

STROKOVNA ŠTUDIJA

Ugotovitev primernosti uporabe tehnologije IoT v kmetijstvu za prilagajanja na podnebne spremembe



Ver. 2022-11-05

Ljubljana, november 2022

Projektna naloga št.	430-99/2022
Predmet naročila:	Ugotovitev primernosti uporabe tehnologije IoT v kmetijstvu za prilagajanja na podnebne spremembe
Naročnik:	Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano Republike Slovenije
Odgovorna oseba naročnika:	dr. Boštjan Peterlinc
Izvajalec:	VAFER, d. o. o.
Odgovorna oseba izvajalca:	mag. Vesna Prodnik
Sodelavci:	dr. Tomi Mlinar Borut Androjna Rok Kejžar
Datum:	November 2022

Vsebina

PROJEKTNA NALOGA.....	4
POVZETEK	5
UVOD	7
I. KMETIJSTVO	8
I.1 VPLIV PODNEBNIH SPREMEMB NA KMETIJSTVO	8
I.2 ZNAČILNOSTI SLOVENSKEGA KMETIJSTVA	10
I.3 TEHNOLOŠKI TRENDI V KMETIJSTVU	14
II. INTERNET STVARI	17
II.1 UVOD V INTERNET STVARI	17
II.2 PRIMERI UPORABE INTERNETA STVARI	18
II.3 ARHITEKTURA OMREŽIJ INTERNETA STVARI	19
II.3.1 Senzorji	21
II.3.2 Omrežje	23
II.3.3 Aplikacije (oblak)	38
II.4 POSLOVNI MODELI UPRAVLJANJA IOT	39
II.5 KLJUČNA PODROČJA SISTEMOV IOT	39
II.6 KOMUNIKACIJSKI PROTOKOLI V SISTEMIH IOT	41
III. DIGITALIZACIJA KMETIJSTVA	43
III.1 STRATEGIJA EU NA PODROČJU DIGITALIZACIJE KMETIJSTVA	43
III.2 UPORABA IOT V KMETIJSTVU	43
III.2.1 Uporaba IoT po svetu	43
III.2.2 Uporaba IoT v Sloveniji	44
III.3 PRIMERI DOBRIH PRAKS V KMETIJSTVU	45
III.3.1 Projekti	45
III.3.2 Proizvajalci opreme in aplikacij IoT	47
IV. SKLEPNE UGOTOVITVE	48
IV.1 PRIMERNOST IN POGOJI ZA UVEDBO TEHNOLOGIJ IOT	48
IV.2 PRILOŽNOSTI IN KORISTI NOVIH TEHNOLOGIJ	49
IV.3 IZZIVI IN POTENCIAL NOVIH TEHNOLOGIJ	49
IV.4 ZAHTEVE IN NAČINI VPELJAVE NOVIH TEHNOLOGIJ	50
IV.5 VPETOST TEHNOLOGIJ V SKUPNO KMETIJSKO POLITIKO	51
V. PRIPOROČILA	53
VI. VIRI	54

PROJEKTNA NALOGA

Sodobna tehnologija je ključ do odpornega in na podnebje prilagojenega kmetijstva. Z uvajanjem informacijskih tehnologij v kmetijstvo pripomoremo, da je to bolj odporno na vplive podnebnih sprememb. Namen naloge je ugotoviti primernost tehnologije interneta stvari (ang. Internet of Things) (v nadaljevanju IoT) za uporabo v kmetijstvu in določiti njen potencial za kmetijstvo.

Naročnik pričakuje od izvajalca, da le-ta v nalogi poda naslednje ugotovitve:

- ugotoviti primernost tehnologije IoT,
- ugotoviti pogoje za razvoj na IoT zasnovanih rešitev,
- izzivi uvajanja IoT v kmetijstvu,
- določiti potencial uporabe tehnologije IoT v kmetijstvu,
- določiti in opisati primernost ključnih tehnologij,
- določiti zahteve v povezavi s ključnimi tehnologijami,
- določiti predvidene učinke uvedbe novih tehnologij,
- določiti vpetost teh tehnologij v skupno kmetijsko politiko.

POVZETEK

Povzamemo lahko, da je tehnologija interneta stvari (IoT) gotovo tehnologija prihodnosti. Pripomogla bo k ublažitvi vpliva spremenjenih podnebnih sprememb na kmetijstvo in vpliva kmetijstva na podnebne spremembe. Z uvedbo te tehnologije se bo optimiziralo procese v kmetijstvu, kar bo pomenilo neposreden vpliv na količino in kakovost pridelane hrane ter sprejemljiv vpliv na okolje.

Digitalizacija kmetijstva—uvedba tehnologije IoT—bo neposredno vplivala na vse specifične cilje (SO) skupne kmetijske politike (SKP, še posebej pa na SO2 (krepitev tržne usmerjenosti in povečanje konkurenčnosti, tudi z večjim poudarkom na raziskavah, tehnologiji in digitalizaciji), SO4 (prispevanje k blažitvi podnebnih sprememb in prilagajanju nanje ter k trajnostni energiji), SO5 (spodbujanje trajnostnega razvoja in učinkovitega upravljanja naravnih virov, kot so voda, tla in zrak) in nenazadnje, horizontalnega cilja: modernizacija kmetijstva in podeželja s spodbujanjem znanja, inovacij in digitalizacije.

Glede na specifično situacijo v Sloveniji, ki pravi, da je povprečna površina kmetijskega zemljišča 6,9 ha, da je ključni sektor reja živali (za meso in mleko) in da je povprečno število glav živine 6, je treba dolgoročno razmišljati o tehnološko-finančni podpori takšnim vrstam kmetijskih gospodarstev. Ker je povprečna starost gospodarjev 57 let (primanjkuje mladih prevzemnikov), je očitno, da mora država stimulirati ta sektor na način, da prevzame nase breme vlaganj v tehnologijo in izgradnjo podporne infrastrukture. Kratkoročno gledano se da uporabiti izkušnje iz tujine, kjer so dimenzije večje (npr. kmetijske površine na kmetijo) in so že vpeljene določene rešitve—tehnologije IoT. Za pilotske projekte, ki so izvedljivi v letu ali dveh, pa bi izbrali večje kmetije (nad 20 ha), ki jih je v Sloveniji malo (manj kot 6 %).

Tehnologija IoT je sestavljena iz treh ključnih gradnikov. To so senzorji, povezljivosti in aplikacije. Največji trg senzorjev IoT ima vgrajeno tehnologijo LoRaWAN, dostopovne točke LoRaWAN pa velikokrat omogočajo brezžično povezljivost preko modulov 4G/5G. Drug močan segment senzorskih naprav IoT pokriva tehnologija NB-IoT. Omrežja 4G/5G imajo široko pokritost in zanje skrbijo operaterji. Ker deluje omrežje senzorjev LoRa IoT na nelicenčnem spektru ISM¹, je ta najbolj sprejemljiv (najcenejši) za uporabnike, naprave so cenovno dostopne in zaradi ozkopasovnosti tehnologije je čas trajanja baterij tudi več kot deset let. Množica namenskih aplikacij—ki se izvaja na strežnikih v oblaku—zbira podatke, jih analizira in izvaja ustrezne akcije—s pomočjo umetne inteligence se izvajajo samodejno ali pa jih usmerja uporabnik.

→ **Iz podrobne analize področja interneta stvari smo prišli do zaključka, da je najboljša kombinacija, ki jo predlagamo glede na današnje stanje tehnologij, kombinacija tehnologij LPWAN in 4G/5G. Prve bi uporabili v segmentu senzorjev in dostopovnih točk in druge za povezljivost oziroma do oblčnih storitev/aplikacij.**

¹ ISM – industrija, znanost, medicina

Pomembne segment politik razvoja kmetijstva je krovni sloj ekosistema interneta stvari, to so aplikacije. Ta študija je pokazala, da je trg aplikacij zelo heterogen (namenske aplikacije za nišne panoge/industrije), zato je nujno na nivoju države izdelati tehnološko podprto strategijo, ki bo tehnološki razvoj (aplikacije interneta stvari so le eno od področij) sektorja kmetijstva v Sloveniji obravnavala načrtno, dolgoročno in podprto z ustreznim financiranjem. Vse statistike kažejo, da kmetje sami tega bremena ne bodo zmogli, ne finančno in ne po osvojenem znanju..

UVOD

Ta študija raziskuje možnosti in potencialne učinke, ki bi jih imela vpeljava tehnologije interneta stvari (IoT) na kmetijstvo v Sloveniji predvsem s ciljem učinkovitega, trajnostnega in odpornega prilagajanja na podnebne spremembe.

Kmetijstvo je ena najpomembnejših gospodarskih panog za dobrobit in preživetje človeške vrste. Po drugi strani pa je moderno kmetijstvo tudi vir negativnih vplivov na okolje, predvsem v obliki proizvodnje toplogrednih plinov, ki vplivajo na segrevanje ozračja. Velja pa tudi obratno, globalne podnebne spremembe (rast temperature, topljenje ledu in dvig morske gladine, suše, poplave, neurja...) močno spreminjajo pogoje za pridelavo hrane, kar posledično vpliva na kmetijsko politiko. Ta študija poskuša najti odgovor, kako lahko vpeljava IoT v kmetijstvo ublaži posledice podnebnih sprememb in zmanjša vpliv kmetijstva na okolje.

Globalno se svet srečuje s ključnim izzivom kako v prihodnje zagotoviti dovolj hrane za izjemno hitro rastoče število prebivalstva ter zmanjšati količino zavržene hrane². V Sloveniji se na drugi strani srečujemo predvsem z dvema velikima izzivoma in sicer z negativnim vplivom ekstremnih podnebnih sprememb na pridelavo hrane ter povratnim negativnim vplivom kmetijstva na okolje. V obeh primerih pa je skupna ugotovitev, da bo potrebno v prihodnje spremeniti način in pristope kmetovanja, saj bo le tako mogoče zagotoviti odporno (ang. resilience) in trajnostno (ang. sustainable) pridelavo hrane. Najti je potrebno rešitve, ki bodo omogočale povečanje produktivnosti ter zmanjšale stroše pridelave hrane, seveda ob upoštevanju prej navedenih dveh ključnih načinov. Ker je Slovenija geografsko zelo razgibana majhna država, s štirimi različnimi tipi pokrajine in razdrobljenimi kmetijskimi površinami, je potrebno najti rešitve, ki bodo upoštevale vse navedeno. Navedene posebnosti omogočajo zgolj omejeno preslikavo rešitev (predvsem za večja posestva), ki so bile ali jih nameravajo vpeljati v drugih državah Evropske unije, zato moramo predlagati rešitve, ki so prilagojene lokalnim značilnostim.

V tej študiji se osredotočamo na možno reševanje izzivov in povečanje odpornosti z uporabo tehnologije IoT, ob upoštevanju lokalnih posebnosti posameznih tipov pokrajin v Sloveniji.

Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano je pripravilo *Strateški načrt skupne kmetijske politike 2023–2027*, v katerem je analiziralo devet specifičnih ciljev in en horizontalni cilj. Ta študija se posebej osredotoča na horizontalni cilj: modernizacija kmetijstva in podeželja s spodbujanjem znanja, inovacij in digitalizacije.

CILJ: ZVIŠATI ODPORNOST KMETIJSTVA S POVIŠANJEM PRODUKTIVNOSTI IN ZMANJŠANJEM STROŠKOV PRIDELAVE HRANE NA TRAJNOSTEN NAČIN

² Vir: Združeni narodi, <https://www.unglobalcompact.org/what-is-gc/our-work/environment/food-agriculture>

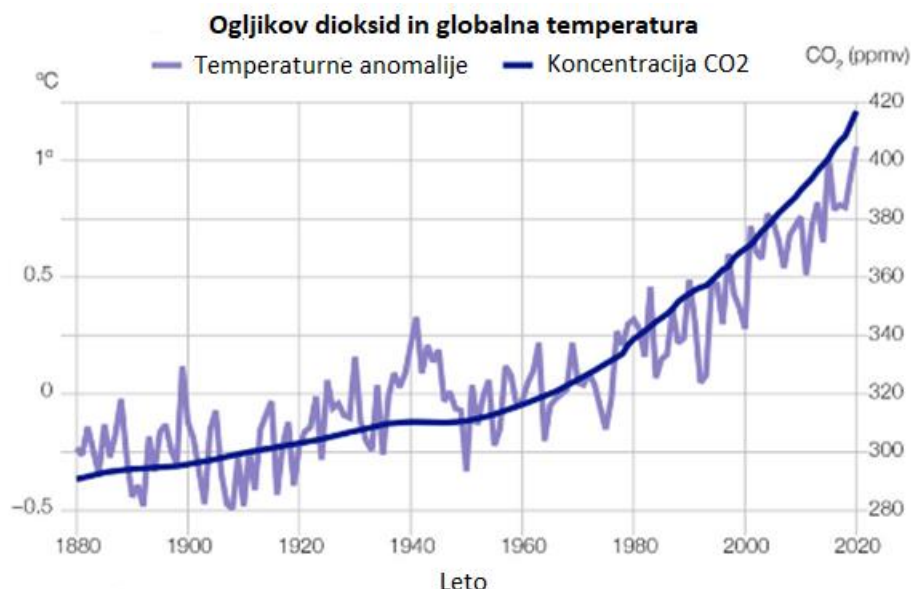
I. KMETIJSTVO

I.1 VPLIV PODNEBNIH SPREMEMB NA KMETIJSTVO

Podnebne spremembe močno vplivajo na kmetijstvo. Hkrati ima kmetijstvo velik vpliv na okolje. Prizadevanje za reševanje te problematike je Organizacija združenih narodov poenotila znotraj Globalne povezave za klimatsko pametno kmetijstvo (Global Alliance for Climate-Smart Agriculture – GACSA), ki je s svojim delom pričela leta 2014.

Podnebne spremembe so posledica segrevanja ozračja. Večina strokovnjakov s tega področja je prepričanih, da je to posledica delovanja človeka, predvsem velike porabe fosilnih goriv. Glede na aktualne raziskave pa lahko ugotovimo, da kmetijstvo, gozdarstvo ter drugo izkoriščanje zemlje prispevajo globalno kar 18,4 %³ vseh toplogrednih plinov.

Pred desetletjem je bil prisoten dvom, da se soočamo s pomembnimi podnebnimi spremembami, sedaj je to že splošno sprejeto dejstvo in različna so samo še mnenja glede vzrokov. Pri tem je težko zanemariti, da je porast temperaturnih anomalij zelo korelirana s koncentracijo toplogrednih plinov, predvsem ogljikovega dioksida, kot kaže **graf 1**.



Graf 1: Korelacija dviga globalne temperature na zemlji in koncentracije CO₂, vir: NASA GISS, NOAA NCEI, ESRL, <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/>

Globalno so že dogovorjeni in se izvajajo ukrepi za zmanjšanje emisije toplogrednih plinov. Težava je, da so učinki že prisotni in je potrebno aktivno prilagajanje, ki mora biti hitro, učinkovito in trajnostno naravnano.

³ Vir: University of Oxford, 2020, <https://ourworldindata.org/ghg-emissions-by-sector>

Svetovna banka je zasnovala projekt Podnebno pametno kmetijstvo⁴ (ang. Climate Smart Agriculture - CSA). Podnebno pametno kmetijstvo (CSA) je celostni pristop k upravljanju krajin, ki pomaga prilagoditi metode kmetovanja, gojenje živine in pridelavo kmetijskih proizvodov učinkom podnebnih sprememb in se jim, kjer je to mogoče, zoperstaviti z zmanjšanjem emisij toplogrednih plinov iz kmetijstva, hkrati pa upoštevati rastoče svetovno prebivalstvo za zagotoviti prehransko varnost. Tako poudarek ni le na ogljično vzdržnem kmetovanju ali trajnostnem kmetijstvu, temveč tudi na povečanju kmetijske produktivnosti. Podnebno odporno kmetijstvo mora biti v skladu z vizijo Organizacije združenih narodov za prehrano in kmetijstvo (UN FAO) za trajnostno pridelavo hrane in kmetijstvo ter podpirati cilj FAO, da postane kmetijstvo, gozdarstvo in ribištvo bolj produktivno in bolj trajnostno. Projekt podnebno pametnega kmetijstva ima tri stebre:

- (1) povečanje kmetijske produktivnosti in dohodkov,
- (2) prilagajanje in krepitev odpornosti na podnebne spremembe,
- (3) zmanjševanje ali odstranjevanje emisij toplogrednih plinov iz kmetijstva.

Ta projekt navaja različne ukrepe za spopadanje s prihodnjimi izzivi za pridelke in rastline.

