

Možnosti vpeljave tehnologije veriženja blokov v prehranske oskrbovalne verige

Mitja Gradišnik, Martin Domajnko, Muhamed Turkanović

Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko Univerze v Mariboru, Koroška cesta 46, 2000 Maribor

mitja.gradisnik@um.si, martin.domajnko@student.um.si, muhamed.turkanovic@um.si

Izvleček

Številni škandali povezani s kakovostjo, poreklom ali oporečnostjo prehranskih izdelkov, ki smo jim bili priča v zadnjih letih, so omajali zaupanje potrošnikov v prehranske izdelke na naših policah. Potrošniki v odgovor na škandale pričakujejo večjo transparentnost porekla in načina proizvodnje prehranskih produktov. Slednje toliko bolj velja za prehranske produkte z višjo dodano vrednostjo, kot so pridelki iz lokalne ali ekološke pridelave ter izdelki z geografsko zaščitenim poreklom.

Vpeljava tehnologij veriženja blokov vpeljuje v oskrbovalne prehranske verige nove možnosti, s pomočjo katerih je mogoče doseči višjo stopnjo sledljivosti in transparentnosti pridelave prehranskih izdelkov. Dosledno vodenje zapisov o izdelku omogoča sledenje prehranskim izdelkom v oskrbovalni verigi. Pri tem so zapisi v verigah blokov decentralizirani, javno preverljivi in nespremenljivi ter kot taki odporni na kasnejše manipulacije. V nadaljevanju predstavimo zasnovo prototipne programske rešitve za sledenje lokalno pridelanim izdelkom, ki je podprta s tehnologijami veriženja blokov.

Ključne besede: oskrbovalne prehranske verige, tehnologije veriženja blokov, transparentnost prehranskih izdelkov

Possibilities of introducing blockchain technology in food supply chains

Abstract

In recent years, numerous scandals related to the quality, origin or objectionability of food products have severely shaken consumer confidence in food products on our shelves. Accordingly, consumers expect clear transparency about the origin and method of food production. The latter is even more relevant for food products with higher added value, such as products from local or organic production and products with a geographically protected origin.

The introduction of blockchain technologies introduces new possibilities into food supply chains, with the help of which a high degree of traceability and transparency of food production can be achieved. Consistent record keeping makes it possible to keep track of food products in the supply chain. Such records in the blockchains are decentralized, publicly verifiable and unchangeable, and as such resistant to subsequent manipulation. In the following paper, we present a prototype implementation of a solution for tracking locally-grown products supported by blockchain technologies.

Keywords: Blockchain, food supply chain, food traceability

1 UVOD

Globalizacija prehranskih trgov je močno pospešila pretok živilskih produktov preko mej nacionalnih držav [1], [2]. Na naših policah se tako znajdejo prehranski izdelki, ki izvirajo iz različnih predelov sveta ter so, preden so dosegli naše prodajne police, prepotovali na tisoče kilometrov [3]. Posledica slednjega je širok nabor prehranskih izdelkov, med

katerimi lahko potrošniki izbiramo. Tako je povsem običajno, da so sezonski produkti na naših trgovskih policah čez celo leto. Številne dobavne verige posledično težko natančno določijo, od kod določen produkt izhaja in pod kakšnimi pogoji je bil pridelan [4]. Proizvajalci hrane ponudijo izjemno malo ali celo nič informacij o dobaviteljih na drugem ali tretjem nivoju dobave [5].

Po drugi strani so prehranski trg v zadnjih letih pretresli številni škandali, ki so močno omajali zaupanje potrošnikov v kakovost in varnost prehranskih izdelkov na naših policah in zmožnost regulatorjev, da obstoječi trg ustrezno nadzirajo [6]. V medijih so tako odmevali številni incidenti povezani s ponarejanjem in napačnim označevanjem živil, zamenjavo in redčenjem surovin ter ponarejanjem ali napačnim navajanjem porekla surovin [1]. Posebej na udaru so predvsem kakovostnejši prehranski izdelki višjega cenovnega razreda, kot je na primer italijansko ekstra deviško olivno olje [7]. Skupni trg Evropske unije je na primer v letu 2013 močno pretresla afera s primešanim konjskim mesom številnim izdelkom iz govejega mesa [8]. Nadaljnjo, kanadska raziskava opravljena v letu 2018 je razkrila, da kar 44% od skupno pregledanih 382 izdelkov, ki vsebujejo morske sadeže, ni bilo ustrezno označenih. V našem medijskem prostoru so v zadnjih letih predvsem odmevala ugibanja povezana z nejasnim izvorom briških češenj [9] ter goljufije povezane s prodajo sadja in zelenjave iz integrirane pridelave iz tujine na lokalnih tržnicah pod oznako lokalno pridelane hrane [10]. Pridobivanje zaupanja potrošnikov v ponujene prehranske izdelke predstavlja eden izmed ključnih ciljev pridelovalcev in trgovcev prehranskih izdelkov [2], [11].

V odgovor na omajano zaupanje v prehranske verige, potrošniki čedalje bolj prepoznajo pomembno vrednost lokalno pridelane prehrane v kratkih oskrbovalnih verigah. Za potrošnike je ključna tudi transparentnost samega procesa pridelave. Potrošnikom prikimava tudi Evropska komisija v Skupni kmetijski politiki [12], v kateri ob splošni trajnostni naravnosti pridelave hrane poudarja tudi pomembnost krepljenja sistemov lokalne pridelave hrane in izboljšanje položaja pridelovalcev v vrednostnih verigah. Potrošniki posledično od predelovalcev pričakujejo jasen vpogled v podatke o varnosti izdelkov, njihovi kakovosti in trajnostni naravnosti njihove pridelave [1]. Raziskava navad potrošnikov opravljena v letu 2016 razkriva, da je za 94 % potrošnikov pomembna transparentnost pridelovalcev pri procesu pridelave živil, ki jih ti kupujejo [8]. Še več, za hrano, katere poreklo in način pridelava sta jasni in transparentni, so pripravljeni plačati več.

Učinkovitost informiranja potrošnikov o posameznih prehranskih izdelkih predstavlja ključni vzvod, ki je tesno povezan s pridobivanjem njihovega zaupanja. Slednje predstavlja odločilni dejavnik tudi za

dosego višje stopnje uspešnosti v verigi pridelave hrane v splošnem [13]. Izkaže se, da utečeni sistemi sledljivosti živil ne zagotavljajo konsistentnega in zadostnega pretoka informacij vzdolž prehrambnih verig [14]. V odgovor na kompleksnost sodobnih dobavnih verig se pojavlja potreba po razvoju naprednejših in učinkovitejših rešitev za sledenje prehranskim produktom, ki nadgrajujejo obstoječe sheme evidentiranja in označevanja prehranskih produktov izvedenih z oznakami odtisnjenih na embalaži izdelka. Napredek v informacijskih in komunikacijskih tehnologijah odpira vrata novih načinom sledenja produktom v prehranski verigi, ki so zmožni potrošnikom ponuditi hitri in transparentni način vpogleda v poreklo in procese pridelave hrane. Predvsem v zadnjih letih je bila kot ena izmed pomembnih prebojnih tehnologij na omenjenem področju prepoznana tehnologija veriženja blokov [1]. Za razliko od centraliziranih informacijskih rešitev, katerim primanjkuje učinkovitosti pri zagotavljanju transparentnosti informacij ter podpore sodelovanju in zaupanju med akterji [15], [16], ponujajo informacijske rešitve temelječe na tehnologijah veriženja blokov učinkoviti pristop k reševanju navedenih aktualnih izzivov v prehranski industriji. V nadaljevanju predstavimo zasnovo prototipa tovrstne programske rešitve, namenjene sledenju lokalno pridelanih prehranskih produktov.

2 VPELJAVA TEHNOLOGIJ VERIŽENJA BLOKOV

Za dosego večje transparentnosti glede izvora prehranskih izdelkov, morajo akterji v prehranski verigi učinkovito izmenjati relevantne podatke, ki utemeljujejo deklarirano kakovost in poreklo produktov [1]. V odziv na aktualne potrebe in želje potrošnikov, so podjetja začela prostovoljno investirati v napredne rešitve sledenja izdelkom v prehrambnih verigah, ki ponujajo natančen vpogled v podatke o sledljivosti. Takšna izmenjava podatkov sicer močno presegajo obseg, ki ga predpisujejo zakonodajalci [17]. Tehnologije veriženja blokov skupaj z nekaterimi drugimi sodobnimi tehnologijami in pristopi, kot so pametne pogodbe in decentralizirana zasnova aplikacij, ponujajo številne možnosti za izgradnjo programskih rešitev, ki so odporne na manipuliranje zapisov o lastnostih produktov ali njihovo cenzuro izvedeno s strani katerega izmed akterjev vključenega v oskrbovalno prehransko verigo.

