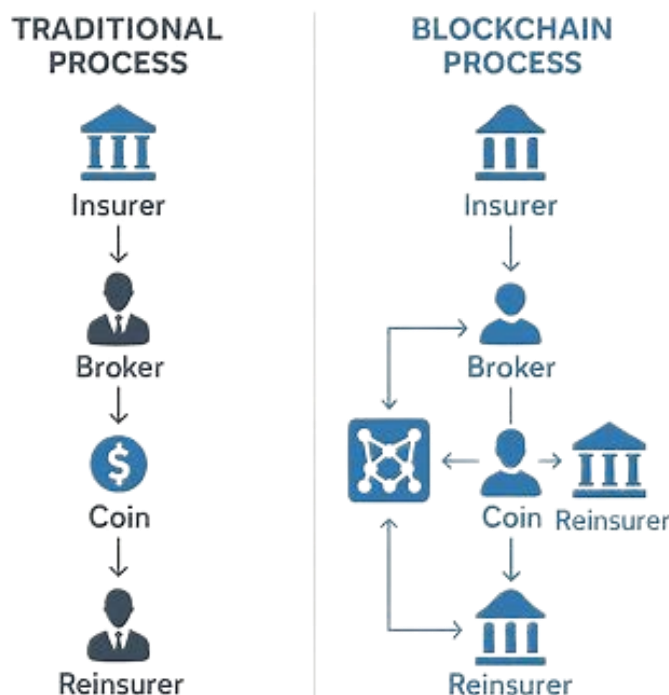
Napominje se da plavi poligon (blockchain) seže mnogo dalje od sive, što znači da blockchain nadmašuje konvencionalne metode u svim analiziranim poglavljima.

6.2. Slučajevi upotrebe u financijama

U financijskom sektoru stalni izazov je složenost međunarodnih plaćanja. Jedan prijenos može proći kroz više posredničkih banaka, što uzrokuje kašnjenja od nekoliko dana, dodatne troškove i nedostatak transparentnosti.

Kako bi riješio ovaj problem, JPMorgan je 2017. pokrenuo Interbank Information Network, kasnije preimenovanu u Liink, temeljenu na vlastitoj blockchain infrastrukturi Onyx. Mreža je omogućila sudjelujućim bankama da u stvarnom vremenu dijele informacije potrebne za obradu plaćanja i trenutno ispravljanje pogrešaka (SA23026, 2023). Vrijeme obrade transakcija značajno se smanjilo, a uvođenje JPM Coina omogućilo je trenutačno rješavanje između sudionika. Rješenje je donijelo veću transparentnost, brže usluge i smanjenje operativnih troškova (Cousaert, 2021; Anguiano, 2023).

Slučaj Liink ilustrativan je primjer kako se blockchain može primijeniti u bankarskom sektoru za rješavanje problema učinkovitosti i transparentnosti. JPMorgan je pokazao da u području prekograničnih plaćanja distribuirana mreža može pojednostaviti složen proces i donijeti opipljive koristi na globalnoj razini.



Slika 10. Razlike između tradicionalnog procesa i blockchain procesa.

Slika 10 ističe kako tradicionalni procesi uključuju linearan tok, prolazeći kroz više posrednika jedan za drugim, što dovodi do kašnjenja i dodatnih troškova. Nasuprot tome, proces temeljen na blockchainu omogućuje svim akterima pristup istim informacijama u stvarnom vremenu, smanjujući uska grla i pogreške. Primijetite kako su broker, osiguravatelj i reosiguravatelji istovremeno povezani putem distribuirane knjige, što objašnjava kako je ovo rješenje JPMorgana uspjelo smanjiti vrijeme obrade i povećati transparentnost u bankarskoj mreži.

6.3. Slučajevi upotrebe u upravljanju otpadom

Relevantan primjer primjene blockchaina u upravljanju otpadom je **projekt CIRCULARPORT/CIRCULARPASS** u Španjolskoj (Blue Room Innovation, n.d.; Taylor i sur., 2020; Jovanović, 2025.; Picvisa, n.d.). Luke stvaraju velike količine otpada s brodova, a osiguravanje pravilnog prikupljanja, transporta i obrade predstavlja izazov. Tradicionalno, ovaj proces nije bio transparentn i bio je sklon pogreškama pa čak i nezakonitom odlaganju.

Ključni aspekti ove studije slučaja sažeti su na slici 11, koja ističe problem, rješenje temeljeno na blockchainu i njegov utjecaj.



Slika 11. Blockchain za upravljanje otpadom: Problem–Rješenje–Utjecaj u projektu CIRCULARPORT/CIRCULARPASS (Španjolska).

Kao što je prikazano na slici 11, inicijative CIRCULARPORT i CIRCULARPASS uvele su sustav praćenja temeljen na blockchainu koji bilježi svaku fazu toka otpada — od prikupljanja u luci do konačnog tretmana. Svi uključeni akteri (vlasti, operateri luka, postrojenja za obradu otpada) mogu pristupiti istim nepromjenjivim podacima, što povećava povjerenje i odgovornost.

Rezultat je sustav koji ne samo da je u skladu s Okvirnom direktivom EU o otpadu, već i poboljšava učinkovitost smanjenjem papirologije i omogućavanjem praćenja u stvarnom vremenu. Vlasti dobivaju veću kontrolu, tvrtke mogu dokazati usklađenost, a društvo u cjelini ima koristi od održivijeg upravljanja otpadom.

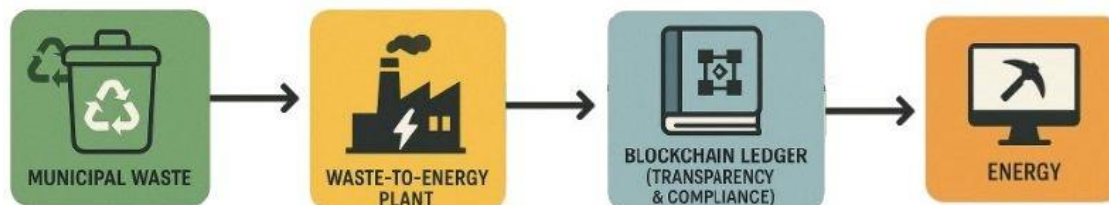
6.4. Slučajevi upotrebe u rudarstvu

U rudarskom sektoru, ilustrativan primjer dolazi iz CurrencyWorksa u Kanadi, koji je razvio model pretvaranja otpada u energiju za pokretanje rudarenja kriptovaluta (Pappas, 2021). Rudarenje digitalne imovine poput Bitcoina troši ogromne količine energije i često je kritizirano zbog svog utjecaja na okoliš.

CurrencyWorks je riješio ovaj izazov integracijom postrojenja za pretvaranje otpada u energiju s infrastrukturom za rudarenje blockchaina. Komunalni otpad pretvara se u

energiju koja izravno pokreće postrojenja za rudarenje kriptovaluta. Blockchain mreža bilježi i proces proizvodnje energije i njezinu upotrebu, osiguravajući potpunu transparentnost i usklađenost s ekološkim propisima.

Slika 12 ilustrira ovaj proces, pokazujući kako se otpad pretvara u energiju koja pokreće rudarske aktivnosti, dok blockchain osigurava transparentnost i usklađenost s održivošću.



Slika 12. Proces pretvaranja otpada u energiju pokreće rudarenje blockchaina (studija slučaja CurrencyWorks).

Pristup pokazuje kako blockchain može biti dio rješenja kružnog gospodarstva, pretvarajući problem otpada u resurs, a istovremeno smanjujući emisije ugljika (Taylor i sur., 2020; Jovanović, 2025.; Picvisa, n.d.). Ističe potencijal blockchaina ne samo za poboljšanje sljedivosti i odgovornosti, već i za podršku inovativnim, ekološki prihvatljivim poslovnim modelima u industrijama koje zahtijevaju velike resurse.

Četiri gore opisane studije slučaja mogu se usporediti među sektorima. Tablica X daje sažetak slučajeva upotrebe, ističući glavne primjene, prednosti i reference.

Tablica 3. Primjeri korištenja blockchaina u različitim sektorima.

Sektor	Studija slučaja	Istaknuti trenuci
Logistika	Walmart i IBM Food Trust	Blockchain za praćenje lanca opskrbe hranom; smanjeno vrijeme praćenja podrijetla s 7 dana na 2,2 sekunde; Poboljšana sigurnost i učinkovitost hrane
Financije	JPMorgan – Liink	Prekogranlična plaćanja u distribuiranoj knjizi; Pridružilo se 400+ banaka; brže transakcije, transparentnost, JPM kovanice za nagodbe
Upravljanje otpadom	CIRCULARPORT / CIRCULARPASS (Španjolska)	Blockchain sljedivost otpada nastalog brodovima; usklađenost s EU Direktivom o otpadu; Povećana transparentnost među tijelima i postrojenjima za pročišćavanje
Rudarstvo	CurrencyWorks (Kanada)	Model pretvaranja otpada u energiju koji pokreće rudarenje kriptovaluta; Blockchain osigurava transparentnost i usklađenost s okolišem; Primjer inovacija u kružnom gospodarstvu



Kao što je prikazano u Tablici 3, blockchain generira vrijednost u različitim industrijama poboljšavajući transparentnost, učinkovitost i povjerenje. Iako se specifične primjene razlikuju, temeljno načelo ostaje isto: decentralizirani i nepromjenjivi zapisi jačaju odgovornost.

REFERENCE

- Anguiano, T. D. (2023). Stanje tehnologije, prilike i izazovi blockchaina u industriji osiguranja: Sustavni pregled literature. *PMC*.
- Inovacija u Blue Roomu. (n.d.). *CircularPort i CircularPass: Korištenje blockchaina za promicanje kružnog gospodarstva*. Europska platforma dionika kružnog gospodarstva. Preuzeto 26. kolovoza 2025. s <https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/good-practices/circularport-and-circularpass-leveraging-blockchain-promote-circular-economy>
- Chiliz (2024., kolovoz 2027.) Što je lanac u blockchain tehnologiji? Preuzeto 18. kolovoza 2025. s <https://www.chiliz.com/what-is-a-chain-in-blockchain-technology/>
- Cousaert, S., Vadgama, N., & Xu, J. (2021). Osiguravajuća rješenja temeljena na tokenima na blockchainu. *arXiv*.
- Crosby, M., Pattanayak, P., Verma, S., & Kalyanaraman, V. (2016). Blockchain tehnologija: Izvan bitcoina. *Pregled primijenjenih inovacija*, 2(6–10). <https://ij2-capital.com/wp-content/uploads/2017/11/AIR-2016-Blockchain.pdf>
- Europska komisija. (19. veljače 2020.). *Europska strategija za podatke* (COM(2020) 66 final). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX%3A52020DC0066>
- Europska komisija, EU Blockchain opservatorij i forum. (2020). *Pametni ugovori: pravni izazovi i prilike* (Završno izvješće). Ured za publikacije Europske unije. https://blockchain-observatory.ec.europa.eu/document/download/53a0aeb4-d144-4054-841e-dc169b44f94d_en?filename=SmartContractsReport_Final.pdf
- Guo, H. (2025). Utjecaj blockchain tehnologije i pametnih ugovora. *Priroda*.
- Forum Pravnog fakulteta Harvarda o korporativnom upravljanju. (2022). Blockchain u bankarskom sektoru: pregled krajolika i prilika.
- IBM. (14. prosinca 2017.). Walmart, JD.com, IBM i Sveučilište Tsinghua pokrenuli su blockchain savez za sigurnost hrane u Kini. *IBM Newsroom*. Preuzeto 21. kolovoza 2025. s <https://newsroom.ibm.com/2017-12-14-Walmart-JD-com-IBM-and-Tsinghua-University-Launch-a-Blockchain-Food-Safety-Alliance-in-China>
- Jovanović, D. (travanj 2025.). Blockchain i održivo upravljanje otpadom: Detaljna analiza. *Diversys*. <https://www.diversys.com/white-papers/blockchain-and-sustainable-waste-management-a-deep-dive/>
- Mougayar, W. (2016). *Poslovni blockchain: Obećanje, praksa i primjena sljedeće internetske tehnologije*. Hoboken, NJ: Wiley.
- Nakamoto, S. (2008). *Bitcoin: Peer-to-peer elektronički gotovinski sustav*. <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
- SA23026. (2023). Kako JP Morgan Chase koristi blockchain tehnologiju za modernizaciju financijskih usluga. *AABRI rukopis*.

- Pappas, A. (2021, 17. lipnja). *Kanadski energetske sektor mogao bi pobijediti u zelenom rudarenju kriptovaluta*. EnergyNow.ca. <https://energynow.ca/2021/06/canadas-energy-sector-could-win-at-green-crypto-mining-alex-pappas/>
- Picvisa. (n.d.). Blockchain tehnologija za održivo upravljanje otpadom. Picvisa. Preuzeto 23. kolovoza 2025. s <https://picvisa.com/blockchain-technology-for-sustainable-waste-management/>
- Saberi, S., Kouhizadeh, M., Sarkis, J., & Shen, L. (2018). Blockchain tehnologija i njezin odnos prema održivom upravljanju lancem opskrbe. *International Journal of Production Research*, 56(1-2), 2117–2135
- Tapscott, D., & Tapscott, A. (2016). *Blockchain revolucija: Kako tehnologija iza bitcoina mijenja novac, poslovanje i svijet*. New York, NY: Penguin.
- Taylor, P., Steenmans, K., & Steenmans, I. (2020) Blockchain tehnologija za održivo upravljanje otpadom. *Sprijeda. Polit. Sci.* 2:590923. DOI: 10.3389/fpos.2020.590923
- Ženevska udruga. (2023). DeFi osiguranje: Osiguranje temeljeno na blockchainu i njegov potencijal.
- Walmart Global Tech. (2021., 14. lipnja). Blockchain u lancu opskrbe hranom. *Walmart*. Preuzeto 21. kolovoza 2025. s https://tech.walmart.com/content/walmart-global-tech/en_us/blog/post/blockchain-in-the-food-supply-chain.html
- Walmart Global Tech. (2021., 30. studenog). Blockchain u lancu opskrbe hranom – Kako izgleda budućnost? *Walmart*. Preuzeto 19. kolovoza 2025. s https://tech.walmart.com/content/walmart-global-tech/en_us/blog/post/blockchain-in-the-food-supply-chain.html
- Yaga, D., Mell, P., Roby, N., & Scarfone, K. (2018). Pregled blockchain tehnologije. *NIST Međuresorno/Interno izvješće (NISTIR) 8202*. Nacionalni institut za standarde i tehnologiju. <https://doi.org/10.6028/NIST.IR.8202>
- Zheng, Z., Xie, S., Dai, H.-N., Chen, X., & Wang, H. (2018). Izazovi i prilike blockchaina: Anketa. *Međunarodni časopis za web i mrežne usluge*, 14(4), 352. <https://doi.org/10.1504/IJWGS.2018.095647>



RockChain tečaj: JEDINICA 3. Kružna ekonomija u kontekstu prirodnog kamena.



Ovo djelo licencirano je pod [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

"Financirano sredstvima Europske unije. Izneseni stavovi i mišljenja su stavovi i mišljenja autora i ne moraju se podudarati sa stavovima i mišljenjima Europske unije ili Europske izvršne agencije za obrazovanje i kulturu (EACEA). Ni Europska unija ni EACEA ne mogu se smatrati odgovornima za njih."



Transilvania
University
of Brasov





Sadržaj

1. DEFINICIJA I STUPOVI KRUŽNE EKONOMIJE (SMANJI, PONOVO UPOTRIJEBI, RECIKLIRAJ)	3
2. OD LINEARNIH DO KRUŽNIH MODELA: IZAZOVI I PREDNOSTI	5
3. KRUŽNE PRAKSE U EKSTRAKCIJI, OBRADI I DIZAJNU PROIZVODA.....	7
4. RECIKLIRANJE KAMENOG OTPADA: AGREGATI, PUNILA, UKRASI ITD.....	9
5. CE I DIGITALIZACIJA: SLJEDIVOST, PODACI, PRAĆENJE ŽIVOTNOG CIKLUSA.....	11
6. EU KONTEKST: ZELENI DOGOVOR, AKCIJSKI PLAN ZA KRUŽNO GOSPODARSTVO, TAKSONOMIJA	13
REFERENCE	14

1. DEFINICIJA I STUPOVI KRUŽNE EKONOMIJE (SMANJI, PONOVO UPOTRIJEBI, RECIKLIRAJ)

Definicija kružne ekonomije za prirodni kamen

Kružno gospodarstvo ima za cilj spriječiti otpad i zagađenje. Korišteni prirodni kamen treba ostati u ciklusu i regenerirati se tijekom cijelog njegovog životnog ciklusa. Industrija se udaljava od linearnog modela "izvuci-upotrijebi-zbaci", u kojem se sirovi kamen vadi, obrađuje, koristi i na kraju odlaže, prema sustavu zatvorene petlje. U ovom sustavu, svaka faza – od vađenja i prerade do izgradnje, rušenja i ponovne upotrebe – usmjerena je na povećanje vrijednosti prirodnog kamena, smanjenje utjecaja na okoliš i očuvanje ograničenih geoloških resursa.

Stupovi kružne ekonomije prirodnog kamena

1. Smanjiti

Minimiziranje upotrebe materijala i energije u svakoj fazi proizvodnje kamena temelj je stupa "redukcije". Optimizacijom procesa i dizajna, industrija prirodnog kamena može drastično smanjiti otpad, smanjiti emisije CO₂ i očuvati kamenolome.

- Precizno rezanje i digitalni predlošci za točno prilagođavanje kamena specifikacijama
- Dizajn za minimalan otpad kroz modularne panele i standardizirane dimenzije
- Korištenje tehnika lean proizvodnje za optimizaciju potrošnje vode i energije
- Preferiranje lokalnih izvora opskrbe radi smanjenja udaljenosti prijevoza i povezanih emisija

2. Ponovna upotreba

Produženje vijeka prirodnog kamena održavanjem njegovog izgleda i funkcije u novim primjenama sprječava vađenje novih sirovina i odlaganje na odlagalištima. Stup za "ponovnu upotrebu" naglašava rastavljanje, obnovu i ponovno korištenje netaknutih kamenih elemenata.

- Protokoli dekonstrukcije za pažljivo rastavljanje kamenih fasada, podova, radnih površina, zida, rubnjaka i popločavanja
- Certifikacija i tržišta za obnovljeni kamen radi osiguranja kvalitete i sljedivosti
- Kreativna prilagodba recikliranih ploča i radnih komada novim arhitektonskim ili dizajnerskim značajkama
- Partnerstva s tvrtkama za rušenje radi izdvajanja kamenih elemenata iz toka otpada

3. Recikliranje

Ako se kamen ne može ponovno upotrijebiti u izvornom obliku, njegova se vrijednost vraća kao sekundarna sirovina mehaničkim procesima recikliranja. Stup recikliranja pretvara korišteni prirodni kamen u nove građevinske materijale ili industrijske sirovine.

- Drobljenje preostalih dijelova i ruševina u agregate za beton, podlogu za ceste ili uređenje okoliša
- Proizvodnja kamenog brašna kao punila za mort, keramiku i boje
- Recikliranje fine kamene prašine kao mineralnih dodataka u kompozitnim materijalima ili stabilizatorima tla
- Zatvaranje kruga reintegracijom frakcija recikliranih stijena u nove proizvodne procese

Provođenjem ova tri stupa – smanji, ponovno upotrijebi i recikliraj – prirodni kamen se pretvara iz jednokratnog resursa u kružni materijal, štiteći našu geološku baštinu i promičući održivi razvoj.

2. OD LINEARNIH DO KRUŽNIH MODELA: IZAZOVI I PREDNOSTI

Od linearnih do kružnih modela: izazovi i prednosti prirodnog kamena

Prijelaz s tradicionalnog pristupa "ekstra-upotrijebi-zbaci" na kružni pristup u sektoru prirodnog kamena zahtijeva preispitivanje u svakoj fazi životnog ciklusa kamena. Iako je ova promjena složena, otvara ekološke i ekonomske prilike koje daleko nadmašuju prepreke.