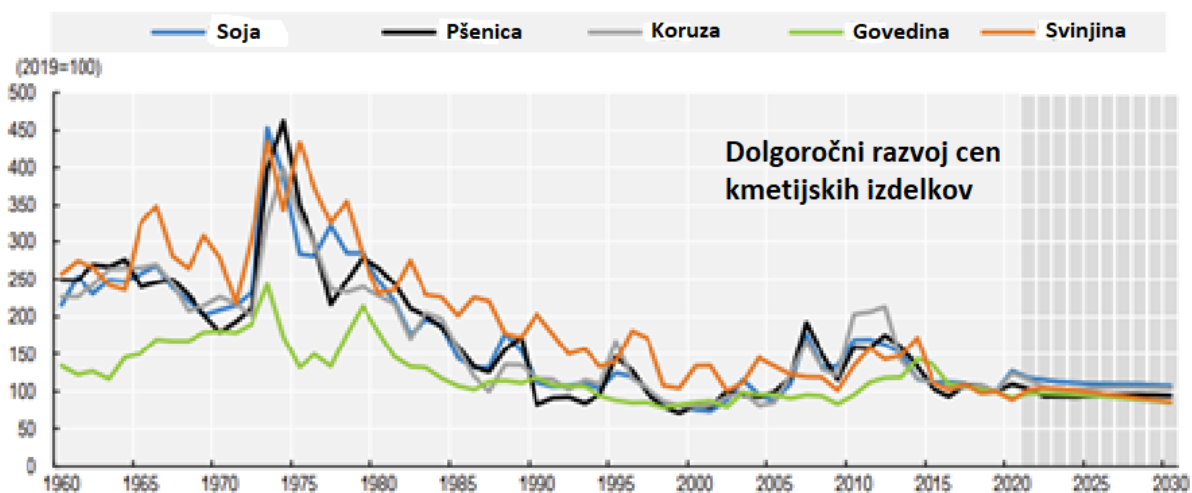
Podnebne spremembe vse bolj občutimo tudi v Sloveniji, predvsem v obliki izrazitih vremenskih pojavov (viharji, toča, žled, suša, nalivi...). Kmetijstvo je tradicionalna dejavnost. Posebnosti slovenskega kmetijstva, kot so majhnost kmetij, starostna struktura kmetovalcev in podobno, niso dejavniki, ki bi samodejno spodbujali prehod v bolj prilagodljive in trajnostne načine pridelave hrane. V letu 2022 smo podnebne spremembe izrazito začutili – nalivi, suše, požari in viharji vetrovi so prizadejali veliko škodo, toda tudi osvestili prebivalstvo, da so prilagoditve nujne.

Najpomembnejši način, ki lahko zagotovi potrebne spremembe v smeri trajnosti in prilagodljivosti, je uvajanje novih tehnologij. Skoraj vse obetavne nove tehnologije omogočajo uporabo naprav IoT in množično povezljivost naprav. Za ciljno usmerjeno uvajanje novih rešitev je nujno opredeliti ustrezne pogoje za razvoj na IoT-zasnovanih rešitvah v kmetijstvu, določiti ter opisati potencialne ključnih tehnologij in opredeliti zahteve. Določiti moramo ciljne učinke uvedbe novih tehnologij in jih povezati v skupno kmetijsko politiko.

Dodatno navedenemu so trenutni globalni izziv tudi prekinjene globalne dobavne verige zaradi vojne v Ukrajini - države Afrike in Bližnjega vzhoda so odvisne od uvoza žitaric iz Rusije in Ukrajine od 40 % do 100 % (Somalija in Benin)⁵. Zelo verjetno bo ta vojna spremenila predvidevanja glede razvoja cen najpomembnejših kmetijskih izdelkov, kot ga je postavil OECD v letu 2021 in je razviden iz **grafa 2**.

⁴ Vir: Worldbank, <https://www.worldbank.org/en/topic/climate-smart-agriculture>

⁵ Vir: Podatki UNCTAD



Graf 2: Dolgoročni razvoj cen kmetijskih izdelkov, vir: OECD/FAO (2021), »OECD-FAO Agricultural Outlook«

Navedeni šok je dodatno spodbudil prizadevanja glede samooskrbe in domače pridelave kakovostne hrane na trajnosten način.

Prizadevanja v smeri trajnostnega in prilagodljivega kmetijstva s pomočjo uporabe novih tehnologij so skladna s predvidenimi načini odzivanja na podnebne spremembe in predvsem dodatno poudarjajo pomen lokalne pridelave s ciljem večje samozadostnosti in odpornosti na zunanje dejavnike. Pri tem je potrebno posebno pozornost nameniti pridelavi kakovostne lokalne hrane. Prehranjevanje s kakovostno hrano izboljšuje zdravje prebivalstva, s tem posredno zmanjšuje stroške zdravstva in zaradi kratkih prevoznih razdalj zmanjšuje dodaten negativen vpliv na okolje.

Za trajnostno oskrbo ter povečanje odpornosti kmetijstva je zato potrebno uporabiti vse razpoložljive tehnologije, saj se na ta način znižuje ranljivost samooskrbe ter poveča prilagodljivost domačega kmetijstva.

V nadaljevanju podajamo pregled najpomembnejših značilnosti in posebnosti slovenskega kmetijstva, ki jih je potrebno upoštevati pri analizi možnosti uporabe tehnologij IoT v kmetijstvu.

I.2 ZNAČILNOSTI SLOVENSKEGA KMETIJSTVA

Slovensko kmetijstvo se srečuje predvsem z naslednjimi izzivi (povzeto po Kuhar, 2021⁶):

- omejeni proizvodni viri za kmetijstvo;
- 75% kmetijske zemlje je v območjih z omejenimi možnostmi (LFA – less favoured area), pretežno hriboviti svet;
- neugodna velikostna struktura kmetij;
- neugodna starostna struktura (povprečje upraviteljev je 57 let);
- velik delež neprofesionalnih samooskrbnih kmetij;

⁶ Vir:

<https://www.kmetijskizavod.si/Portals/0/lombergarjevi/Slovensko%20kmetijstvo%20stanje%20in%20razvojni%20potencial%20v%20vinarstvu%20in%20vinogradni%C5%A1tvu.pdf?ver=2021-12-20-102913-440>

- ključni sektor je reja živali (meso in mleko).

Kmetijstvo je družbeno pomembno, saj podeželski prostor obsega 89 % države in 57 % prebivalstva živi na podeželju.

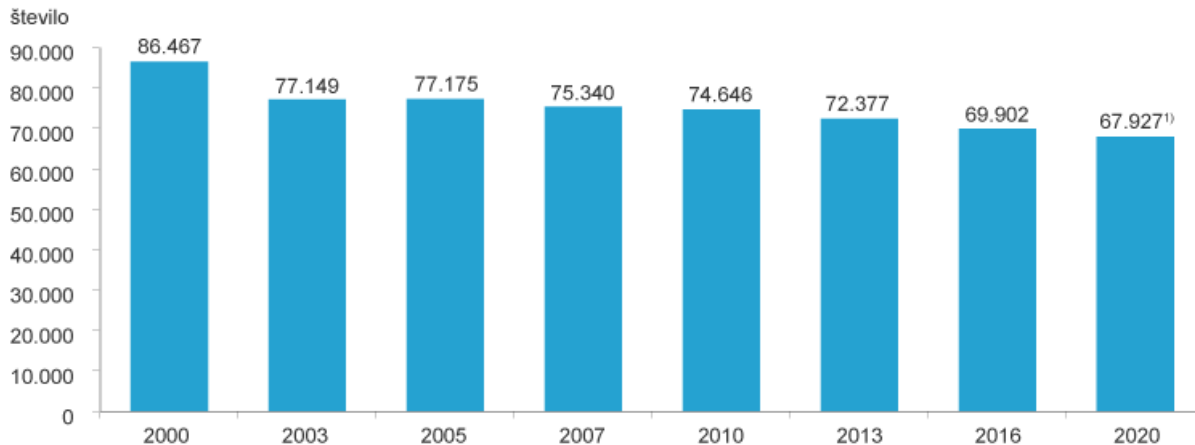
Statistični urad Republike Slovenije navaja zadnje ključne statistične podatke za leto 2020 in prikazuje njihov razvoj od leta 2000, iz česar so razvidni naslednji trendi sprememb v slovenskem kmetijstvu:

- v letu 2020 je bilo v Sloveniji 68.331 kmetijskih gospodarstev;
- povprečna površina kmetijskih zemljišč je bila 6,9 ha;
- povprečno število glav živine je bilo 6;
- skupne kmetijske površine se zmanjšujejo.

Na **grafih od 3 do 7** prikazujemo trende od leta 2000 do 2020 za posamezne ključne podatke, kot so:

- število kmetijskih gospodarstev,
- povprečne površine kmetijskih zemljišč v uporabi na kmetijsko gospodarstvo,
- skupna površina kmetijskih zemljišč,
- povprečno število glav velike živine na kmetijsko gospodarstvo,
- odstotek kmetijskih gospodarstev po velikostnih razredih kmetijskih zemljišč v uporabi.

Število kmetijskih gospodarstev, Slovenija, 2000–2020



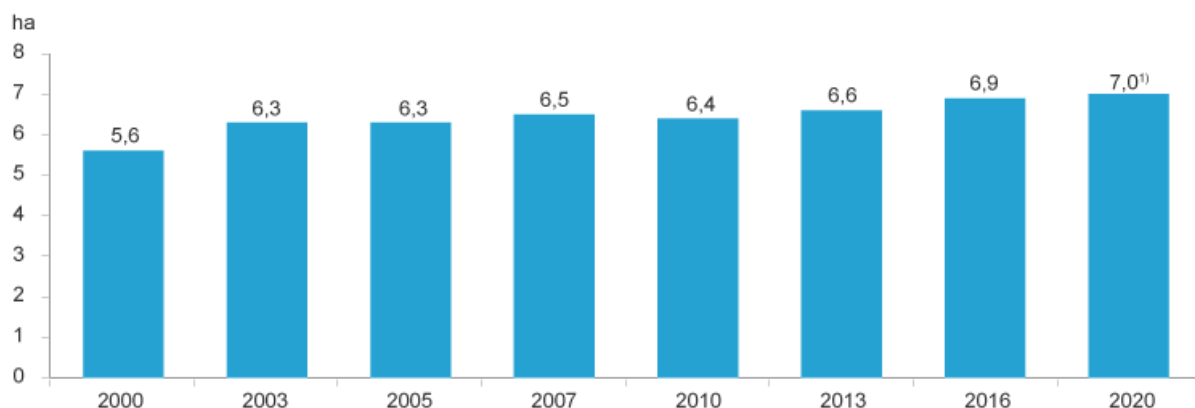
1) Začasni podatki
Vir: SURS

© SURS

Graf 3: Število kmetijskih gospodarstev v Sloveniji, trend 2000 do 2020, vir: SURS

Število kmetijskih gospodarstev je pomembno z vidika načrtovanja sprememb. Trend je zmanjševanje števila in povečevanja površin v uporabi.

Povprečna površina kmetijskih zemljišč v uporabi (KZU) na kmetijsko gospodarstvo, Slovenija, 2000–2020



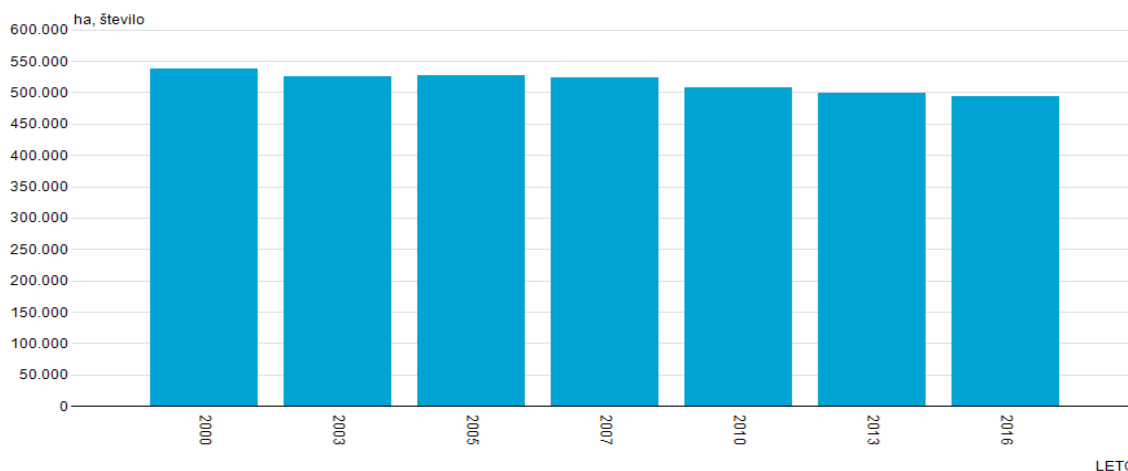
1) Začasni podatki
Vir: SURS

© SURS

Graf 4: Povprečna površina kmetijskih zemljišč v uporabi za kmetijsko gospodarstvo, trend 2000-2020, vir: SURS

Glede na končen podatek za leto 2020, ki je 7,0 hektarov (**graf 4**), zaenkrat kaže, da se je po prvotnem trendu povečevanja povprečne površine kmetijskih zemljišč v uporabi, trend ustalil.

Skupna in kmetijska zemljišča kmetijskih gospodarstev po: LETO. Kmetijska zemljišča - skupaj, Površina [ha].

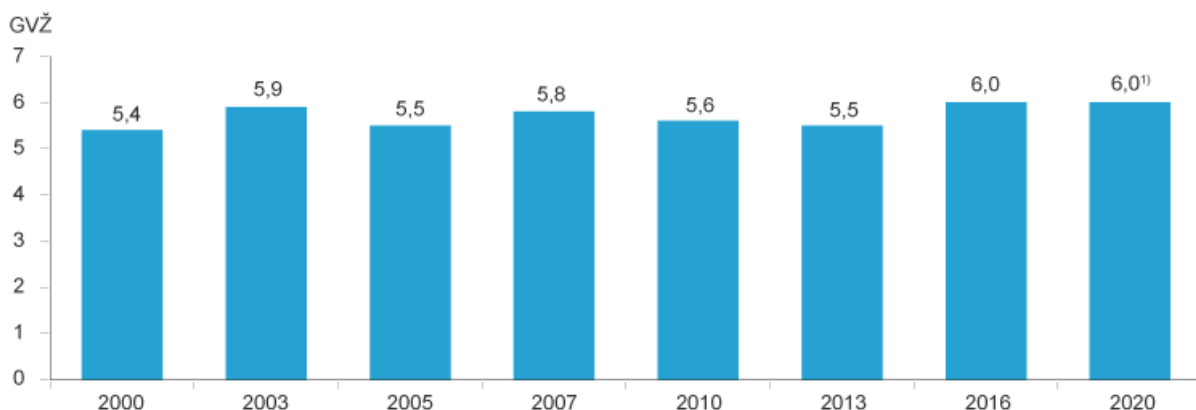


Vir: Statistični urad Republike Slovenije

Graf 5: Skupna kmetijska zemljišča kmetijskih gospodarstev, trend 2000 do 2020, vir: SURS

Potrebno je opozoriti, da se skupna površina kmetijskih zemljišč (**graf 5**) od leta 2000 zmanjšuje. Podoben je trend glede glav velike živine (**graf 6**), kjer se je po nihanjih v preteklih letih, trend ustalil na 6,0 glavah velike živine na kmetijsko gospodarstvo.

Povprečno število glav velike živine (GVŽ) na kmetijsko gospodarstvo, Slovenija, 2000–2020



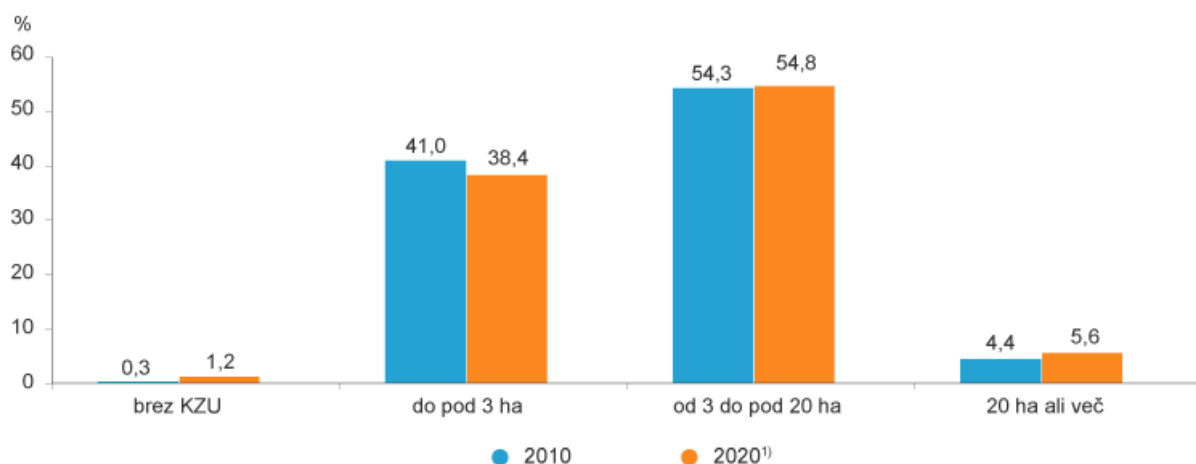
1) Začasni podatki
Vir: SURS

© SURS

Graf 6: Povprečno število glav velike živine na kmetijsko gospodarstvo, trend 2000 do 2022, vir: SURS

Pomemben podatek je, da se velikost kmetij po velikosti kmetijskih zemljišč v hektarih povečuje (**graf 7**). Največji odstotek kmetij (54,8 %) v letu 2020 pade v kategorijo velikosti kmetijske površine med 3 in 20 hektari. Manjših kmetij (do 2 ha) imamo 38,4 %, velikih (nad 20 ha) pa zelo malo (5,6 %).