2.1 Tehnologije veriženja blokov

Čeprav sloves tehnologij veriženja blokov primarno izhaja iz finančnega sektorja, je bila v zadnjih letih njena uporabnost uspešno demonstrirana na številnih domenah, vključno s sektorjem oskrbe s hrano. Pomembnejše domene, na katerih je bila demonstrirana uporabnost tehnologij veriženja blokov, so bančništvo, zavarovalništvo, delitvena ekonomija in medicina [18]. V domeni bančništva je kot primer uporabe tehnologij veriženja blokov zagotovo potrebno omeniti digitalno valuto Bitcoin in vrsto sorodnih platform digitalnih kovancev, ki se po njem zgledujejo. V zavarovalništvu so priložnosti tehnologij veriženja blokov kažejo predvsem v novih rešitvah pri zaznavanju in preprečevanju goljufij. Slednje omogoča odprtost, trajnost zapisov in enostavnost njihovega deljenja med zavarovalnicami. Tehnologije veriženja blokov so uporabljene tudi v programskih rešitvah iz domene medicine in zdravstvene nege, na primer pri zagotavljanju transparentnosti dobavne verige ali preverjanju ustrezne kvalificiranosti zdravstvenega osebja.

Uspeh tehnologij veriženja blokov primarno izhaja iz njihove podpore realizaciji programskih rešitev, ki jih odlikuje zanesljivost, transparentnost in nespremenljivost zapisanih podatkov [19]. Jedro tehnologij veriženja blokov predstavlja digitalna, decentralizirana in porazdeljena hramba podatkov, v katero je mogoče zapisovati transakcije s ciljem ustvariti trajen in pred kasnejšimi manipulacijami varen zapis [20]. To se doseže s kriptografskim podpisovanjem vsakršne posamezne transakcije. Ob podpori tovrstnih tehnologij lahko dogodke, ki se zgodijo tekom potovanja prehranskih izdelkov po prehranski verigi, v obliki transakcij dodajamo v časovno urejene zapise verige blokov [16]. Hramba podatkov izvedenih transakcij je organizirana v med seboj povezane podatkovne bloke, preko katerih je omogočen njihov prenos, obdelava, hranjenje in predstavitev v ljudem berljivi obliki. Ker gre pri tehnologiji veriženja blokov za t. i. način shranjevanja »samo-za-dodajanje« (ang. append-only), se le ta naslavlja tudi kot tehnologija glavne knjige (ang. ledger), katere terminologija se črpa iz ekonomskih okvirjev, kjer se zapisi transakcij nikoli ne brišejo ali posodablajo, temveč se za namene vodenja celovite sledljivosti sprememb zgolj dodajajo informacije o spremembah.

Zaradi porazdeljenega načina shranjevanja transakcij je nujno potrebno omrežje vozlišč, ki hrambo

transakcij v celoti podvoji med slehernim vozliščem omrežja. Ker so si vozlišča v omrežju enakovredna in avtonomna, imenujemo omrežje decentralizirano, kar posledično pomeni, da se omrežje ne zanaša na zaupanja vredno tretjo/centralno stran [21]. Vsakemu ustvarjenemu bloku je glede na vsebino, ki jo nosi, izračunana zgoščevalna vrednost (angl. hash), na katero se blok sklicuje. Slednje daje konceptu osnovo za zagotavljanje integritete zapisanih podatkov. Vsaka kasnejša manipulacija vsebine podatkovnih blokov tako ne bi mogla ostati neopažena, saj manipulacijo razkrije neskladje izračunane zgoščevalne vrednosti bloka z njegovo zgoščevalno vrednostjo zapisano v sledeči blok [21].

Zapisi o kakovostnih atributih in poreklu prehranskih izdelkov, zapisani v verige blokov, so posledično odporni proti kasnejšim manipulacijam katerega koli akterja v oskrbovalni verigi, kar omogoča izgradnjo zaupanja v deklarirane podatke o izdelkih. S takšnim pristopom k varnosti in transparentnosti deljenih informacij je mogoče doseči bolj varno, transparentno in natančno izmenjavo podatkov.

Decentraliziranost in porazdeljenost, ki jih vpelejo tovrstne programske rešitve, v praksi omogočita, da nobenemu izmed akterjev v prehranski oskrbovalni verigi ni potrebo prevzemati pobude za zbiranje in hrambo podatkov, saj se odgovornost enakomerno porazdeli med vse akterje. Posledično se tudi vzdržuje transparentnost in zaupanje, saj si nobeden izmed akterjev ne more prisvojiti prevlade nad omrežjem in zaradi tega kakorkoli spreminjati podatkov omrežja. Pomembno je poudariti, da vpejljava sledenja preko zapisov v verige blokov v nobenem pogledu ne nadomešča notranjih informacijskih sistemov posameznih akterjev v prehranski verigi, temveč jih zgolj dopolnjuje.

Pomembno komponento v naboru tehnologij veriženja blokov predstavljajo pametne pogodbe (ang. smart contracts). Te predstavljajo ključno razširitev tehnologij veriženja blokov [16], ki močno pripomore k uporabnosti tovrstnih tehnologij. Navedeno razširitev predstavlja doprinos platforme Ethereum tehnologijam veriženja blokov, zaradi katere se tovrstne tehnologije veriženja blokov v angleškem jeziku poimenujejo kar Blockchain 2.0. V grobem opišemo pametne pogodbe kot računalniški protokol, ki zagotavlja avtomatizirano elektronsko izvrševanje zapisanih določb v pogodbah, ki so definirane v programski logiki. Iz tehničnega vidika lahko pametne pogodbe

opišemo kot programsko kodo ali aplikacije, ki jih je mogoče namestiti v verigo blokov [22]. Ko so pametne pogodbe shranjene v verige blokov, pridobijo javno dostopni in znani unikatni naslov, ki omogoča, da se nanjo sklicujemo in jo prožimo. Sama izvedba pogodbe oz. programske logike se izvaja znotraj t. i. navideznih strojev vsakega posameznega vozlišča omrežja verig blokov, pri čemer se morebitne spremembe v stanju prav tako zabeležijo v verigo blokov. S tem se doseže, da so pametne pogodbe poštene, nespremenljive, avtomatizirane, varne in trajne [23].

2.2 Vpetost v ostale tehnologije

Tehnologije veriženja blokov predstavljajo osrednjo komponento naprednih programskih rešitev za sledenje izdelkom v prehranskih verigah, saj omogočijo decentralizirano in transparentno izmenjavo ključnih informacij preko javnodostopnega omrežja. Vendar tehnologije veriženja blokov same po sebi pri implementaciji učinkovitih programskih rešitev za sledenje izdelkom v prehranskih verigah niso dovolj. Dopolnjujemo jih s številnimi drugimi sodobnimi tehnologijami, zaradi katerih tovrstne rešitve dosežejo višjo stopnjo uporabnosti in boljše sprejetost med uporabniki.

Za doseganje sledljivosti izdelkov v prehranskih verigah je ključno, da so ti ustrezno označeni čez celotno pot po prehranski verigi, torej od pridelave ali proizvodnje do končnega potrošnika. Za povečanje učinkovitosti sledenja izdelkov se običajno uporabi označevanje s QR kodami ali v zadnjih letih zaradi svoje zanesljivosti in učinkovitosti čedalje pogosteje uporabljenimi NFC in RFID značkami [14]. Prednost vpeljave RFID značk v primerjavi s tiskanimi črtnimi kodami ali QR kodami se kaže v hitrosti odčitavanja, možnostih njene avtomatizacije in doseganje višje produktivnosti [21], [24].