Izazovi

- Tehnologija i infrastruktura. Razvoj objekata za drobljenje, čišćenje i sortiranje kamenog otpada na licu mjesta zahtijeva značajna ulaganja i specijaliziranu opremu.
- Ekonomska održivost. Početni troškovi rastavljanja, certificiranja prikupljenih materijala i logistike povrata mogu obeshrabrati sudionike usmjerene na kratkoročne povrate.
- Složenost opskrbnog lanca. Praćenje i praćenje recikliranog ili ponovno korištenog kamena putem digitalnih platformi još je u povojima, što otežava osiguranje kvalitete i transparentnost materijala.
- Dizajn i specifikacije. Arhitekti i inženjeri moraju prilagoditi standardne detalje kako bi uzeli u obzir razlike u veličini, završnoj obradi površine i tolerancijama ponovno korištenih kamenih elemenata.
- Praznine u propisima i standardima. U mnogim zemljama građevinski propisi i smjernice za nabavu nemaju jasne smjernice za odobrenje ponovno korištenog ili recikliranog prirodnog kamena.

Prednosti

- Manji utjecaj na okoliš. Niže stope vađenja čuvaju geološke rezervate i štite staništa u blizini kamenoloma.
- Dugoročne uštede. Preusmjeravanje kamena s odlagališta i korištenje lokalno prikupljenih materijala može smanjiti naknade za odlaganje otpada i troškove prijevoza.
- Poboljšano pozicioniranje brenda i tržišta. Projekti koji provode strategije cirkularnog gospodarstva privlače ekološki osviještene kupce i često ispunjavaju uvjete za certifikate održivosti.
- Otpornost i sigurnost resursa. Uspostava zatvorenog kruga za opskrbu kamenom smanjuje rizike povezane s nestašicama sirovina i fluktuacijama cijena.
- Promicanje inovacija. Potražnja za kružnim rješenjima potiče nove poslovne modele – poput sustava najma kamena ili sustava povrata – koji mogu dovesti do diverzifikacije izvora prihoda.

Tablica 1. Usporedni pregled.

Aspekt	Linearni model	Prednosti kružnog modela
Potrošnja resursa	Kontinuirano vađenje netaknutog prirodnog kamena	Smanjeno ponovnom uporabom i recikliranjem
Otpad	Velike količine otpada i ruševina	Zatvoreni ciklusi smanjuju otpad na odlagalištima
CO2 ravnoteža	Povećane emisije zbog prometa	Manji otisak zahvaljujući lokalnom oporavku
Više	Jednokratno stvaranje vrijednosti	Produžena vrijednost kroz više životnih ciklusa
Regulatorni rizik	Ovisnost o novim dozvolama za vađenje	Usklađivanje s poticajima za upravljanje otpadom

Uvođenje koncepta kružnog gospodarstva u industriju prirodnog kamena ne samo da rješava hitne ekološke probleme, već i otvara put otpornim, inovativnim i ekonomski održivim praksama.

3. KRUŽNE PRAKSE U EKSTRAKCIJI, OBRADI I DIZAJNU PROIZVODA

Smanjenje otpada i zaštita ekosustava počinje u kamenolomu. Preispitivanjem načina na koji vadimo kamenje iz zemlje, stvaramo uvjete za istinsku kružnu ekonomiju.

- Precizno rudarenje: Korištenje dronom upravljanih geodetskih mjera i dijamantnih žičanih pila za izvlačenje blokova, čime se smanjuje otpad do 30%.
- Sustavi za recirkulaciju vode: Prikupljanje i obrada otjecanja i obrade vode na licu mjesta, smanjujući potrošnju slatke vode za 60%.
- Integracija obnovljivih izvora energije: Drobilice, transportne trake i rasvjeta u kamenolomu napajaju se solarnim ili vjetroenergetskim sustavima.
- Progresivna renaturacija: Obnova bioraznolikosti zatrpavanjem rudarskih područja sortiranim otpadom i autohtonim biljkama tijekom eksploatacije.
- Modularno blok planiranje: Podjela vađenja na manje, zone usmjerene na potražnju kako bi se izbjeglo prekomjerno vađenje i minimizirale transportne rute.

Transformacija

U tvornicama i radionicama, svaki komadić kamena i svaka kap blata imaju vrijednost. Inteligentna obrada održava te nusproizvode u funkciji.

- Digitalni predlošci i optimizacija rezanja: Korištenje 3D skeniranja i CAM softvera kako bi se iz jedne sirove ploče moglo proizvesti više dijelova, čime se smanjuje otpad.
- Zatvoreni ciklus kaše: Skupljanje smjese kamene prašine i vode s pila i mlilica, odvajanje krutih tvari za reciklirane agregate i pročišćavanje vode radi recirkulacije.
- Postrojenja za drobljenje na licu mjesta: Pretvarajte ostatke dasaka, otpadne dijelove i rastavljene fragmente u sortirane agregate za nove kamene kompozite ili podlogu za ceste.
- Energetski učinkoviti strojevi: Naknadna ugradnja pila i brusilica s pretvaračima frekvencije i regenerativnim kočnicama radi smanjenja potrošnje energije.
- Postrojenja za sortiranje materijala: Koristite pokretne trake i optičke skenere za odvajanje neupotrebljivih dijelova od visokokvalitetnog prirodnog kamena i slanje na ciljanu ponovnu upotrebu.

Dizajn proizvoda

Odluke u dizajnu određuju koliko dugo kamen traje i koliko se lako može vratiti u novi ciklus. Današnji dobro osmišljeni detalji otvaraju materijale za sutra.

- Dizajn za rastavljanje: Specificirajte mehaničke sustave za sidrenje (stezaljke, čepovi, nosači) umjesto morta lijevanog na licu mjesta, kako bi se ploče mogle čisto ukloniti.
- Standardizirani moduli: Koristite ograničen izbor veličina i debljina ploča kako biste olakšali kasniju prilagodbu, ponovnu upotrebu ili rekonfiguraciju.



JEDINICA 3. Kružna ekonomija u kontekstu prirodnog kamena

- Materijalne putovnice: Pričvrstite QR kodove ili RFID oznake na kamene elemente koji bilježe podrijetlo, površinsku obradu i povijest popravaka radi pojednostavljenja verifikacije.
- Predlošci za prilagodljivu ponovnu upotrebu: Kreirajte smjernice za dizajn koje pokazuju kako se stari radni ploče, obloge ili popločavanje mogu preoblikovati u namještaj, mozaike ili vrtne elemente.
- Modeli povrata i leasinga: Surađujte s dobavljačima kako biste ponudili kamen na temelju najma i jamčili povrat i preuzimanje na kraju njegovog korisnog vijeka za preradu.

4. RECIKLIRANJE KAMENOG OTPADA: AGREGATA, PUNILA, UKRASA ITD.

Recikliranjem kamenog otpada, otpada, ruševina i prašine pretvaraju se u visokokvalitetne sekundarne sirovine. Ovaj pristup sprječava da mnoge tone kamenog otpada završe na odlagalištima, smanjuje potražnju za novim kamenom i otvara nove poslovne prilike.

Agregati

Fragmenti drobljenog kamena i građevinski otpad trajni su, isplativi agregati za građevinarstvo i građevinarstvo.

- Podloga za ceste i kolnike
- Grubi agregati za beton i mort
- Nasipni materijal za rovove i potporne zidove
- Poddrenažni sustavi i filter ležišta
- Elementi uređenja okoliša (šljunčane staze, ukrasni šljunak)

Ispune

Kamena prašina i fini prahovi mogu zamijeniti ili nadopuniti konvencionalna mineralna punila i poboljšati mehanička i toplinska svojstva raznih proizvoda.

- Boje, premazi i prajmeri (poboljšana otpornost na habanje)
- Polimerni i gumeni kompoziti (otpornost na vatru, krutost)
- Brtvila, kit i kitovi za spojeve (dimenzionalna stabilnost)
- Asfaltne smjese (kameni mastik asfalt)
- Papir i plastika (neprozirnost i moć punjenja)

Dekorativne i arhitektonske primjene

Veće ploče i jedinstveno žilavi ostaci otključavaju kreativne dizajnerske primjene, dajući otpadnom kamenu drugi život u estetskim kontekstima.

- Mozaik i intarzije za zidove i podove
- Paneli namještaja po mjeri, klupe i radne ploče
- Vrtne ukrasi, kamenčići za stepenice i rubovi
- Zidne obloge u raznim bojama i teksturama
- Umjetničke skulpture, natpisi i akcentni zidovi

Inženjerski kompoziti i napredni proizvodi

Miješanjem kamenih ostataka s vezivima ili drugim industrijskim nusproizvodima stvaraju se tehnički materijali s prilagođenim svojstvima.

- Reciklirane površine od kvarca ili mramora (drobljeni kamen + smola)
- Prefabricirane obloge s recikliranim agregatima
- Gips-kamene žbuke i poledine panela (prašina + gips)
- 3D-printani oplati izrađeni od kameno-cementne kaše

- Stabilizatori tla i cementne opeke s kamenim brašnom

Tablica 2. Usporedni pregled

Reciklažna ruta	Ulazni materijal	Početni proizvod	Glavna prednost
Aditivi	Zdrobljeni komadi i ruševine	Podloga za cestu, betonski agregati	Strukturna čvrstoća; Izbjegavanje odlagališta
Ispune	Fina kamena prašina i prah	Boje, plastika, brtvila	Poboljšana izdržljivost; Ušteda troškova
Dekorativni elementi	Netaknuti ostaci i ploče	Mozaici, namještaj, obloge	Jedinstvena estetika; Stimulacija tržišta
Tehnički kompoziti	Prah pomiješan s vezivom	Radne ploče, paneli, tiskani oplati	Prilagodljiva svojstva; Cirkularno gospodarstvo

Recikliranje kamenog otpada ne samo da jača kružno gospodarstvo u građevinarstvu, već i potiče inovacije u znanosti o materijalima, dizajnu i logistici lanca opskrbe.

5. CE I DIGITALIZACIJA: SLJEDIVOST, PODACI, PRAĆENJE ŽIVOTNOG CIKLUSA

Digitalne tehnologije otvaraju nove mogućnosti za kružno gospodarstvo u sektoru prirodnog kamena. Prikupljanjem i analizom informacija tijekom cijelog životnog ciklusa kamena – od kamenoloma do kraja korištenja – dionici mogu donositi pametnije odluke, osigurati integritet materijala i učinkovitije zatvoriti krug.

Sljedivost

Sljedivost osigurava da svaka ploča, pločica ili puni komad ima provjerljivu povijest u pogledu podrijetla, obrade i vlasništva. Ova transparentnost jača povjerenje u reciklirani ili ponovno korišteni kamen.

- QR kodovi i RFID oznakeTrajne oznake na sanduke ili pojedinačne ploče kako bi se zabilježili datum vađenja, lokacija kamenoloma i detalji o seriji.
- Blockchain registriKoristite nepromjenjive knjige za dokumentiranje prijenosa između kamenoloma, proizvođača, distributera i preprodavača kako biste spriječili prijevaru i greenwashing.
- Geografski informacijski sustavi (GIS) Mapirajte lokacije aktivnih i povijesnih kamenoloma te povežite digitalne modele terena s dozvolama za vađenje i planovima obnove.
- Digitalni materijalni putovnice Kreirajte jedinstvenu podatkovnu datoteku za svaki kameni element koja bilježi njegova svojstva, završnu obradu površine i mjere održavanja ().

Podaci

Prikupljanje sirovih podataka samo je prvi korak. Robustan okvir za upravljanje podacima pretvara raznolike ulaze u primjenjive uvide, povećavajući učinkovitost i poboljšavajući oporavak materijala.

- Centralizirane cloud platformeAgregirani protok kamenoloma, proizvodni prinosi i instalacije na gradilištima u skalabilnom spremištu.
- IoT senzori Prate kvalitetu vode u krugovima kaše, vrijeme rada strojeva i uvjete okoliša u kamenolomu radi optimizacije iskorištavanja resursa.
- Integracija Building Information Modelling (BIM) Povežite metapodatke o kamenim elementima s modelima projekata kako biste izradili točne popise za rezanje i smanjili otpad.
- Umjetna inteligencija i analitikaIdentificirajte obrasce u stvaranju otpada, predvidite potrebe za održavanjem i preporučite prilagodbe procesa za poboljšanje prinosa.
- Procjena životnog ciklusa (LCA)Automatizirajte izračun ugljičnog i vodnog otiska za svaku varijantu proizvoda i donosite ekološki prihvatljive dizajnerske odluke.

Praćenje životnog ciklusa

Praćenje životnog ciklusa od početka do kraja prati performanse, održavanje i ponovnu upotrebu kamena, produžujući njihov vijek trajanja i pojednostavljujući naknadni oporavak.

- Digitalni blizanci Kreirajte virtualne replike kamenih instalacija kako biste simulirali naprezanje, vremenske utjecaje i mrlje tijekom vremena.
- Daljinsko praćenje Koristite dronove ili stacionarne kamere za pregled fasada i otkrivanje pukotina, erozije ili biološkog rasta prije nego što su potrebni veći popravci.
- Obavijesti o prediktivnom održavanju Postavite upozorenja temeljena na pragovima za rasporede održavanja, ponovnu primjenu sustava zaštite površine ili ponovno brtvljenje spojeva kako biste održali estetsku i strukturnu cjelovitost.
- Nadzorne ploče za planiranje kraja životnog vijeka : Vizualizirajte kada i gdje kameni elementi dosežu zamjensku starost i pokreću zahtjeve za povrat ili rute recikliranja.
- Portali za suradnju dionika Pružite arhitektima, izvođačima i tvrtkama za oporavak zajedničko sučelje za podnošenje ponuda za grupe od pronađenog kamena i planiranje radova na rušenju.

Korištenje sljedivosti, upravljanja podacima i praćenja životnog ciklusa ne samo da povećava održivost prirodnog kamena, već i stvara nove tokove vrijednosti – pretvarajući tradicionalnu industriju u digitalno podržani kružni ekosustav.

6. EU KONTEKST: ZELENİ DOGOVOR, AKCIJSKI PLAN ZA KRUŽNO GOSPODARSTVO, TAKSONOMIJA

Politički krajolik u Europi brzo se razvija kako bi održivost bila ugrađena na svim razinama izgrađenog okoliša. Dionici u industriji prirodnog kamena moraju uskladiti vađenje, obradu i uporabu svojih proizvoda s tri temeljne inicijative: Europskim zelenim planom, Akcijskim planom za kružno gospodarstvo i EU taksonomijom za održive aktivnosti.

Europski zeleni dogovor

Europski zeleni plan postavlja ambiciozan plan za EU da postane klimatski neutralna do 2050. godine, uz promicanje bioraznolikosti i učinkovitosti resursa. Za sektor prirodnog kamena to znači

- Smanjenje emisija stakleničkih plinova u kamenolomima i tijekom prerade korištenjem obnovljivih izvora energije i energetski učinkovitih strojeva.
- Obnova bivših mjesta vađenja kao dio strategije bioraznolikosti redizajniranjem izvađenih područja i ponovnim uvođenjem autohtonih biljaka.
- Integracija kamena u niskougljične građevinske metode kroz Inicijativu za održive proizvode, koja ima za cilj promicanje trajnih, niskoodrživih i reciklabilnih materijala.
- Iskorištavanje vala obnove za poticanje potražnje za izdržljivim kamenim fasadama i podovima koji produžuju vijek trajanja zgrada.

Akcijski plan za kružno gospodarstvo

Akcijski plan za kružno gospodarstvo (CEAP) objavljen 2020. ubrzava prijelaz Europe s modela jednokratne potrošne na model recikliranja. Najvažnije mjere koje utječu na prirodni kamen uključuju:

- Politika održivih proizvoda
 - Uvođenje propisa o ekološkom otisku proizvoda (PEF) za građevinske materijale, omogućujući usporedbu CO₂ i vodenog otiska kamena.
 - Stvaranje materijalnih putovnica kao dio nadolazeće Uredbe o građevinskim proizvodima za praćenje serija kamenoloma do rušenja.
- Okvirna direktiva o otpadu
 - Klasifikacija kamenog otpada kao potencijalnih sekundarnih sirovina umjesto inertnog otpada, što olakšava odobrenje drobljenih agregata.
 - Obveza država članica da postave visoke ciljeve recikliranja građevinskog i rušenog otpada, uključujući frakcije prirodnog kamena.
- Digitalizacija lanaca opskrbe
- Obavezna interoperabilnost platformi za praćenje kako bi se pronađeni kamen mogao certificirati i plasirati preko granica.

EU taksonomija za održive aktivnosti

EU taksonomija je jedinstveni sustav klasifikacije koji definira koje gospodarske aktivnosti značajno doprinose okolišnim ciljevima, a da pritom ne utječu značajno na druge.

Industrija prirodnog kamena može se podijeliti u dvije glavne kategorije:

Tablica 3. EU taksonomija za održive aktivnosti

Cilj taksonomije	Djelatnost	Ključni tehnički kriteriji
Ublažavanje klimatskih promjena	Vađenje i obrada kamena	$\leq$ potrošnju energije od 100 g CO ₂ e/MJ; udio obnovljivih izvora energije $\geq$ 30%
Cirkularno gospodarstvo	Proizvodnja građevinskih proizvoda	$\geq$ 70% otpada se reciklira na licu mjesta; Digitalna putovnica proizvoda s podacima o životnom ciklusu

Da bi se smatralo taksonomski usklađenim, kamene tvrtke moraju:

- Pokažite pridržavanje strogih granica emisija tijekom vađenja i proizvodnje.
- Podnesite robusne planove upravljanja otpadom koji recikliraju preostale materijale u agregate ili punila.
- Pružiti digitalne dokaze (npr. putovnice za materijal) o održivom izvoru, obradi i odlaganju.

Usklađivanje praksi prirodnog kamena s ova tri stupa osigurava usklađenost s zakonskim zahtjevima, poboljšava pristup tržištu za "zelene" projekte i pozicionira sektor na čelo održive gradnje u Europi.

REFERENCE

[Akcijski plan za kružno gospodarstvo – Europska komisija](#)



RockChain tečaj: JEDINICA 4. Blockchain primijenjen u upravljanju otpadom.



Ovo djelo licencirano je pod [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

"Financirano sredstvima Europske unije. Izneseni stavovi i mišljenja su stavovi i mišljenja autora i ne moraju se podudarati sa stavovima i mišljenjima Europske unije ili Europske izvršne agencije za obrazovanje i kulturu (EACEA). Ni Europska unija ni EACEA ne mogu se smatrati odgovornima za njih."