Odstotek kmetijskih gospodarstev po velikostnih razredih kmetijskih zemljišč v uporabi (KZU), Slovenija, 2010–2020



1) Začasni podatki
Vir: SURS

© SURS

Graf 7: Odstotek kmetijskih gospodarstev po velikostnih razredih kmetijskih zemljišč v uporabi, primerjava 2010 in 2020, vir: SURS

Glede na navedene podatke je smiselno prve primerne tehnološke rešitve implementirati najprej na kmetijska gospodarstva večja od 20 hektarov in z večjim številom glav živine. Za kmetije teh velikosti so bolj primerne rešitve, ki so že preizkušene v drugih državah in sprejete na ravni EU. Predpostaviti je mogoče, da so izzivi teh kmetijskih gospodarstev bolj podobni izzivom v drugih državah EU. Pomembno je sodelovanje pri čezmejnih projektih, prilagojenih tej vrsti kmetijskih

gospodarstev. Predpostaviti je tudi mogoče, da je nove tehnologije, zaradi ekonomije količin in obsega, lažje uvajati na večjih kmetijah.

Zaradi visokega odstotka kmetij velikosti med 3 in 20 ha (54,8 %), je potrebno iskati tudi tehnološke rešitve namenjene tej kategoriji. Te bodo torej bolj specifične in prilagojene reševanju izzivom takšnih kmetijskih gospodarstev v Sloveniji. Pri tem je potrebno upoštevati tudi dejavnike, ki negativno vplivajo na uvajanje in rabo novih tehnologij – predvsem morajo biti zadevne rešitve preproste za uporabo in čim bolj avtonomne, predvsem pri napajanju z električno energijo in vzdrževanju.

Podobno velja za rejo živali in proizvodnjo mleka, ki je ključni sektor kmetijstva v Sloveniji. Povprečno 6 glav živine na kmetijsko gospodarstvo je zelo nizko in ga je potrebo upoštevati pri načrtovanju rešitev. Živinoreja z 18 % znatno prispeva k emisijam toplogrednih plinov⁷, predvsem metana, zato so rešitve na tem področju zelo zaželeno, če ne celo nujne.

I.3 TEHNOLOŠKI TRENDI V KMETIJSTVU

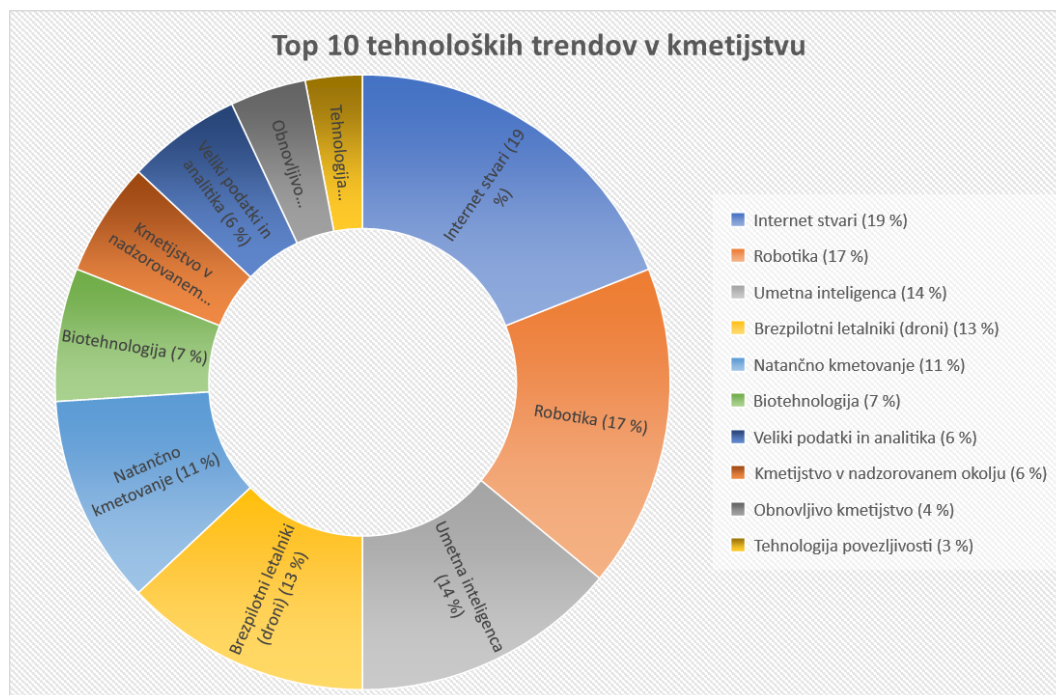
Z uvajanjem podnebno pametnega kmetijstva (angl. Climate Smart Agriculture - CSA), ki je integralen pristop in naslavlja povezane izzive zagotavljanja hrane in vedno večje klimatske spremembe, se v grobem zasleduje tri ključne cilje, ki so:

1. Dvig produktivnosti (pridelati več in kvalitetnejšo hrano);
2. Napredna odpornost (zmanjšati ranljivost kmetijstva na zunanje vplive);
3. Zmanjšati emisije (na kilogram pridelane hrane).

Za dosego navednih ciljev se trenutno kažejo kot najbolj perspektivni tehnološki trendi in inovacije v kmetijstvu⁸, ki so prikazani na **sliki 1**.

⁷ Livestock's long shadow – Environmental issues, FAO

⁸ https://www.startus-insights.com/wp-content/uploads/dlm_uploads/2020/12/AgriTech_Trend_Report_StartUs-Insights.pdf



Slika 1: 10 inovacijskih trendov v kmetijstvu v letu 2022, vir: StartUs, <https://www.startus-insights.com/innovators-guide/agriculture-trends-innovation/>

Vse tehnologije oziroma tehnološke inovacije, ki so zajete v tortnem diagramu na **sliki 1**, so podrobneje opisane v nadaljevanju.

Internet stvari (IoT)—spremljanje in nadzor stanja ter dogajanja na kmetijskih površinah zahteva napor, opremo, čas in gorivo. Nove tehnologije omogočajo prihranek navedenih virov ob hkratni bistveno večji kakovosti zbranih podatkov in možnostih pretvorbe podatkov v koristne informacije.

Robotika—obiranje sadja, sajenje, oranje, uporaba kemičnih sredstev, žetev.

Umetna inteligenca (AI)—vpliv predvidenega vremena na kmetijske aktivnosti in pridelek, predvidevanja glede kakovosti in količine pridelka, prepoznavanje bolezenskih znakov na živalih in rastlinah.

Brezpilotni letalniki (droni)—analize pridelka z uporabo slik v vidnem in nevidnem spektru, preganjanje ptic, spremljanje in usmerjanje živine.

Natančno kmetovanje—doseganje trajnostnih ciljev z bolj natančnim in usmerjenim doziranjem gnojil, pesticidov in aktivnosti glede na posebnosti prsti, strmost terena, osončenost itd.

Biotehnologija—biopestici, bioherbicidi, biognojila... Cilj je zmanjšanje negativnih okoljskih učinkov.

Veliki podatki in analitika—vzpostavitev sistemov za zbiranje in prenos podatkov omogoča njihovo obdelavo. Mogoče je spremljati kislost ali alkalnost zemlje, potrebo po gnojilih, predvidevati potrebo po namakanju, pojav škodljivcev.

Kmetijska proizvodnja v nadziranem okolju—načini zmanjševanja vplivov izrazitih vremenskih pojavov in možnosti proizvodnje v netipičnih okoljih (vertikalna pridelava, steklenjaki, hidroponika ipd).

Obnovljiva kmetijska proizvodnja—načini obdelave zemlje, ki zmanjšujejo negativne učinke intenzivnega kmetijstva in povečujejo biološko raznolikost prsti in njeno sposobnost obnove plodnosti. Cilji so tudi zmanjšanje ogljičnega odtisa in drugih izpustov.

Tehnologija povezljivosti—napredno kmetijstvo ni mogoče brez zanesljive, zmogljive in cenovno ugodne povezljivosti. Čeprav predstavlja majhen del trendov in inovacij v kmetijstvu, je nujni predpogoj in spodbujevalec ostalih tehnoloških trendov.

II. INTERNET STVARI

II.1 UVOD V INTERNET STVARI

Internet stvari (ang. Internet of Things - IoT) opisuje fizične naprave (ali skupine naprav) s senzorji, procesorsko zmogljivostjo, programsko opremo in drugimi tehnologijami, ki povezujejo in izmenjujejo podatke z ostalimi napravami in sistemi preko interneta ali ostalih komunikacijskih omrežij. Ime internet stvari je pravzaprav zavajajoče, saj ni nujno da so naprave povezane na javni internet, ampak morajo biti zgolj povezane z omrežjem in biti individualno naslovljive⁹.

Ekosistem IoT sestavljajo na internetu temelječe pametne naprave, ki imajo vgrajene procesorje, senzorje in komunikacijsko strojno opremo, ki zbira, pošilja in obdeluje zbrane podatke. Naprave IoT delijo podatke, pridobljene iz senzorjev, s prehodom IoT, preko katerega se podatki pošljejo v oblak ali pa se analizirajo in obdelujejo lokalno. Včasih naprave same komunicirajo preko povezanih naprav in ukrepajo na podlagi izmenjanih podatkov. Naprave večino aktivnosti opravijo brez posega človeka. Ljudje seveda komunicirajo z napravami takrat, ko so potrebne nastavitve, dajanje navodil ali dostopajo do podatkov. Pomemben del sistemov IoT postaja tudi umetna inteligenca (ang. Artificial Intelligence – AI).

V zadnjih letih beležimo eksponentno rast naprav povezanih in nadzorovanih preko interneta. Do leta 2025 naj bi število uporabnikov interneta stvari raslo s skupno letno stopnjo rasti (CAGR) 16,6 odstotka in tega leta doseglo 3,74 milijarde.

S povezovanjem stvari lahko podjetja razvijejo nove ali izboljšajo obstoječe izdelke, storitve in poslovne procese, od avtomobilske industrije do pametne proizvodnje kmetijskih izdelkov. IoT lahko koristil družbi z omogočanjem izvajanja vladnih politik. Na primer z omogočanjem pametnega nadzora nad povpraševanjem po električni energiji in nihajočimi dobavami ali zmanjšanjem izgube kritičnih virov, kot je voda. Globalna standardizacija in pokritost pomenita, da je mogoče izdelke in storitve razširiti po vsem svetu. Milijarde povezanih naprav omogočajo stroškovno učinkovitost, zanesljivost, varnost in napredek.

Za povezovanje naprav IoT se uporabljajo različne tehnologije oziroma omrežja. Delimo jih v tri skupine. To so: tradicionalna celična omrežja, (4G, 5G), lokalna omrežja (WiFi, Zigbee, Bluetooth) in omrežja majhnih moči LPWAN (LoRa, Sigfox, NB-IoT, LTE-M). Vsekakor ne smemo pozabiti satelitskih tehnologij, ki postajajo vedno bolj dostopne in uporabne tudi v IoT. Vse omenjene tehnologije so podrobneje opisane v nadaljevanju.

Z razvojem vsake tehnologije pa se s časom pojavi vprašanje varnosti in zanesljivosti. Zanesljivost delovanja sistemov je pri pridelavi hrane izjemnega pomena, podobno velja tudi za varovanje integritete teh sistemov. Čeprav se mnogi uporabniki sistemov IoT ne zavedajo posledic, ki jih lahko ima zloraba njihove uporabe, so mnogi sistemi povsem odprti in nezaščiteni. Ker področje ni tako novo, je že kar dobro

⁹ Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_of_things

regulirano. Danes že obstajajo določeni mednarodni in nacionalni predpisi in smernice, ki urejajo področje interneta stvari, tako s tehničnega kot z varnostnega vidika.

Vrst naprav IoT je zelo veliko, prav tako protokolov, s katerimi komunicirajo. Komunikacija med napravo IoT in prehodom IoT ter naprej v oblak omogoča obdelavo, analitiko in shranjevanje podatkov. IoT premošča tako telekomunikacijske kot informacijske protokole.

Krovne zahteve, ki so pomembne za delovanje sistema IoT, so:

- povezljivost na podlagi identifikacije,
- interoperabilnost,
- avtonomno delovanje v omrežju,
- avtonomno zagotavljanje storitev,
- zmogljivosti, ki temeljijo na lokaciji,
- varnost,
- zaščita zasebnosti,
- visokokakovostne in zelo varne storitve, povezane s človeškim telesom,
- »plug and play«,
- upravljivost.

II.2 PRIMERI UPORABE INTERNETA STVARI

IoT je v praksi že široko uporabljen na različnih področjih. Njegova uporaba se iz leta v leto večja. Evropski telekomunikacijski standardizacijski institut (ETSI) deli aplikacije IoT v naslednje skupine in tako tudi pripravlja standarde:

- pametne naprave,
- pametna omrežja in števci,
- pametna mesta, pametna energija, pametno okolje, pametne zgradbe, pametna industrija in proizvodnja, pametna agroživilska industrija, e-zdravje in dobro staranje, nosljive naprave, pametna voda, pametna dvigala in pametne tekoče stopnice,
- eZdravje,
- inteligentni transportni sistemi,
- brezžična industrijska avtomatizacija.

Trenutno najbolj razvito in tudi najbolj razširjeno področje uporabe aplikacij IoT je v t.i. pametnih domovih. Pametne naprave, kot so nadzorne kamere, gospodinjski aparati, senčila, ogrevalne naprave in druge naprave z vgrajenimi senzorji se prek povezovalnega omrežja (npr. WiFi) povezujejo na enotno zbirno točko v oblaku, kjer se na zbranih podatkih izvaja določena analitika in posledično določene akcije. Vsaka od pametnih naprav je lahko prek svetovnega spleta neodvisno priključena na nek zunanji strežnik v oblaku. Ravno zaradi razširjenosti svetovnega spleta in njegovega protokola je to najbolj popularen način povezovanja naprav v enotno omrežje. Zgradimo lahko zelo kompleksna omrežja, ki jih lahko upravljamo na daljavo s pomočjo računalnikov ali pametnih telefonov.

Naprave s senzorji in programsko opremo, ki jih uporabniki nosijo (npr. pametne ure, zapestnice,...), pošiljajo sporočila o uporabniku ostalim tehnologijam z namenom olajšati življenje uporabnikov in ga narediti bolj udobnega ali sporočati vitalne podatke v primeru uporabe aplikacij e-zdravje.

Nameščene prenosljive naprave se lahko uporabljajo za javno varnost na primer za povečanje odzivnosti prve pomoči s predlaganjem najhitrejša poti do ponesrečenca, optimizacije poti v primeru del na cesti.

V zdravstvu je IoT koristen npr. v medicinskem smislu, kjer ponuja možnost natančnejšega spremljanja pacientovega stanja, lahko pa ga uporabljamo tudi za upravljanje inventarja.

S pametnimi zgradbami lahko zmanjšamo stroške energije z uporabo senzorjev, ki zaznavajo zasedenost prostora, pri čemer se lahko temperatura in prezračevanje samodejno prilagajata.

V pametnem mestu se IoT trenutno uporablja predvsem v pametni ulični razsvetljavi, pametnih merilnikih, ki lahko zmanjšujejo prometne zastoje oziroma povečajo prometno pretočnost, zmanjšujejo porabo energije, spremljajo in naslavljajo okoljske težave (npr. onesnaženost zraka) in izboljšajo komunalno oskrbo.

Po splošni kvalifikaciji spadajo kmetijske aplikacije v skupino industrijskih aplikacij IoT (ang. Industrial Internet of Things – IIoT). Zaradi pomembnosti pa lahko infrastrukturo, ki je zgrajena okoli kmetijskih obratov za pridelavo in predelavo hrane, štejemo za kritično.