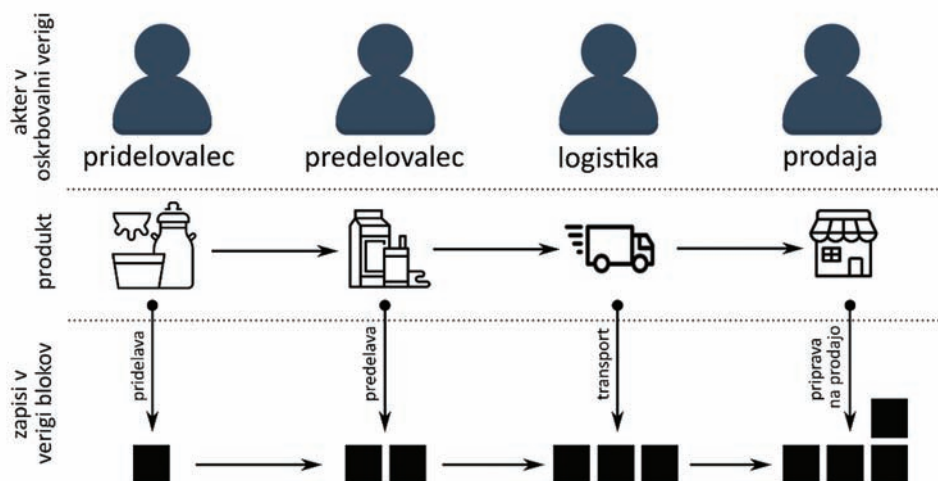
Pomemben prispevek k avtomatizaciji zajema relevantnih podatkov, preko katerih je zagotovljena transparentnost, predstavljajo tehnologije in rešitve povezave z internetom stvari (angl. Internet of Things). Slednje zajemajo širok spekter senzorjev in naprav za avtomatizirano zbiranje in prenos okoljskih podatkov. Primer uporabe tehnologij interneta stvari bi bilo zbiranje podatkov o temperaturi za vzdrževanje hladne verige pri prenosu temperaturno občutljivih izdelkov. Pretrganje hladne verige pri transportu tovrstnih izdelkov bi lahko imelo negativne posledice na njihovo končno kakovost.

Ker verige blokov niso primerne za zapise večjih količin podatkov, kot smo to vajeni pri uporabi podatkovnih baz, so pri realizaciji rešitev ključne tehnologije, ki to omejitev verig blokov odpravljajo. Obseg zmožnosti količine zapisanih podatkov se glede na sorodne rešitve običajno razširi z vpeljavo datotečnega sistema, kot je npr. IPFS (angl. Interplanetary File System), ki vpeljuje protokol in omrežje P2P namenjeno porazdeljenemu hranjenju in deljenju datotek. Zapisi o prehranskih produktih so tako lahko porazdeljeni med verigami blokov in zapisi v datotečnih sistemih, pri čemer se poskrbi, da se s pomočjo kriptografskih pristopov ohrani varnost in integriteta zapisanih podatkov.

2.4 Vpliv tehnologij veriženja blokov na oskrbovalne verige

Pričakovanja glede pozitivnega vpliva vpeljave tehnologij veriženja blokov v prehranske verige so relativno visoka in zajemajo tako tehnološki, družbeni in ekonomski vidik napredka navedenega področja [1]. Od programskih rešitev namenjenih podpori sledenju in transparentnosti podatkov o produktih v prehranskih verigah se pričakuje množica lastnosti, ki bi jih naj tovrstne sodobne rešitve posedovale. Ključne lastnosti odličnosti rešitev v podpro sledljivosti prehranskih izdelkov so tako zagotavljanje sledljivosti izdelkov po celotni prehranski verigi, odprava centralizacije, podpora zaupanju med akterji, koordinacija in nadzor, skladnost z veljavnimi predpisi in čim nižja cena takšnega sledenja [25].

Kot enega izmed ključnih faktorjev kakovosti je prav gotovo potrebno izpostaviti sledljivost prehranskih produktov v verigi. Slednje se doseže z doslednim beleženjem stanja produktov, ki potujejo po verigi s strani vseh akterjev iz prehranske verige, ki so s produktom prišli v stik. Kakovost prehranskega produkta določata dva ključna parametra, njegovo poreklo in kakovost pridelave ter ustreznost kasnejšega rokovanja z njim, ko ta potuje po prehranski verigi do potrošnikov. Na primer, za kakovost samega izdelka ob samem poreklu je ključnega pomena tudi zagotavljanje ustrezne obravnave med transportom. Neustrezni transport lahko tako hitro izniči vrednost visoke kakovosti pridelave ali porekla izdelka. Slika 1 prikazuje shemo zapisovanja relevantnih informacij o produktih v oskrbovalni verigi v verige blokov. Za zapisovanje podatkov so glede na fazo, v kateri se nahaja produkt odgovorni posamezni akterji oskrbovalne verige.



Slika 1: Shema zapisovanja relevantnih zapisov o produktih v verige blokov.

Dosledno zbrani in natančno zapisani podatki v prehranskih verigah imajo za končne potrošnike nizko vrednost, če ti podatkom ne zaupajo. Uporaba tehnologij veriženja blokov podpre zaupanje v zapisane podatke preko njihove nespremenljivosti, ki jo vpeljemo preko transakcij v decentralizirani in porazdeljeni arhitekturi [25]. Zapisi v verigi blokov so odporni proti kasnejšim manipulacijam, saj ne omogočajo naknadnega popravljanja ali njihovega izbrisa. Takšno zaupanje v zapise je doseženo s kriptografskimi pristopi in metodami vgrajenimi v protokol, s pomočjo katerih je napad na integriteto zapisov mogoče uspešno razkriti.

Pri zagotavljanju navedenih atributov kakovosti je seveda ključno, da so rešitve izvedene v skladu z vsemi veljavnimi standardi in predpisi, pri čemer se daje v zadnjih letih veliki poudarek na varstvu osebnih podatkov in zasebnosti akterjev.

2.5 Sorodne rešitve

Programske rešitve, ki vpeljujejo tehnologije veriženja blokov v domeno prehranskih verig, so zelo vezana na okolje, v katerem delujejo, in kontekst namena uporabe [1], [26]. V praksi to pomeni, da splošne programske rešitve, ki bi zadovoljile širok spekter uporabe trenutno ne obstajajo. Pogosto je potrebno izdelati prilagojene in specializirane rešitve, ki so prilagojene specifičnim potrebam poslovanja in uporabnikov. Ker je vpeljave tehnologij veriženja blokov v prehranske verige relativno nov pristop, se velika večina tovrstnih projektov, trenutno nahaja v fazah konceptualne zasnove, implementacije rešitve ali manjših pilotnih študij namenjenih dokazovanju

ustreznosti zasnove koncepta. Nekaterim izmed zasnov se je sicer že uspelo prebiti v fazo delovanja v realnem okolju.

Eno izmed večjih podjetji, ki je v svoje delovne procese vpeljalo tehnologije veriženja blokov, je ameriška trgovska verige Walmart, ki je tehnologijo vpeljalo v oskrbovalne verige uvožene kitajske svinjine in mehiških mangov [27]. Izkušnje podjetja razkrijejo, da se je po vpeljavi tehnologij veriženja bloka dostopnost do podatkov o poreklu posameznih produktov bistveno izboljšala, in sicer od prejšnjih nekaj dni s tradicionalnim pristopom poizvedovanj do vsega skupaj nekaj sekund z novim sistemom. Za podjetje je primarni cilj vpeljave tehnologij veriženja blokov izboljšati varnost hrane, saj je sedaj mogoče z natančnim beleženjem podatkov v vseh fazah oskrbovalne verige pripomoči k zagotavljanju zahtevanih higienskih standardov, tveganj, prevar in nenazadnje hitri identifikaciji oporečnih izdelkov. Vpeljava tehnologij veriženja blokov je v primeru podjetja Walmart vpeljana primarno za interne potrebe podjetja pri upravljanju odnosov s svojimi dobavitelji.

Francoski trgovec z živili Carrefour je vpeljal tehnologije veriženja blokov v svoje oskrbovalne verige z namenom izboljšanja integritete izdelkov, ki jih prodajajo na svojih policah [28]. Popolna sledljivost in transparentnost glede izvora živil in upoštevanja zahtevanja standardov je bila v oskrbovalne verige vpeljana z namenom ponuditi potrošnikom vpogled v izvor in poreklo izdelkov s ciljem dviga stopnje zaupanja potrošnikov v njihove izdelke. Potrošnikom je bila transparentnost oskrbovalnih verig omogočena za več vrst izdelkov, in sicer za meso, ribe, sadje,

zelenjavo in mlečne izdelke. Za podoben pristop k zagotavljanju integritete ponujenih izdelkov se je odločila pivovarna Down Stream [29], ki velja za prvo pivovarno, ki je svoji kupcem transparentno razkrila vse podatke o proizvedenem pivu. Konkretno so potrošnikom na voljo informacije o uporabljenih sestavinah in uporabljene metode varjenja piva.

Tehnologije veriženja blokov predstavljajo hrbtenico zagotavljanja integritete oskrbovalnih verig fundacije FairChain [30]. Temeljni cilj fundacije je vzpostavljanje oskrbovalnih verig, v katerih je zagotovljena transparentnost in enakopravnost vseh akterjev, pri čemer je močan poudarek na zagotavljanju pravične porazdelitve zaslужka med vsemi akterji v oskrbovalni verigi. Fundacija trenutno vzpostavlja pravične oskrbovalne verige za oskrbo s kavo in čokolado. Končnim kupcem navedenih izdelkov je tako omogočen vpogled v celotno pravično oskrbovalno verigo, s čimer se krepi njihovo zaupanje v prizadevanja in poslanstvo fundacije FairChain.