Erasmus+



Transilvania
University
of Brasov



Sadržaj

1. TOKOVI OTPADA U OBRADI UKRASNOG KAMENA: VRSTE I ODREDIŠTA	4
1.1 Uvod	4
1.2 Vrste otpada u obradi kamena	4
1.3 Procijenjene količine otpada	5
1.4 Trenutne destinacije za otpad i novi trendovi	6
1.4.1 Odlagališta i privremeno skladištenje	6
1.4.2 Obnova okoliša i zatrpavanje	6
1.4.3 Recikliranje i industrijska simbioza.....	6
1.4.4 Kreativna ili zanatska ponovna upotreba.....	6
1.4.5 Energija i digitalna valorizacija	7
1.5 Kružno gospodarstvo kao strateški okvir	7
2. PRAVNE OBVEZE I ZAHTJEVI ZA IZVJEŠTAVANJE U UPRAVLJANJU OTPADOM	8
2.1 Europski pravni okvir	8
2.2 Specifično zakonodavstvo za ekstraktivnu i kamenu industriju	9
2.2.1. Direktiva o ekstraktivnom otpadu (Direktiva 2006/21/EZ)	9
2.2.2. Direktiva o odlagalištima otpada (Direktiva 1999/31/EZ).....	9
2.2.3. Direktiva o industrijskim emisijama (Direktiva 2010/75/EU).....	9
2.2.4. Sustavi upravljanja okolišem: EMAS (Uredba 1221/2009).....	9
2.3 Obveze izvještavanja o otpadu i sljedivosti	9
2.4 Posljedice nepoštivanja	10
2.5 Relevantnost obuke za polaznike VET programa	10
3. BLOCKCHAIN APLIKACIJE: MATERIJALNE PUTOVNICE, DIGITALNI BLIZANCI, DECENTRALIZIRANI REGISTRI	12
3.1 Materijalne putovnice.....	12
3.2 Digitalni blizanci	12
3.3 Decentralizirane knjige i blockchain mreže	13
3.4 Prednosti i izazovi	14
3.5 Primjena u sektoru kamena: predloženi tijek rada.....	15
4. PAMETNI UGOVORI ZA USKLAĐENOST, IZVJEŠTAVANJE I POTICAJE	16
4.1 Što je pametni ugovor i kako funkcionira?	16

4.2 Primjene u upravljanju otpadom i kružnom gospodarstvu	16
4.3 Specifični slučajevi primjene u sektoru kamena	17
4.3.1. Automatska certifikacija usklađenosti	17
4.3.2. Poticaji za ekološke performanse.....	17
4.3.3. Automatizacija pravnog izvještavanja.....	17
4.4 Prednosti i izazovi	18
4.4.1. Glavne prednosti:	18
4.4.2. Ključni izazovi:	18
4.5 Prijedlog nastave za strukovno obrazovanje i osposobljavanje (VET).....	18
5. INTEGRACIJA BLOCKCHAINA S IOT-OM I ALATIMA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA	19
5.1 Uloga IoT-a u upravljanju otpadom	19
5.2 Blockchain kao okosnica sljedivosti	19
5.3 Kombinirana tehnička arhitektura: Edge, IoT i blockchain	20
5.4 Prednosti i izazovi integracije IoT-a + Blockchaina	20
5.4.1. Ključne prednosti:	20
5.4.2. Glavni izazovi:.....	20
5.5 Praktična primjena u sektoru kamena	20
REFERENCE	22

1. TOKOVI OTPADA U OBRADI UKRASNOG KAMENA: VRSTE I ODREDIŠTA

1.1 Uvod

U Europi se industrija ukrasnog kamena u nekim regijama smatra strateškom djelatnošću. Povezana je s kulturnom i arhitektonskom baštinom, kao i s građevinskim sektorom, dekoracijom, a u novije vrijeme i održivim dizajnom. Vađenje i prerada materijala iz prirodnog kamena inherentno uključuju stvaranje materijalnog otpada, stoga je to jedan od ključnih izazova za industriju u smislu održivosti.

Svaka faza procesa od pripreme površine zemljišta do plasmana proizvedenog predmeta uključuje gubitak materijala, što je faktor koji se povijesno uglavnom kategorizira kao neizbježan ili upravljan tradicionalnim metodama (odlagalište, odlagalište itd.). Danas je moguće prepoznati otpad koji stvara industrija ukrasnog kamena kao priliku za inovacije, valorizaciju i sljedivost zahvaljujući novim tehnologijama, uključujući digitalizaciju i blockchain, u kontekstu Europskog zelenog dogovora i Akcijskog plana za cirkularno gospodarstvo (Europska komisija, 2020a). Ova jedinica će istražiti vrste otpada, procijenjene količine te postojeće i potencijalne destinacije otpada, prvenstveno one povezane s kružnim praksama.

1.2 Vrste otpada u obradi kamena

Lanac vrijednosti ukrasnog kamena odgovoran je za različite vrste otpada, koje se razlikuju po obliku, sastavu i potencijalnoj ponovnoj upotrebi. Ovaj otpad može se klasificirati u pet kategorija:

1. Nadkrivni sloj ili biljni i mineralni pokrivač:

Taj otpad potječe iz površinskog sloja tla (tla, gline, pijesak) koji se mora ukloniti prije nego što dođe do rudarske stijene. Iako je inertan materijal, može uzrokovati probleme sa stabilnošću ako se ne postupa pravilno. Može se ponovno koristiti za obnovu okoliša ili kao dio procesa zatrpavanja ako su razvijeni odgovarajući planovi.

2. Otpad iz ekstrakcije:

Volumetrijsko izbacivanje stijene ne može se koristiti kao korisni blokovi ili vrijednosti pjeskarenjem, žičanim piljenjem ili jednostavno piljenjem materijala. Prirodne pukotine, pukotine ili mineralološka heterogenost uzrokuju da mnogi blokovi budu otpad u kamenolomu iz strukturnih ili estetskih razloga. Procjenjuje se da je najmanje 20-30% vađenog kamena otpad u kamenolomu (LIFE-ZSW, 2024).

3. Kaša i sitni ostaci od rezanja (mulj, marbrettola):

Jedan od najčešćih i najneugodnijih oblika otpada je mješavina vode, abraziva, čestica kalcijevog karbonata i ulja koja nastaje rezanjem blokova u ploče, bilo

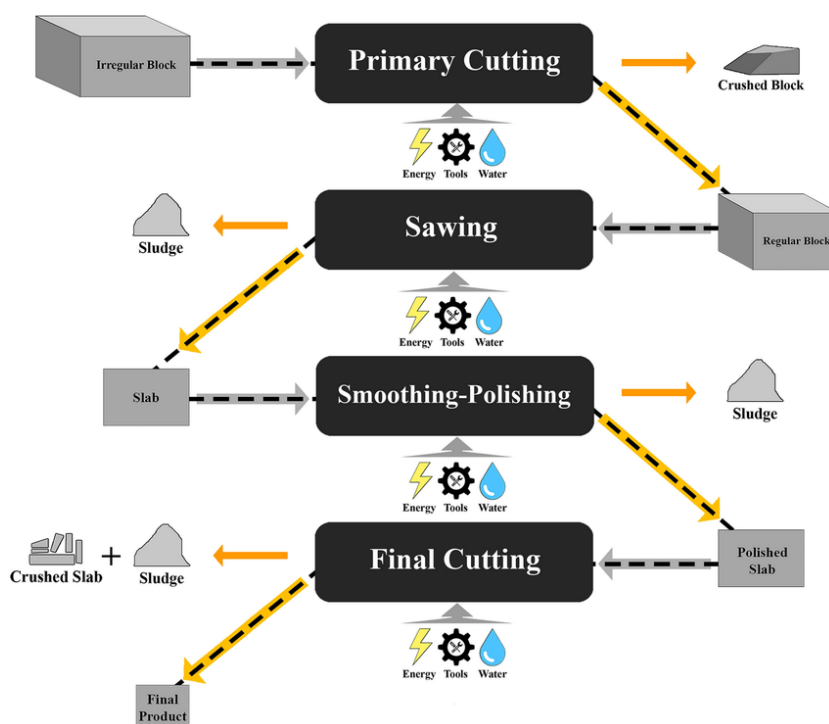
diskovima ili žicama. Ova smjesa klasificira se kao polutekući otpad i obično završava u ribnjaku ili se inkorporira kao opasni otpad ako sadrži metale ili kemikalije. Studije sugeriraju da mulj može činiti između 22 % i 37 % početnog volumena bloka (Chen i sur. 2023).

4. Fragmenti, otpad i krajevi:

Prilikom dimenzioniranja, dimenzioniranja ili rezanja ploča stvaraju se rubovi, kutovi, nepravilni odsjeci ili polomljeni komadi. Ti će materijali biti ponovno upotrijebljeni, zdrobljeni ili odbačeni. Iako se vizualno mogu činiti otpadom u mnogim slučajevima, zadržavaju mineralni sastav konačnog proizvoda i stoga se mogu iskoristiti u drugim sektorima.

5. Pomoćni otpad (ambalaža, transport, alati):

Upravljanje otpadom također mora uključivati materijale povezane s logističkim procesom: drvo s paleta, plastičnu foliju, metalni ili tekstilni otpad. Iako njihov volumen izgleda relativno malen, uključuju tvari koje mogu promijeniti profil održivosti i moraju se upravljati prema općem zakonodavstvu o otpadu (Direktiva 2008/98/EC).



Slika 1. Vrste otpada u obradi kamena. Izvor: https://www.researchgate.net/figure/Schematic-overview-of-the-dimension-stone-processing-procedure_fig3_353943463

1.3 Procijenjene količine otpada

Opseg izazova postaje očit kada pogledamo neke od sektorskih studija:

- U Italiji se procjenjuje da se do 65 % eksploatiranog ukrasnog kamenog materijala gubi kao otpad kroz cijeli proizvodni proces (Jalalian i sur., 2021).
- U Španjolskoj, projekt DAPcons o deklaracijama o okolišnim proizvodima (RCP004 za prirodni kamen), razvijen od strane Instituta za građevinsku tehnologiju (ITeC) u suradnji s centrima poput CTM-a, pokazuje da otpad i mulj nastali tijekom obrade prirodnog kamena mogu imati težinu između 200 % i više od 200 % u odnosu na konačni proizvod, ovisno o vrsti kamena i korištenoj metodi rezanja (DAPcons, 2021).
- U regiji Pijemont u Italiji, jedna industrijska tvornica bilježila je više od 37.000 tona mulja godišnje rezanjem mramora (Piedmont Study, 2021).
- Na europskoj razini procjenjuje se da se godišnje iz sektora kamena proizvede više od 10 milijuna tona otpada kao mulj, otpad i strugotine (Eurostat, 2022).

Ovi podaci ne samo da pokazuju utjecaj na okoliš, već i potencijal za oporavak tih materijala ako se provedu odgovarajuće tehnologije praćenja, sortiranja i obrade.

1.4 Trenutne destinacije za otpad i novi trendovi

1.4.1 Odlagališta i privremeno skladištenje

Postoje zakoni koji sve više ograničavaju aktivnost odlagališta, ali ona se i dalje događa, osobito u ruralnim područjima ili mjestima s minimalnom institucionalnom kontrolom. Mulj se stavlja u ribnjake ili ostavlja da se osuši. Postoji rizik od infiltracije ili erozije ako se mulj ne upravlja na relativno ciljan način.

1.4.2 Obnova okoliša i zatrpavanje

Inertni otpad (prekrivni sloj, napuklo kamenje) može se koristiti za popunjavanje praznine nastale rudarstvom i stvaranje nasipa ili nasipa ako plan zatvaranja to dopušta u planu obnove odobrenom od strane rudarskih vlasti.

1.4.3 Recikliranje i industrijska simbioza

Postoji nekoliko primjera uspješnih projekata koji koriste ukrasni kameni otpad za:

- Lagani betoni i posebni minobacači.
- Proizvodnja cementa kao zamjene za primarni vapnenac.
- Punila za smole, keramiku ili polimere, kako je demonstrirano projektom LIFE ZSW.
- Koristi se kao dodatak vapnencu u poljoprivredi ili u pročišćavanju vode (eksperimentalna primjena).

1.4.4 Kreativna ili zanatska ponovna upotreba

Nepravilni dijelovi mogu se ponovno koristiti kao:

- Popločavanje okoliša.
- Ulični namještaj ili skulpture.
- Iverica za održive interijere.

1.4.5 Energija i digitalna valorizacija

Iako je još uvijek u povojima, postoji interes za procjenu kako se podaci o otpadu, sljedivost i kvalitetni podaci mogu uklopiti u digitalne materijalne putovnice ili integrirati kao dio blockchain sustava nagrađivanja (vidi blokove 3 i 4).

1.5 Kružno gospodarstvo kao strateški okvir

Kružno gospodarstvo ponekad se prikazuje ne samo kao ekološka opcija, već i kao europska industrijska opcija (Europska komisija, 2020a). U slučaju sektora kamena:

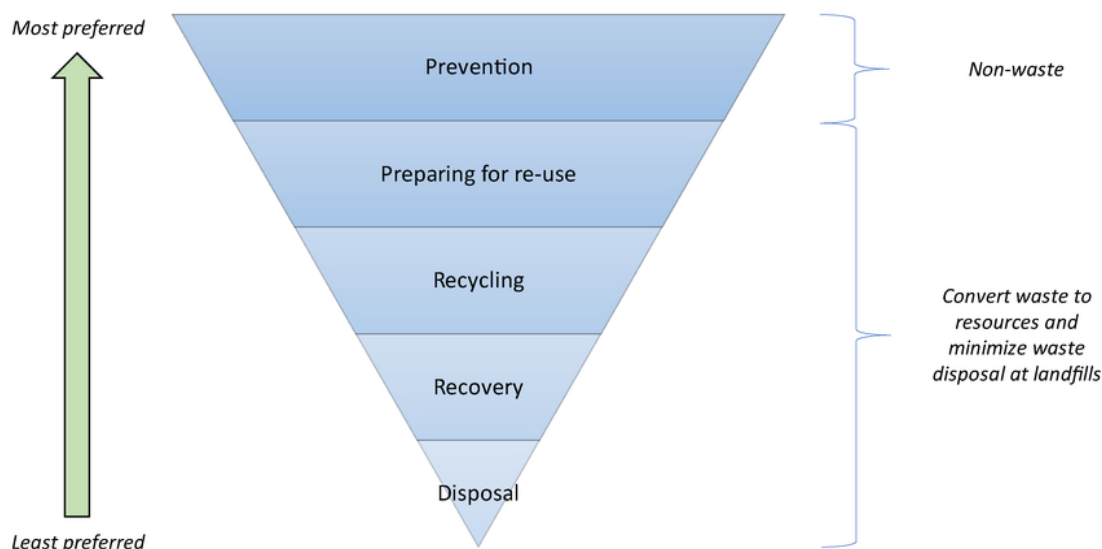
- Otpad se reinterpretira kao sekundarni resursi.
- Sljedivost i digitalizacija (blockchain, IoT) pružaju prilike za integraciju ovih otpada u sigurne industrijske tokove.
- Potiče stvaranje novih radnih mjesta u sortiranju, klasifikaciji, dizajnu recikliranih proizvoda ili održavanju podataka.
- Ugljični otisak je smanjen zbog smanjene primarne eksploatacije.

Upoznavanje ovih tokova i njihovo moderno upravljanje ključno je za obuku tehničara budućnosti u kamenolomima, postrojenjima za rezanje, centrima za oporavak ili javnim ustanovama.

2. PRAVNE OBVEZE I ZAHTJEVI ZA IZVJEŠTAVANJE U UPRAVLJANJU OTPADOM

2.1 Europski pravni okvir

Direktiva o okviru o otpadu (Direktiva 2008/98/EZ) ključni je stup regulacije otpada u EU. Daje definicije poput otpada, nusproizvoda, kraja otpada i uvodi pravno provedivu hijerarhiju otpada, kako slijedi: prevencija, priprema za ponovnu upotrebu, recikliranje, drugi povrat (uključujući povrat energije) i odlaganje (Europski parlament i Vijeće, 2008). Hijerarhija otpada temelj je svih razmatranja vezanih uz otpad. Hijerarhija otpada posebno je važna za industriju ukrasnog kamena, koja proizvodi i inertne i polutekuće tokove otpada.



Slika 2. Europski pravni okvir. Izvor: https://www.researchgate.net/figure/The-five-step-waste-hierarchy-of-the-European-Union-Waste-Framework-Directive_fig1_368495266

Direktiva također ponavlja načelo 'zagađivač plaća' i koncept proširene odgovornosti proizvođača. To znači da oni koji stvaraju otpad moraju preuzeti odgovornost za njegovu obradu i troškove — bez obzira na činjenicu da su troškovi ili tretman možda bili outsourcingirani (Europska komisija, 2020a). Ova odgovornost proteže se na same materijale proizvedene tijekom procesa ekstrakcije i transformacije, pakiranje i rukovanje materijalima te ekonomiju transporta i skladištenja.

Okvirna direktiva o otpadu dodatno je revidirana 2018. godine (Direktiva (EU) 2018/851) kako bi uključila zahtjev za ekonomskim instrumentima (porezi na odlagališta, sheme plaćanja po bacanju, sustavi proširene odgovornosti proizvođača) za promicanje minimizacije otpada i kružnih praksi (Europska komisija, 2020a).

2.2 Specifično zakonodavstvo za ekstraktivnu i kamenu industriju

2.2.1. Direktiva o ekstraktivnom otpadu (Direktiva 2006/21/EZ)

Ova direktiva posebno je važna u sektoru ukrasnog kamena, jer obuhvaća upravljanje otpadom iz rudarskih industrija, uključujući i kamenolome. Operateri moraju izraditi Plan upravljanja rudarskim otpadom (EWMP) koji detaljno opisuje strategije za smanjenje, praćenje i eliminaciju otpada. Ovaj plan zahtijeva odobrenje ekoloških tijela i mora se redovito ažurirati (Europska komisija, 2019).

Prilog II ove direktive također utvrđuje posebne zahtjeve za inertni otpad, poput mramornih ostataka ili kamenih fragmenata, koji se moraju pažljivo upravljati kako bi se spriječila šteta na prirodnom okolišu ili onečišćenje vode.

2.2.2. Direktiva o odlagalištima otpada (Direktiva 1999/31/EZ)

Ovaj zakon regulira odlaganje otpada na odlagališta, razlikujući opasni, neopasni i inertni otpad. Iako je većina kamenog otpada inertna, loše upravljanje, osobito muljem koji sadrži kemijske dodatke, može biti u suprotnosti s dizajnom odlagališta ili kriterijima za prijem (Europski parlament i Vijeće, 1999). Direktiva također nameće stroga ograničenja na biorazgradivi otpad koji se može odlagati na odlagališta i potiče njegovu obradu prije odlaganja.

2.2.3. Direktiva o industrijskim emisijama (Direktiva 2010/75/EU)

Kada se postrojenje za preradu stijena smatra velikim industrijskim objektom, podliježe Direktivi o IED-u, koja zahtijeva dozvolu za integriranu prevenciju i kontrolu onečišćenja (IPPC). To obuhvaća propise o emisijama u zrak, vodu i zemljište, kao i o proizvodnji i upravljanju otpadom (Europski parlament i Vijeće, 2010).

2.2.4. Sustavi upravljanja okolišem: EMAS (Uredba 1221/2009)

Iako je opcionalan, Community Eco-Management and Audit Scheme (EMAS) toplo se preporučuje tvrtkama koje rade u obradi kamena. Promiče provedbu ekološkog računovodstva i pojednostavljuje izvještavanje o podacima o otpadu koji se mogu pratiti i jasno prikazati, u skladu s ciljevima kružnog gospodarstva (Europska komisija, 2020b).

2.3 Obveze izvještavanja o otpadu i sljedivosti

Sve zemlje članice Europske unije obvezne su osigurati da proizvođači otpada:

- Klasificirajte svoj otpad u skladu s Europskom listom otpada (LoW kodovi).
- Zabilježite ključne informacije poput količina, vrsta otpada, odredišta i vrste primijenjenog tretmana.
- Redovito informirajte nacionalna tijela putem godišnjih ili polugodišnjih izvještaja.
- Osigurati sljedivost otpada, osobito u slučaju opasnog ili polutekućeg otpada, poput reznog mulja (Europska komisija, 2018; Eurostat, 2022).

U zemljama poput Španjolske, Italije i drugih članica EU, ta se sljedljivost upravlja putem digitalnih platformi poput eSIR-a, SISTRI-ja ili SIGRE-a. Ovi alati omogućuju prijavljivanje

količina, klasifikaciju otpada i potvrdu mjesta odlaganja. Osim toga, izvještaji o otpadu često se integriraju u Deklaracije o okolišnim proizvodima (EPD), poput RCP004 za prirodni kamen, razvijen od strane ITeC i CTM (ITeC & CTM, 2021). Te deklaracije uključuju pokazatelje utjecaja na okoliš, poput kilograma otpada proizvedenog po kvadratnom metru obrađenog kamena, potrošnje vode i emisija CO₂.

2.4 Posljedice nepoštivanja

Nepoštivanje zakonskih obveza u upravljanju otpadom može imati ozbiljne posljedice, uključujući:

- **Novčane kazne i sankcije:** Prekršaji poput nepravilnog prijevoza otpada, ilegalnog odlaganja ili pogrešnog označavanja mogu rezultirati upravnim ili čak kaznenim sankcijama (Europska komisija, 2020a).
- **Odgovornost za okoliš:** Direktiva o odgovornosti za okoliš (2004/35/EC) uspostavlja načelo 'zagađivač plaća', koje obvezuje tvrtke da poprave ili nadoknade štetu nanесenu okolišu, čak i ako je bila nenamjerna (Europski parlament i Vijeće, 2004).
- **Suspenzija ili povlačenje dozvola:** Objekti koji rade pod IPPC ili IED dozvolama mogu biti zatvoreni ako se otkrije ponavljano nepoštivanje.