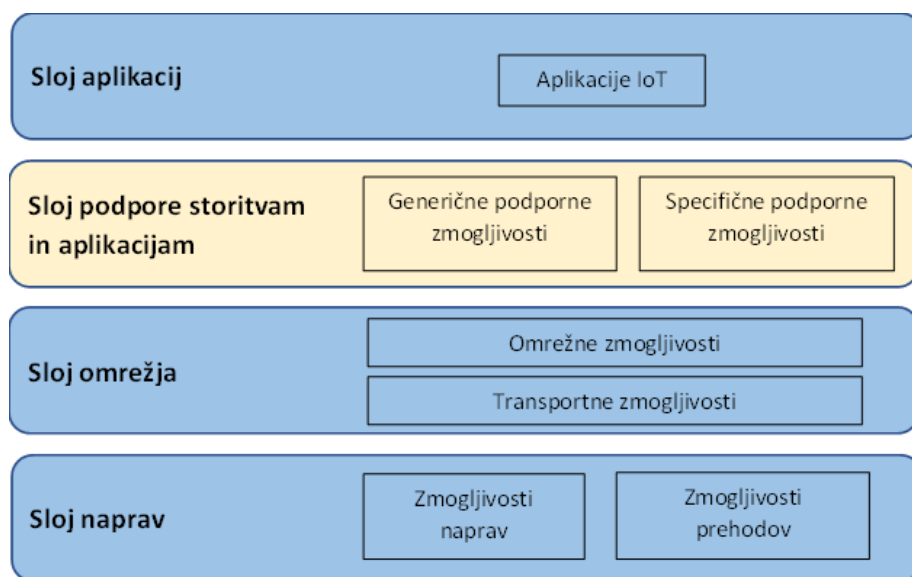
II.3 ARHITEKTURA OMREŽIJ INTERNETA STVARI

Omrežje IoT je sestavljeno iz več slojev. Čeprav bomo v nadaljevanju govorili tudi o večslojni razdelitvi, so osnova arhitekture IoT trije sloji:

0. sloj naprav (senzorji, ki zbirajo veliko količino različnih podatkov glede na namen za katerega so nameščeni),
1. sloj omrežja (omrežje, ki vse te senzorje povezuje in omogoča v smeri navzgor zbiranje posredovanih podatkov ter v smeri navzdol dajanje ukazov senzorjem),
2. sloj aplikacij (aplikacije, ki zbrane podatke obdelujejo in jih zberejo v smiselne informacije za odločanje oziroma upravljanje),

Leta 2012 je Mednarodna telekomunikacijska zveza izdala priporočilo ITU-T Y.2060¹⁰, kjer je zapisala osnovne koncepte interneta stvari (IoT). V njem so pojasnjene temeljne značilnosti, referenčni model (arhitektura), ekosistem in poslovni modeli. Po definiciji ITU so stvari predmeti fizičnega sveta (fizične stvari) ali virtualnega sveta (svet informacij), ki jih je mogoče vključiti v komunikacijska omrežja. S stvarmi so povezane informacije, ki so lahko statične in dinamične. Na **sliki 2** je prikazan referenčni model po priporočilu ITU-T.

¹⁰ ITU-T Recommendation Y.2060: Global information infrastructure, internet protocol aspects and next-generation networks, Next Generation Networks – Frameworks and functional architecture models, Overview of the Internet of things



Slika 2: Referenčni model IoT, vir: ITU-R Priporočilo Y.2060

Generične podporne zmogljivosti so običajne zmogljivosti, ki jih lahko uporabljajo različne aplikacije IoT, kot je obdelava ali shranjevanje podatkov. Specifične podporne zmogljivosti so posebne zmožnosti, ki izpolnjujejo zahteve posameznih aplikacij.

Omrežne zmogljivosti zagotavljajo nadzorne funkcije omrežne povezljivosti, kot so funkcije nadzora dostopa in transportnih virov, upravljanje mobilnosti ali preverjanje pristnosti, avtorizacija in obračunavanje. Transportne zmogljivosti zagotavljajo povezljivost za prenos storitev IoT in posebnih informacij o aplikacijah IoT ter prenos informacij za nadzor in upravljanje.

Zmogljivosti naprave vključujejo posredno in neposredno interakcijo s komunikacijskim omrežjem, ad-hoc mreženje ter spanje in prebujanje (za varčevanje z energijo). Zmogljivosti prehodov vključujejo podporo za več vmesnikov—na sloju naprave npr. Zigbee, na sloju omrežja npr. LTE-M in pretvorbe protokolov—možni sta dve situaciji: (1) komunikacije na ravni naprave uporabljajo različne protokole, npr. protokole tehnologije ZigBee in protokole tehnologije Bluetooth in (2) komunikacije, ki vključujejo tako sloj naprave kot sloj omrežja, uporabljajo različne protokole, npr. protokol ZigBee na sloju naprave in protokol 4G na sloju omrežja.

Podobno kot pri tradicionalnih komunikacijskih omrežjih upravljanje sistema interneta stvari zajema upravljanje z napravami (aktivacija, de-aktivacija, spremljanje statusa naprave, osveževanje programske opreme), upravljanje s topologijo omrežja in upravljanje prometa.

Z varnostjo se upravlja na vseh treh slojih: aplikacijskem, omrežnem in sloju naprav. Na vseh slojih se opravlja avtorizacija in overovitve ter drugi za posamezen sloj specifični procesi.

II.3.1 Senzorji

Kmetijstvo je tako raznovrstna panoga, da je v njej mogoče uporabiti množico senzorjev, ki so lastni kmetijstvu, mnogo pa je tudi takšnih, ki se jih lahko pouporabi iz drugih industrij. Specifični primeri so na primer senzorji za odkrivanje škodljivcev, senzorji za pametne škropilnice in podobni. Posamezne senzorce lahko združujemo v kompleksnejše merilne sisteme. Za primer navajamo nekatere senzorce, ki se uporabljajo v kmetijstvu:

- senzorji vlage,
- senzorji temperature,
- senzorji pretoka,
- senzorji nivoja,
- senzorji padavin,
- senzorji plinov,
- senzorji premikov,
- senzorji osvetlitve,
- senzorji vetra, itd.

Senzorji se razlikujejo po temperaturnem območju uporabe (npr. -20 do +60°C), zunanji ali notranji uporabi, odpornosti na vlago (npr. IP65), vrsti napajanja (baterijsko ali zunanje napajanje), vrsti povezljivosti, ki jo podpirajo (celično, LPWA), z vgrajeno ali zunanjo anteno in mnogih drugih lastnostih.

Senzor temperature

Uporablja se v raznovrstnih okoljih, za:

- pametno kmetijstvo,
- pametna mesta,
- upravljanje objektov,
- pametno poslovanje,
- pametne zgradbe,
- pametno merjenje.



*Senzor temperature
(vir: thethingsnetwork.org)*

Senzor nivoja

Uporaben je za merjenje nivojev tekočin v/pri:

- rezervoarjih za pitno vodo,
- rezervoarjih za odpadne vode,
- koritih za vodo,
- kemičnih rezervoarjih,
- rezervoarjih za gorivo,
- sistemih za dovajanje tekočin,
- spremljanju poplav,
- shranjevanju tekočin,
- hidravličnih kontejnerjih.



*Senzor nivoja
(vir: thethingsnetwork.org)*

Merilnik padavin

Namenjen je:

- spremljanju padavin in vremena,
- spremljanju poplav,
- pametnemu kmetijstvu.



*Merilnik padavin
(vir: thethingsnetwork.org)*

Ultrazvočni 3D senzor odpadkov

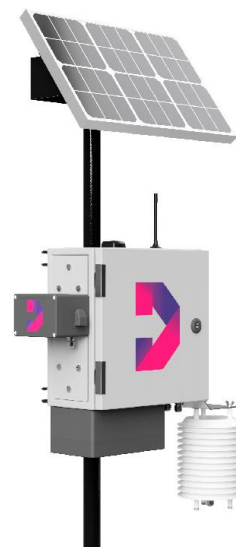
Ta naprava zaznava stopnjo napolnjenosti zabojnikov za odpadke in meri temperaturo okolja. Zbrane podatke pošilja po omrežju LoRa v naprej načrtovanem času po dogodku (npr. praznjenje). Ta senzor lahko pomaga zmanjšati količino odpadkov, kar se odraža v manjši porabi goriva, manj potrebnega dela, nižjih stroških upravljanja voznega parka, zmanjšanih emisijah CO₂ in onesnaževanju, itd.



Ultrazvočni senzor (vir: thethingsnetwork.org)

Merilna postaja za spremljanje kakovosti zraka

Ta merilna postaja lahko vključuje senzorje plinov, kot so CO, NO₂, SO₂, O₃, NH₃, H₂S, Cl₂, HCl, HF, CH₂O, H₂ itd., senzorje trdih delcev PM_{2,5}, PM₁₀, lahko pa meri tudi temperaturo, vlažnost in tlak. Na primer, mreža merilnih postaj za spremljanje kakovosti zraka omogoča mestom, da na daljavo spremljajo ključne kazalnike, napovejo prihodnje kazalnike in sprejemajo proaktivne ukrepe. Tej merilni postaji se lahko dodajo moduli za merjenje ravni hrupa, sončnega (UV) sevanja, hitrosti in smeri vetra.



Merilna postaja (vir: thethingsnetwork.org)

Nadzorna kamera

Video nadzorna kamera visoke ločljivosti, z vgrajenim modemom 5G in dostopno točko LoRa za vzpostavitev omrežja IoT. Nanjo se lahko povezujejo senzorji IoT, ki zajemajo najrazličnejše okoljske parametre. Za analitiko ima vgrajeno umetno inteligenco.



Video nadzorna kamera za vgrajenim 5G in LoRa (vir: <https://www.milesight.com/product/ai-af-motorized-pro-bullet-plus>)

Precej dober pregled, kakšni senzorji oziroma kompleksnejše naprave, ki obstajajo na trgu in za povezljivost uporabljajo tehnologijo LoRa, najdemo na spletnih strani¹¹.

Na trgu obstajajo senzorji različnih veličin (npr. temperature, vlage, gibanja, svetilnosti...), ki imajo vgrajenih več tehnologij za povezljivost, npr. LoRa/Sigfox ali LoRa/5G.

II.3.2 Omrežje

Povezljivost interneta stvari je način, kako napravo interneta stvari (od preprostega senzorja do samovozečega vozila) povežemo z oblakom, drugimi napravami ali integracijskimi točkami, kot so prehodi interneta stvari. V definiciji IoT je povezljivost bistvenega pomena, prinaša vrednost, drugače so naprave le stvari.

Industrijski ali zasebni uporabniki se pri izbiri povezljivosti odločajo po treh glavnih parametrih: pokritosti, energetske učinkovitosti in hitrosti prenosa podatkov. Pomemben vidik so tudi stroški, ki jih določena povezljivost povzroča.

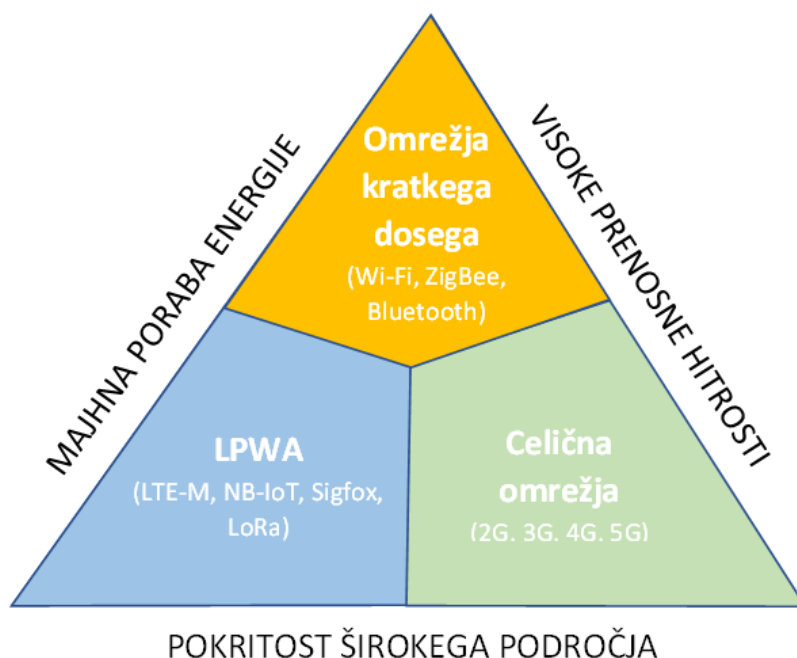
Uporabniki, organizacije, panoge lahko izbirajo med številnimi standardi povezljivosti IoT. Vsaka organizacija ali panoga se odloči za vrsto povezljivosti glede na natančno oceno značilnosti. Princip »one size fits all« za IoT ne velja. Če so npr. potrebne velike hitrosti prenosa in majhne zakasnitve, je primerna povezljivost 4G ali 5G, vendar je to povezano z relativno veliko porabo energije in določenimi periodičnimi stroški, ki jih zahtevajo celična omrežja. Če zakasnitve niso pomembne in je dovolj, da se pošlje informacija nekajkrat na dan, uporabimo za povezljivost tehnologiji LoRa ali Sigfox, ki sta v takšnih primerih stroškovno bolj učinkoviti.

Zahteve po določeni hitrosti prenosa podatkov imajo širok razpon, od nekaj sto bitov na sekundo za prenos merilnih podatkov do nekaj deset megabitov na sekundo za video nadzor.

Povezljivost lahko zagotavljajo komercialni mobilni operaterji, ki s svojimi primerno modificiranimi celičnimi omrežji, skoraj v celoti (>98 %) pokrivajo ozemlje države. Sem spadajo vse generacije celičnih tehnologij (2G do 5G) in prirejena tehnologija LTE (NB-

¹¹ <https://www.thethingsnetwork.org/marketplace/products/devices>

IoT in LTE-M). Te rešitve so na voljo tako rekoč povsod in dostopne v vsakem trenutku, za njihovo neprekinjeno delovanje pa skrbijo operaterji. Za povezljivost na večjih površinah, predvsem na bolj odročnih redko poseljenih območjih, kjer ni prisotnih komercialnih mobilnih omrežij, pa so primerni satelitski sistemi, ki samo dajejo enosmerno informacijo o lokaciji (GNSS – Global Navigation Satellite System) ali pa omogočajo dvosmerno (podatkovno) komunikacijo. Storitve mobilnih in satelitskih sistemov so komercialno na voljo za ustrezno plačilo in so omejene (ali pa sploh ne) prilagodljive na zahteve posameznih uporabnikov. V drugo skupino omrežij, ki omogočajo povezljivost, spadajo tehnologije, ki pa so namenjene povezljivosti naprav IoT in jih uporabniki lahko postavijo tudi sami, neodvisno od komercialnih ponudnikov. Sem spadata dve najbolj razširjeni tehnologiji: LoRa in Sigfox. Obe spadata v družino LPWAN (ang. Low Power Wide Area Network). Imamo pa še tretjo skupino omrežij, t.i. omrežja kratkega dosega, kamor spadata tehnologiji WiFi in Bluetooth. Na **sliki 3** je prikazana uporabnost posameznih tehnologij po njihovih osnovnih lastnostih.



Slika 3: Lastnosti omrežij, ki omogočajo povezljivost IoT, vir: <https://iot.telenor.com/technologies/connectivity/>

Vsaka od omenjenih tehnologij/omrežij ima številne prednosti, pa tudi kakšno slabost. Vse so podrobneje opisane v naslednjih poglavjih. Iz slike 3 lahko na hitro razberemo, za kaj bi bila določena tehnologija uporabna. Prednosti celičnih tehnologij (4G, 5G) so velike hitrosti podatkov. Te so optimizirane za množično uporabo, ponujajo glasovne in podatkovne storitve. Tehnologije kratkega dosega (ZigBee, Bluetooth) ponujajo relativno dobre prenosne hitrosti in dolgo življenjsko dobo baterije, vendar je njihov doseg pokrivanja majhen (nekaj metrov). Tehnologije LPWA (NB-IoT, LTE-M, LoRa, Sigfox) ponujajo obsežno pokrivanje in zelo dolgo trajanje baterije, vendar nizke prenosne hitrosti.

V **preglednicah 1 do 6** je narejena podrobna primerjava posameznih tehničnih in drugih lastnosti osmih tehnologij.¹²

II.3.2.1 Klasična celična omrežja

Med klasična celična omrežja prištevamo generacije mobilnih omrežij od 2G do 5G. Druga generacija (2G) počasi zamira, čeprav je za nekatere aplikacije IoT, npr. za telemetrijo, še primerna. Tretja generacija (3G), ki je bila zaslužna za preboj pametnih naprav in razmah mobilnega interneta, je postala s prihodom 4G in 5G nepotrebna in je marsikje v fazi ugašanja. V naslednji preglednici so zajete tehnološke lastnosti posameznih generacij. Zeleno so obarvane njihove prednosti.