3 REŠITEV ZA SLEDENJE POREKLA IZDELKOV

3.1 Cilji in namen rešitve

Prototip rešitve ja nastal kot plod sodelovanja različnih partnerjev iz področja maloprodaje prehranskih produktov, razvoja inovativnih programskih rešitev in akademske sfere, pri čemer je naloga posameznega partnerja prispevati domensko znanje iz svojega področja, kar je bilo za implementacijo tovrstne rešitve nujno. Implementirana rešitev je v prvi fazi projekta namenjena podpori lokalne prodajalne svežega sezonskega sadja, zelenjave in drugih lokalnih pridelkov, pri čemer je namen razvite programske rešitve preko transparentnosti oskrbovalnih verig okrepiti zaupanje potrošnikov v integriteto ponujenih izdelkov. Poslovni cilj prodajalne je namreč potrošnikom ponuditi čim večjo izbiro lokalnih produktov slovenskih pridelovalcev, pri čemer ponujeni pridelki prepotujejo čim krajšo transportno pot med njivo in krožnikom ter tako ohranijo svežino, okus in visoko hranilno vrednost. Kupci ponujenih pridelkov in izdelkov so tako gospodinjstva kot večji odjemalci, ki skrbijo za preskrbo gostinskih lokalov in javnih zavodov. Lokalni slovenski izdelki so sicer del ponudbe, ne predstavljajo pa celotne ponudbe prodajalne. Posledično uporablja prodajno mesto jasne označevanje pridelkov in izdelkov z oznakami njihovega porekla.

Oznake porekla veljajo sicer za uveljavljeni in med potrošniki dobro sprejeti pristop označevanja izvora in kakovostnih značilnosti izdelkov. Glede na značilnost izdelka, ki ga označujejo, je v uporabi širok spekter oznak, med katerimi so nekatere v uporabi v ožjem geografskem področju, druge so prepoznane širše, na primer na področju Evropske unije. Med bolj prepoznavnimi in široko sprejetimi je zagotovo t. i. »evropski list«, ki označuje organsko pridelane izdelke. Izdelke lokalne pridelave naročnik označuje z oznako »lokalno.je«. Med pogostejše vidnimi so še »zaščitena geografska označba« in označbe »evropske posebnosti«.

Osrednji cilj rešitve sledenja prehranskim izdelkom v kratki oskrbovalni verigi s pomočjo tehnologij veriženja blokov je razširiti uveljavljen pristop označevanja kakovosti in porekla izdelkov z oznakami oz. nalepkami, običajno odtisnjenih ali prilepljenih na embalažo izdelkov. S pomočjo vpeljave tehnologij veriženja blokov ob podpori drugih sodobnih informacijsko komunikacijskih tehnologij je mogoče potrošniku preko uporabe njegovega mobilnega telefona ponuditi natančen in povsem transparenten vpogled v poreklo izdelka ali uporabljene surovine in pristope, ki so bili uporabljeni za njegovo pridelavo oz. proizvodnjo. Zapis v verigah blokov jasno pričajo tudi o dolžini prepotovane poti kot o porabljenemu času, ki ga je izdelek potreboval, da je dosegel košarico potrošnika. Glavni motiv je utrditi zaupanje potrošnikov v dejansko kakovost izdelkov sicer v osnovi višjo dodano vrednostjo. Ob podpori sodobnih informacijsko telekomunikacijskih rešitev je mogoče osnovno sosledje dogodkov v oskrbovalni verigi izdelka zapisano v tekstovni obliki obogatiti z dodatnim multimedijskimi vsebinami, kot so slike in video posnetki, in tako ponuditi poglobljeno predstavo o uporabljenih procesih pridelave.

3.2 Podprte faze prehranskih oskrbovalnih verig

Implementacija prototipa programske rešitve za sledenje poreklu prehranskih izdelkov se upira na generični proces oskrbovalne verige, kot ga v svoji raziskavi predstavijo Caro et al. [31]. Glede na uporabljen procesni model oskrbovalne verige smo v prototipu programske rešitve podprli pet temeljnih akterjev, in sicer:

1. pridelovalca,
2. predelovalca,
3. distributerja,

4. prodajalca,
5. potrošnika.

Naloga pridelovalca v oskrbovalni verigi je poskrbeti za pridelavo primarnih pridelkov. Ti lahko potujejo po verigi navzdol neposredno ali jih predelovalci vmes predelajo v sekundarne prehranske produkte. Naloga distributerjev je poskrbeti za prenos prehranskih produktov med pridelovalci, predelovalci in trgovci in pri tem poskrbeti, da se kakovost izdelkov med transportom (čim bolj) ohrani. Naloga trgovec v oskrbovalni verigi je ponuditi produkte potrošnikom in jih omogočiti transparenten vpogled v zapise o izbranem izdelku iz oskrbovalne verige in ga podpreti pri odločanju o nakupu skladnem z njegovimi načeli.

Uporabljen model procesa oskrbovalne verige predstavlja posplošeno različico modela, v katerega so vključeni ključni akterji in faze, ki jih običajno srečamo v običajnih oskrbovalnih verigah. V literaturi je sicer mogoče zaslediti razširjene modele z dodatnim naborom akterjev, kot so regulatorji in avtoritete za certificiranje prehranskih proizvodov in proizvodnih procesov. Glede na uporabljen model predlagana implementacija rešitve prav tako ne vključuje ponudnika, naloga katerega je zagotoviti vstopne surovine uporabljene v delovnih procesih pridelave na kmetijah. Sicer pa zasnova prototipa omogoča možnost kasnejši dopolnitev implementacije modela.

Posamezne vloge v modelu oskrbovalne verige je mogoče preslikati v faze prehranske oskrbovalne verige, znotraj katerih posamezni akterji aktivno delujejo. Model oskrbovalne verige z implementiranim procesnim in podatkovnim tokom in pripadajočimi zapisi v verige blokov prikazuje slika 2. Na podlagi izbranega modela smo v prototipu rešitve podprli sledeče faze:

1. **pridelava** – faza zajema vse kmetijske aktivnosti izvedene na kmetijah ali farmah. Za potrebe zagotavljanja transparentnosti pridelave je potrebno v začetni fazi natančno definirati način pridelave in morebitne surovine, ki so bile pri tem uporabljene. Ključni podatki, ki definirajo pridelavo, so lokacija pridelave, uporabljena škropiva in gnojila, poreklo in vrsta semen, način krmljenja živine. Slednje daje končnem potrošniku jasen vpogled v način pridelave, predvsem ko govorimo o ekološki pridelavi.
2. **predelava** – faza zajema vse delovne procese, v katerih iz primarnih pridelkov pridelanih v pred-

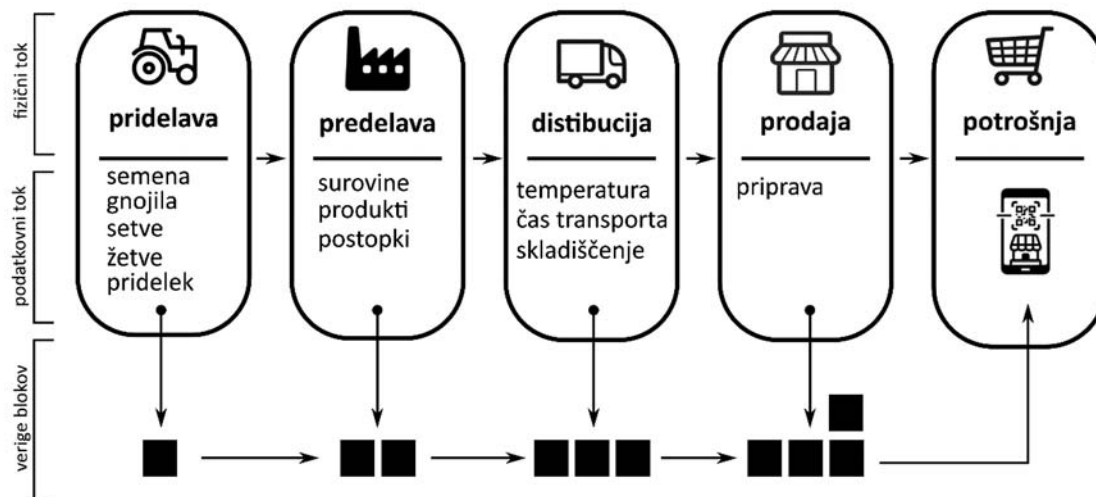
hodni fazi, nastanejo novi sekundarni izdelki. Na primer, ekološka kmetija lahko iz ekološko pridelanega sadja pripravi marmelado. V tem primeru predstavljajo surovine za pripravo marmelade primarne sestavine, nastala marmelada pa sekundarni prehranski produkt. Vrednost dosežene kakovosti daje tem izdelkom uporaba kakovostnih primarnih sestavin in ustreznih tehnoloških procesov predelave. Oba vidika je potrebno upoštevati pri modeliranju zapisov v verige blokov.