2.5 Relevantnost obuke za polaznike VET programa

Kako bi se adekvatno pripremili studenti strukovnog obrazovanja ili odrasli koji žele karijeru u kamenoklesarstvu, obradi kamena ili upravljanju okolišem, ključno je da se pravni okvir ne percipira kao skup apstraktnih pravila, već kao sastavni dio svakodnevnih radnih aktivnosti.

Tema učenja

Pedagoški cilj

Hijerarhija otpada i kružna ekonomija

Razumite kako dati prednost prevenciji i valorizaciji

LoW klasifikacija koda

Naučite pravilno prepoznati i dokumentirati različite vrste otpada

Obrasci i sustavi za izvještavanje o otpadu

Koristite stvarne digitalne platforme (npr. EPD softver, nacionalne registre)

Planovi upravljanja ekstraktivnim otpadom (EWMP)

Razumjeti strukturu i komponente planova za otpad potrebnih za kamenolome

Studije slučaja pravne usklađenosti

Analizirajte stvarne scenarije s uspješnim i neuspješnim ishodima usklađenosti

Integracija ovog pravnog sadržaja u praktične aktivnosti—poput ispunjavanja simuliranih izvještaja ili korištenja simulacijskih platformi—ne samo da podiže svijest i razinu sudjelovanja, već i pruža vještine koje su izravno primjenjive na radnom mjestu.



3. BLOCKCHAIN APLIKACIJE: MATERIJALNE PUTOVNICE, DIGITALNI BLIZANCI, DECENTRALIZIRANI REGISTRI

3.1 Materijalne putovnice

Materijalna putovnica je digitalni zapis koji na strukturiran način organizira ključne informacije o sastavu, podrijetlu i životnom ciklusu proizvoda ili materijala. U slučaju ukrasnog kamena, ova putovnica može sadržavati podatke poput vrste stijene, lokacije kamenoloma, datuma vađenja, primijenjenog tretmana, količine nastalog otpada te mogućnosti ponovne upotrebe ili recikliranja.

Ovaj pristup promovirao je europski projekt BAMB – Buildings As Material Banks, koji je postavio temelje za ono što danas poznajemo kao Digitalne putovnice proizvoda (DPP). Te su putovnice dobile zamah unutar Europskog zelenog dogovora i Industrijske strategije 2020. (Europska komisija, 2020a). Tvrtke poput Circularise već primjenjuju ovu ideju u industriji, koristeći blockchain tehnologije kako bi osigurale transparentnost, praćenje i nepromjenjivost informacija kroz cijeli lanac opskrbe (Circularise, 2023).

U sektoru prirodnog kamena, ova tehnologija omogućuje praćenje svakog bloka ili serije od njegovog nastanka u kamenolomu do konačne transformacije. Ključni događaji poput količine proizvedenog otpada, odredišta preostalih fragmenata ili kemijskog sastava mulja za rezanje mogu se zabilježiti. Sve je to dokumentirano i može se digitalno auditirati, što olakšava certifikaciju održivih praksi.

Primjer: Serija mramora s digitalnom putovnicom može pokazati da je 70% otpada nastalog tijekom obrade ponovno iskorišteno kao agregat za mort. Ove informacije su vrijedne i za odgovorne kupce i za procese certificiranja okoliša.

3.2 Digitalni blizanci

Digitalni blizanac je virtualna, točna, u stvarnom vremenu replika fizičkog objekta, procesa ili sustava. U kombinaciji s blockchain tehnologijom, postaje moćan alat za sigurno i transparentno praćenje ključnih varijabli u procesima poput vađenja i transformacije kamena.

Na primjer, podaci poput volumena kaše koju proizvodi svaki stroj, potrošnje energije prema vrsti kamena ili razine otpadnih ležišta mogu se automatski prikupljati pomoću IoT senzora. Ove informacije izravno se odražavaju u digitalnom blizancu, što omogućuje stalno i detaljno praćenje (Suhail i sur., 2021). Pohranom tih podataka na blockchainu, oni su zaštićeni od manipulacije, što je ključno u kontekstima gdje je potrebna usklađenost s propisima ili revizijama.

Prema Liu i sur. (2022), kombinacija digitalnih blizanaca i blockchaine u industriji ne samo da olakšava automatizirano donošenje odluka i optimizaciju procesa, već i

poboljšava upravljanje opasnim otpadom pružajući točan prikaz fizičkog i digitalnog toka materijala.

Ova se tehnologija već primjenjuje u sektorima poput pročišćavanja vode i proizvodnje cementa, gdje je precizna kontrola otpada ključna (Homaei i sur., 2025).

Primjena u kamenu: Postrojenje za rezanje granita može raditi s digitalnim blizancem koji prima podatke u stvarnom vremenu o vlažnosti, protoku i kemijskom sastavu proizvedene kaše. Kada bilo koja od ovih vrijednosti premaši utvrđene zakonske granice, sustav može automatski pokrenuti upozorenja ili odmah poduzeti korektivne mjere.

3.3 Decentralizirane knjige i blockchain mreže

Tehnološko srce koje omogućuje sve ove funkcije je tehnologija distribuiranih knjiga, poznata kao DLT. Unutar ove skupine, najpoznatiji je blockchain. Platforme poput Etheruma, Hyperledger Fabrica i VeChaina omogućuju stvaranje mreža u kojima različiti akteri — kamenolomi, postrojenja za rezanje, reciklari i ekološke vlasti — mogu sigurno dijeliti informacije, bez oslanjanja na središnji entitet za njihovu kontrolu (Ko i sur., 2022).

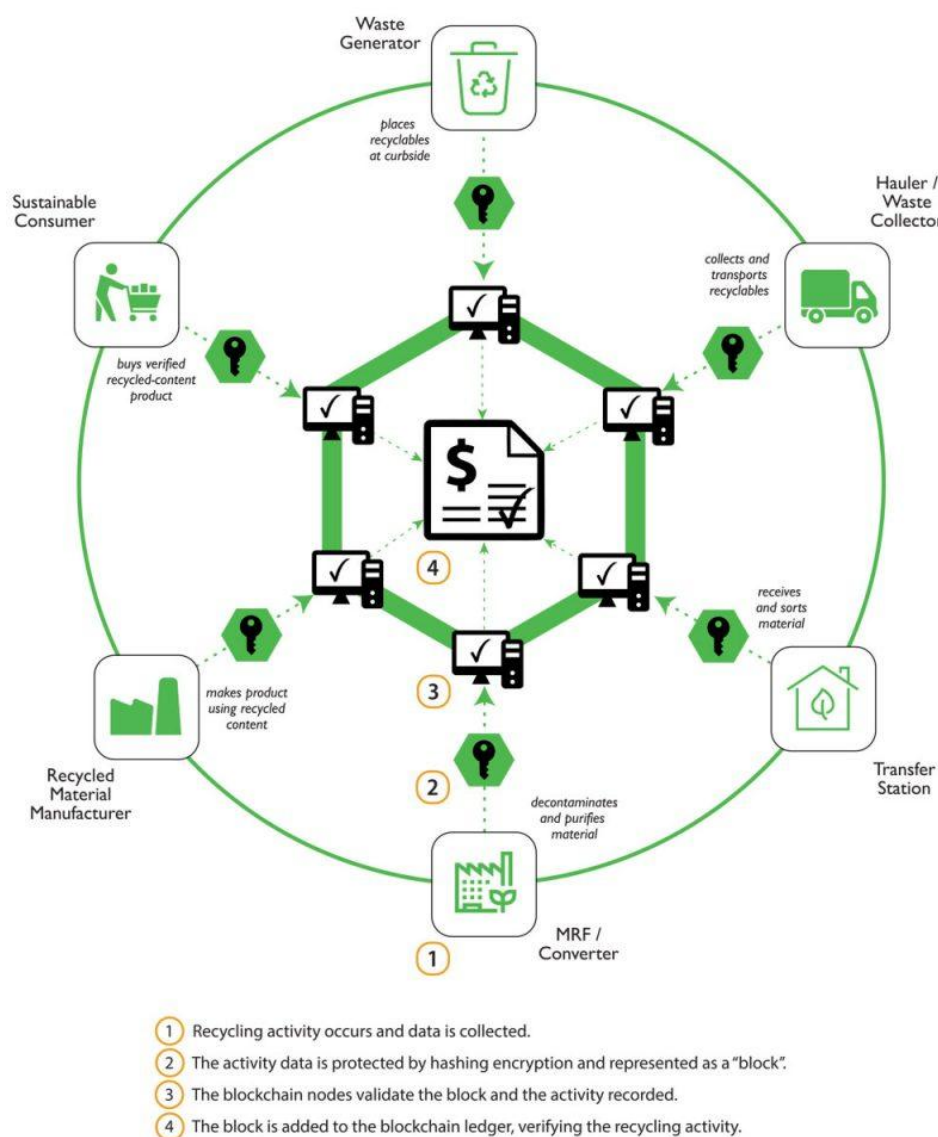
Zahvaljujući tome, podaci vezani uz otpad postaju provjerljivi i trajni, što pomaže u sprječavanju prijevara u izvještajima o održivosti i poboljšava usklađenost s ekološkim propisima. Osim toga, ova tehnologija omogućuje korištenje pametnih ugovora: digitalnih ugovora koji se automatski izvršavaju kada su ispunjeni određeni uvjeti.

Na primjer, zamislite da prijevoznik dostavlja seriju fragmenata u reciklažni pogon. Nakon što postrojenje potvrdi primitak i korištenje kao sirovinu, pametni ugovor bi mogao:

- Izdajte token ili digitalni certifikat proizvođaču otpada kao dokaz o povratu.
- Automatski obavijestite nacionalni sustav za otpad.
- Aktivirajte novčani bonus ili poreznu olakšicu ako je plan otpada ispravno ispunjen.

Ovakav model već se testira u inicijativama poput Circularise for Plastics i u projektima digitalnih putovnica proizvoda (DPP) u tekstilnom i građevinskom sektoru (Jiang i sur., 2023; Ko i sur., 2022).

How It Works: Recording Recycling Activity on the Blockchain



Slika 3. Aktivnost recikliranja na BlockChainu. Izvor: https://wasteadvantagemag.com/fixing-the-recycling-supply-chain-a-blockchain-solution/?utm_source=chatgpt.com

3.4 Prednosti i izazovi

Prednosti

Potpuna transparentnost i podaci koji se ne mogu mijenjati

Izazovi

Visoki energetske i ekonomski troškovi u nekim javnim blockchainima

Prednosti

Jednostavna integracija sa senzorima, digitalnim platformama i sustavima upravljanja

Automatizacija certifikata, izvještaja i poticaja pomoću pametnih ugovora

Korisno za revizije, natječajne procese i cirkularne certifikacije

Izazovi

Problemi kompatibilnosti između različitih blockchaina i postojećih baza podataka

Potrebno je uskladiti se s GDPR-om i zaštititi povjerljivost industrijskih podataka

Tehnološke prepreke i krivulja učenja u malim i srednjim poduzećima (MSP)

3.5 Primjena u sektoru kamena: predloženi tijek rada

1. Nakon izlaska iz kamenoloma, svaki blok kamena dobiva jedinstveni digitalni ID koji ga identificira tijekom cijelog njegovog korisnog vijeka.
2. Tijekom transformacije, otpad se generira i automatski bilježi senzorima povezanim s digitalnim blizancem.
3. Svaka relevantna radnja—poput rezanja, generiranja kaše ili razdvajanja fragmenata—pohranjuje se u blockchain s vremenskom oznakom.
4. Ako se postigne određena razina procjene ili se potvrdi potpuna sljedivost, sustav automatski izdaje digitalnu verifikaciju.
5. Sve te informacije integrirane su u Digitalnu putovnicu za materijale, dostupnu svim dionicima: od proizvođača do revizora i krajnjih korisnika.

Ovaj model ne samo da jača pravnu sljedivost procesa, već i povećava komercijalnu vrijednost proizvoda i otvara vrata na tržištima gdje se cijene prakse usklađene s ESG (okolišnim, društvenim i upravljačkim) kriterijima.

4. PAMETNI UGOVORI ZA USKLAĐENOST, IZVJEŠTAVANJE I POTICAJE

4.1 Što je pametni ugovor i kako funkcionira?

Pametni ugovor je program koji se automatski pokreće unutar blockchain mreže, pokrećući određene radnje kada su ispunjeni unaprijed definirani uvjeti. Za razliku od tradicionalnih ugovora, ne zahtijeva da posrednici — bilo ljudski ili institucionalni — provode sporazum. Ovu je ideju prvi predložio Nick Szabo 1990-ih, a danas je ključni dio platformi poput Ethereum, Hyperledgera i Tezosa (Szabo, 1997; Rapid Innovation, 2023).

U području upravljanja otpadom, pametni ugovori mogu pomoći u automatizaciji procesa kao što su:

- Evidentiranje isporuka u postrojenja za pročišćavanje.
- Provjera usklađenosti s ekološkim standardima.
- Automatsko generiranje izvještaja o okolišu.
- Aktiviranje poticaja kada se ispune ciljevi oporavka otpada.

Osim što štedi vrijeme i resurse, ova automatizacija poboljšava transparentnost i jača povjerenje među svim dionicima (Rapid Innovation, 2023).

4.2 Primjene u upravljanju otpadom i kružnom gospodarstvu

Razne studije i pilot projekti pokazali su da pametni ugovori mogu revolucionirati način upravljanja otpadom, čineći ga učinkovitijim, transparentnijim i sigurnijim:

U modelu koji su predložili Bułkowska i sur. (2023), pametni ugovori omogućuju automatsku kontrolu cjelokupnog toka otpada: od njegovog nastanka do konačne obrade. To uključuje vanjske provjere, automatske obavijesti nadležnim tijelima i izdavanje digitalnih certifikata.

Dasaklis i sur. (2020) primijenili su ovaj pristup na upravljanje elektroničkim otpadom, stvarajući sustav u kojem se svaka faza — prikupljanje, recikliranje i povrat materijala — bilježi na nepromjenjiv način, čime se sprječavaju prijevare ili nezakonite prakse.

U kontekstu cirkularnog gospodarstva, ti se ugovori također koriste za procjenu ekoloških rezultata tvrtki. Ako se ispune određeni ključni pokazatelji, automatski se aktiviraju poticaji u obliku digitalnih tokena (Jiang i sur., 2023).

Praktičan primjer: ako kamenolom uspije ponovno upotrijebiti ili reciklirati više od 60% svog otpada, pametni ugovor mogao bi automatski izdati 'zeleni digitalni pečat' koji se dodaje u digitalnu putovnicu proizvoda.

4.3 Specifični slučajevi primjene u sektoru kamena

4.3.1. Automatska certifikacija usklađenosti

U mnogim regijama postrojenja moraju dokazati da upravljaju svojim otpadom u skladu s propisima. Trenutno to uključuje inspekcije, ručne potpise i velik broj fizičkih dokumenata ili PDF-ova.

Korištenjem pametnih ugovora, ovaj se proces može automatizirati:

- Postrojenje koje prima otpad (npr. reciklaža mramorne kaše) digitalno potvrđuje njegov prijem i obradu.
- Pametni ugovor automatski provjerava je li odredište odobreno i je li vrsta otpada dopuštena.
- Ako je sve točno, generira se i bilježi digitalni certifikat o usklađenosti na blockchainu.

Ovaj certifikat može se izravno dijeliti s tijelima za zaštitu okoliša, revizorima ili korisnicima, bez potrebe za ponovljenim izvještajima ili ručnim provjerama.

4.3.2. Poticaji za ekološke performanse

Održivost se također može pretvoriti u automatske nagrade:

- Ako tvrtka smanji, primjerice, 20% količine odbačenog otpada u odnosu na prethodnu godinu, pametni ugovor može osloboditi digitalni eko-bonus ili primijeniti porezni popust u svom sustavu upravljanja.
- Ovi poticaji mogu se koristiti u zelenoj javnoj nabavi, natječajima ili platformama kružnog gospodarstva između tvrtki.

Prema Franca i sur. (2020), ovaj se pristup može primijeniti čak i na razini općina za nagrađivanje malih poduzeća koja ispunjavaju dokazive kriterije održivosti.

4.3.3. Automatizacija pravnog izvještavanja

Jedan od najponavljajućih i najskupljih zadataka u mnogim industrijama je periodična priprema izvještaja za ekološke vlasti.

Kod pametnih ugovora ovaj se proces može znatno pojednostaviti:

- Svaki put kada se otpad transportira, obrađuje ili zbrinjava, generira se zapis s vremenskim žigom.
- Ovaj zapis automatski se šalje odgovarajućem regionalnom ili nacionalnom sustavu (kao što su eSIR u Španjolskoj ili SISTRI u Italiji).
- Ako zakonski zahtjevi nisu ispunjeni, sustav može izdati preventivno upozorenje ili obavijest o neusklađenosti.

To ne samo da smanjuje prostor za ljudske pogreške, već i potvrđuje sljedivost i usklađenost s propisima na transparentan i u stvarnom vremenu.

4.4 Prednosti i izazovi

4.4.1. Glavne prednosti:

- Manje birokracije: Automatizacijom izvještaja, potpisa i validacija, vrijeme provedeno na administrativnim zadacima značajno se smanjuje (Rapid Innovation, 2023).
- Potpuna transparentnost: Podaci zabilježeni na blockchainu ne mogu se mijenjati i mogu ih revidirati bilo koja ovlaštena strana.
- Skalabilnost: Pametni ugovori omogućuju integraciju više aktera — kamenoloma, reciklera, vlasti — u istu pouzdanu mrežu.
- Automatski poticaji: Nagrade ili pogodnosti mogu se programirati prema ekološkoj učinkovitosti, transparentno i bez ručne intervencije.

4.4.2. Ključni izazovi:

- Početna ulaganja: Iako su dugoročno profitabilni, razvoj i implementacija pametnih ugovora zahtijevaju početno ulaganje u tehnologiju i obuku (Bułkowska i sur., 2023).
- Nedostatak zajedničkih standarda: Da bi različite platforme surađivale, potrebno je dogovoriti se o kompatibilnim strukturama podataka i zajedničkim pravilima (Jiang i sur., 2023).
- Privatnost i regulacija: Ključno je da ugovori budu u skladu s propisima poput GDPR-a, osobito ako se bave osjetljivim informacijama (Dasaklis i sur., 2020).
- Otpornost na promjene: U tradicionalnim sektorima poput prirodnog kamena, osobito među malim i srednjim srednjim preduzećima, može postojati nevoljkost za usvajanje novih digitalnih tehnologija.

4.5 Prijedlog nastave za strukovno obrazovanje i osposobljavanje (VET)

Djelatnost

Simulacija pametnog ugovora

Igra uloga (generator, reciklaža, revizor)

Analiza stvarnih tokeniziranih slučajeva

Rasprava o privatnosti i transparentnosti

Obrazovni cilj

Razumjeti korak po korak kako se operacija (poput certifikacije otpada) automatizira

Prakticirajte provjeru otpada i izdavanje digitalnih certifikata u simuliranom okruženju

Identificirajte prednosti i izazove korištenja digitalnih poticaja u okolišnim kontekstima

Potaknite kritičko razmišljanje o tome kako uskladiti sljedivost s zaštitom podataka

Ove aktivnosti lako se mogu provesti korištenjem besplatnih alata poput Remixa, online platforme za simulaciju pametnih ugovora u Solidityju, ili korištenjem vizualnih predložaka koji predstavljaju procese upravljanja otpadom.

5. INTEGRACIJA BLOCKCHAINA S IOT-OM I ALATIMA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA

5.1 Uloga IoT-a u upravljanju otpadom

Internet stvari (IoT) omogućuje prikupljanje podataka iz fizičkog svijeta u stvarnom vremenu zahvaljujući distribuiranim senzorima. Ti senzori mogu mjeriti varijable poput razine naslaga, vlage, volumena i kemijskog sastava mulja i kamenih fragmenata. Pružajući detaljan i ažuriran pregled protoka otpada, smanjuje se oslanjanje na ručne evidencije, smanjuju logistički troškovi i poboljšava ukupnu učinkovitost procesa (Gulyamov, 2023).

Na primjer, korištenje IoT senzora u nekim je slučajevima smanjilo logističke troškove do 40% i emisije CO₂ za 20-30% optimizacijom ruta prikupljanja otpada na temelju podataka u stvarnom vremenu.