Tehnološke lastnosti	Celično omrežje			
	2G	3G	4G	5G
Pokrivanje zunaj stavb	>10 km	>10 km	> 10 km	0,5-10 km
Pokrivanje znotraj stavb	srednje	slabše	srednje	slabše
Energetska učinkovitost	2-5 let	<10 dni	<10 dni	<10 dni
Tipična hitrost pri povezavi navzgor	50 kb/s	1 Mb/s	10 Mb/s	25-500 Mb/s
Tipična hitrost pri povezavi navzdol	nizka	visoka	zelo visoka	zelo visoka
Mobilnost	zelo visoka	zelo visoka	zelo visoka	zelo visoka
Določanje položaja	točno	zelo točno	zelo točno	zelo točno
Zakasnitve	500-1000 ms	200 ms	100 ms	1 ms
Gostota naprav	srednja	srednja	srednja	velika

Preglednica 1: Tehnološke lastnosti klasičnih (mobilnih) celičnih omrežij

Lastnosti ekosistema	Celično omrežje			
	2G	3G	4G	5G
Cena modula	srednja	visoka	visoka	zelo visoka
Naročnina	da	da	da	da
Cena postavitve in vzdrževanja	zelo nizka	zelo nizka	zelo nizka	zelo nizka
Zanesljivost	visoka	visoka	visoka	zelo visoka
Varnost	srednja	visoka	zelo visoka	zelo visoka
Razširljivost	visoka	visoka	visoka	zelo visoka
Pripravljenost na prihodnost	srednja	nizka	zelo visoka	zelo visoka
Globalni doseg in interoperabilnost	zelo visoka	zelo visoka	zelo visoka	visoka

Preglednica 2: Lastnosti ekosistema klasičnih (mobilnih) celičnih omrežij

Iz parametrov za posamezno tehnologijo, ki so zajeti v **preglednicah 1 in 2**, lahko sklepamo na uporabnost te tehnologije. Opisi veljajo za uporabniško stran. Tehnologiji 4G in 5G sta energetske relativno potratni, kar ni primerno za senzorska omrežja, kjer

¹² <https://iot.telenor.com/technologies/connectivity/>

se zahteva dolgo trajanje baterij (več let ali desetletje). Celične tehnologije uporabljajo zvezdno topologijo in ohranjajo večino inteligence in kompleksnosti na bazni postaji, kjer napajanje ni omejevalni dejavnik. Če energetska poraba ni problem, pa imajo celične tehnologije več prednosti: hitrosti prenosa podatkov so lahko zelo visoke (10-500 Mb/s), visoka je hitrost premikanja terminalov, gostota naprav v 5G je velika, cena postavitve in vzdrževanja omrežja je nizka, zagotovljena je visoka varnost, tehnologija 5G je razširljiva, globalni doseg tehnologije je velik. Poseben parameter tehnologij so zakasnitve. Določene aplikacije (npr. robotizirana proizvodnja) so zelo občutljive na majhne zakasnitve – v tem primeru se uporabi 4G (zakasnitev 100 ms) ali celo 5G (zakasnitev 1 ms). Pokrivanje zunaj stavb pri 4G in 5G je okrog 10 km (pri 5G nekaj manj, odvisno od uporabljenega frekvenčnega spektra), znotraj stavb pa je pokrivanje srednje dobro za 4G in slabše za 5G.

4G

4G spada v družino mobilnih (celičnih) komunikacij. Prve podlage za standarde je leta 2008 postavila Mednarodna telekomunikacijska zveza ITU, pod imenom IMT Advanced. Podrobne tehnološke standarde je leta 2010 zapisala organizacija 3GPP (Third Generation Partnership Project), v *izdaji 10 specifikacij 3GPP*. V teh specifikacijah je določila najvišje prenosne hitrosti na 100 Mb/s pri visoki mobilnosti (vlak in avtomobili) in na 1 Gb/s pri nizki mobilnosti (pešci in mirujoči uporabniki). Širina kanala je prilagodljiva, od 5 do 20 MHz, razširjeno tudi 40 MHz. Ima zelo dobro spektralno učinkovitost (15 bit/s/Hz) kar omogoča prenosne hitrosti 1 Gb/s pri pasovni širini ožji od 67 MHz. 4G je tako imenovana »all IP« tehnologija, ker poteka vsa komunikacija (tudi govor) po protokolu IP. Zato je zelo primerna za podatkovne komunikacije.

Tehnologija 4G je bila zasnovana za širokopasovne komunikacije in ne za ozkopasovne senzorske sisteme IoT. Seveda se to tehnologijo lahko uporabi za določene širokopasovne aplikacije interneta stvari, kot so na primer aplikacije AR/VR, videonadzor in podobno.

Tehnologiji NB-IoT in LTE-M, ki predstavljata modifikacijo LTE, sta vključeni tako v specifikacije 4G kot 5G.

Leta 2021 je tehnologija 4G predstavljala nekaj manj kot 60 odstotkov svetovnega telekomunikacijskega trga, kar v tem trenutku pomeni prevladujočo mobilno tehnologijo.

5G

5G je prva generacija celičnih tehnologij, ki je bila od začetka zasnovana tako, da podpira tudi aplikacije interneta stvari. 5G prihaja z namenskimi zmogljivostmi, prilagojenimi za različne vrste aplikacij interneta stvari. Ena od velikih prednosti celičnih omrežij (tudi 5G) je v tem, da so globalno standardizirana in uporabna po vsem svetu.

Ena od skupin uporabe 5G je podpora množični uporabi komunikacij med napravami (ang. Machine Type Communications – mMTC). V to skupino spadajo vse statične in mobilne naprave IoT, ki imajo lahko različne prenosne hitrosti, pasovne širine in kakovosti storitev. V prid aplikacijam IoT so tudi drugi parametri 5G, kot je

računalništvo v oblaku, umetna inteligenca in računalništvo na robu. Prednosti 5G, v smislu podpore IoT, so rezinjenje omrežja in samostojna (zasebna) omrežja. Večino tega je zapisano v *izdaji 16 specifikacij 3GPP*.

Najbolj primerna skupina aplikacij IoT, ki jih podpira tehnologija 5G, so zelo zanesljive komunikacije z majhnimi zakasnitvami (ang. Ultra Reliable Low Latency Communications – URLLC). Tu najdemo aplikacije v pametnih mestih in pametnih domovih. Med prve štejemo na primer pametno upravljanje prometa, med druge pa vse vrste aplikacij AR/VR (Augmented Reality/Virtual Reality). Nizke zakasnitve so pomembne pri samovozečih vozilih (npr. kmetijska mehanizacija pri obdelavi polj) in pri obdelavi velikih količin podatkov, ki morajo biti obdelani v realnem času.

Zasebna omrežja ali uporaba dodeljene rezine javnega omrežja 5G za zasebno uporabo sta možnosti, ki sta uporabni tudi v kmetijstvu. V prvem primeru si uporabnik zgradi (ali da zgraditi) svoje omrežje, v drugem pa dobi na razpolago svojo rezino javnega omrežja, s povsem namenskim lastnostmi (izbere si lahko npr. zakasnitve, prenosne hitrosti itd). Zasebna omrežja 5G imajo na razpolago več možnosti uporabe frekvenčnega spektra: namensko dodeljeni licenčni spekter, delitev spektra z drugimi uporabniki ali uporabo nelicenčnega spektra.

Primerjava 4G in 5G

Aplikacije IoT se lahko začnejo uporabljati na omrežjih 4G ali 5G takrat, ko je pokrivanje terena dovolj veliko. Trenutno imamo v Sloveniji aktivni še omrežji 2G in 3G, ki s svojo razširjenostjo omogočata delovanje naprav IoT. V mnogih državah prevladujejo celo naprave IoT, ki za povezljivost uporabljajo le 2G. Večina operaterjev predvideva, da bodo v kratkem ugasnili starejša omrežja (2G in 3G), kar naj bi se v nekaterih državah zgodilo že do konca leta 2025. Do takrat seveda operaterji načrtujejo, da bo s tehnologijo 4G pokrit večji del ozemlja, kar pa za 5G še ne bo veljalo. Gotovo pa bo 5G prešel v svojo zrelo fazo do leta 2030. LTE-M in NB-IoT temeljita na tehnologiji 4G LTE in s širokim pokrivanjem ne bo težav.

Kakšno pokrivanje potrebujemo je seveda odvisno od aplikacije. Aplikacije, kjer so naprave v gibanju in čas prenosa informacije ni kritičen, zahtevajo dosti manjše pokrivanje, kot aplikacije na stacionarnih napravah. Drugače je za aplikacije, ki zahtevajo odzivanje v realnem času.

Stanje 4G/5G v Sloveniji

Trije največji mobilni operaterji v Sloveniji z mobilnim signalom 4G že danes zagotavljajo dobro pokrivanje celotnega ozemlja, razen nekaterih najbolj hribovitih delov. Po podatkih AKOS¹³ je v Sloveniji pokritost z dostopnimi omrežji naslednje generacije (maj 2022) naslednja: (a) celotno ozemlje 90,5 % in (b) podeželje 70,68 %.

Obveznost treh mobilnih operaterjev (A1, Telekom, Telemach), ki so pridobili vsaj 2 × 25 MHz spektra pod 1 GHz in hkrati frekvence v pasu 700 MHz, je zagotovitev pokrivanja 99 % prebivalstva Republike Slovenije zunaj zgradb z z uporabniško izkušnjo

¹³ GEOPORTAL AKOS, <https://gis.akos-rs.si>

najmanj 30 Mb/s od bazne postaje do mobilnega uporabnika in 3 Mb/s od terminala do bazne postaje.

Strateški cilji pokrivanja z mobilnimi omrežji naslednje generacije¹⁴ so zastavljeni tako, da se v polni meri izkoristijo priložnosti, ki jih omogočajo IKT, zaradi doseganja trajnih družbenih in gospodarskih koristi, kot so zlasti večja konkurenčnost, nova kakovostna delovna mesta ter enakomeren razvoj podeželja in urbanih območij. Strateški cilji Republike Slovenije pri razvoju gigabitne infrastrukture so postavljeni za dve mejni leti, 2025 in 2030.

I. Konec leta 2025:

—gigabitna povezljivost za vse glavne spodbujevalce družbeno-gospodarskega razvoja, kot so šole, kulturne ustanove, prometna vozlišča in glavni izvajalci javnih storitev ter digitalno intenzivna podjetja;

—neprekinjena pokritost z omrežji 5G za vsa mestna območja in vse glavne prizemne prometne poti;

—dostop do interneta s hitrostjo najmanj 100 Mb/s k uporabniku, ki se lahko nadgradi v gigabitno hitrost, in sicer za vsa gospodinjstva na podeželju in v mestih;

II. Konec leta 2030:

—gigabitna povezljivost za vsa gospodinjstva, podjetja in druge spodbujevalce družbeno-gospodarskega razvoja na podeželju in v mestih;

—pokritost vseh naseljenih območij¹⁶ z omrežjem 5G.

Realizacija zgoraj navedenih ciljev daje velike možnosti tehnologijam IoT, ki jim bo omogočena kakovostna povezljivost tudi na najbolj oddaljenih podeželskih območjih Slovenije.

II.3.2.2 Omrežja majhnih moči in širokega pokrivanja (LPWA)

V skupino omrežij majhnih moči in širokega pokrivanja (ang. Low Power Wide Area - LPWA) uvrščamo dve izvedbi četrte generacije celičnih omrežij (LTE-M in NB-IoT) in dve namenski omrežji (Sigfox in LoRa).

Tehnološke lastnosti	Omrežje LPWA			
	LTE-M	NB-IoT	Sigfox	LoRa
Pokrivanje zunaj stavb	>10 km	>15 km	> 15 km	10 km
Pokrivanje znotraj stavb	srednje	dobro	dobro	dobro
Energetska učinkovitost	~10 let	~10 let	10-20 let	10-20 let
Tipična hitrost pri povezavi navzgor	1 Mb/s	20 kb/s	100 b/s	25 kb/s
Tipična hitrost pri povezavi navzdol	srednja	srednja	omejena povezava navzdol	nizka v razredu A
Mobilnost	visoka	srednja	zelo nizka	nizka
Določanje položaja	zelo točno	točno	zelo netočno	netočno

¹⁴ <https://www.gov.si/assets/vladne-sluzbe/SDP/Dokumenti/Nacrt.pdf>

Zakasnitve	10-15 ms	1,6-10 s	>10 s	>10 s
Gostota naprav	velika	velika	velika	velika

Preglednica 3: Tehnološke lastnosti omrežij LPWA

Lastnosti ekosistema	Omrežje LPWA			
	LTE-M	NB-IoT	Sigfox	LoRa
Cena modula	nizka	nizka	zelo nizka	nizka
Naročnina	da	da	da	da/ne
Cena postavitve in vzdrževanja	zelo nizka	zelo nizka	zelo nizka	nizka
Zanesljivost	visoka	srednja	nizka	nizka
Varnost	visoka	srednja	nizka	nizka
Razširljivost	visoka	zelo visoka	srednja	srednja
Pripravljenost na prihodnost	visoka	visoka	nizka	visoka
Globalni doseg in interoperabilnost	visoka	visoka	srednja	nizka

Preglednica 4: Lastnosti ekosistema omrežij LPWA

Zunaj stavb je pokrivanje zelo dobro, tudi več kot 15 kilometrov, kar predvsem velja za NB-IoT in Sigfox. Pokrivanje je dobro tudi znotraj stavb. Za sisteme IoT, kjer se zahteva energetska učinkovitost (npr. čas trajanja baterij senzorjev), sta zelo uporabni tehnologiji Sigfox in LoRa, kjer je čas trajanja baterije lahko tudi do 20 let. Pri tehnologijah LPWA smo precej omejeni pri prenosnih hitrostih—te tehnologije spadajo v skupino ozkopasovnih tehnologij. Najnižje prenosne hitrosti v smeri od senzorja proti omrežju (t.i. povezava navzgor) dosega Sigfox (100 b/s), najvišje pa LTE-M (1 Mb/s). Navadno se te tehnologije uporabijo v aplikacijah, ko prenosna hitrost ni pomembna in pošiljamo majhno količino podatkov nekajkrat na dan ali redkeje. S hitrostjo prenosa podatkov pa so sorazmerne tudi zakasnitve. Pri LTE-M se pogovarjamo o nekaj 10 mili sekundah, medtem ko pri ostalih o nekaj sekundah. Gostota uporabljenih naprav na površino je pri vseh štirih tehnologijah lahko visoka. Cene modulov so praviloma nizke (nekaj evrov ali nekaj deset evrov). Cena postavitve in vzdrževanja je praviloma zelo nizka. Razširljivost je ocenjena kot zelo visoka le pri NB-IoT, medtem ko je pri Sigfox in LoRa srednja. Če razmišljamo širše (na nivoju velike regije ali čezmejno) je velik globalni doseg, lahko visoko interoperabilnost pričakujemo le pri tehnologijah LTE-M in NB-IoT (obe temeljita na LTE ali 4G).

Pomembna ne-tehnološka razlika med tehnologijami LTE-M in NB-IoT ter Sigfox in LoRa je v tem, da je za prvi dve potrebno imeti licenco, ki jo podeli država, medtem ko slednji dve delujeta na nelicenčnem delu frekvenčnega spektra in posebnega dovoljenja države uporabniki ne potrebujejo. Še vedno pa se morajo uporabniki (lastniki takšnih radijskih postaj) držati omejitev, ki v dani državi obstajajo (npr. predpisana je največja oddajna moč, dovoljena moč v sosednjih kanalih in podobno).

LTE-M

Tehnologija LTE-M (tudi LTE-MTC in LTE Cat M) spada med omrežja LPWA. Razvita je bila v okviru organizacije 3GPP za omogočanje povezljivosti napravam IoT. Omogoča uporabo tudi pri večjih hitrostih (do 300 km/h), ima nizko porabo energije in je optimizirana za nizke do srednje hitrosti prenosa podatkov. Podatkovne hitrosti so 1

Mb/s (izdaja 13 specifikacij 3GPP) in 4 Mbps (*izdaja 14 specifikacij 3GPP*). LTE-M je približno 15 dB bolj občutljiva od klasične izvedbe LTE, zato omogoča boljše pokrivanje znotraj prostorov.

Funkciji načina varčevanja z energijo (ang. Power Saving Mode - PSM) in nezvezni sprejem (ang. enhanced Discontinuous Reception - eDRX) omogočata daljšo življenjsko dobo baterije.

Moduli LTE-M so približno 30 odstotkov cenejši od modulov LTE zaradi manjše uporabne pasovne širine in manj zapletene obdelave radijskih signalov. Omogoča največje prenosne hitrosti od vseh tehnologij skupine LPWA.

Za LTE-M je standardiziranih 26 frekvenčnih pasov, vendar se v praksi uporabljajo le nekateri. V Evropi (Sloveniji) sta v uporabi pasova 3 in 20 GHz.

NB-IoT

Tehnologija NB-IoT spada v skupino omrežij LPWA. Ta tehnologija ima majhno porabo energije, ker je odstranjen signalizacijski protokol in režija zmanjšana na minimum. Tako trajajo baterije tudi deset in več let. Tehnologija je primerna za pokrivanje notranjih prostorov in omogoča delovanje velikega števila naprav. Pasovna širina kanala je 200 kHz, kar omogoča prenosne hitrosti pri povezavi navzdol (bazna postaja → terminal) 26 kb/s (*izdaja 13 specifikacij 3GPP*) oziroma 127 kb/s (*izdaja 14 specifikacij 3GPP*).

Prednost NB-IoT pred klasično celično tehnologijo je ponavljanje prenosa signalov. To sicer zniža hitrost prenosa podatkov in poveča porabo energije, vendar za pet do desetkrat poveča pokrivanje. Tako se naprave IoT lahko povežejo v mobilno omrežje, tudi če so zelo oddaljene (npr. na podeželju), se nahajajo globoko v notranjosti zgradbe ali celo pod zemljo.

Z uporabo načinov za varčevanje z energijo in nezveznim sprejemom lahko prihrani tudi do 75-odstotkov baterije v primerjavi s klasičnimi moduli LTE.