3. **distribucija** – faza distribucije ne ustvarja ali spreminja produktov, temveč je njena ključna naloga, da poskrbi za izmenjavo produktov med ostalimi akterji v oskrbovalni verigi. Kljub temu ima izvedba distribucije pomembni vpliv na kakovost produktov. Neustrezno izvedena distribucija, pri kateri pogoji transport niso optimalni, zmanjša vrednost na začetku verige še tako kakovostnemu prehranskemu produktu.
4. **prodaja** – v fazi prodaje se izvede prevzem produktov in njihova priprava na prodajo. Pri tem je ključno, da se posamezne izdelke ustrezno opremi z oznakami, ki omogočajo potrošnikom vpogled v celotno pot produkta po prehranski oskrbovalni verigi.
5. **potrošnja** – v zadnji fazi oskrbovalne verige osredno vlogo prevzame potrošnik, ki izbira med razpoložljivimi produkti na podlagi osebnih preferenc in načel izbire živila na podlagi transparentno zapisanih sledi iz oskrbovalne verige izdelka.

3.3 Podatkovni model rešitve

Pomembna značilnost na tehnologijah veriženja blokov temelječih aplikacij, ki jo je potrebno vzeti v obzir pri načrtovanju podatkovnega modela, je javnost objavljenih zapisov. Vsi zapisi zapisani v verige blokov so namenjeni podpori transparentnosti, kar pomeni, da so javno dostopni in preverljivi. Pri načrtovanju podatkovnega modela je tako potrebno paziti, da podatkovni modeli na vsebujejo podatkov, objava katerih bi bila za posameznega akterja škodljiva. Iskanje ravnovesja med čim večjo stopnjo transparentnosti oskrbovalne verige in poslovnimi interesi sodelujočih akterjev ostaja ena izmed ključnih aktivnosti načrtovanja podatkovnega modela.

Namen in cilji uporabe prototipne rešitve skupaj z uporabljenim procesnim modelom oskrbovalnih verig dejejo jasen okvir podatkovnega modela, na podlagi katerega se za posamezni produkt v oskr-



Slika 2: Shema faz in toka zbranih podatkov prehranskih oskrbovalnih verig.

bovalni verigi zbirajo, obdelujejo in hranijo podatki. Podatkovni model uporabljen v prototipni rešitvi temelji na treh ključnih entitetah, s katerimi je mogoče opisati izvor, kakovost in obdelavo prehranskih izdelkov v prehranski oskrbovalni verigi, in sicer med pridelovalcev in potrošnikom. Ključne entitete, na katerih sloni podatkovni model rešitve, so naslednje:

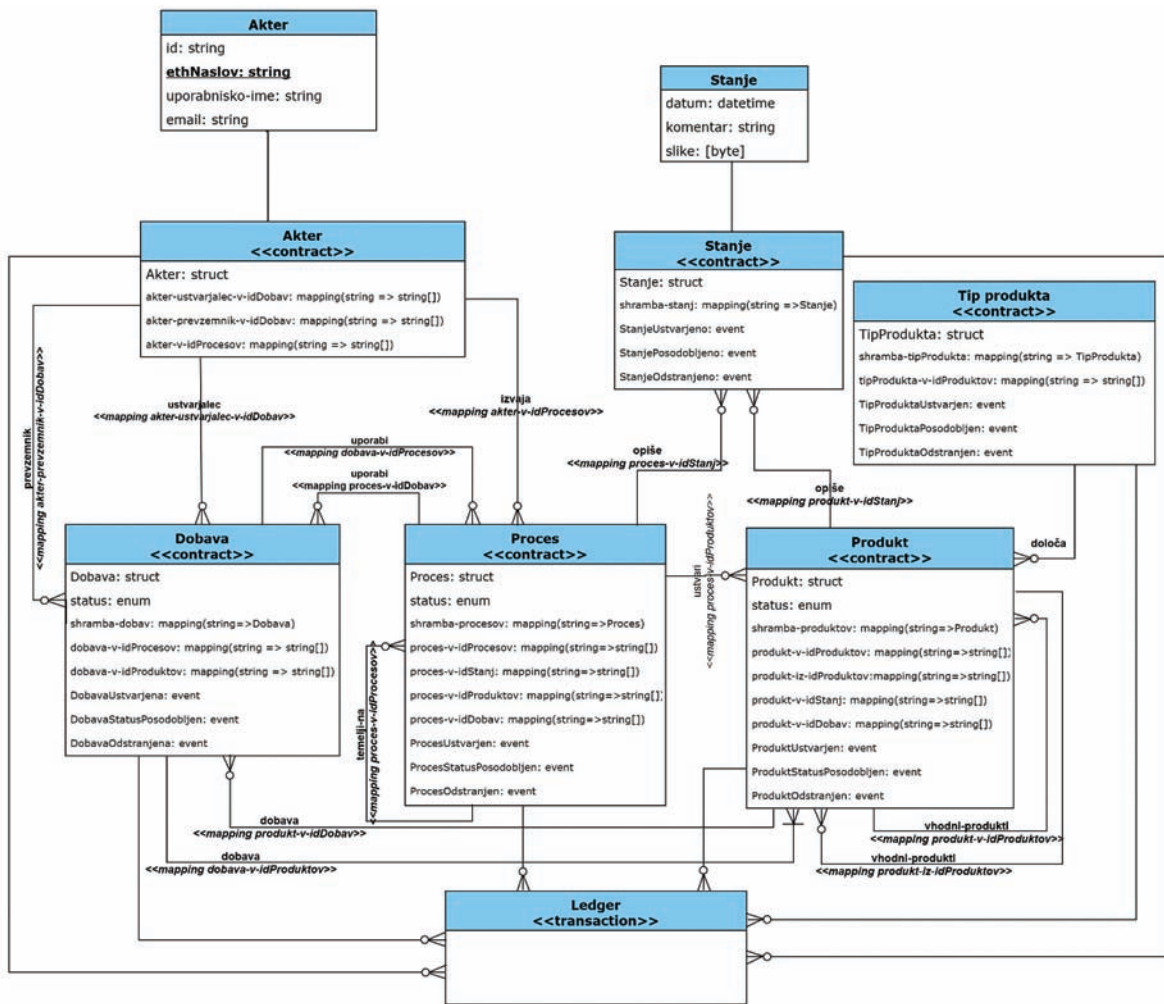
1. **produkt** – definira količino prehranskega produkta izbranega tipa, ki tvori zaključeno enoto in ji je mogoče slediti po prehranski verigi. Ključni namen entitete je opisati osnovne attribute kakovosti produkta. Za sledljivost je nujno zagotoviti poenoteno označevanje produktov, saj produktov z različnimi kakovostnimi atributi ali poreklom ni dovoljeno mešati.
2. **proces** – opisuje lastnosti in načine obdelav, uporabljenih v oskrbovalni verigi za pridelavo, predelavo ali transport prehranskih produktov. Ključni procesi, ki se pojavijo v prehranski verigi, so setve, žetve, trgatve ter množica drugih obdelav, pri katerih se primarni pridelki predelajo v sekundarne živilske produkte. Ključne lastnosti procesov opisujejo način obdelave surovin in pri tem uporabljene temeljne surovine, kot so semena, gnojila ali krma, z vplivom na končno kakovosti prehranskih produktov. Proces obdelave predstavljajo pomemben vidik kakovosti prehranskega produkta, saj opišejo način njihove pridelave.
3. **dobava** – opisuje in sledi predajam sledljivih prehranskih produktov med različnimi akterji v prehranski verigi in lastnosti okolja, ki zagotavljajo ohranitev kakovosti produktov. Sledenje preda-

jam med akterji v prehranski verigi ustvarja sled, preko katere je mogoče potrditi poreklo prehranskega produkta.

Podatkovni model, ki ga prikazuje slika 3, vsebuje še nekatere pomožne entitete. Entiteta »Stanje« opisuje stanje produkta ali procesa v izbrani časovni točki. V podporo večji transparentnosti je preko stanja mogoče prehranskemu produktu ali uporabljenem procesu pripeti tudi slikovno gradivo, ki služi kot dokaz odličnosti.