U postrojenju za preradu kamena, IoT senzori mogu raditi istovremeno na:

- Izmjerite protok vode za rezanje.
- Detektirajte razinu taloženog mulja.
- Identificirajte prisutnost sitnih čestica.
-

Ti se podaci mogu izravno poslati na blockchain mrežu, čime se osigurava sigurno bilježenje i olakšava praćenje okoliša.

5.2 Blockchain kao okosnica sljedivosti

Kada se IoT kombinira s blockchainom, stvara se sustav u kojem su digitalni zapisi nepromjenjivi, revidabilni i dostupni svim dionicima, bez potrebe za posrednicima. Prema Jiangui i sur. (2023), blockchain zadovoljava tri ključne potrebe u modernom upravljanju otpadom: sigurnost, integritet podataka i transparentnost.

Danas postoje napredni modeli koji integriraju IoT senzore, blockchain, umjetnu inteligenciju i analizu životnog ciklusa, omogućujući razvoj mnogo pametnijih i održivijih sustava upravljanja.

Praktičan primjer: IoT senzor mjeri volumen mulja koji se generira u stvarnom vremenu. Kada se dosegne određena vrijednost, automatski se aktivira pametni ugovor koji bilježi događaj na blockchainu i provjerava zadovoljavaju li podaci regulatorne ili zahtjeve za oporavak.

Ova vrsta automatizacije osigurava robusnu sljedivost, smanjuje pogreške i gotovo trenutno olakšava pravnu usklađenost.

5.3 Kombinirana tehnička arhitektura: Edge, IoT i blockchain

Za postizanje učinkovite i održive sljedivosti u upravljanju otpadom preporučuje se tehnička arhitektura koja kombinira tri ključna sloja:

1. IoT senzori u strojevima: ugrađuju se izravno u opremu za rezanje, pumpanje ili obradu i detektiraju ključne parametre poput razine mulja, volumena otpada ili kvalitete vode.
2. Edge Computing sloj: ovaj međusloj odgovoran je za filtriranje, obradu i validaciju podataka lokalno prije slanja na glavnu mrežu. To pomaže smanjiti latenciju, smanjiti troškove korištenja blockchaine i izbjeći preopterećenje sustava nepotrebnim podacima.
3. Permissioned blockchain (kao što su Hyperledger ili IOTA): ova mreža bilježi samo relevantne događaje, aktivira pametne ugovore kada su ispunjeni određeni uvjeti i osigurava sigurnu i provjerenu sljedivost.

Ovaj model nije samo skalabilan, već i energetske učinkovit, što ga čini idealnim za distribuirana industrijska okruženja poput postrojenja za rezanje, kamenoloma ili centara za oporavak otpada.

5.4 Prednosti i izazovi integracije IoT-a + Blockchaina

5.4.1. Ključne prednosti:

- Automatizacija bez trenja: podaci generirani IoT senzorima automatski se bilježe na blockchainu i pokreću pametne ugovore bez potrebe za ljudskom intervencijom.
- Operativno poboljšanje: kroz prediktivnu analitiku mogu se smanjiti zastoji opreme, optimizirati rute prikupljanja i poboljšati procesi povrata otpada.
- Revizija u stvarnom vremenu: automatska evidencija omogućuje trenutnu i pouzdanu regulatornu kontrolu, bez oslanjanja na ručne procese ili retrospektivna izvješća.

5.4.2. Glavni izazovi:

- Visoka početna ulaganja: instalacija senzora, uspostavljanje Edge Computing infrastrukture i razvoj blockchain rješenja uključuju značajne početne troškove.
- Sigurnost i privatnost: IoT uređaji mogu biti ranjivi, a osjetljivi industrijski podaci moraju biti zaštićeni u skladu s propisima poput GDPR-a.
- Interoperabilnost: postoji više IoT i blockchain platformi, što zahtijeva zajedničke standarde kako bi svi sustavi mogli ispravno komunicirati (Jiang i sur., 2023).

5.5 Praktična primjena u sektoru kamena

Ovo je primjer kako se integracija IoT-a, edge computinga, blockchaine i digitalnih blizanaca može konkretno primijeniti u tvornici za preradu kamena:



JEDINICA 4. Blockchain primijenjen u upravljanju otpadom

1. IoT senzori ugrađeni u spremnike mulja mjere razinu i gustoću akumuliranog materijala u stvarnom vremenu.
2. Te se informacije obrađuju lokalno pomoću edge računarstva, koje provjerava je li postignut unaprijed definirani minimalni volumen (npr. 5 m³).
3. Nakon validacije, događaj se automatski generira u blockchainu, što aktivira pametni ugovor koji bilježi događaj i izdaje digitalni certifikat ili token vrijednosti.
4. Ti se podaci integriraju u digitalni blizanac serije, gdje se integriraju metrike otpada, tretman, postotak prikupljenog i konačno odredište.
5. Na kraju, sve te informacije učitavaju se u digitalnu putovnicu materijala, olakšavajući pristup ESG certifikatima, javnim natječajnim procesima ili sljedivosti kupcima koji traže održive materijale.

REFERENCE

- Chen, Z. (2024). *Ekološke alternative za kružnu cirkulaciju kamene kaše: od otpada do resursa* (magistarski rad, Politecnico di Milano). Dostupno online: https://www.politesi.polimi.it/retrieve/4e15e145-769a-4162-9eb0-d3c3acb39830/2023_12_Chen.pdf
orbi.uliege.be/handle/2023.12/123456789
- Europska komisija. (2020a). *Novi Akcijski plan za cirkularno gospodarstvo: za čišću i konkurentniju Europu*. Documento completo disponible: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0098>
- Eurostat. (2022). *Statistika otpada – Objašnjenje statistike*. Dostupno na: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics
- Jalalian, M. H., Bagherpour, R., & Khoshouei, M. (2021). *Proizvodnja otpada u industriji kamenja dimenzija: resursi, čimbenici i rješenja za njihovo smanjenje*. *Okolišne znanosti o Zemlji*, 80. DOI: 10.1007/s12665-021-09890-2. Incluye PDF y cita en ResearchGate [OUCL+9ResearchGate+9giab-online.ru+9](https://www.researchgate.net/publication/354123456)
- LIFE-ZSW (2024). *Demonstracija inovativne, ekološki prihvatljive i ekonomski isplative tehnologije za recikliranje ukrasnog kamenog otpada*. Programa LIFE – Unión Europea. Disponible en: [giab-online.ru/3OUCL+3unitesi.unive.it+3](https://www.giab-online.ru/3OUCL+3unitesi.unive.it+3)
- Piumonte studija. (2021). *Proizvodnja mulja u industriji mramora u Verbania*. MDPI, *Okoliš, razvoj i održivost*, 5(1), 57. PDF accessible via MDPI [unitesi.unive.it](https://www.mdpi.com/2077-0472/5/1/57)
- DAPCons. (2021). *RCP004: Prirodni kamen. Pravila kategorija proizvoda za razvoj sektorskih EPD-ova*. Instituta za građevinsku tehnologiju (ITeC), CTM-a i suradnika. Dostupno u: https://csosteniblev4.s3.eu-west-1.amazonaws.com/documents/20210505_DAPcons_RCP004_v3.pdf
- Europska komisija. (2018). *Smjernice o tumačenju ključnih odredbi Direktive 2008/98/EZ o otpadu*. https://ec.europa.eu/environment/pdf/waste/framework/guidance_doc.pdf
- Europska komisija. (2019). *Najbolje prakse u planovima upravljanja ekstraktivnim otpadom*. https://ec.europa.eu/environment/pdf/waste/mining/guidance_extractive_waste.pdf
- Europska komisija. (2020b). *Shema za ekološko upravljanje i reviziju (EMAS)*. https://ec.europa.eu/environment/emas/index_en.htm
- Eurostat. (2022). *Statistika otpada – Objašnjenje statistike*. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics
- Europski parlament i Vijeće. (2008). *Direktiva 2008/98/EZ o otpadu (Okvirna direktiva o otpadu)*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32008L0098>

- Europski parlament i Vijeće. (1999). *Direktiva 1999/31/EZ o odlagalištima otpada*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:31999L0031>
- Europski parlament i Vijeće. (2010). *Direktiva 2010/75/EU o industrijskim emisijama*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32010L0075>
- Europski parlament i Vijeće. (2004). *Direktiva 2004/35/EZ o odgovornosti za okoliš*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32004L0035>
- ITeC i CTM. (2021). *RCP004: Prirodni kamen. Pravila kategorija proizvoda za ekološke deklaracije proizvoda (EPD)*. https://csosteniblev4.s3.eu-west-1.amazonaws.com/documents/20210505_DAPcons_RCP004_v3.pdf
- Circulary. (2023). *Održiva budućnost korištenjem blockchaina za digitalne putovnice proizvoda*. <https://www.circularise.com/blogs/a-sustainable-future-using-blockchain-for-digital-product-passport>
- Europska komisija. (2020). *Novi Akcijski plan za kružno gospodarstvo: Za čišću i konkurentniju Europu*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0098>
- Homaei, M. i sur. (2025). *Pametna sigurnost vode s umjetnom inteligencijom i digitalnim blizancima unaprijeđenim blockchainom*. arXiv preprint. <https://arxiv.org/abs/2504.20275>
- Jiang, P. i sur. (2023). *Primjene blockchain tehnologije u upravljanju otpadom: Pregled, izazovi i prilike*. Časopis čišće proizvodnje, 421, 138466. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138466>
- Ko, R. i sur. (2022). *Implementacija digitalnog proizvodnog putovnice temeljena na multi-blockchain arhitekturi*. Primijenjene znanosti, 12(11), 4874. <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/11/4874>
- Liu, J., Yeoh, W., Qu, Y., & Gao, L. (2022). *Digitalni blizanac temeljen na blockchainu za upravljanje lancem opskrbe: Recenzija*. arXiv preprint. <https://arxiv.org/abs/2202.03966>
- Suhail, R. S., Jurdak, R., Oračević, A. i sur. (2021). *Digitalni blizanci temeljeni na blockchainu: Istražite trendove, probleme i izazove*. arXiv preprint. <https://arxiv.org/abs/2103.11585>
- Bułkowska, K., Zielińska, M., & Bułkowski, M. (2023). *Implementacija blockchain tehnologije u upravljanju otpadom*. *Energies*, 16(23), 7742. <https://doi.org/10.3390/en16237742>
- Dasaklis, T. K., Casino, F., & Patsakis, C. (2020). *Okvir za praćenje i reviziju za reverznu logistiku elektroničke opreme temeljen na blockchainu*. arXiv preprint arXiv:2005.11556. <https://arxiv.org/abs/2005.11556>
- França, J. i sur. (2020). *Predlaže korištenje blockchaina za poboljšanje upravljanja krutim otpadom u malim općinama*. *ResearchGate preprint*. <https://www.researchgate.net/publication/336194492>
- Gorkhali, A., Li, L., & Shrestha, A. (2020). *Sustav za praćenje upravljanja krutim otpadom temeljen na blockchainu*. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 19, 7833–7856. <https://doi.org/10.1007/s13762-020-02850-2>

- Jiang, P. i sur. (2023). Primjene blockchain tehnologije u upravljanju otpadom: Pregled, izazovi i prilike. *Časopis čišće proizvodnje*, 421, 138466. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138466>
- Brza inovacija. (2023). Pametni ugovori u upravljanju lancem opskrbe: prednosti, slučajevi upotrebe i primjeri. <https://www.rapidinnovation.io/post/smart-contracts-in-supply-chain-management-enhancing-transparency-and-efficiency>
- Gulyamov, S. (2023). *Intelligentno upravljanje otpadom koristeći IoT, blockchain tehnologiju i analitiku podataka*. E3S Mreža konferencija. https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2024/31/e3sconf_iccsei2023_01010.pdf [PMC+1taylorfrancis.com+1eprints.whiterose.ac.uk+2ResearchGate+2PMC+2e3s-conferences.org+1ResearchGate+1](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2024/31/e3sconf_iccsei2023_01010.pdf)
- Jiang, P., Zhang, L., You, S., Fan, Y. V., Tan, R. R., & Klemeš, J. J. (2023). Primjene blockchain tehnologije u upravljanju otpadom: pregled, izazovi i prilike. *Časopis čišće proizvodnje*, 421, 138466. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138466> [ResearchGate](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138466)
- He, X., Chen, D., Zhang, N., Dai, H.-N., & Yu, K. (2022). *Integracija blockchaina i edge computinga u Internet stvari: anketa*. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2205.13160> [arXiv](https://arxiv.org/abs/2205.13160)
- Pan, J., Wang, J., Hester, A., Alqerm, I., Liu, Y., & Zhao, Y. (2018). *EdgeChain: EdgeloT okvir i prototip temeljen na blockchainu i pametnim ugovorima*. arXiv. <https://arxiv.org/abs/1806.06185> [arXiv](https://arxiv.org/abs/1806.06185)



RockChain tečaj: JEDINICA 5. RockChain. Završna praktična vježba: integrativni projekt.



Ovo djelo licencirano je pod [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

"Financirano sredstvima Europske unije. Izneseni stavovi i mišljenja su stavovi i mišljenja autora i ne moraju se podudarati sa stavovima i mišljenjima Europske unije ili Europske izvršne agencije za obrazovanje i kulturu (EACEA). Ni Europska unija ni EACEA ne mogu se smatrati odgovornima za njih."



Erasmus+



Transilvania
University
of Brasov





Sadržaj

1. UVOD	4
2. FUNKCIONALNOSTI ROCKCHAIN PLATFORME	4
2.1 Opća navigacija	4
2.2 Moduli igre	5
2.3 Uloge korisnika	7
2.4 Preuzimanje i instalacija	7
3. PREDLOŠCI I RADNI TOKOVI	9
3.1 Početak i priprema	9
3.2 Igranje po rundama	9
3.3 Zatvaranje i evaluacija svake runde	10
3.4 Obrazovna načela primijenjena na Flow	11
4. STRUKTURA STUDIJE SLUČAJA	13
4.1 Sistemski akteri	13
4.2 Digitalna imovina i proizvodi igara	13
4.3 Potpuni tijek igre	13
4.4 Kontrolne točke i usklađenost	14
4.5 Završno izvještavanje i vizualizacija	14
5. NAJBOLJE PRAKSE IZVJEŠTAVANJA I DOKUMENTACIJE	15
5.1 Blockchain za okoliš: Otvoreno interdisciplinarno obrazovanje o generiranju disruptivnih promjena kroz utjecajne DLT aplikacije	15
5.2 Inovativni pristup obuci u tehnološki potpomognutom okruženju za upravljanje vodama	16
5.3 Kružno gospodarstvo Naša održiva budućnost	18
5.4 AGRITECH - Savez za inovativno okruženje za učenje u naprednoj poljoprivredi kroz tehnologiju i upravljanje	19
5.5 Inovativna obuka temeljena na Blockchain tehnologiji primijenjenoj u upravljanju otpadom	21
5.6 Razvijanje europskog modularnog programa VET usmjerenog na obrazovne ishode i obrazovnih resursa o blockchainu za rješavanje tehničkih, netehničkih i interdisciplinarnih (horizontalnih) zahtjeva za vještinama	24
5.7 Ozbiljne igre za upravljanje prirodnim resursima	26



JEDINICA 5.

5.8 Razvoj ozbiljne igre za digitalno učenje u agroekologiji u Europi.....	28
6. REFERENCE	30



1. UVOD

Ova završna jedinica objedinjuje znanje stečeno tijekom tečaja analizirajući aplikaciju RockChain, edukativnu igru koja koristi blockchain tehnologiju primijenjenu na upravljanje otpadom u industriji kamena. Predstavlja svoje trenutne funkcionalnosti, dinamiku igre, sučelje, uloge koje korisnici mogu preuzeti te neke dobre prakse preuzete iz drugih povezanih Erasmus+ programa. Jedinica završava završnom procjenom koja pomaže učvrstiti naučeno.

2. FUNKCIONALNOSTI ROCKCHAIN PLATFORME

RockChain App je obrazovna platforma s gamifikiranim pristupom, osmišljena kako bi studentima pomogla razumjeti kako funkcionira ekonomija temeljena na blockchainu simulirajući tržište prirodnog kamena, industrijskog otpada i procesa oporavka. U takvom okruženju sudionici preuzimaju ulogu igrača koji moraju upravljati ograničenim resursima, donositi strateške odluke i birati suradnju ili natjecanje s drugim korisnicima kako bi postigli najbolje moguće rezultate.

Kroz igru korisnici se upoznaju s ključnim konceptima poput sljedivosti materijala, vrijednosti recikliranja, digitalnog rudarenja (temeljenog na dokazu rada) i pametnih ugovora. Dinamika kombinira tehničke i ekonomske aspekte, rekreirajući situacije tipične za vrijednosni lanac ukrasnog kamena u interaktivnom i realističnom okruženju.

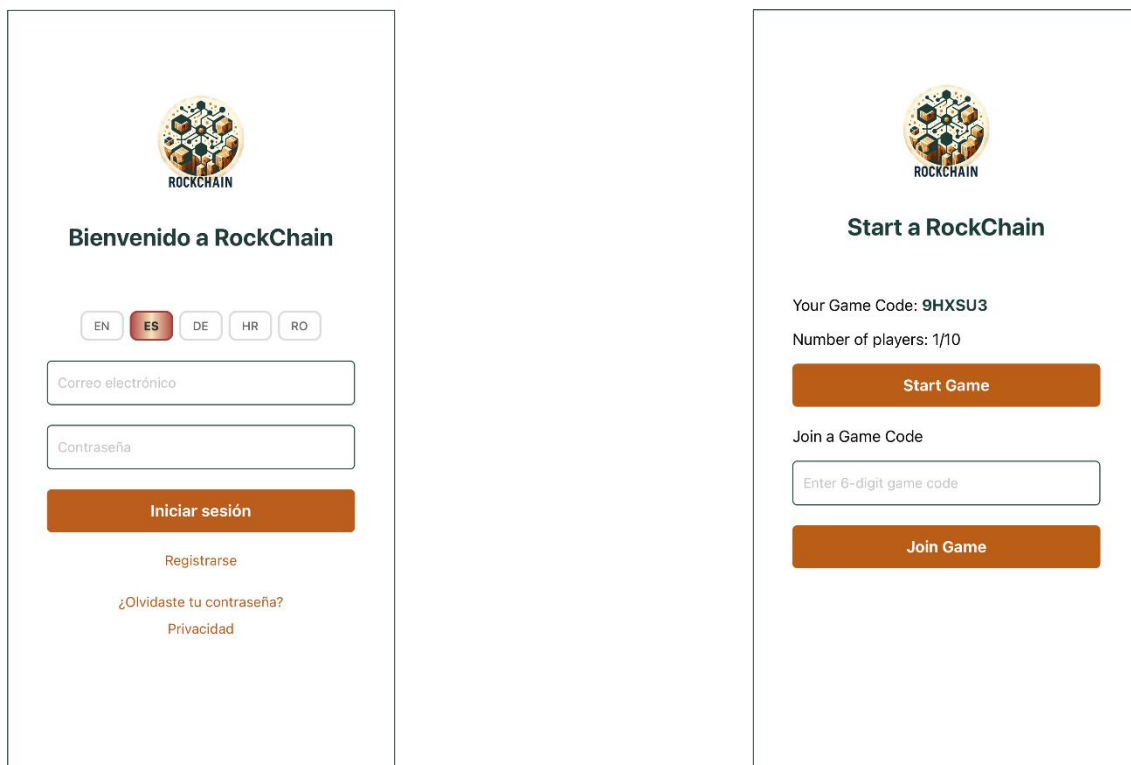
2.1 Opća navigacija

RockChain sučelje dizajnirano je za jednostavnu navigaciju pomoću kartica smještenih na dnu ekrana. Od tamo igrači mogu pristupiti glavnim modulima igre: Tržište, Profil, Statistika i Recikliranje.

Osim toga, postoje i drugi ekrani koji se aktiviraju u određenim trenucima igre. Na primjer, čekaonica prije početka igre, prostor za rudarenje gdje se rješavaju matematički problemi ili završni ekran koji prikazuje rezultate na kraju svake runde. Ti se ekrani automatski učitavaju zahvaljujući sustavu događaja u stvarnom vremenu, koji koristi tehnologije poput Firebase i WebSockets.