Z *izdajo 14 specifikacij 3GPP* so bile sprejete določene tehnološke novosti, ki izboljšujejo točnost lociranja modulov IoT in omogočajo nemoteno prehajanje med celicami (brez prekinitev) za mobilne naprave IoT majhnih hitrosti, kot so pešci in kolesarji.

Primerjava LTE-M in NB-IoT

Obe tehnologiji temeljita na 4G LTE. Sta standardizirani, licenčni in ju upravljajo mobilni operaterji. Sta tudi del družine tehnologij 5G. V Sloveniji ponujajo storitve NB-IoT in LTE-M A1 Slovenija, Telekom in Telemach. Zasnovani sta za aplikacije interneta stvari. Zaradi svoje zasnove imata podaljšan doseg pokrivanja in sta primerni za pokrivanje globoko znotraj stavb (npr. merilnikov v kletih). Za prihranek energije, gresta obe tehnologiji lahko v način mirovanja ali redkejšega poslušanja omrežja. Pri aplikacijah, ki zahtevajo hiter odziv in daljši doseg, je prihranek energije manjši.

V **preglednici 5** so zajete pomembnejše tehnične lastnosti tehnologij LTE-M in NB-IoT.

Tehnologija	Največja hitrost pri povezavi navzgor	Največja hitrost pri povezavi navzdol	Zakasnitev	Pasovna širina
LTE-M	1 Mb/s	1 Mb/s	10-15 ms	1,4 MHz do 5 MHz
NB-IoT	127 Kb/s	159 Kb/s	1,6-10 s	180 KHz

Preglednica 5: Primerjava tehnologij LTE-M in NB-IoT

LTE-M je boljša alternativa glede posodabljanja strojne in programske opreme, ki se pričakujejo v življenjskem ciklu naprav. Zasnovan je za gostovanje v drugih omrežjih in ima najboljšo podporo za čezmejno uporabo, zaradi ene same kontaktne točke in naročnine za podjetja. LTE-M je boljša alternativa za premikajoče se naprave, omogoča pa tudi govorno komunikacijo (VoLTE). Pri LTE-M se lahko naprave po potrebi odzovejo zelo hitro (v milisekundah), kar je uporabno pri aplikacijah, kjer je potreben hiter odziv, ki je pomemben za interakcije med človekom in strojem.

Organizacija GSMA (Group Special Mobile Association) zbira podatke o mobilnih omrežjih IoT¹⁵ in napravah IoT¹⁶.

Običajen model, po katerem operaterji zaračunavajo povezljivost, je fiksni mesečni strošek na napravo IoT. To je smiselno, ker naprave generirajo zelo malo mesečnega prometa.

Sigfox

SigFox spada v skupino tehnologij LPWA. Za uporabo frekvenc uporabnik ne potrebuje licence.

Tehnologija Sigfox je bila zasnovana leta 2010. V letu 2022 upravlja s to tehnologijo okrog 70 nacionalnih omrežnih operaterjev, ima več kot 1500 poslovnih uporabnikov in več kot 800 deležnikov ekosistema IoT (proizvajalci čipov, izdelovalci naprav, ponudniki rešitev, sistemski integratorji).



Slika 4: Ekosistem tehnologije Sigfox

Slika 4 prikazuje arhitekturo sistema Sigfox. Značilno za Sigfox je njegov koncept. Sigfox ponuja komunikacijsko rešitev, ki temelji na programski opremi, kjer se vsa omrežna in računalniška obdelava izvaja v oblaku in ne na napravah. Uporabnik ne

¹⁵ <https://www.gsma.com/iot/mobile-iot-commercial-launches/>

¹⁶ <https://www.gsma.com/iot/mobile-iot-modules/>

gradi svojega sistema baznih postaj in ne postavlja svojega oblaka. Uporablja aplikacijo, s katero upravlja naprave/senzorje, ostalo (bazne postaje in oblak) so v domeni »globalnega« operaterja. To je od maja 2022 UnaBiz¹⁷

Postopek komunikacije je naslednji: bazne postaje Sigfox zbirajo radijska sporočila, ki jih oddajajo naprave IoT. Sporočila se prenesejo v oblak Sigfox in potisnejo na IT-platformo končnega uporabnika. Sporočila se prenašajo v paketih, kjer je do 12 bajtov koristne informacije. Prenosna hitrost je do 600 b/s. Največja dovoljena izsevana moč je 22 dBm (160 mW). Dobra stran tehnologije je izjemna občutljivost (-132 dBm), ki omogoča široko pokrivanje, tudi znotraj objektov.

Prednosti tehnologije Sigfox so:

- dolga življenjska doba baterije,
- nizka cena naprav (velja za programsko in strojno opremo),
- nizka cena priključnine,
- zmogljivo omrežje in velika spektralna učinkovitost,
- velik doseg (LPWAN).

V Sloveniji upravlja omrežje Sigfox podjetje Heliot Europe, ki ima še omrežja v Avstriji, Lihtenštajnu in v Švici.

Za omrežje Sigfox so bile razvite in se uporabljajo naslednje aplikacije:

- natančno spremljanje vremenskih razmer (padavine, temperaturne spremembe, vetrovne razmere, zračni tlak, vlažnost),
- sledenje in upravljanje čred (informacija o lokaciji živine v realnem času, hitrost premikanja, telesna temperatura živali, stopnja stresa živali),
- zbiranje podatkov o stanju tal (temperatura tal, volumetrična vsebnost vode, temperatura zraka),
- spremljanje ravni v silosih in rezervoarjih (količina žita, pšenice, krme, vode ali goriva),
- merjenje temperature zalog žita (merjenje temperature v silosih za žito in nadzor nad kakovostjo),
- zaščita oddaljenih kmetijskih poslopij (pametni alarmi),
- varovanje pred tatovi (senzorji razlikujejo med gibanjem ljudi in živali),
- daljinsko nadzorovani čebelji panji (spremljanje vitalne statistike panjev, GPS sledenje panjem).

LoRa

LoRa spada v skupino tehnologij LPWA. Za poimenovanje uporabljamo tudi ime LoRaWAN. Deluje na nelicenčnem frekvenčnem spektru. Nelicenčni frekvenčni spektri, kjer se lahko uporabljajo naprave LoRa, se razlikujejo po državah. Ti so: 433 MHz, 868 MHz, 915 MHz in 2,4 GHz. V Sloveniji je predpisano frekvenčno območje uporabe na dveh delih frekvenčnega spektra, 863 – 870 MHz in 433 MHz (CEPT Rec. 70-03). Največja dovoljena izsevana moč v pasu 800 MHz je 16 dBm (40 mW). Prve specifikacije LoRa so izšle leta 2015 in se periodično posodablajo.

¹⁷ <https://www.unabiz.com/>

Tipična arhitektura omrežja LoRa je naslednja¹⁸:

- Končne naprave—senzorji ali aktuatorji pošiljajo modulirana brezžična sporočila LoRa na prehode ali brezžično sprejemajo sporočila od prehodov.
- Prehodi—sprejemajo sporočila od končnih naprav in jih posredujejo omrežnemu strežniku.
- Omrežni strežnik—del programske opreme, ki teče na strežniku in upravlja celotno omrežje.
- Aplikacijski strežniki—del programske opreme, ki teče na strežniku in je odgovoren za varno obdelavo podatkov aplikacije.



Bazna postaja sistema LoRa (vir: thethingsnetwork.org)

Dodatno k opisanemu je v omrežju LoRa programska oprema »Join Server«, katere naloga je varno aktiviranje naprave, shranjevanje korenskega ključa in ustvarjanje ključa seje.

Omrežja LoRa so lahko javna ali zasebna. V obeh primerih se uporabi ista strojna oprema (prehodi, končne naprave, antene) in programska oprema.

Aplikacije v kmetijstvu, ki uporabljajo tehnologijo LoRa, so:

- Namakanje—vpogled v vlažnost tal pridelka v realnem času in optimiziran urnik namakanja zmanjšata porabo vode do 30 %.
- Spremljanje zdravja goveda—senzorji spremljajo zdravje goveda, zaznavajo bolezni in napovedujejo čas poroda telet.

Podrobnosti o tehnologiji LoRa najdemo v literaturi¹⁹.

Na portalu <https://lorawan.si/> je zbranih veliko informacij v zvezi z omrežjem in projekti LoRaWAN v Sloveniji.

Pokritost z javnimi dostopnimi točkami LoRa (tudi v Sloveniji) je dostopna na spletni strani: <https://ttnmapper.org/heatmap/>.

II.3.2.3 Omrežja kratkega dosega

V skupino omrežij kratkega dosega spada veliko tehnologij, v tem dokumentu pa opisujemo le tri najbolj razširjene: WiFi, ZigBee in Bluetooth LE (LE = Low Energy). Primerjava njihovih tehnoloških lastnosti in lastnosti ekosistemov so zajete v **preglednicah 6 in 7**. Dobre lastnosti tehnologij so obarvane zeleno.

¹⁸ <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/what-is-lorawan/>

¹⁹ <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/what-is-lorawan/>

Tehnološke lastnosti	Omrežja kratkega dosega		
	WiFi	Zigbee	Bluetooth LE
Pokrivanje zunaj stavb	<250 m	<300 m	<100 m
Pokrivanje znotraj stavb	dobro	dobro	dobro
Energetska učinkovitost	<10 dni	6-12 mesecev	~10 let
Tipična hitrost pri povezavi navzgor	<600 Mb/s	250 kb/s	1 Mb/s
Tipična hitrost pri povezavi navzdol	zelo visoka	nizka	nizka
Mobilnost	nizka	nizka	zelo nizka
Določanje položaja	srednje	srednje	srednje
Zakasnitve	8-36 ms	<30 ms	3 ms
Gostota naprav	nizka	srednja	velika

Preglednica 6: Tehnološke lastnosti omrežij kratkega dosega

Lastnosti ekosistema	Omrežje kratkega dosega		
	WiFi	Zigbee	Bluetooth LE
Cena modula	srednja	nizka	zelo nizka
Naročnina	ne	ne	ne
Cena postavitve in vzdrževanja	visoka	srednja	zelo nizka
Zanesljivost	srednja	srednja	srednja
Varnost	srednja	srednja	nizka
Razširljivost	nizka	srednja	nizka
Pripravljenost na prihodnost	zelo visoka	srednja	zelo visoka
Globalni doseg in interoperabilnost	zelo visoka	srednja	zelo visoka

Preglednica 7: Lastnosti ekosistema omrežij kratkega dosega

Kot že ime pove, so to omrežja kratkega dosega ali omrežja za lokalno pokrivanje. Njihov doseg je največ nekaj sto metrov, običajno pa so namenjena pokrivanju znotraj stavb in se tja tudi nameščajo. Po energetski učinkovitosti je še najboljša tehnologija Bluetooth LE (trajanje baterije okrog 10 let). Precej se razlikujejo po prenosnih hitrostih, kjer gre pri tehnologiji WiFi za širokopasovno tehnologijo (prenosne hitrosti več 100 Mb/s), pri Zigbee za ozkopasovno tehnologijo (250 kb/s), Bluetooth LE pa je nekje vmes (1 Mb/s). Tehnologije so namenjene tudi komunikaciji med premikajočimi napravami. Vse tri tehnologije imajo relativno majhne zakasnitve (<30 ms), kar pomeni, da so primerne tudi za zahtevnejše aplikacije. V luči uporabnosti IoT je tehnologija Bluetooth LE zelo primerna po naslednjih parametrih: zelo nizka cena uporabniškega modula, uporaba in vzdrževanje je praktično brezplačno, je pripravljena na prihodnost, je interoperabilna in ima globalni doseg.

Skupno vsem trem tehnologijam je to, da ni naročnine za uporabo omrežja—navadno omrežje postavi uporabnik sam. Slaba stran teh tehnologij pa je varnost, ki je še najnižja pri tehnologiji Bluetooth LE.

WiFi

Začetki tehnologije WiFi segajo v leto 1997, ko se je postavil prvi standard iz družine IEEE 802.11. Danes lahko trdimo, da je to globalno najbolj razširjen standard za lokalno brezžično povezovanje elektronskih naprav (računalnikov, tiskalnikov, pametnih telefonov, zvočnikov,...), v javnih ali zasebnih omrežjih.

WiFi uporablja za svoje delovanje nelicenčne dele spektra – frekvenčne pasove ISM (Industry, Science, Medicine). Najpogostejše uporabljena sta 2,4 in 5 GHz, obstajajo pa tudi drugi.

Brezžični usmerjevalniki WiFi omogočajo povezovanje naprav med seboj in povezavo le-teh v internet. Dostopovne točke WiFi so preko usmerjevalnika v internet lahko povezane na več načinov, npr. žično/optično (LAN) ali brezžično (4G, 5G).

Naprave WiFi so energijsko potratne in so namenjene predvsem napravam, ki so stalno priključene na napajanje.

Tehnološke značilnosti družine standardov IEEE 802.11:

- Frekvenčna območja: 900 MHz, 2,4, 3,6, 4,9, 5, 5,9 in 60 GHz
- Doseg radijskega signala: ~20 m znotraj stavb, ~150 m zunaj stavb
- Največja hitrost prenosa podatkov: 2 Mb/s do 40 Gb/s (glej **preglednico 8**)
- Širina kanala: 5 ali 20 MHz (možno je združevanje kanalov)
- Največja dovoljena izsevana moč oddajnika (v EU): 20 dBm (100 mW)
- Varnost: enkripcija WPA²⁰, WPA3

Generacija	Standard IEEE	Največja prenosna hitrost (Mbit/s)	Leto izdaje	Frekvenčno območje (GHz)
Wi-Fi 7	802.11be	40.000	še ni sprejet	2,4, 5 in 6
Wi-Fi 6E	802.11ax	600 – 9.608	2020	2,4, 5 in 6
Wi-Fi 6			2019	2,4 in 5
Wi-Fi 5	802.11ac	433 – 6.933	2014	5
Wi-Fi 4	802.11n	72 - 600	2008	2,4, in 5
(Wi-Fi 3)	802.11g	6 - 54	2003	2,4
(Wi-Fi 2)	802.11a	6 - 54	1999	5
(Wi-Fi 1)	802.11b	1 - 11	1999	2,4
(Wi-Fi 0)	802.11	1 - 2	1997	2,4

Preglednica 8: Družina standardov WiFi IEEE 802.11xx

Za povezavo z lokalnim omrežjem WiFi mora biti naprava opremljena z ustreznim krmilnikom. Vsaka naprava se identificira z naslovom MAC. Dostopovne točke WiFi pogosto delujejo v infrastrukturnem načinu, v katerem vse komunikacije potekajo prek bazne postaje. Ad hoc način se nanaša na naprave, ki komunicirajo neposredno med seboj, brez komunikacije z dostopovno točko (npr. računalnik in tiskalnik).

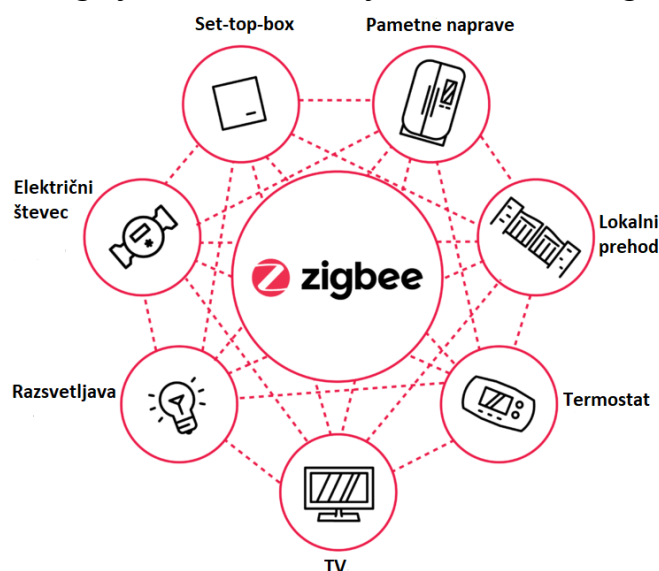
Dostopovne točke WiFi so lahko zasebne ali javne, lahko delujejo samostojno ali pa se povezujejo v mrežo (WiFi mesh). Porazdeljen način dostopa do storitev (mesh) je v zadnjem času precej uporabljen način za pokrivanje večjih objektov ali zunanjih

²⁰ WPA – WiFi Protected Access

površin. Omogoča nam stalno povezljivost naprav (npr. pametnih telefonov), kjerkoli v zgradbi ali področju pokrivanja mreže WiFi. Ta način je uporaben tudi za omogočanje povezljivosti interneta stvari.

Zigbee

Zigbee spada v skupino tehnologij kratkega dosega. Tehnologija je stara približno dve desetletji in je primerna za povezovanje naprav na kratki razdalji. Primer je lahko stikalo in svetilo, oba z vgrajenim komunikacijskim modulom Zigbee.



Slika 5: Omrežje povezanih naprav Zigbee

Za povezavo naprav Zigbee se uporablja t.i. porazdeljena topologija (ang. mesh), kjer vsaka naprava komunicira (se povezuje) z vsako (**slika 5**). Na ta način lahko povečamo doseg, ko se sporočila prenašajo s posredovanjem od naprave do naprave. S tem načinom se sicer poveča poraba energije (vsaka naprava vedno posluša in je pripravljena na posredovanje sporočil), vendar je sistem bolj stabilen (v primeru odpovedi posamezne naprave sistem še vedno deluje).