Entiteta »Produkt« je realizirana kot deljiva količina blaga, ki jo je mogoče, če je to seveda smiselno, s transformacijo razbiti na več manjših enot. Te so v podatkovnem zapisu zapisani kot novi produkti, ki temeljijo na izhodiščnem starševskem produktu zapisanem v atributu »vhodni-produkti«. Starševskem produktu, ki je bil razbiti na eno ali več manjših enot, se spremeni status v »porabljen«. Slednje nakazuje, da v obliki, kot je bil izvorno definiran, produkt zaradi transformacije več ne obstaja in ga v nadaljevanju več ni mogoče uporabljati. Transformacijo po istem mehanizmu je prav tako mogoče uporabiti v primeru, ko je produkt tekom nekega procesa transformiran v drugi produkt. Količinska pravilnost in smiselnost deljenja produktov pri transformacijah je sicer prepuščena uporabnikom sistema, ki za zapisane podatke tudi jamčijo.

Ključna lastnost zastavljene zasnove podatkovnega modela je njegova splošnost. Zastavljen podatkovni model je dovolj splošen, da ga bo mogoče kasneje enostavno vzdrževati in prilagajati konkret-



Slika 4: Predlagani logični model rešitve.

Drugo pomembno razširitev predstavljajo dogodki (angl. event), ki definirajo dogodke, ki jih lahko odda proženje funkcij pametnih pogodb in se trajno zabeležijo v verigo blokov. Oba navedena dodatna koncepta podatkovnih modelov sta posledica posebnosti uporabe programskega jezika Solidity, in jih kot take drugje ne srečamo. Atributi entitet ER modela se sicer preslikajo v attribute strukture struct pametne pogodbe.

3.5 Implementacija pametnih pogodb

Na podlagi definicij entitet zastavljenega logičnega modela so bile izpeljane pametne pogodbe. Iz vsake izmed entitet logičnega modela, označeno z anotacijo <<contract>>, izpeljemo samostojno pametno pogodbo, ki definira strukturo in obdelavo definiranih podatkov v verigah blokov. Na podlagi logičnega

modela rešitve predstavljenega v predhodnem poglavju izpeljemo šest pametnih pogodb.

Slika 5 prikazuje programsko kodo izseka implementacije pametne pogodbe izpeljano iz entitete »Proces«, kot jo določa njena zasnova definirana v logičnem modelu programske rešitve. Izsek programske kode prikazuje osnovno strukturo pametnih pogodb implementirano v programskem jeziku Solidity. Element »contract« predstavlja ovojni element prikazane pametne pogodbe in najavi njeno definicijo. Vsebina elementa nadrobneje definira strukturo in obnašanje pametne pogodbe preko definicij naštevalnih tipov, struktur, dogodkov in funkcij. Strukture v pametni pogodbi definirajo nabor atributov in uporabljenih naštevalnih tipov, kot jih definira entiteta, iz katere pametna pogodba izhaja. Namen funkcij je definirati obnašanje obdelave podatkov

```

contract ProcessStorage {
    bytes32 public constant PROCESS_STORAGE_POSITION =
        keccak256("diamond.standard.process.storage");

    enum ProcessStatus {
        UNDEFINED,
        ACTIVE,
        COMPLETED
    }

    struct Process {
        uint256 processId;
        string processType;
        string description;
        string location;
        string[] rawMaterials;
        string[] procedures;
        uint256 startDate;
        uint256 endDate;
        ProcessStatus status;
        // References
        address user;
    }

    struct Processes {
        uint256[] processIds;
        mapping(uint256 => Process) processStore;
        mapping(uint256 => uint256[]) processToProductIds;
        mapping(uint256 => uint256[]) processToInfoIds;
        mapping(uint256 => uint256[]) processToDeliveryIds;
        mapping(uint256 => uint256[]) processToProcessIds;
    }

    function processStorage() internal pure returns (Processes storage prs) {
        bytes32 pos = PROCESS_STORAGE_POSITION;
        assembly {
            prs.slot := pos
        }
    }
}

```

Slika 5: Izsek implementacije pametne pogodbe »ProcesStorage« skladno z definicijo entitete »Proces« iz logičnega modela

hranjenih v atributih pametne pogodbe. Pomembno vlogo v pametnih pogodbah nosijo tudi dogodki, na katerih sloni obveščanje o dogajanju v verigi blokov. Programsko kodo z definicijo dogodkov vezanih na pametno pogodbo, ki izhaja iz entitete »Proces«, prikazuje slika 6.

3.6 Tehnološki sklad rešitve

Da bi dosegli čim širši krog uporabnikov in enostavnost njegove uporabe je prototip implementiran kot hibridna mobilna aplikacija prilagojena uporabi tako na mobilnih napravah kot v brskalniku namiznih računalnikov. Za doseg končnih potrošnikov je ključnega pomena predvsem podpora mobilnim napravam. Kamera mobilne naprave uporabnikom omogoča skeniranje QR kod izdelkov, preko katerih enostavno dostopajo do sosledja dogodkov izdelka v prehranski oskrbovalni verigi.

```

pragma solidity 0.8.9;

import "../ProcessStorage.sol";

library ProcessLib {
    event ProcessCreated(
        uint256 processId,
        string processType,
        string description,
        string location,
        string[] rawMaterials,
        string[] procedures,
        ProcessStorage.ProcessStatus status
    );

    event ProcessStatusUpdated(
        uint256 processId,
        ProcessStorage.ProcessStatus status
    );

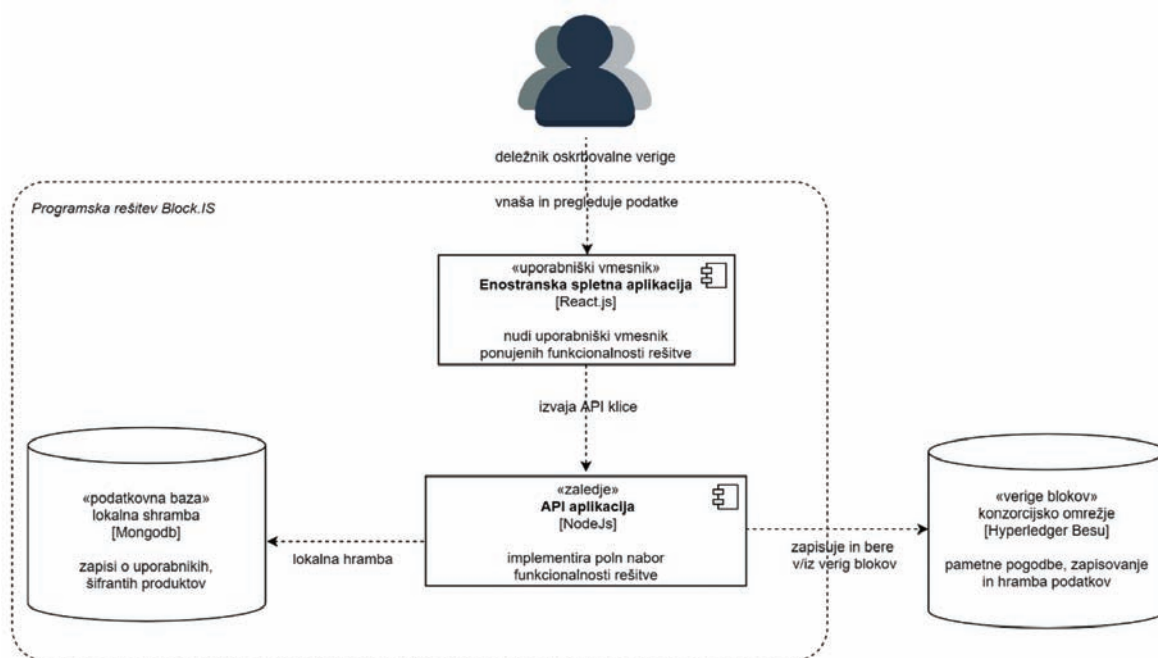
    event ProcessRemoved(uint256 processId);
}

```

Slika 6: Programski koda dogodkov pametne pogodbe, ki izhajajo iz entitete »Proces«

Pri zasnovi prototipa programske rešitve smo sledili trinivojski arhitekturi rešitve, pri katerem jasno razmejimo odgovornosti posameznega nivoja. Prototipna rešitev je implementirana po vzorcu odjemalce-strežnik, kar pomeni, da se obdelava uporabniških zahtev izvaja na zalednem strežniku. Najvišji nivo arhitekturne zasnove aplikacije predstavlja implementacija uporabniškega vmesnika. Ta je v osnovi implementiran s pomočjo knjižnice React.js [32] v programskem jeziku JavaScript. Funkcionalnosti rešitve, ki tečejo na strežniškem delu, so izpostavljene preko programskega vmesnika, zasnovanega po načelih arhitekture REST.