2.2 Moduli igre

LogIn: Pristupni modul koji korisnicima omogućuje registraciju ili prijavu na RockChain koristeći svoju e-mail adresu i lozinku. To je ulazna točka na platformu i jamči individualnu identifikaciju za praćenje igara i personalizirane statistike.



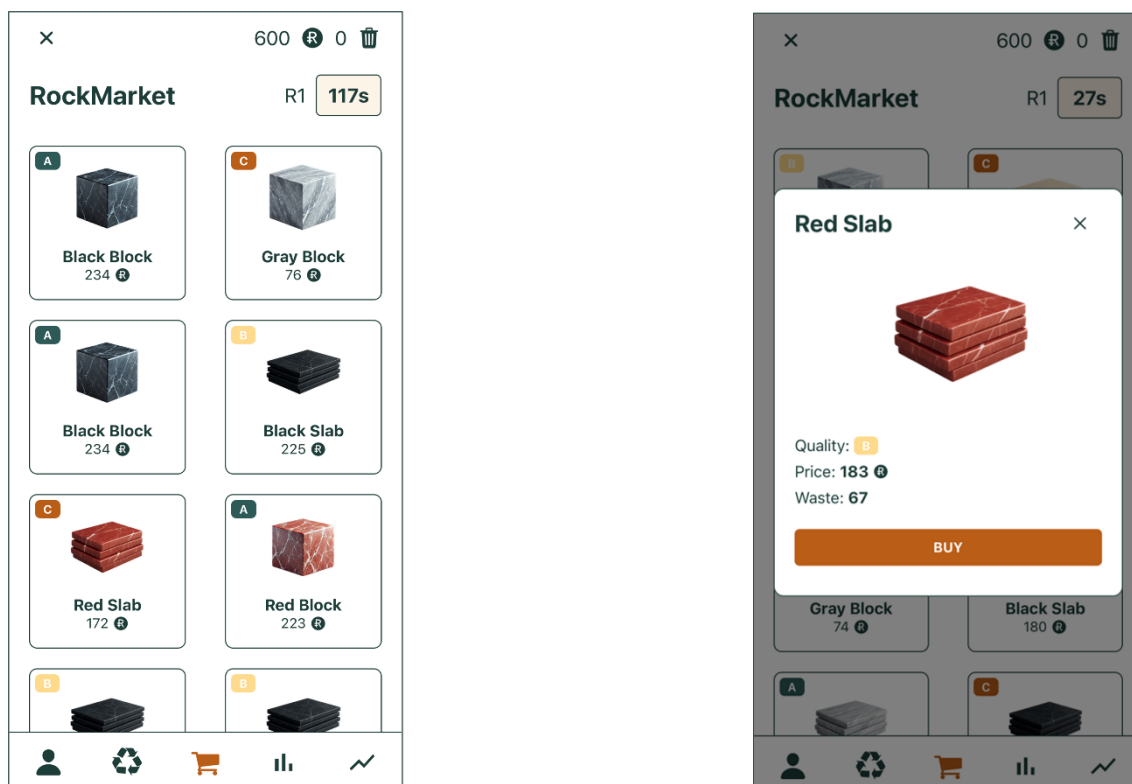
The image shows two side-by-side screenshots of the RockChain web interface. The left screenshot is the login page, titled 'Bienvenido a RockChain'. It features the RockChain logo at the top, followed by language selection buttons (EN, ES, DE, HR, RO) with 'ES' highlighted. Below are input fields for 'Correo electrónico' and 'Contraseña', and an 'Iniciar sesión' button. At the bottom, there are links for 'Registrarse', '¿Olvidaste tu contraseña?', and 'Privacidad'. The right screenshot is the game start page, titled 'Start a RockChain'. It also features the RockChain logo. Below it, it displays 'Your Game Code: 9HXSU3' and 'Number of players: 1/10'. There is a 'Start Game' button. Below that, it says 'Join a Game Code' with an input field for 'Enter 6-digit game code' and a 'Join Game' button.

Slika 1. Prijava.

Čekaonica: Ovo je prvo mjesto koje igrači vide kad se pridruže igri. Svi sudionici prikazani su ovdje dok čekaju da moderator ili 'domaćin' započne igru.

Tržište: Ovo je srž igre. Ovdje igrači kupuju i prodaju proizvode povezane s prirodnim kamenom: blokove, otpad, reciklirane materijale i slično. Cijene variraju, a svaka odluka utječe na razvoj igre. Svaka transakcija pokreće događaj na blockchainu i može dovesti do faze rudarenja.

JEDINICA 5.



Slika 2. RockMarket područje.

Rudarstvo: Nakon određenih transakcija generira se matematički problem koji simulira dokaz rada. Igrači se natječu tko će ga prvi riješiti, a tko uspije dobiva nagradu u obliku RockCoina.

Statistika: Pruža pregled učinka igrača: rangiranje, akumulirane resurse i izvedene operacije. Ove informacije pomažu u planiranju naknadnih odluka.

Profil: Svaki igrač ima digitalni inventar u kojem može provjeriti proizvode koje posjeduje, iskopane resurse, prikupljene novčiće i svoju povijest akcija.

Recikliranje: Ovaj modul omogućuje pretvaranje određenog otpada ili nusproizvoda u nove resurse ili RockCoins, čime se potiče kružna ekonomija unutar igre.

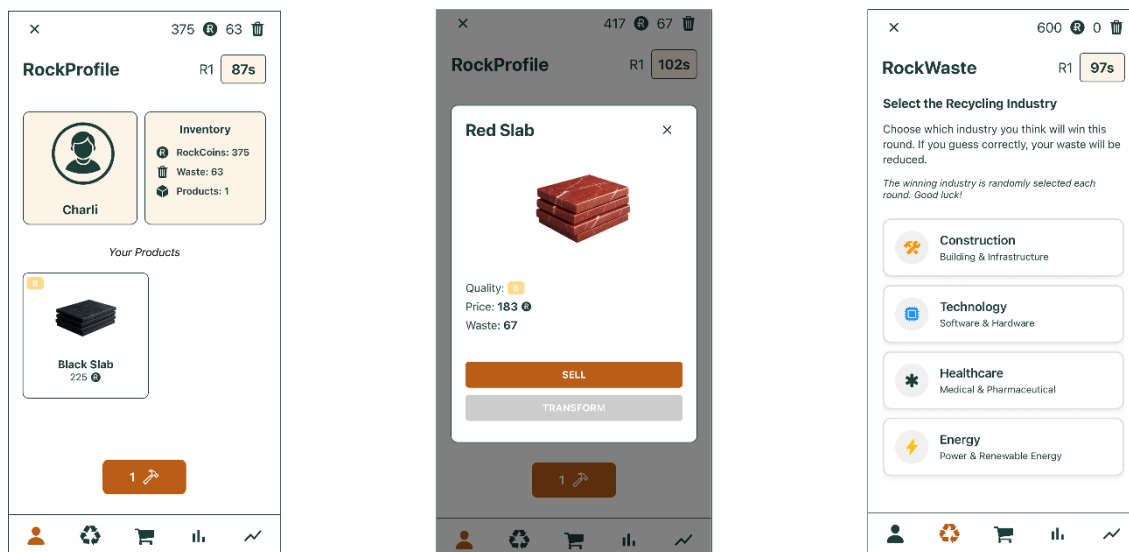
Kraj runde: Na kraju vremena predviđenog za svaku rundu prikazuje se sažetak rezultata: odabrana industrija, igrač koji je uspješno rudario, evolucija ravnoteže i priprema za sljedeći ciklus.



2.3 Uloge korisnika

Svi igrači imaju pristup istim značajkama tijekom igre, s jednom razlikom: kreator sobe (domaćin) ima moć započeti igru kad su svi spremni. Ne postoje hijerarhije niti dodatne privilegije, što osigurava pravedno obrazovno iskustvo za sve sudionike.

Status igre upravlja se u stvarnom vremenu putem centraliziranog sustava koji ažurira uređaje igrača koristeći Firebase i socket događaje. Ovaj sustav kontrolira aspekte poput napretka rundi, dostupnosti proizvoda i rezultata rudarenja.



Slika 3. RockProfile.

2.4 Preuzimanje i instalacija

RockChain je trenutno u fazi testiranja i dostupan je za Android i iOS uređaje. Također se može pokrenuti u razvojnom načinu rada koristeći Expo. Načini pristupa su:

- **Expo Go:** Skeniranjem QR koda s Expo web stranice možete isprobati aplikaciju bez potrebe za potpunom instalacijom.
- **APK (Android):** Izravna instalacija za interno testiranje.
- **TestFlight (iOS):** Pristup po pozivu, s ograničenom dostupnošću.



TESTING YOUR APP USING
TESTFLIGHT



JEDINICA 5.

Preporučeni tehnički zahtjevi:

- Operativni sustav: Android 8 ili noviji / iOS 13 ili noviji.
- Stabilna internetska veza (Wi-Fi ili mobilni prijenosi).
- Minimalna rezolucija ekrana: 720x1280 px.
- Besplatna pohrana: najmanje 200 MB.



3. PREDLOŠCI I RADNI TOKOVI

RockChain djeluje kao edukativna simulacija u rundama, kombinirajući ekonomske odluke, rješavanje problema i upravljanje resursima. Njegova dinamika je ciklična, ali fleksibilna, jer nastoji ponovno stvoriti digitalni lanac vrijednosti koji uključuje elemente blockchaina i kružnog gospodarstva.

3.1 Početak i priprema

Igrač pristupa aplikaciji, registrira se ili prijavljuje te se pridružuje čekaonici, gdje su svi sudionici igre grupirani.

Kad su svi povezani i spremni, kreator sobe (domaćin) pokreće igru.

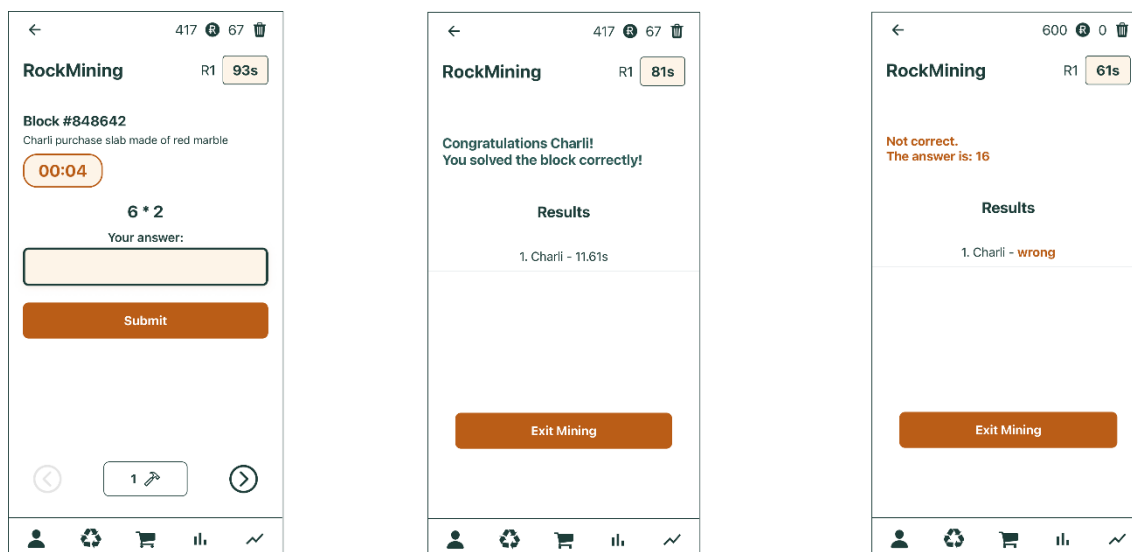
Tijekom ove faze igrači mogu vidjeti tko je još povezan i imati tajmer koji pokazuje koliko je vremena do početka igre.

3.2 Igranje po rundama

Svaka igra sastoji se od nekoliko rundi koje slijede istu strukturu:

- **Početak runde:** Aktivira se timer vidljiv svim igračima. Tijekom tog vremena, svaki igrač može slobodno izvoditi radnje u različitim modulima.
- **Strateške akcije:** Sudionici moraju kupovati, prodavati, transformirati ili kopati proizvode povezane sa sektorom ukrasnog kamena. Svaka odluka ima svoju cijenu, utjecaj i moguće neposredne posljedice:
 - Kupnje i prodaje generiraju transakcije koje utječu na tržišnu logiku.
 - Neke transakcije aktiviraju fazu rudarenja, gdje se igrači natječu u stvarnom vremenu kako bi riješili matematički problem. Prvi koji to učini dobiva RockCoins kao nagradu.
 - Modul za recikliranje omogućuje da se proizvodi niske vrijednosti pretvore u korisne resurse ili RockCoins, čime se potiče logika kružne ekonomije.

JEDINICA 5.



Slika 4. Rudarenje stijena.

- **Ažuriranja u stvarnom vremenu:** Sve radnje odmah su prikazane u profilima i u odjeljku sa statistikama, što olakšava usporedbu strategija i ravnoteža. Sustav utičnica održava automatsku sinkronizaciju između svih sudionika.
- **Kraj runde:** Kada tajmer dosegne nulu, operacije se blokiraju, a igrači se automatski prebacuju na ekran za zatvaranje runde.

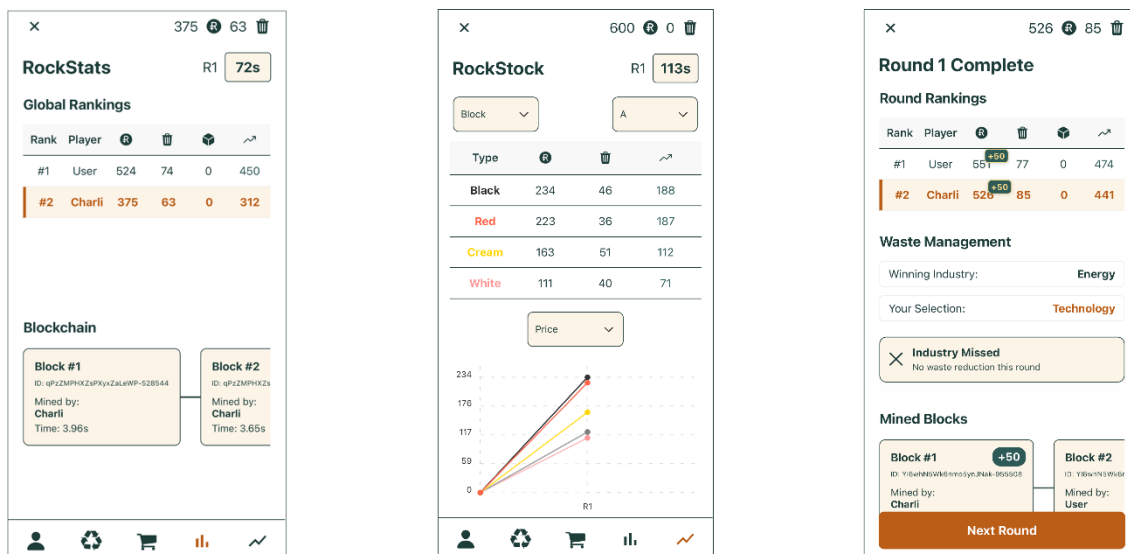
3.3 Zatvaranje i evaluacija svake runde

Završni ekran svake runde prikazuje rezultate:

- Nasumično odabrana industrija (potrošač recikliranih materijala).
- Igrač koji je riješio izazov rudarenja (ako ga ima).
- Ažurirani saldo svakog sudionika: akumulirani proizvodi, RockCoins i učinkovitost.

Prije početka sljedeće runde, svaki igrač mora potvrditi da je spreman. Kad svi to učine, počinje novo odbrojavanje i ciklus se ponovno pokreće.

JEDINICA 5.



Slika 5. RockStats, RockStock i Round završeni.

Općenito, igra se sastoji od 3 runde. Na kraju se prikazuje ukupni rezultat koji odražava izvedbu svakog igrača i učinkovitost njihovih strateških odluka.

3.4 Obrazovna načela primijenjena na Flow

Dinamika RockChaina osmišljena je s jasnim pedagoškim ciljevima, usklađenim s učenjem temeljenim na iskustvu, kružnom ekonomijom i digitalnom pismenošću. Više od samog gaming okruženja, namijenjen je kao obrazovni alat koji studente približava složenim konceptima vezanim uz održivost, sljedivost i nove tehnologije na praktičan i pristupačan način.

Glavna primijenjena načela su sljedeća:

- **Prativost:** Svaka radnja—kupnja, prodaja, recikliranje ili rješavanje problema—odmah se bilježi u profilu igrača. To omogućuje igračima da u stvarnom vremenu promatraju posljedice svojih odluka, razumiju kako je blockchain izgrađen i cijene važnost transparentnosti u proizvodnim procesima. To je učinkovit način da iskusite kako blockchain funkcionira bez potrebe za naprednim tehničkim znanjem.



- **Individualna i kolektivna odgovornost:** Iako svaki igrač upravlja vlastitim inventarom i resursima, njihove odluke utječu na zajedničko okruženje: mijenjaju tržišne cijene, utječu na dostupnost materijala i utječu na sljedeće runde. Ova međuzavisnost pomaže igračima razumjeti logiku složenih sustava i pojačava potrebu za ravnotežom između osobne koristi i zajedničke održivosti.



- **Primijenjena gamifikacija:** Struktura temeljena na rundama, RockCoin nagrade, kompetitivne mehanike rudarenja i rangiranje u stvarnom vremenu čine iskustvo motivirajućim. Ovi elementi potiču aktivno sudjelovanje, koncentraciju i predanost studenata. Osim toga, trenutna povratna informacija olakšava i razumijevanje i zadržavanje sadržaja.



- **Ciklus poboljšanja:** Svaka runda funkcionira kao nova prilika. Igrači mogu razmisliti o svojim prethodnim odlukama, prilagoditi strategiju i poboljšati svoju izvedbu. Ovaj iterativni pristup unapređuje vještine poput kritičkog razmišljanja, samoprocjene i strateškog planiranja, što su sve ključne u kontekstima strukovnog osposobljavanja (VET/ADU).



Zajedno, ovi principi čine RockChain aktivnom platformom za učenje koja omogućuje međusektorski razvoj digitalnih, okolišnih i društvenih vještina.



4. STRUKTURA STUDIJE SLUČAJA

RockChain vam omogućuje da rekreirate kompletnu igru upravljanja otpadom primijenjenu na industriju ukrasnog kamena. Igrači preuzimaju ulogu ekonomskih agenata u okruženju temeljenom na blockchainu, gdje moraju donositi strateške odluke i eksperimentirati s tržišnom dinamikom i održivošću.

Kako bi se pokazalo kako funkcionira, u nastavku su opisani tipični studijski primjer i njezini sastavni dijelovi.

4.1 Sistemski akteri

Igrači: aktivni sudionici koji upravljaju resursima, kupuju i prodaju proizvode, bave se rudarstvom i nastoje maksimizirati svoje ekonomske i ekološke rezultate.

Sustav igre: logički mehanizam koji koordinira runde, ažurira cijene, kontrolira tajmere i potvrđuje radnje u stvarnom vremenu koristeći sockete i bazu podataka.

Pobjednička industrija: na kraju svakog kruga nasumično se bira potrošački sektor za reciklirane materijale. Igrači koji su se kladili na tu industriju ostvaruju dodatne profite.

4.2 Digitalna imovina i proizvodi igara

Resursi dostupni u RockChainu uključuju:

- Kameni blokovi (sirovi ili prerađeni)
- Industrijski otpad
- RockCoins (interna virtualna valuta)
- Digitalni putovnice ili blokovi u blockchainu (povezani s kupljenim proizvodima)

Svaka imovina može se pohraniti, transformirati ili zamijeniti. Njegova vrijednost ovisi i o postupcima igrača i o industriji odabranoj na kraju svake runde.

4.3 Potpuni tijek igre

Čekaonica: igrači se prijavljuju, prikazuju se kao povezani i igra je spremna.

Prva runda: brojač se aktivira. Sudionici kupuju, prodaju, transformiraju ili recikliraju. Svaka akcija generira blok u blockchainu igre. Neke radnje mogu pokrenuti izazov rudarenja.