Osnovne lastnosti teh tehnologij so nizka poraba energije, nizka prenosna hitrost, nizki stroški uporabe in relativno dobra prepustnost (srednje prenosne hitrosti).

Prihodnost tehnologije Zigbee (vsaj pod tem imenom) je negotova, saj se je leta 2021 formiral poenoten standard, znan pod imenom *Matter*, ki določa lokalno povezljivost naprav (npr. v pametnem domu). Z njim se ukvarja zavezništvo CSA (Connectivity Standards Alliance)²¹. V zavezništvo so povezana podjetja, kot npr. Amazon, Apple, Google, Huawei, IKEA, Legrand, Samsung in mnoga druga. *Matter* temelji na skupnem prepričanju, da morajo biti pametne domače naprave varne, zanesljive in brezhibne za uporabo. Z nadgradnjo naj bi *Matter* omogočil komunikacijo prek pametnih domačih naprav, mobilnih aplikacij in storitev v oblaku.

Več o tehnologiji Zigbee najdemo v literaturi²², podrobni komunikacijski protokoli za zasebna omrežja (tudi Zigbee) pa so zapisani v standardu IEEE 802.15.4.

²¹ <https://csa-iot.org/all-solutions/matter/>

²² <https://csa-iot.org/all-solutions/zigbee/>

Bluetooth LE

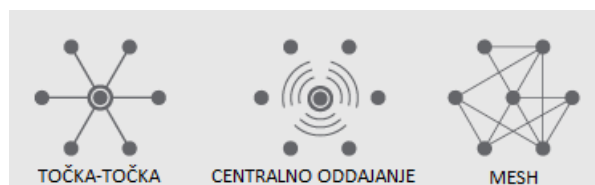
Tehnologija Bluetooth LE (BLE) spada v skupino LPWA. LE pomeni »Low Energy« ali nizko porabo energije. Tehnologiji Bluetooth in Bluetooth LE nista združljivi. Slednjo je leta 2006 razvilo podjetje Nokia. Bluetooth LE deluje s precej manjšo močjo kot klasični Bluetooth, ima pa podoben doseg pokrivanja. Bluetooth LE podpirajo vsi operacijski sistemi za računalnike ali mobilne naprave.

Bluetooth LE omogoča komunikacijo več naprav z več napravami in je primeren tudi za senzorska omrežja. Večina aplikacij z nizko porabo energije ima generični profil (ang. Generic Attribute Profile – GATT), ki je namenjen pošiljanju in sprejemanju kratkih podatkovnih sporočil. Za namenske aplikacije (npr. za lokacijske in navigacijske storitve) obstajajo namenski profili. Uporabna funkcija Bluetooth LE je porazdeljen profil (ang. Mesh Profile), ki omogoča, da vsaka naprava preda informacijo vsaki napravi.

Osnovne tehnične lastnosti tehnologije Bluetooth LE so:

- Deluje na frekvenčnem pasu 2,4 GHz. To je pas ISM, ki je namenjen aplikacijam v industriji, znanosti in medicini (ISM – industry, science and medicine);
- Ima 40 kanalov, širokih po 2 MHz;
- Prenosne hitrosti so 125 kb/s, 500 kb/s, 1 Mb/s in 2 Mb/s;
- Največja oddajna moč je 10 mW (100 mW pri Bluetooth 5).

Možne arhitekture omrežij Bluetooth LE so lahko: (a) točka-točka, (b) centralno oddajanje in (c) mesh (vsak z vsakim). Prikazane so na **sliki 6**.



Slika 4: Arhitekture omrežij Bluetooth LE

Poraba energije pri Bluetooth LE je močno odvisna od načina uporabe. Če npr. napravo uporabljamo občasno, kot bližnji svetilnik, lahko traja 1000 mA-baterija tudi dve leti, če pa gre za nepretrgano skeniranje centralnega svetilnika, pa se ta ista baterija sprazni v nekaj urah.

Več podrobnosti o Bluetooth LE najdemo v specifikacijah²³.

II.3.2.4 Sateliti

Danes je le 15 odstotkov planeta pokritega z dostopnimi in cenovno ugodnimi omrežji, ki omogočajo povezljivost interneta stvari. Večinoma so satelitska omrežja cenovno nedostopna, čeprav nudijo povezljivost na širokem geografskem območju.

Prihajajo pa nizkocenovni sateliti, ki bodo omogočili dobro povezljivost tudi na najbolj oddaljenih kotičkih našega planeta. Satelitski IoT²⁴ je gotovo najbolj primeren

²³ <https://www.bluetooth.com/specifications/>

²⁴ <https://sateliot.space/en/>

za odprte rudniške kope, prostrana polja poljščin, naftne ploščadi in podobno. Leta 2018 je podjetje Lacuna Space²⁵ utirilo v nizko zemeljsko orbito (500 km nad površjem Zemlje) bazno postajo LoRaWAN. Satelit z bazno postajo obkroži Zemljo vsakih 100 minut. Ko je satelit nad območjem s senzorji, pobere podatke od senzorjev in jih posreduje zemeljski postaji, ko je v njenem dosegu. Ti podatki so na voljo uporabniškim aplikacijam na njihovo nadaljnjo uporabo.

Slovenija nima naftnih ploščadi ali prostranih odročnih obdelovalnih kmetijskih površin, zato je opcija s satelitom manj verjetna za uporabo v slovenski industriji ali kmetijstvu. Ima pa Slovenija v nizki orbiti (520 km nad Zemljo) utirjen svoj satelit²⁶ (Nemo HD), ki je namenjen opazovanju Zemlje in se ga lahko uporablja tudi v kmetijske namene. Deloval bo še približno dve leti in se ga lahko izkoristi v pilotne študijske namene.

Na tem geografskem prostoru imamo boljše, t.i. prizemne rešitve, ki so opisane v prejšnjih poglavjih.

II.3.3 Aplikacije (oblak)



Slika 5: Povezava naprav IoT v oblak (vir: Telenor²⁷)

Na **sliki 5** je prikazan primer ponujanja storitev—aplikacij za specifične potrebe—v oblaku. Storitve upravljanega oblaka IoT omogoča zbiranje, shranjevanje in analizo podatkov, ki jih generirajo naprave interneta stvari. Z nadgrajevanjem varnostnih zmogljivosti mobilnega omrežja, razbremenitvijo obdelave potrdil z naprave in uporabo omejenih aplikacijskih protokolov se poraba energije in zahteve za obdelavo

²⁵ <https://lacuna.space/>

²⁶ <https://www.space.si/mikrosatelit/>

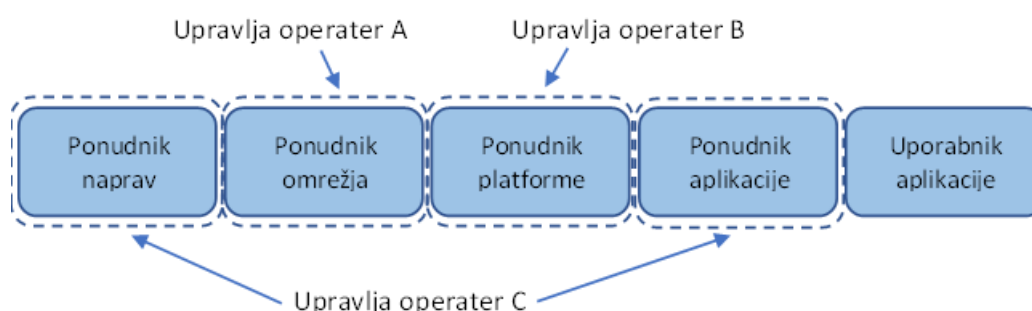
²⁷ <https://iot.telenor.com/offering/managed-iot-cloud/>

v napravi močno zmanjšajo. Hkrati lahko uporabnik še naprej uporablja standardna orodja v oblaku in protokole IoT, kot sta npr. MQTT²⁸ ali CoAP²⁹.

Raznovrstnih aplikacij je na globalnem trgu IoT ogromno, skoraj vse pa so vezane in so bile razvite za specifično industrijsko panogo ali celo specifičen primer (npr. upravljanje robotizirane proizvodnje).

II.4 POSLOVNI MODELI UPRAVLJANJA IOT

Priporočilo ITU-T je predlagalo pet poslovnih modelov konfiguracije sistema IoT. Na **sliki 6** je prikazan eden od možnih modelov, kjer operater A upravlja z omrežjem, operater B upravlja s platformo, operater C pa z napravami in aplikacijo. Možne so tudi druge kombinacije, redko pa se zgodi, da je en sam operater upravitelj vseh štirih segmentov ekosistema IoT.



Slika 6: Poslovni modeli delitve upravljaljskih vlog med različne ponudnike

II.5 KLJUČNA PODROČJA SISTEMOV IOT

Ključna področja sistemov IoT so:

- Varnost³⁰—pomembni elementi sistemov IoT so zasebnost, varnost in zaščita. Sem spadajo elektronski podpis, varnostni algoritmi, zakonito prestrezanje informacij, pametne kartice in kibernetska varnost. Varnost uporabnikov IoT je zajeta v standardu ETSI EN 303 645³¹.
- Energija
- Radijski spekter³²
- Vgrajeni komunikacijski moduli

Tehnologije oziroma omrežja, ki omogočajo povezljivost, se pomembno razlikujejo po različnih segmentih varnosti, ki jo omogočajo (**slika 7**).

²⁸ MQTT (MQ Telemetry Transport) je enostaven odprt protokol za sporočanje, ki omrežnim odjemalcem z omejenimi viri omogoča preprost način za distribucijo telemetričnih informacij v okoljih z nizko pasovno širino.

²⁹ CoAP (Constrained Application Protocol) je aplikacijski protokol, ki se uporablja za naprave z omejenimi viri in nizko porabo energije. Posebej je optimiziran za izvedbe z velikim številom končnih naprav v omrežju.

³⁰ <https://www.etsi.org/technologies/cyber-security>

³¹ https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/303600_303699/303645/02.01.01_60/en_303645v020101p.pdf

³² <https://www.etsi.org/technologies/radio/>

	Wi-Fi (javen)	Wi-Fi (zaseben)	LPWA (LoRa)	Celično omrežje
Prevzem nadzora nad napravo za napad z zavrnitvijo storitve				
Oddaljen dostop do naprave				
Posodobitev vdelane programske opreme				
Spremljanje anomalij				

Slika 7: Varnost v omrežju (zeleno = varno, rdeče = ni varno, rumeno = manj varno)

V nadaljevanju so opisana varnostna tveganja pri tehnologijah (omrežjih), ki so zajete na **sliki 7**.

Pri uporabi javnega interneta (javni Wi-Fi) lahko zlonamerna programska oprema okuži vse priklopljene (IoT) naprave z npr. botnetom (podtaknjenim programom) in izvede na žrtvah (IoT napravah) porazdeljen napad z zavrnitvijo storitve. Pri uporabi namenske strojne opreme (zasebni Wi-Fi) moramo izbrati usmerjevalnike z vgrajenimi požarnimi zidovi, kjer se omeji število naslovov IP, ki jih naprave lahko dosežejo. Tako preprečimo, da bi ena naprava napadla drugo ali da bi ji ukazoval hekerski nadzorni center. Do naprav LoRa ni mogoče neposredno dostopati na internetu, ker ne uporabljajo internetnega protokola. Naprave LoRa se lahko pogovarjajo samo z aplikacijami LoRa, na katere so registrirane, upravljanje pa poteka na omrežnem strežniku LoRa. Medtem ko obstajajo poročila o nevarnosti, da bi naprave LoRa lahko izvajale napade DDoS (ang. Denial of Service) na druge naprave ali strežnike LoRa, so ti primeri bolj posledica slabe izvedbe. S požarnim zidom podjetja zagotovijo, da naprava IoT pošilja podatke le svoji ciljni aplikaciji in tako blokira ves zlonamerni promet že na ravni omrežja.

Določeno tveganje obstaja pri nezavarovanem oddaljenem dostopu do naprav IoT preko javnega interneta. Oddaljeni dostop je pogosto potreben za oddaljene rekonfiguracije, pridobivanje podatkov iz naprave in odpravljanja težav. LoRa nima takšnega oddaljenega dostopa in opisanih težav nima. Z uporabo standardnih usmerjevalnikov Wi-Fi naprava IoT dobi zasebni naslov in ni vidna v javnem internetu. Oddaljeni dostop do naprav se aktivira s posredovanjem vrat (z dinamičnim DNS v primeru dinamičnih IP-jev). Z napredno infrastrukturo Wi-Fi, ki omogoča nastavitve navideznega zasebnega omrežja, je mogoče zaščititi oddaljeni dostop do naprav. Dostop do omrežja dobijo samo overjene naprave s pravimi poverilnicami VPN. Mobilna povezljivost z zasebnimi statičnimi naslovi IP omogoča preprost dostop na daljavo prek enega virtualnega zasebnega omrežja na vseh lokacijah uporabnikov. Naprave niso vidne iz interneta in do njih lahko dostopate prek povezave VPN s prehodom operaterja mobilnega omrežja.

Posodobitve vdelane programske opreme (ang. firmware) na daljavo so ključni del za zagotavljanje varnosti. Varnostne ranljivosti lahko izvirajo iz napak strojne programske opreme naprave v lasti uporabnika, pa tudi iz knjižnic tretjih oseb. Posodabljanje naprave je lahko zahtevno; postopek posodabljanja na daljavo je treba zaščititi pred napadalci, hkrati pa zagotoviti enostavno povrnitev v prejšnje stanje v

primeru napake. Zaradi omejitve povezave navzdol na 10 sporočil na dan se lahko LoRa uporablja le za posodabljanje zelo preprostih naprav in tudi takrat lahko postopek posodabljanja traja nekaj dni ali tednov. Prek omrežja Wi-Fi in mobilnega omrežja je na voljo široka paleta rešitev za posodabljanje vdelane programske opreme na daljavo. Ponudniki platform v oblaku, kot so AWS, Azure in Google, ponujajo storitve upravljanja naprav na daljavo, obstajajo pa tudi drugi ponudniki, kot sta Balena ali AV System.

Osrednji del vsake varnostne zasnove je sposobnost spremljanja anomalij. Podatki LoRa se centralno upravljajo znotraj aplikacijskega in omrežnega strežnika – ne samo, da so na voljo uporabniški podatki (npr. merjenje temperature), temveč tudi pomembne informacije o povezljivosti, kot sta moč signala in izguba paketov. Standardni usmerjevalniki Wi-Fi imajo osnovni nabor prometnih dnevnikov, ki zagotavljajo omejeno vidljivost. Za učinkovito spremljanje anomalij mora usmerjevalnik Wi-Fi podpirati ne le podrobne informacije o prometu, ampak tudi centralno spremljati in upravljati več uporabnikov hkrati. Pri mobilnih omrežjih so podrobne informacije o povezljivosti, kot so dogodki omrežne signalizacije in količina podatkov, na voljo za vse naprave v realnem času.

Povzamemo lahko, da povezovanje naprav IoT z uporabo običajne infrastrukture Wi-Fi prinaša več varnostnih tveganj. Zaradi tega je priporočljivo uporabljati eno omrežje za naprave IoT in ločeno omrežje za druge potrebe. Na ta način naprave IoT ne morejo vplivati na običajne naprave, zastareli osebni računalniki v skupnem omrežju LAN pa na primer ne morejo služiti kot vstopne točke za naprave IoT. LoRa ima zelo stroge varnostne koncepte – povezuje naprave z omrežjem in aplikacijami. Najbolj primeren je za aplikacije z nizko pasovno širino, tudi na težko dostopnih lokacijah (npr. industriji). Prehodi LoRa so pogosto povezani prek mobilne povezave z javnim internetom, tako da je mogoče podatke obdelovati centralizirano.

Namenska infrastruktura Wi-Fi in mobilna povezljivost sta najpogostejše uporabljeni brezžični tehnologiji v industrijskih aplikacijah IoT. Z uporabo požarnega zidu, oddaljenega dostopa, posodobitev vdelane programske opreme in spremljanja lahko podjetja, ki uporabljajo IoT, izkoristijo obsežne varnostne funkcije že na ravni omrežja.

II.6 KOMUNIKACIJSKI PROTOKOLI V SISTEMIH IOT

Poleg primerne povezljivosti, ki jo izberemo za izbran primer uporabe, je pomemben tudi sklad komunikacijskih protokolov IoT. Pravilno izbran sklad protokolov premošča razlike med povezljivostjo, internetom in podatkovnimi protokoli. To omogoča komunikacijo med sistemi in ustrezno arhitekturo za funkcije v oblaku in virtualizirane funkcije, vključno z umetno inteligenco, strojnim učenjem in odprtokodnimi sistemi v prihodnosti.