Prototipno aplikacijo od ostalih arhitekturno podobnih rešitev razlikuje predvsem implementacija podatkovnega nivoja. Za hranjenje podatkov se ne uporablja zgolj lokalna podatkovna baza, temveč se za delovanje aplikacije potrebni podatki berejo in zapisujejo v verige blokov preko pametnih pogodb. Podatkovni nivo predstavlja osrednjo komponento rešitve, ki nosi ključno poslovno logiko implementirano v okviru pametnih pogodb zapisanih v jeziku Solidity in omogoča navezavo na omrežje verig blokov. Zaradi optimizacije stroškov transakcij zapisov je namesto povsem javnega omrežja verig blokov bilo izbrano privatno konzorcijsko omrežje, ki temelji na programskem produktu Hyperledger Besu [33]. Za razliko od javnega omrežja Ethereum, v katerem se za izvrševanje transakcij zaračunava pristojbine, privatna konzorcijska omrežja omogočajo izvrševanje transakcij brez stroškov za končne uporabnike. Prav



Slika 7: Shematski prikaz arhitekture programske rešitve.

tako se z uporabo privatnih konzorcijskih omrežij izognemo stroškov s t. i. rudarjenjem, saj se v nasprotju z javnimi omrežji verig blokov, kjer se uporablja porazdeljen dogovor dokaz-o-delu (angl. proof of work), uporablja dokaz-o-avtoriteti (angl. proof of authority). Izbira tipa in načina delovanja omrežja verige blokov, ima torej pomemben vpliv na stroškovno upravičenost tovrstnega projekta.

Dosledno in transparentno sledenje dogodkom produktov v oskrbovalni verigi terja po obsegu veliko podatkov. Za razliko od klasičnih podatkovnih baz verige blokov same po sebi niso primerne hranjenju velikih količin podatkov, saj bi bilo takšno zapisovanje drago in časovno požrešno. Razkorak med za delovanje aplikacije potrebnim obsegom podatkov in omejitvami tehnologij veriženja blokov razrešimo s vpeljavo datotečnega sistema IPFS v arhitekturo rešitve. Podrobne podatke o kakovostnih atributih produktih v oskrbovalnih verigi, vključno s podatki o obdelavah, kot so sejanje, obiranje in predelave, hranimo v s strani za obdelavo pristojnega akterja digitalno podpisane JSON dokumente na javno dostopnem IPFS omrežju. V verige blokov tako zapišemo samo reference na podpisane JSON dokumente, kar ohrani tako transparentnost kot nespremenljivost zapisanih podatkov. Shematski prikaz arhitekture predstavljene programske rešitve povzema slika 7.

4 IZZIVI IMPLEMENTACIJE PROTOTIPA

Kljub številnim priložnostim, ki jih prinaša vpeljava tehnologij veriženja blokov v oskrbovalne verige, bo potrebno do njihove vpeljave v realna okolja rešiti še številne izzive. Do zdaj opravljene raziskave in preizkusi konceptov, ki jih je mogoče zaslediti v akademski in strokovni literaturi, so se osredotočali predvsem na demonstracijo tehnološke izvedljivosti zastavljenega koncepta. In vendar bo v prihodnje ob tehnoloških izzivih potrebno nasloviti tudi preostale zorne kote izvedljivosti zastavljenega koncepta.

Oskrbovalne prehranske verige predstavljajo okolja, v katerih sodeluje izjemno število različnih akterjev, ki vsak zase doprinesejo svoj delež k uspešnem delovanju oskrbovalnih verig. Da je zagotovljena natančna in nepretrgana sledljivost izdelkov, ki potujejo po oskrbovalni verigi, morajo pri soustvarjanju zapisov dosledno sodelovati vsi vključeni akterji. Ti morajo tudi prepoznati pomen tovrstnega početja, ki terja pri pridobivanju zaupanja končnih kupcev ponujenih prehranskih produktov vložek dodanega dela in truda.

Pri vpeljavi tovrstnih programskih rešitev je potrebno upoštevati tudi potrebo po pridobivanju dodatnih digitalnih veščin vključenih akterjev, ki jih pri svojem delu do sedaj niso potrebovali. Uporaba

programskih rešitev, ki temeljijo na tehnologijah veriženja blokov, med drugim od uporabnikov terja ustvarjanje in kasnejše rokovanje z uporabniku lastnimi pari zasebnih in javnih ključev. S pomočjo para javnega in zasebnega ključa je uporabnikom omogočeno zapisovanje podatkov v verige blokov in izkazovanje svoje istovetnosti nasploh. V strahu pred izgubo ključev se v mnogih primerih njihovo upravljanje prenaša na druge akterje ali sisteme, kar močno zmanjša varnost rešitev in smisel vpeljave tehnologij veriženja blokov nasploh.

Pogost je tudi strah pred javnim razkrivanjem podatkov, ki jih zakonodajalec od akterjev v oskrbovalni verigi sicer ne zahteva. Vzpostavitev transparentnih oskrbovalnih verig terja zaradi svoje kompleksnosti, vključenosti novih in še nepoznatih informacijskih tehnologij in vključenosti širokega nabora akterjev določen čas. Ugodni vplivi na zaupanje potrošnikov so zagotovo motivacija, da se bodo poiskali ustrezni odgovori tudi na netehnološke izzive, ki jih tovrstno sledenje prehranskim izdelkom prinaša.

5 SKLEP

Predstavljena zasnova prototipa programske rešitve v podporo sledenju lokalno pridelanim pridelkom in izdelkom v prehranski oskrbovalni verigi predstavlja potrditev koncepta uspešne vpeljave tehnologij veriženja blokov v oskrbovalne verige. Prototip pokaže tehnološko izvedljivost zasnove aplikacije, ki preko visoke stopnje transparentnosti dogajanja v prehranskih oskrbovalnih verigah pripomore k višji stopnji zaupanja potrošnikov v ponujene lokalne pridelke preko dokazovanja njihove integritete. Slednje se izkaže za ključno predvsem pri prehranskih izdelkih z višjo dodano vrednostjo, na primer lokalno ali ekološko pridelanimi živili ali prehranskimi izdelki z geografsko zaščiteno poreklom.

Tehnologije veriženja blokov ponujajo učinkovito platformo, s katero je mogoče doseči transparentnost in verodostojnost zapisanih podatkov. Ustvarjenih zapisov v verigah blokov kasneje več ni mogoče spreminjati, verodostojnost navedb o prehranskem izdelku pa je mogoče zaradi javne dostopnosti vedno preveriti. Decentralizirana zasnova obenem omogoča izgradnjo skupnosti med seboj enakovrednih in neodvisnih akterjev v oskrbovalni verigi, ki si skupaj prizadevajo pridobiti zaupanje potrošnikov. Tehnologije veriženja blokov sicer same po sebi ni bila dovolj za implementacijo tovrstnih programskih reši-

tev. Slednje je bilo skoraj nujno dopolniti s sodobnimi mobilnimi tehnologijami in tehnologijami v podporo označevanju izdelkov, s čimer se je dosegla prijetnejša uporabniška izkušnja uporabnikov rešitve.

Prikazan primer uporabe tovrstnih programskih produktov pri oskrbi z lokalno pridelanim sadjem in zelenjavo demonstrira temeljne zmožnosti tehnologij veriženja blokov v prehranskih verigah. Predstavljena zasnova programske rešitve je seveda mogoče uporabiti na mnogo kompleksnejših primerih izven okolja lokalne skupnosti. Produktom v verigah blokov se na primer lahko pripne digitalne certifikate, ki dokazujejo njihovo geografsko poreklo ali uporabo standardiziranih postopkov pridelave pridelkov oz. njihove kasnejše predelave.

ZAHVALA

Raziskovalni program št. P2-0057 je sofinancirala Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije iz državnega proračuna. Za domensko znanje in ekosistem za razvoj omenjenih rešitev gre zahvala Zeleni točki, kakor tudi ITC Murska Sobota ter DIH AGRIFOOD.