JEDINICA 5.

Rudarstvo: postavlja se matematički problem tipa 'proof of work'. Prvi koji ga riješi dobiva RockCoins.

Kraj runde: predstavlja se opći sažetak. Industrija recikliranja se nasumično bira, zalihe se ažuriraju, a dobit izračunava.

Ready-check: svaki igrač potvrđuje da je spreman nastaviti.

Runde 2 i 3: Ciklus se ponavlja s novim strateškim prilikama.

Kraj igre: Prikazuju se konačne ljestvice. Pobjednik je igrač s najvišim ukupnim rezultatom, uzimajući u obzir učinkovitost, recikliranje i prikupljene RockCoins.

4.4 Kontrolne točke i usklađenost

Kontrolne točke funkcioniraju kao prekretnice koje osiguravaju uredan tijek igre i poštivanje pravila:

- Početak runde (s dijeljenim tajmerom)
- Aktivacija rudarenja (matematički izazov)
- Odabir pobjedničke industrije (iz pozadine)
- Procjena zaliha (individualni saldo + industrijski bonus)
- Potvrda napredovanja u sljedeći krug (provjera spremnosti)

Sve radnje bilježe se u Firestore i kroz socket događaje, što omogućuje rekonstrukciju igre, reviziju odluka i jačanje sljedivosti sustava.

4.5 Završno izvještavanje i vizualizacija

Na kraju igre generira se vizualni izvještaj koji uključuje:

- Pobjednik rudarstva u svakoj rundi
- Industrija odabrana po rundi
- Završni inventari svih igrača
- Akumulirani RockCoins
- Igrač s najvišom ukupnom učinkovitošću

Ovo izvješće može se koristiti za poticanje rasprava u učionici, promišljanje o primijenjenim strategijama i procjenu vještina koje učenici steknu.

5. NAJBOLJE PRAKSE IZVJEŠTAVANJA I DOKUMENTACIJE

5.1 Blockchain za okoliš: Otvoreno interdisciplinarno obrazovanje o generiranju disruptivnih promjena kroz utjecajne DLT aplikacije

Pozadina

Održivost okoliša prepoznata je kao jedan od najhitnijih globalnih izazova, snažno povezan sa zdravljem, prosperitetom i otpornošću društva. Tehnologija distribuiranih knjiga (DLT) nudi transparentnost, odgovornost i nepromjenjivost, što je čini obećavajućim alatom za poticanje promjene ponašanja. Međutim, njezin potencijal u nefinancijskim područjima, osobito u održivosti okoliša, nedovoljno je istražen, a nastavni planovi visokog obrazovanja rijetko ga integriraju s interdisciplinarnim područjima.

Ciljevi

Projekt ima za cilj ojačati europsko visoko obrazovanje integracijom DLT-a s inženjerstvom okoliša, dizajnerskim razmišljanjem i bihevioralnom psihologijom/ekonomijom na magistarskoj razini. Cilj mu je razviti kurikulume i digitalne resurse koji potiču "zeleni" i "decentralizirani" način razmišljanja, omogućujući studentima i profesionalcima da dizajniraju decentralizirane aplikacije koje strateški rješavaju ekološke izazove.

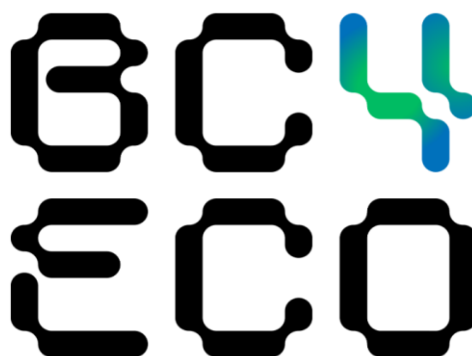
Aktivnosti

BC4ECO provodi transnacionalne projektne sastanke, ljetne škole i radionice za obuku nastavnika kako bi sukreirao i potvrdio svoj pedagoški okvir. Također organizira multiplikatorske događaje na europskim konferencijama kako bi uključila dionike i promovirala širenje i usvajanje svojih rezultata na sveučilištima.

Utjecaj

Projekt postavlja standard za interdisciplinarno obrazovanje o DLT-u primijenjenom na održivost okoliša. Izradom inovativnog kurikuluma, MOOC-ova i otvorenih resursa, oprema buduće profesionalce vještinama za dizajniranje učinkovitih aplikacija, zatvara postojeće praznine u vještinama na tržištu rada i potiče održivo orijentirani digitalni ekosustav.

Web stranica projekta: <https://bc4eco.eu/>



Slika 6. Logo projekta BC4ECO

5.2 Inovativni pristup obuci u tehnološki potpomognutom okruženju za upravljanje vodama

Pozadina

Klimatske promjene utječu na dostupnost i kvalitetu vode u energiji, infrastrukturi, ljudskom zdravlju, poljoprivredi i ekosustavima. Kvalifikacije zaposlenika i privlačenje mladih radnika ostaju ključna pitanja u Europi. Kako bi se privukli visoko kvalificirani radnici, obrazovne inicijative moraju učiniti upravljanje vodama u povezanim sektorima privlačnim te prevesti akademsko znanje i visoke osnovne i transverzne kompetencije u praktične vještine.

HE daje prioritet "Trokutu znanja" kroz inovacije, poduzetništvo i suradnju sveučilišta i poslovanja. To je osobito istinito za tradicionalne sektore poput onih vezanih uz okoliš, gdje su potrebne promjene u obrazovanju i osposobljavanju kako bi se pripremila buduća radna snaga za nove zahtjeve koje stvara ekonomski rast povezan s klimatskim promjenama (npr. izvori vode, utjecaj turizma).

Međutim, europska sigurnost i izvori vode ključni su pokretači održivog prosperiteta i doprinose gospodarskom zdravlju, konkurentnosti, kreativnosti, inovacijama, zaposlenosti i rastu Europe. Europske kadrovske kvalifikacije i mlada nezaposlenost i dalje su vitalni. Kako bi se privukli visoko kvalificirani radnici, obuka mora prenijeti akademsko znanje i visoke osnovne i transverzne sposobnosti u relevantne i primjenjive vještine.

Ciljevi

Paradox je donio stvaranje tečaja od strane 5 institucija, 3 MSP-a i 1 organizacije Gospodarske komore, a sve na različite načine promiču obrazovne aktivnosti u tom području. Svaki sudionik, njegovo osoblje, studenti i zajednica obrađuju se ovim projektom. Iz ovog temeljnog cilja postavljeni su brojni konkretni ciljevi:

1. Izgradnja kapaciteta u sektoru: Promicanje AKTIVNE SURADNJE i partnerstva između aktera iz trokuta znanja: visokoškolskih institucija (BUCKS, IHU, UPM, UTB, UNIPA),



JEDINICA 5.

industrije (EVM, EYEBB, UMOU), Gospodarske komore (ACIF) i lokalnih/regionalnih tijela radi utjecaja na odgovornost za okoliš, modernizaciju i internacionalizaciju visokog obrazovanja.

2. Razviti FLEKSIBILNE PUTOVE UČENJA za podučavanje i prepoznavanje najvažnijih vještina učenika visokog obrazovanja, poput internacionalizacije i digitalnog učenja. Ovaj novi put temeljio se na prethodnom učenju i imao je za cilj unaprijediti sektorske, visoke razine osnovnih i transversalnih kompetencija i vještina, s naglaskom na menadžment, poduzetništvo, jezike i vodstvo, kao i njihov doprinos kohezivnom društvu, osobito kroz povećano učenje i mobilnost radne snage te na

3. Promicanje aktivnosti suradnje i mobilnosti, pružanje više mogućnosti studentima za stjecanje svih potrebnih specijaliziranih i transversalnih vještina te uključivanje njih, zaposlenika partnera i dionika u stvaranje rezultata i osiguravanje njihove relevantnosti.

Implementacija

Glavne aktivnosti Paradoxa uključivale su sljedeće:

- Komparativna istraživanja i prikupljanje dokaza stvarnih slučajeva radi utvrđivanja vještina i kompetencija potrebnih u europskim okolišnim istraživanjima.
- Zajednički modularni program obuke s mnogim načinima učenja (podržan Industrijom 4.0 i Blockchain certifikacijom).
- Razvijati obrazovne materijale, metodologije i alate.
- Umrežavanje i jačanje kapaciteta.

Projekt je završio s 6 multiplikatorskih događaja i konferencijom.

Rezultati

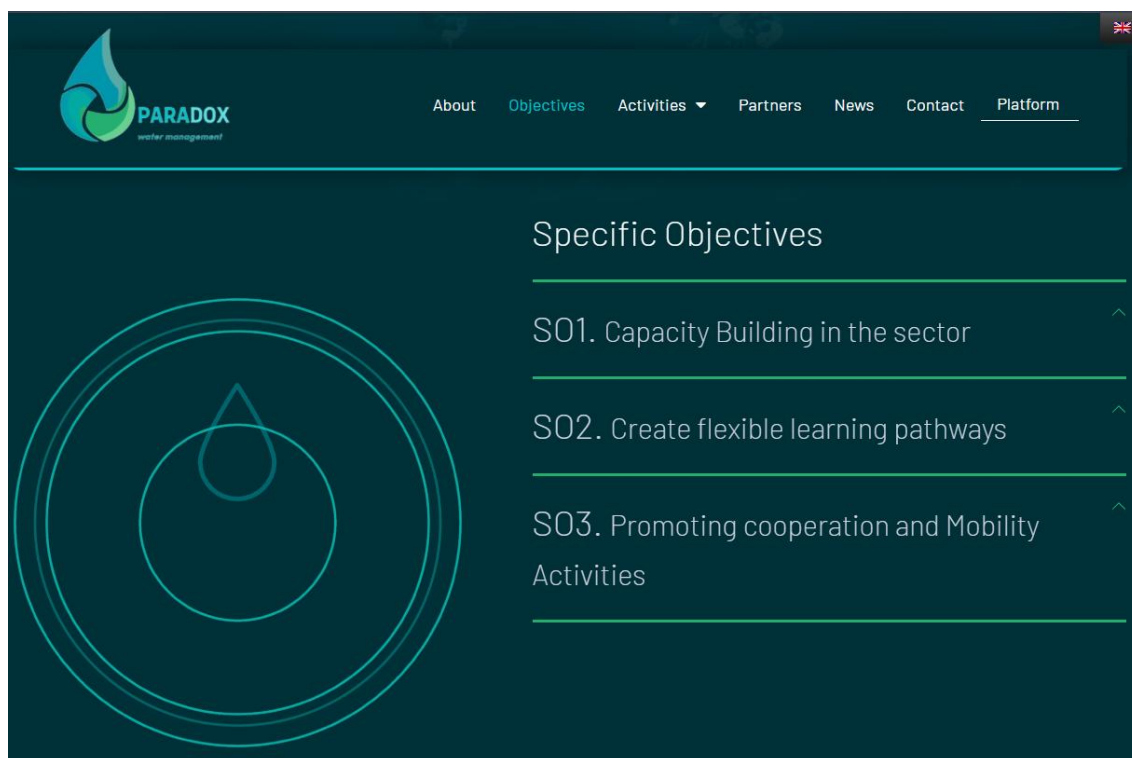
Kao strateško partnerstvo, Paradox je izradio izvještaj o trenutačnim potrebama za vještinama u europskim studijama okoliša, zajednički kurikulum obuke, obrazovni sadržaj i e-learning platformu koja je besplatno dostupna.

PARADOX je modernizirao obrazovanje i povećao prilike tradicionalne industrije. Pratio je, procjenjivao i prepoznavao ekološke sposobnosti sudionika. PARADOX je također uključivao elemente poduzetništva, stranih jezika i digitalnih vještina kao rezultate.

Studenti visokog obrazovanja, osoblje i svi uključeni u Paradox imali su priliku razviti svoju inicijativu, poduzetništvo, vještine stranih jezika i zapošljivost u industrijskom sektoru koji pokreće mnoge europske regije.

Web stranica projekta: <https://paradoxproject.eu/>

JEDINICA 5.



Slika 7. Web stranica projekta Paradox. Specifični ciljevi

5.3 Kružno gospodarstvo Naša održiva budućnost

Ciljevi

Tekući projekt "Kružna ekonomija: Naša održiva budućnost (C.E.O. for Future)" ima za cilj osnažiti mlade i radnike s mladima opremajući ih poduzetničkim vještinama, digitalnim alatima i strategijama zagovaranja politika u kružnom gospodarstvu. Potiče inovacije vođene održivošću, povećava zapošljivost mladih u zelenim industrijama te promiče smanjenje otpada, učinkovitost korištenja resursa i međusektorsku suradnju na lokalnoj i europskoj razini.

Aktivnosti

Projekt će provesti tri ključne aktivnosti, od kojih svaku vodi partner:

Laboratorij za inovacije mladih u kružnom gospodarstvu – praktična obuka, hackathoni i inkubacija startupa.

Zelena politika i angažman zajednice – Zagovaranje politika, okrugli stolovi dionika i kampanje podizanja javne svijesti.

Digitalna rješenja za kružno gospodarstvo – Obuka u AI, blockchainu i tehnološkim rješenjima održivosti.

Svaka aktivnost uključuje osmomjesečni ciklus i transnacionalnu mobilnost za 12 sudionika.

Utjecaj

150+ mladih i omladinskih radnika obučeni za kružnu ekonomiju i digitalnu održivost.

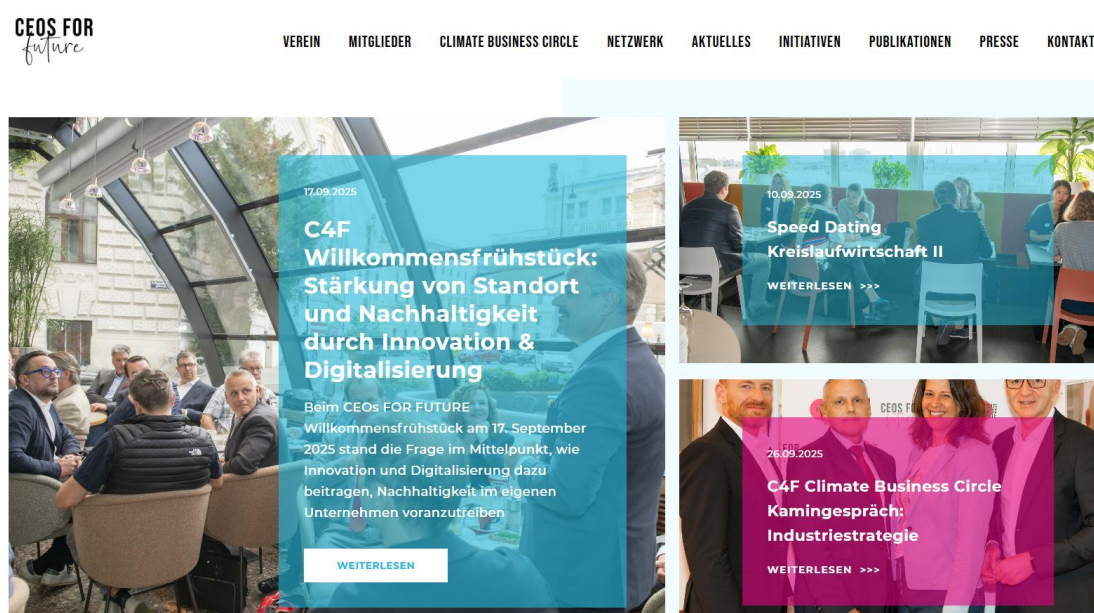
Pokrenuto je 5+ kružnih startupa koje vode mladi, potičući ekološko poduzetništvo.

3 preporuke politike podnesene lokalnim vlastima za usvajanje održivosti.

Razvijen je Alat za politiku kružnog gospodarstva i online središte, čime se osigurava dugoročni utjecaj.

500+ članova zajednice sudjelovalo je u kampanjama podizanja svijesti, potičući održiva ponašanja i promjene politika.

Web stranica projekta: <https://ceosforfuture.at/>



Slika 8. Web stranica projekta C.E.O. for Future

5.4 AGRITECH - Savez za inovativno okruženje za učenje u naprednoj poljoprivredi kroz tehnologiju i upravljanje

Pozadina

Projekt AGRITECH rješava hitnu potrebu za modernizacijom poljoprivrednog obrazovanja i osposobljavanja kako bi se odgovorilo na izazove održivosti i digitalizacije. Poljoprivreda, kao tradicionalni sektor, sve je više oblikovana klimatskim promjenama, ekološkim pritiscima i pojavom disruptivnih tehnologija. Integracijom dubokih tehnoloških područja poput umjetne inteligencije, blockchaina, kvantnog računarstva i uranjajućih digitalnih alata, AGRITECH nastoji zatvoriti praznine u vještinama i pripremiti stručnjake sposobne za poticanje održivih inovacija u europskoj poljoprivredi.



Ciljevi

Projekt ima za cilj transformirati poljoprivredno obrazovanje stvaranjem interdisciplinarnog ekosustava učenja koji kombinira tehničke i netehničke kompetencije. Njegov glavni cilj je pripremiti novu generaciju "AgriTech menadžera" sposobnih primijeniti napredne tehnologije u održivoj poljoprivredi. AGRITECH također promiče kreativnost, poduzetništvo i zajedničko stvaranje kroz inkubatore ugrađene u obrazovne institucije, dok istovremeno uključuje principe društvene odgovornosti poduzeća i održivog razvoja u programe osposobljavanja.

Aktivnosti

AGRITECH razvija multidisciplinarna okruženja za učenje u kojima studenti sudjeluju u stvarnim projektima u suradnji s industrijskim i istraživačkim partnerima. Dizajniraju se nove metode podučavanja i alati za procjenu, koristeći tehnologije poput gamifikacije, virtualne i proširene stvarnosti te adaptivnog učenja. Inicijative inkubacije podržavaju inovacije koje vode učenici, dok suradnički projekti potiču partnerstva u poljoprivredi, tehnologiji i obrazovanju.

Utjecaj

Projekt će pružiti inovativne kurikulume, digitalne resurse i okvire za obuku koji integriraju blockchain i druge nove tehnologije u poljoprivredu. Očekuje se da će povećati zapošljivost učenika, ojačati inovacijski kapacitet Europe i stvoriti mjerilo za održivo i tehnološki vođeno poljoprivredno obrazovanje. Spajanjem digitalizacije s ekološkom odgovornošću, AGRITECH pokazuje kako duboka tehnologija može modernizirati tradicionalni sektor, paralelno s RockChainovim pristupom primjeni blockchaina i digitalnih alata u industriji rudarstva i ukrasnog kamenja.

Web stranica projekta: <https://agritech-project.eu/>



Slika 9. Logo projekta AGRITECH

5.5 Inovativna obuka temeljena na Blockchain tehnologiji primijenjenoj u upravljanju otpadom

Pozadina

Dobro je poznato da je implementacija održivih praksi upravljanja otpadom u okviru cirkularnog gospodarstva danas itekako nužna. U eri Industrije 4.0, tehnološki napredak mogao bi poslužiti kao mehanizam za podršku učinkovitijim praksama upravljanja otpadom. Blockchain bi mogao biti jedna od tih tehnologija koja bi mogla koristiti i društvu i okolišu. Blockchain tehnologija je nastala kako bi podržala i omogućila elektronički sustav plaćanja, ali danas svaki sektor može pronaći prednosti ako se ova tehnologija pravilno primijeni. To je virtualno distribuirano; obično decentralizirano; baze podataka, kriptografski zaštićene i organizirane u povezane blokove transakcija, čija je glavna prednost što se ne može mijenjati. U smislu nepromjenjivosti, blockchain može pružiti sigurne i pouzdane informacije koje su javno dostupne, što omogućuje transparentnost i time gradi povjerenje.

U sektoru upravljanja komunalnim otpadom (MWM) blockchain bi mogao biti ključni čimbenik u tome da povjerenje postane glavni pokretač kružnog upravljanja otpadom, što ponovno čini MWM organizacije posrednikom povjerenja u gospodarstvu otpada.

Ciljevi

JEDINICA 5.