LITERATURA

- [1] K. Behnke in M. F. W. H. A. Janssen, »Boundary conditions for traceability in food supply chains using blockchain technology«, *Int. J. Inf. Manage.*, let. 52, str. 101969, jun. 2020.
- [2] M. Garaus in H. Treiblmaier, »The influence of blockchain-based food traceability on retailer choice: The mediating role of trust«, *Food Control*, let. 129, str. 108082, nov. 2021.
- [3] U. Lehtinen, »Sustainable Supply Chain Management in Agri-food Chains«, *Sustain. Challenges Agrofood Sect.*, str. 150–174, feb. 2017.
- [4] S. Köhler in M. Pizzol, »Technology assessment of blockchain-based technologies in the food supply chain«, *J. Clean Prod.*, let. 269, okt. 2020.
- [5] S. A. Abeyratne in R. P. Monfared, »Blockchain Ready Manufacturing Supply Chain Using Distributed Ledger«, *Int. J. Res. Eng. Technol.*, let. 05, št. 09, str. 1–10, sep. 2016.
- [6] S. Stranieri, F. Riccardi, M. P. M. Meuwissen, in C. Soregaroli, »Exploring the impact of blockchain on the performance of agri-food supply chains«, *Food Control*, let. 119, str. 107495, jan. 2021.
- [7] J. Yan, S. W. Erasmus, M. Aguilera Toro, H. Huang, in S. M. van Ruth, »Food fraud: Assessing fraud vulnerability in the extra virgin olive oil supply chain«, *Food Control*, let. 111, maj 2020.
- [8] J. Astill idr., »Transparency in food supply chains: A review of enabling technology solutions«, *Trends Food Sci. Technol.*, let. 91, str. 240–247, sep. 2019.
- [9] »'Briške češnje' so še znamka, vredna ponarejanja«. [Na spletu]. Dostopno: <https://www.rtvsllo.si/radio-koper/prispvki/novice/briske-cesnje-so-se-znamka-vredna-ponarejanja/456296>.
- [10] E. Carl, »Tržaška veletržnica: najplodnejša njiva slovenskih kmetov«, 2013. [Na spletu]. Dostopno: <https://www.rtvsllo.si>.

- si/okolje/trzaska-veletrznica-najplodnejša-njiva-slovenskih-kmetov/312530.
- [11] E. Garbarino in M. S. Johnson, »The different roles of satisfaction, trust, and commitment in customer relationships«, *J. Mark.*, let. 63, št. 2, str. 70–87, 1999.
- [12] »Skupna kmetijska politika 2023-2027«. [Na spletu]. Dostopno: <https://www.gov.si/zbirke/projekti-in-programi/skupna-kmetijska-politika-po-letu-2020/>. [Dostopano: 17-mar-2022].
- [13] »With natural capital and trust, Canada can become an agrifood powerhouse«. [Na spletu]. Dostopno: <https://www.theglobeandmail.com/report-on-business/rob-commentary/with-capital-and-trust-canada-can-become-an-agrifood-powerhouse/article30989002/>. [Dostopano: 17-mar-2022].
- [14] R. Badia-Melis, P. Mishra, in L. Ruiz-García, »Food traceability: New trends and recent advances. A review«, *Food Control*, let. 57, str. 393–401, nov. 2015.
- [15] M. el Maouchi, O. Ersoy, in Z. Erkin, »TRADE: A Transparent, Decentralized Traceability System for the Supply Chain«, *Proc. 1st ERCIM Blockchain Work. 2018. Eur. Soc. Soc. Embed. Technol.* (EUSSET), št. 10, str. 1–8, 2018.
- [16] J. Sunny, N. Undralla, in V. Madhusudanan Pillai, »Supply chain transparency through blockchain-based traceability: An overview with demonstration«, *Comput. Ind. Eng.*, let. 150, str. 106895, dec. 2020.
- [17] A. Banterle in S. Stranieri, »The consequences of voluntary traceability system for supply chain relationships. An application of transaction cost economics«, *Food Policy*, let. 33, št. 6, str. 560–569, dec. 2008.
- [18] A. Pazaitis, P. De Filippi, in V. Kostakis, »Blockchain and value systems in the sharing economy: The illustrative case of Backfeed«, *Technol. Forecast. Soc. Change*, let. 125, str. 105–115, dec. 2017.
- [19] G. Mirabelli in V. Solina, »Blockchain and agricultural supply chains traceability: research trends and future challenges«, *Procedia Manuf.*, let. 42, str. 414–421, jan. 2020.
- [20] H. Treiblmaier, »The impact of the blockchain on the supply chain: a theory-based research framework and a call for action«, *Supply Chain Manag.*, let. 23, št. 6, str. 545–559, nov. 2018.
- [21] A. Kamilaris, A. Fonts, in F. X. Prenafeta-Boldú, »The rise of blockchain technology in agriculture and food supply chains«, *Trends in Food Science and Technology*, let. 91. Elsevier, str. 640–652, 01-sep-2019.
- [22] »Ethereum«. [Na spletu]. Dostopno: <https://ethereum.org/en/>. [Dostopano: 19-apr-2022].
- [23] P. Rek in M. Turkanovi, »Data modelling for Blockchain Oriented Software Engineering«, *Cent. Eur. Conf. Inf. Intell. Syst.*, str. 377–384, 2021.
- [24] C. Costa, F. Antonucci, F. Pallottino, J. Aguzzi, D. Sarriá, in P. Menesatti, »A Review on Agri-food Supply Chain Traceability by Means of RFID Technology«, *Food Bioprocess Technol.*, let. 6, št. 2, str. 353–366, feb. 2013.
- [25] S. Saurabh in K. Dey, »Blockchain technology adoption, architecture, and sustainable agri-food supply chains«, *J. Clean. Prod.*, let. 284, str. 124731, feb. 2021.
- [26] M. M. Queiroz, R. Telles, in S. H. Bonilla, »Blockchain and supply chain management integration: a systematic review of the literature«, *Supply Chain Manag.*, let. 25, št. 2, str. 241–254, feb. 2020.
- [27] A. Kamilaris, A. Kartakoullis, in F. X. Prenafeta-Boldú, »A review on the practice of big data analysis in agriculture«, *Comput. Electron. Agric.*, let. 143, str. 23–37, dec. 2017.
- [28] »Food blockchain | Carrefour Group«. [Na spletu]. Dostopno: <https://www.carrefour.com/en/group/food-transition/food-blockchain>. [Dostopano: 22-mar-2022].
- [29] »DOWNSTREAM | The World's 1st Blockchain Beer«. [Na spletu]. Dostopno: <https://www.down-stream.io/>. [Dostopano: 22-mar-2022].
- [30] »FairChain Foundation – Returning production and profit to the countries of origin«. [Na spletu]. Dostopno: <https://fair-chain.org/>. [Dostopano: 22-mar-2022].
- [31] M. P. Caro, M. S. Ali, M. Vecchio, in R. Giuffreda, »Blockchain-based traceability in Agri-Food supply chain management: A practical implementation«, *2018 IoT Vert. Top. Summit Agric. - Tuscany, IOT Tuscany 2018*, str. 1–4, jun. 2018.
- [32] »React – A JavaScript library for building user interfaces«. [Na spletu]. Dostopno: <https://reactjs.org/>. [Dostopano: 31-mar-2022].
- [33] »Hyperledger Besu – Hyperledger Foundation«. [Na spletu]. Dostopno: <https://www.hyperledger.org/use/besu>. [Dostopano: 31-mar-2022].

■

Mitja Gradišnik je raziskovalec na Fakulteti za elektrotehniko, računalništvo in informatiko Univerze v Mariboru. Raziskovalno se ukvarja s sodobnimi pristopi pri razvoju programskih rešitev, kakovostjo in obvladovanjem staranja programskih produktov ter praktično uporabo metod podatkovnega rudarjenja v programskem inženirstvu. Raziskovalne in aplikativno sodeluje na več projektih, ki se odvijajo v okviru Inštituta za informatiko.

■

Martin Domajnko je magistrski študent na Fakulteti za elektrotehniko, računalništvo in informatiko Univerze v Mariboru. Ukvarja se z razvojem in raziskovanjem decentraliziranih aplikacij, tehnologije veriženja blokov in decentraliziranih digitalnih identitet ter je del raziskovalne skupine Blockchain Lab:UM Inštituta za informatiko.

■

Muhamed Turkanović je visokošolski učitelj, izredni profesor, na Fakulteti za elektrotehniko, računalništvo in informatiko Univerze v Mariboru. Je vodja raziskovalne skupine Blockchain Lab:UM Inštituta za informatiko, namestnik predstojnika Inštituta za informatiko, vodja slovenskega EDIH-a DIGI-SI, vodja Digitalnega inovacijskega stičišča Univerze v Mariboru, vodja projektov H2020, Horizont Evropa, Interreg Alpine Space ter ARRS CRP. Njegovi trenutni raziskovalni interesi vključujejo področja tehnologij veriženja blokov, podatkovnih tehnologij ter digitalnih identitet.