Projekt BlockWASTE želi se baviti interoperabilnošću između upravljanja otpadom i blockchain tehnologije, kako bi se promicalo kružno gospodarstvo u upravljanju komunalnim krutim otpadom (MSW) kroz obuku studenata i stručnjaka iz uključenih sektora.

U tu svrhu, ciljevi ovog projekta su sljedeći:

- Istražiti dobre prakse upravljanja MSW-om u raznim europskim gradovima, kako bi se otpad ponovno uveo u lanac vrijednosti, promovirajući ideju Inteligentnih kružnih gradova.
- Identificirati prednosti Blockchain tehnologije unutar procesa upravljanja MSW-om.
- Izraditi studijski plan koji omogućuje obuku nastavnika i stručnjaka u područjima upravljanja otpadom, cirkularnog gospodarstva i blockchain tehnologije.
- Razviti interaktivni alat temeljen na Blockchain tehnologiji, kako bi proces upravljanja MSW-om bio vidljiviji i transparentniji i potaknuo kružnije oblike upravljanja otpadom.

U tom smjeru, glavne ciljne skupine projekta su:

- Poduzeća i mala i srednja poduzeća, IT stručnjaci, stručnjaci za urbanizam i upravljanje otpadom.
- Sveučilišta (profesori, studenti i istraživači).
- Javna tijela.

Implementacija

Glavne aktivnosti koje se provode su:

- Komparativna studija a) propisa o upravljanju MSW-om u zemljama partnera i EU te b) informacijskim tehnologijama primijenjenim na upravljanje MSW-om na međunarodnoj razini
- Razvoj 3 priručnika o strategijama cirkularnog gospodarstva primijenjenim na upravljanje komunalnim otpadom koristeći blockchain tehnologije
- Komparativno proučavanje u zemljama sudionicama o a) nastavnim planovima i programima visokog obrazovanja o blockchain tehnologiji i b) nastavnim planovima o upravljanju MSW programima
- Izrada MSW menadžerskog kurikuluma koristeći blockchain tehnologiju
- Izrada baze podataka s informacijama o proizvodnji i obradi MSW-a u europskim zemljama



JEDINICA 5.

- Razvoj interaktivnog e-learning alata koji je uključivao Blockchain i MSW upravljačke module
- Razvoj otvorene platforme obrazovnih resursa uključujući suradničku platformu
- Provedba 3 pilotska tečaja obuke
- Aktivnosti upravljanja projektom (npr. praćenje, kontrola i upravljanje projektom, osiguranje kvalitete itd.)
- Aktivnosti širenja informacija (npr. organizacija 3 multiplikatorska događanja, razvoj web stranica, objave na društvenim mrežama projekta i na web stranicama partnera, članci u e-časopisima, prezentacije na konferencijama, povezivanje s drugim projektima itd.)

Rezultati

Sljedeća 4 intelektualna izdanja su:

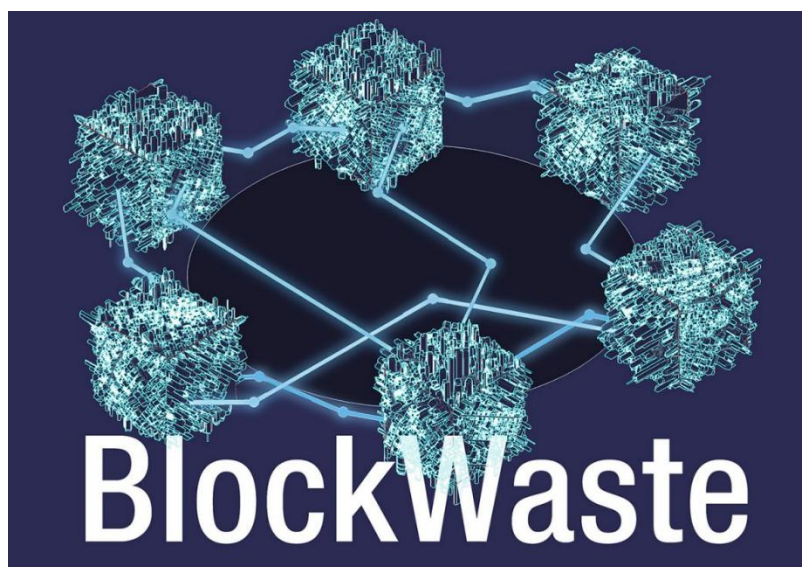
Nastavni materijali u interdisciplinarnom području Blockchain-MSW menadžmenta. Razvijena su tri (3) zasebna priručnika usmjerena na obuku studenata i stručnjaka iz uključenih sektora, u području Blockchain sučelja i upravljanja MSW-om.

Europski zajednički kurikulum za upravljanje MSW primjenom Blockchain tehnologije. Kurikulum odgovara na potrebu za vještinama koje pomažu u transformaciji uglavnom 'linearnog' upravljanja otpadom u procese cirkularne ekonomije. S tehničke i tehnološke strane, kurikulum se temelji na inovativnim alatima i procesima koji pomažu općinskim i privatnim organizacijama za upravljanje otpadom da se nose s novim ekonomskim izazovima. Ključni fokusi u tome su blockchain i tehnologije distribuirane knjige.

E-Learning alat za upravljanje MSW-om temeljen na blockchainu, u svjetlu cirkularnog gospodarstva. Razvijena su dva različita modula.

Platforma otvorenih obrazovnih resursa (OER). OER sadrži suradničku platformu temeljenu na prethodnim Erasmus+ projektima u srodnim područjima, kao i sav prateći materijal za provedbu proizvedenog BlockWASTE tečaja. Materijali za obuku otvoreni su za svakog korisnika.

Web stranica projekta: <https://blockwasteproject.eu/>



Slika 10. Logo projekta BlockWaste

5.6 Razvijanje europskog modularnog programa VET usmjerenog na obrazovne ishode i obrazovnih resursa o blockchainu za rješavanje tehničkih, netehničkih i interdisciplinarnih (horizontalnih) zahtjeva za vještinama.

Ciljevi

Inovativni nastavni materijali razvijati će se u području blockchaina kako bi se pridonijelo rješavanju problema nekompatibilnosti s radnom snagom, što je jedan od najvećih problema VET-a. Sadržaj materijala za obuku bit će razvijen u konceptu klimatskih promjena, ugljičnog otiska, ravnopravnosti spolova u zelenoj EU i ICT-u. U našem projektu očekuje se da će kvalificirani studenti biti educirani u Blockchainu i dati pozitivan doprinos radnoj snazi s certifikatima.

Aktivnosti

Naš projekt ima za cilj razviti obrazovne materijale koji podržavaju inovacije i digitalnu transformaciju u strukovnom obrazovanju. Za postizanje tih ciljeva pripremljeno je 5 radnih planova:

WP1 - Upravljanje projektima

WP2 - Blockchain okvir i modularni VET program

WP3 - Platforma za procjenu (s umjetnom inteligencijom)

Platforma za e-učenje temeljena na WP4-gamifikaciji

WP5 - Sastanci i konferencije

Utjecaj

Očekivani rezultati projekta su sljedeći.

1- Opipljivi rezultati

WP2-Blockchain okvir i modularni VET program

WP3-platforma za procjenu (s umjetnom inteligencijom)

Platforma za e-učenje temeljena na WP4-gamifikaciji

2- Nematerijalni rezultati

Povećana vještina i interes za blockchain prostor

Doprinos digitalnoj transformaciji društva, posebno strukovnog obrazovanja

Doprinos prilagodbi stručnog obrazovanja i obrazovanja na tržište rada

Doprinos strukovnog obrazovanja u ažuriranju kurikuluma prema inovacijama koje je donijela industrija 4.0

Web stranica projekta: <https://bch4vet.eu/>



BCH4VET

Developing a European learning outcome-oriented modular VET programme and educational resources on
Blockchain to address technical, non-technical and cross-discipline (horizontal) skills requirements

Slika 11. BCH4VET logotip projekta

5.7 Ozbiljne igre za upravljanje prirodnim resursima

Pozadina

Projekt NATURE pokrenut je kao odgovor na izazove koje je prepoznala partnerska skupina projekta u području obrazovanja za upravljanje prirodnim resursima. Rješavanje nedostatka ažurnog znanja i promicanje razumijevanja ekoloških pitanja u poslovnim projektima temelj je održivog upravljanja resursima. Projekt je odgovor na potrebu podizanja svijesti o potrebi ublažavanja klimatskih promjena, očuvanja prirodnog okoliša i kvalitete života sadašnjih i budućih generacija. Obrazovne inicijative koje pripremaju mlade profesionalce da postanu odgovorne, aktivne odrasle osobe u održivosti okoliša u svim aspektima života u industriji i zajednicama važan su dio tog procesa. Podučavanje takvih vještina osigurava da studenti i mladi profesionalci ostanu relevantni u svojim područjima i odgovorno djeluju u svojim zajednicama.

Ciljevi

Cilj projekta bio je pružiti studentima i nastavnicima na sveučilištima digitalne tehnologije i metode koje doprinose kvaliteti obrazovanja u području upravljanja prirodnim resursima. Kako bi se postigao utjecaj projekta, važni koraci bili su definiranje zajedničkog okvira za razvoj metodologije učenja temeljenog na igrama za okolišno obrazovanje kroz istraživanje, suradnju i eksperimentiranje, razvoj ozbiljne igre koja se može koristiti u studijskom procesu upravljanja okolišem te uključivanje studenata u scenarije vezane uz odgovorno korištenje prirodnih resursa inspiriranih stvarnim životom. Još jedan važan cilj koji je doveo do uspješne provedbe koncepta projekta i opipljivih rezultata bio je pružanje pratećeg sadržaja nastavnicima u obliku nastavnih aktivnosti, videozapisa i referentnog priručnika koji olakšava integraciju rezultata projekta u nastavnu praksu.

Implementacija

Kako bi se postigli rezultati projekta, konzorcij je razvio i proveo niz aktivnosti: multinacionalno istraživanje za identifikaciju i mapiranje postojeće situacije u upravljanju prirodnim resursima u zemljama projekta i u europskom prostoru, analizu i usporedbu iskustava "Ekološkog obrazovanja" u svim partnerskim zemljama u vezi s digitalnim tehnologijama i metodama koje doprinose kvaliteti obrazovanja u području upravljanja prirodnim resursima; analiza trenutnih trendova u korištenju igara u ekološkom obrazovanju, koja je dovela do definiranja zajedničkog okvira za razvoj metodologije učenja temeljene na igrama za upravljanje prirodnim resursima.



JEDINICA 5.

Tim za obrazovnu tehnologiju definirao je scenarije učenja, a tim za dizajn učenja i tehnologiju razvio je NATURE ozbiljnu igru za učenike koja potiče učenje kroz eksperimentiranje u kontekstu digitalne igre učenja. U završnoj fazi projekta NATURE intervencija učenja potvrđena je u praksi kroz pilot aktivnosti sa studentima visokog obrazovanja u Latviji, Grčkoj, Portugalu, Španjolskoj, Estoniji i Italiji. Ove evaluacijske aktivnosti u različitim akademskim, kulturnim i gospodarskim okruženjima osigurale su europsku relevantnost rezultata. Za distribuciju rezultata projekta i uključivanje ciljnih skupina u daljnju primjenu multiplikatora rezultata projekta organizirani su događaji u svim zemljama projekta.

Rezultati

Konzorcij je proveo akcijski plan projekta i postigao sljedeće konačne rezultate.

- Izvještaj 'Iskustveni, metodološki okvir učenja za izgradnju svijesti, znanja i vještina o odgovornom upravljanju prirodnim resursima'. Okvir se temelji na

analiza skupina dionika koje izravno ili neizravno mogu profitirati od aktivnosti projekta o ekološkom obrazovanju i može se koristiti kao referentni alat za nastavnike koji žele ažurirati svoje kurikule na temelju nalaza izvješća.

- NATURE digitalnu igru učenja i obrazovne aktivnosti (scenariji učenja i karte inspirirane stvarnim izazovima) o odgovornom upravljanju prirodnim resursima, koje se sastoje od skupa isporuka, poput 3D scenarija učenja, enciklopedije, edukativnih videa

- Sadržaj podrške nastavnicima u obliku obrazovnih listova za nastavnike koji olakšavaju usvajanje predloženog dizajna iskustvenog učenja za obrazovanje o okolišu i referentnih materijala koji podržavaju nastavnike u

korištenje igre učenja NATURE i inspiracija za stvaranje vlastitih aktivnosti učenja.

Web stranica projekta: <http://www.projectnature.eu/>



Slika 12. Testiranje loga ozbiljne igre i projekta NATURE

5.8 Razvoj ozbiljne igre za digitalno učenje u agroekologiji u Europi

Europska poljoprivreda suočava se s brojnim izazovima, uključujući proizvodnju hrane i neprehrambenih proizvoda u dovoljnoj količini i kvaliteti te stvaranje dodane vrijednosti za poljoprivrednike i sudionike u prehrambenom lancu, uz istovremeno smanjenje utjecaja poljoprivrede na okoliš. Agroekologija, definirana kao "proučavanje interakcija između biljaka, životinja, ljudi i okoliša unutar poljoprivrednih sustava", smatra se vrlo relevantnom opcijom za preusmjeravanje europske poljoprivrede kako bi odgovorila na ove velike izazove.

Međutim, obrazovanje na europskim sveučilištima još nije u potpunosti prilagođeno za obrazovanje sadašnjih i budućih poljoprivrednih stručnjaka u agroekologiji. Posebno, multidisciplinarni pristupi nisu dobro razvijeni u postojećim kurikulumima. Štoviše, trenutne metode podučavanja često nemaju interaktivne i digitalne dimenzije koje obećavaju metode učenja. Stoga su hitno potrebni inovativni alati koji će pomoći sveučilišnim nastavnicima da pruže visokokvalitetnu i atraktivnu multidisciplinarnu obuku iz agroekologije studentima i stručnjacima poljoprivrede.

Stoga projekt SEGAE ima za cilj olakšati multidisciplinarno i sustavno razumijevanje agroekologije za studente srednjih i visokih škola te poljoprivredne stručnjake kroz razvoj digitalnog alata za obuku. Kako bismo ostvarili taj cilj, okupili smo konzorcij od šest europskih sveučilišta: Sveučilište u Liègeu (BE), Agrocampus Ouest (FR), Groupe ESA (FR), Oniris (FR), Poljoprivredno sveučilište u Krakovu (PL) i Sveučilište u Bologni (IT).

Ovaj alat ima oblik ozbiljne igre, tj. računalne simulacijske igre koja igračima pomaže da konkretno razumiju kako implementirati agroekologiju na farmi. Konkretno, igrač upravlja virtualnom farmom koja kombinira usjeve i uzgoj mliječnih krava, gdje može implementirati i procijeniti utjecaje poljoprivrednih praksi na pokazatelje vezane uz



JEDINICA 5.

okolišnu, ekonomsku i društvenu održivost svoje farme. Ona/Ona može donositi odluke o raznim aspektima poput pasmine goveda, obroka stočne hrane, izbora usjeva, metode obrade tla itd. I izravno i tijekom vremena vidjeti utjecaj njegovih/njegovih odluka na različite pokazatelje. Četiri europske vrste farmi predlažu se po defaultu: francuska, talijanska, belgijska i poljska.

Igra je namijenjena nastavnicima na sveučilištima i poljoprivrednim školama, kao i poljoprivrednim savjetnicima za cjeloživotno obrazovanje. Igrom se može postići nekoliko pedagoških ciljeva: razumijevanje učinaka različitih agroekoloških praksi, globalna analiza farme, upravljanje agroekološkim prijelazima. Osim toga, uređivač scenarija omogućuje nastavnicima da razviju vlastite pedagoške scenarije prilagođene po mjeri, čime ispunjavaju različite ciljeve učenja i dosežu različite publike.

Igru prate video tutorijali i pedagoška platforma koja uključuje vodič za nastavnike, gotove listove za vježbe, kao i lekcije o različitim dimenzijama agroekologije obrađenim u igri. Igra, tutorial i nastavni alati slobodno su dostupni na 6 jezika (engleski, španjolski, francuski, talijanski, nizozemski, poljski).

U okviru projekta, više od 800 učenika koristilo je igru. Trening sesija u kojoj je sudjelovalo 51 učenik pokazao je obrazovni interes igre i rezultirao znanstvenom publikacijom (Jouan i sur., 2020). Gotovo 700 nastavnika, istraživača te osoblja visokog i tehničkog obrazovanja također je primilo informacije ili obuku o igri. Na kraju, više od 4.800 ljudi koristilo je igru otkako je postala online.

Projekt nastoji da će ova ozbiljna igra pomoći u osposobljavanju srednjoškolaca i sveučilišnih učenika, kao i poljoprivrednih stručnjaka, kako bi doprinijeli agroekološkoj tranziciji europske poljoprivrede.

Web stranica projekta: <https://www.segae.org/>



Slika 13. Logotip projekta za razvoj ozbiljne igre za digitalno učenje u agroekologiji u Europi.

REFERENCE

- Erasmus+ (2017). SEGAE – Razvoj ozbiljne igre za digitalno učenje u agroekologiji u Europi (Projekt 2017-1-FR01-KA203-037254). Erasmus+ platforma za rezultate projekata. Europska komisija. Preuzeto 3. listopada 2025. s <https://erasmus-plus.ec.europa.eu/projects/search/details/2017-1-FR01-KA203-037254>
- Erasmus+ (2020). BlockWASTE – Inovativna obuka temeljena na Blockchain tehnologiji primijenjenoj u upravljanju otpadom (Projekt 2020-1-EL01-KA203-079154). Erasmus+ platforma za rezultate projekata. Europska komisija. Preuzeto 3. listopada 2025. s <https://erasmus-plus.ec.europa.eu/projects/search/details/2020-1-EL01-KA203-079154>
- Erasmus+ (2020). Inovativni pristup obuci u tehnološki potpomognutom okruženju za upravljanje vodama (Projekt 2020-1-UK01-KA203-078871). Erasmus+ platforma za rezultate projekata. Europska komisija. Preuzeto 3. listopada 2025. s <https://erasmus-plus.ec.europa.eu/projects/search/details/2020-1-UK01-KA203-078871>
- Erasmus+ (2021). Blockchain za okoliš: Otvoreno interdisciplinarno obrazovanje o generiranju disruptivnih promjena kroz utjecajne DLT aplikacije (Projekt 2021-1-DK01-KA220-HED-000027608). Erasmus+ platforma za rezultate projekata. Europska komisija. Preuzeto 3. listopada 2025. s <https://erasmus-plus.ec.europa.eu/projects/search/details/2021-1-DK01-KA220-HED-000027608>
- Erasmus+ (2021). Ozbiljne igre za upravljanje prirodnim resursima (Projekt 2021-1-LV01-KA220-HED-000032033). Erasmus+ platforma za rezultate projekata. Europska



JEDINICA 5.

- komisija. Preuzeto 3. listopada 2025. s <https://erasmus-plus.ec.europa.eu/projects/search/details/2021-1-LV01-KA220-HED-000032033>
- Erasmus+ (2022). Razvijanje europskog modularnog programa za stručno osposobljavanje i orijentiranje na obrazovne ishode i obrazovnih resursa o blockchainu za rješavanje tehničkih, netehničkih i interdisciplinarnih (horizontalnih) zahtjeva za vještinama (Projekt 2022-1-NL01-KA220-VET-000087180). Erasmus+ platforma za rezultate projekata. Europska komisija. Preuzeto 3. listopada 2025. s <https://erasmus-plus.ec.europa.eu/projects/search/details/2022-1-NL01-KA220-VET-000087180>
- Erasmus+ (2024). AGRITECH – Savez za inovativno okruženje za učenje u naprednoj poljoprivredi kroz tehnologiju i upravljanje (Projekt 101187399). Erasmus+ platforma za rezultate projekata. Europska komisija. Preuzeto 3. listopada 2025. s <https://erasmus-plus.ec.europa.eu/projects/search/details/101187399>
- Erasmus+ (2025). Kružno gospodarstvo: Naša održiva budućnost (Projekt 2025-1-DE04-KA210-YOU-000358253). Erasmus+ platforma za rezultate projekata. Europska komisija. Preuzeto 3. listopada 2025. s <https://erasmus-plus.ec.europa.eu/projects/search/details/2025-1-DE04-KA210-YOU-000358253>