Protokoli, ki se uporabljajo v omrežjih IoT, običajno upoštevajo potrebo po majhni porabi energije, torej tudi majhno porabo pri obdelavi podatkov. To so seveda lastnosti naprav, kjer so zahtevani dolgi življenjski cikli. Naprave IoT pa postajajo vedno bolj kompleksne, zato so zasnovali protokole, ki zahtevajo več procesorske moči, imajo pa

zato večjo porabo energije. Eden takšnih protokolov je AMQP (ang. Advanced Message Queuing Protocol). Ta protokol je primeren za naprave IoT z zmogljivim pomnilnikom. Drug protokol je DDS (ang. Data Distribution Service). To je razširljiv protokol in omogoča interoperabilno izmenjavo podatkov neodvisno od platforme strojne in programske opreme. Komunikacijski protokol, ki se pogosto uporablja v sistemih IoT, je Lightweight M2M, ki je protokol za upravljanje naprav, zasnovan za senzorska omrežja in veliko število naprav. Poleg omenjenih, poznamo še komunikacijske protokole CoAP (Constrained Application Protocol), Modbus, MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) in MTC (Machine Type Communications). Vsak od njih je primeren za določene vrste aplikacij.

III. DIGITALIZACIJA KMETIJSTVA

III.1 STRATEGIJA EU NA PODROČJU DIGITALIZACIJE KMETIJSTVA

Digitalna transformacija kmetijstva bo olajšala sodelovanje vseh deležnikov v vrednostni verigi, podprla kmete in ponudila priložnosti za inovativna srednja in mala podjetja³³. Tehnologije kot so umetna inteligenca, robotika, internet stvari (IoT), računalništvo na robu, tehnologija veriženja blokov in superračunalniki imajo potencial, da naredijo kmetijstvo bolj učinkovito, trajnostno in konkurenčno.

Prav tako kot v ostalih sektorjih in družbi kot celoti tudi v digitalizaciji kmetijstva obstaja grožnja digitalne ločnice. Predvsem v smislu povezanih in nepovezanih kmetij ter ekonomsko majhnih ter velikih kmetij.

Tehnologija interneta stvari v tem smislu postaja ena od najpomembnejših za uporabo v boju proti podnebnim spremembam. Senzorji zbirajo podatke iz okolja (o temperaturi, padavinah, vlagi, hitrosti vetra, napadih škodljivcev, sestavi zemlje) na način, da jih lahko kmetje uporabijo za sprejemanje boljših in hitrejših odločitev. Olajšajo pa jim lahko tudi delo samo. Posebej pomembne so rešitve, ki omogočajo uporabo kombinacije podatkov IoT v realnem času in geo-prostorskih podatkov. Takšne rešitve so posebej zanimive za razgibana in zelo različna področja, kot jih imamo v Sloveniji.

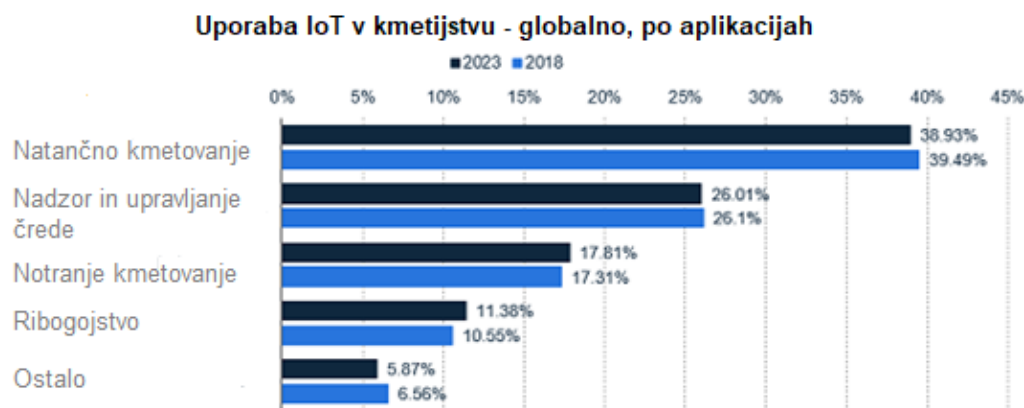
Osnovna ideja uporabe naprednih tehnologij v kmetijstvu je predvsem v tem, da znanje in izkušnje kmetov, v kombinaciji z uporabo naprednih tehnologij (kot je IoT), omogočajo gospodarjem povečevati produktivnost ter nižati stroške pridelave.

III.2 UPORABA IOT V KMETIJSTVU

III.2.1 Uporaba IoT po svetu

Globalno trenutno največji delež aplikacij IoT v kmetijstvu predstavlja natančno pridelovanje poljščin s skoraj 40 % deležem, ki naj bi v prihodnje rahlo upadel. Sledi nadzor in upravljanje živine s 26 % ter aplikacije za kmetovanje znotraj stavb, ki predstavljajo 17 % delež in rahlo rastejo. Sledi ribogojstvo s približno 11 % aplikacij. Ostale aplikacije skupaj predstavljajo zgolj okoli 6 % vseh aplikacij, njihov delež pa naj bi se v prihodnje še zmanjšal.

³³ Vir: Evropska komisija Digitalizacija evropskega kmetijskega sektorja, <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/digitisation-agriculture>



Graf 8: Delež aplikacij IoT v kmetijstvu, globalno, vir: Agriculture IoT Statista, <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/digitisation-agriculture>

Stališče EU je, da je potrebno s ciljem odzivanja na globalne spremembe uporabiti podnebno pametno kmetijstvo za izboljšanje vseh vidikov kmetovanja, kot so pametna uporaba virov, trajnostna uporaba zemlje, povečanje pridelka, zmanjšanje ogljičnega odtisa, podpiranja prihodkov majhnih kmetij in povečanje odpornosti. To vse naj bi se odvijalo s sodelovanjem, preko partnerstev.

Za spodbujanje sodelovanja preko partnerstev, EU podpira pilotne projekte za uvajanje tehnologij IoT. Pri tem se je kot eden ključnih izzivov pokazala pomanjkljiva interoperabilnost obstoječih digitalnih platform, saj obstaja (pre)veliko število platform, ki podpirajo različne ekosisteme. Potrebno je vedeti, da obstaja veliko število aplikacij za uporabo v kmetijstvu, ki pa se jih ne ponuja v paketu (angl. Bundled). Posledično ni pretoka podatkov med temi aplikacijami. Poleg tega je tudi zelo malo izvedenih analiz stroškov in koristi uporabe digitalnih aplikacij v kmetijstvu na splošno. To je tudi glavni motiv za demonstracijske pilotne projekte, ki jih spodbuja Evropska komisija.

III.2.2 Uporaba IoT v Sloveniji

Kot opisano v prejšnjem poglavju, je uporaba IoT v kmetijstvu globalni trend in eden od ključnih ciljev EU. Kmetijski sektor v Sloveniji se sooča s podobnimi izzivi kot ostali svet, le da ima nacionalne posebnosti.

Glede na izzive, s katerimi se srečuje kmetijstvo v Sloveniji, je nesporno dejstvo, da je uporaba digitalnih tehnologij—še posebej IoT—ne samo primerna za reševanje vseh predhodno navedenih izzivov, ampak tudi nujna. Zgolj z uporabo naprednih tehnoloških rešitev bo mogoče upravljanje kmetij izvajati na način, da bodo doseženi ključni cilji prilagajanja na izzive okoljskih sprememb. Seveda pa je potrebno uvajanje IoT v Sloveniji zasnovati strateško in smiselno. Ponavljanje napak ostalih, z implementacijo velikega števila nepovezanih aplikacij, ne bo prispevalo k bistvenemu dvigu odpornosti slovenskega kmetijskega sektorja, ki je že samo po sebi izjemno razdrobljeno.

V Sloveniji smo deležni predvsem naslednjim ekstremnim vremenskim pojavom, ki so posledica podnebnih sprememb³⁴:

- suše,
- vročinski stres,
- neurja s točo,
- pozebe.

Tehnologija IoT ponuja rešitve, ki lahko omilijo ali odpravijo učinke prej naštetih pojavov. Te so npr.:

- (1) spremljanje vremena (lastne vremenske postaje; tudi povezava s podatki merilnih postaj ARSO),
- (2) uvedba pametnih namakalnih sistemov (merjenje vlage, temperature),
- (3) merjenje kakovosti prsti (merjenje vsebnosti elementov, kot so fosfor, kalij, dušik in drugih, merjenje kislosti prsti).

Intenzivna reja živali (proizvodnja metana) in gojenje poljščin (uporaba sredstev za pospeševanje rasti in zatiranje škodljivcev) pa v obratni smeri povzročajo segrevanje ozračja in onesnaževanje okolja. Pri reji živali (goveda, prašičev, perutnine) pa ne smemo pozabiti na zagotavljanje primernih življenjskih pogojev. Tudi na tem področju obstajajo rešitve IoT, kot so npr.:

- (1) merjenje plinov v hlevih (merjenje prisotnosti ogljikovega monoksida, ogljikovega dioksida, amonijaka, metana),
- (2) spremljanje zdravja živali (kot za ljudi, obstajajo nosljive naprave IoT tudi za živali-z merjenjem določenih parametrov (temperatura
- (3) spremljanje mikroklima v rastlinjakih (merjenje temperature, vlage, osvetljenosti)
- (4) merjenje mikrodlecev v zaprtih prostorih (PM1,0, PM2,5, PM10)
- (5) spremljanje količine krme v silosih (merjenje ravni krmil),
- (6) spremljanje vsebnosti zbiralnikov tekočin, kot so voda, gorivo, odpadne tekočine (merjenje ravni tekočih materialov),

Iz pridobljenih podatkov lahko kmetje natančno dozirajo gnojila, čas in koncentracijo sredstev za škropljenje ali pa ocenijo čas za spravilo pridelkov.

III.3 PRIMERI DOBRIH PRAKS V KMETIJSTVU

III.3.1 Projekti

V svetu in pri nas poteka veliko pilotnih projektov, v katerih preizkušajo različne tehnologije IoT, različne tipe povezljivosti, predvsem pa namenske aplikacije, ki zbrane podatke obdelujejo in napovedujejo nadaljnja ukrepanja. Potrebe se precej razlikujejo od panoge do panoge, kar posledično pomeni uporabo različnih kombinacij senzorjev in povezljivosti. Skupno vsem projektom je zbiranje podatkov v neki oblaki aplikaciji, kjer se izvaja analitika in predlagajo akcije, ki so lahko samodejne ali pa zahtevajo posredovanje človeških rok. Nekaj projektov je predstavljenih v nadaljevanju.

³⁴ <https://www.gov.si teme/prilagajanje-podnebnim-spremembam-v-kmetijstvu/>

Samodejno vodeni obdelovalni stroji

Na kmetijah z velikimi površinami obdelovalne zemlje, kjer se pretežno goji neka monokultura (npr. pšenica), so samodejno vodeni stroji izjemno pomembni pri natančnosti obdelave zemlje, porabi gnojil in vzdrževanju kmetijske opreme. V Sloveniji imamo le slabih šest odstotkov kmetij, ki obdelujejo več kot 20 hektarov zemljišč, kjer pa zaenkrat ne uporabljajo samodejno vodene kmetijske mehanizacije. V velikih državah, kot npr. ZDA, imamo takšne primere, kjer pa so za povezljivost lahko uporabljeni sateliti.

Zbiranje podatkov iz različnih skupin senzorjev, npr. za zaznavanje pogojev v okolju (temperatura, relativna vlaga,...) in za nadzor parametrov stroja (poraba goriva, segrevanje motorja, obraba vitalnih delov,...) ter njihova obdelava, pripomore k boljši izrabi virov in manjši onesnaženosti okolja.

Koristi:

- Samodejno vodeni kmetijski stroji (npr. traktorji) so natančno vodeni med prehodi, kar vodi do večje produktivnosti, manjše porabe pesticidov, gnojil in zmanjšanj emisij.
- Na daljavo upravljana kmetijska vozila (npr. škropilnice) pomenijo večjo varnost za operaterje.
- Brezpilotni letalniki se uporabljajo za kartiranje in merjenje določenih kmetijskih parametrov, s čimer se ocenjuje stanje rasti pridelkov, kakovost namakanja, zgodnje odkrivanje plevelov, bolezni in škodljivcev, s temi podatki pa se lahko tudi načrtuje prihodnjo pridelavo.

Projekt INTERREG Italia-Slovenija

V okviru čezmejnih projektov *INTERREG Italia-Slovenija* je v letih 2017 do 2020 potekal projekt SUSGRAPE. Njegov namen je bilo spodbujanje trajnostnega vinogradništva s pomočjo tehnologij IKT. V okviru projekta so namestili več energetsko avtonomnih agrometeoroloških postaj, opremljenih s sistemom za prenos zbranih podatkov ter postavili spletno platformo za upravljanje in napovedovanje.

Več o projektu: <https://www.ita-slo.eu/sl/susgrape>.

Pametno vinogradništvo z nadzorom škodljivcev

V vinogradih Goriških Brd je vzpostavljen pilotni projekt spremljanja škodljivcev. Rešitev omogoča spremljanje škodljivcev in napoveduje njihove aktivne razvojne faze za 14 dni naprej. V vinogradih so postavljene pasti za spremljanje grozdnega sukača, ki je največji škodljivec vinske trte na tem območju. S tehnologijo IoT se zbira podatke iz nastavljenih pasti in se jih prenaša v oblak. Iz zbranih podatkov se napoveduje razvoj škodljivcev in daje vinogradnikom možnost za pravočasno ukrepanje (škropljenje).

Informacije o rešitvi: <https://trapview.com/>

Informacije o projektu: <https://tehnozvezdje.si/prvi-poskus-pametnega-vinogradnistva-v-sloveniji/>

Merjenje CO₂ v vinskih kletih

Z merjenjem koncentracije CO₂ v vinski kleti se nadzoruje koncentracija tega plina, ki je v prevelikih količinah lahko nevarna. Ko so mejne koncentracije presežene, se vključi prisilno prezračevanje. S pomočjo senzorja CO₂ in dostopne točke LoRaWAN se o izmerjenih vrednostih obvešča vinarje. Poleg senzorja CO₂ so nameščeni še senzori premikanja, senzorja vlage in temperature ter senzor osvetlitve prostora.

Spremljanje meritev: <https://app.datacake.de/dashboard/d/9142b1a6-6a44-4c20-a467-a5c3f129ea9d>

Škofja Loka, pametno mesto

Mesto Škofja Loka je pokrito s štirimi komunikacijskimi prehodi LoRaWAN. Omrežje je namenjeno vsem občanom Škofje Loke, ki ga lahko brezplačno uporabljajo. V omrežje lahko registrirajo svoje senzore in jih znotraj pokrivanja tudi prenašajo. Trenutno ima občina na treh lokacijah posode za zbiranje odpadnega olja, na njih so nameščeni senzori IoT, ki merijo raven olja v posodah. Občina preko aplikacije spremlja njihovo napolnjenost in skrbi za pravočasno praznjenje.

Več o projektu: <https://www.skofjaloka.si/objava/641721>

III.3.2 Proizvajalci opreme in aplikacij IoT

Globalno je proizvajalcev opreme in razvijalcev aplikacij veliko. Analiza trga je pokazala, da so nekateri senzori res univerzalno uporabni (npr. za merjenje temperature, vlage in podobno), vendar se razlikujejo po: merilnih protokolih (npr. MQTT), načinu posredovanja podatkov in vrsti lokalnega zbiranja podatkov do dostopovnih točk (npr. LoRaWAN) in po povezljivosti v omrežje (internet) (npr. 5G).

V nadaljevanju je zbranih nekaj proizvajalcev/razvijalcev opreme in aplikacij, mnogi od njih ponujajo tudi celovite rešitve na ključ.

- Bivocom: <https://www.bivocom.com/>, NB-IoT in LTE-M senzori, prehodi in usmerjevalniki, prehodi 5G, industrijski prehodi IoT;
- Inhand Networks: <https://www.inhandnetworks.com/>, celični modemi, prehodi in usmerjevalniki, oblačne platforme;
- Milesight: <https://www.milesight.com/>, LoRa senzori in prehodi, video kamere 5G;
- Moko Smart: <https://www.mokosmart.com/>, Bluetooth prehodi in modemi, LoRaWAN naprave (senzori, prehodi), WiFi naprave, prilagojene rešitve za kmetijstvo;
- Multitech: <https://www.multitech.com/>, senzori, prehodi, usmerjevalniki LoRa in LTE, prilagojene rešitve za kmetijstvo;
- Robustel: <https://www.robustel.com/>, usmerjevalniki 5G IoT, prehodi LoRaWAN, industrijski prehodi IoT, celični modemi, aplikacije v oblaku;
- Sierra Wireless: <https://www.sierrawireless.com/>, prehodi in usmerjevalniki IoT, moduli NB-IoT in LTE-M;

IV. SKLEPNE UGOTOVITVE

Poglavje kratko pojasnjuje odgovore na vprašanja, ki jih je zastavila projektna naloga. Ugotovitve so združene v tri sklope.

IV.1 PRIMERNOST IN POGOJI ZA UVEDBO TEHNOLOGIJ IOT

Primernost

Analizirano v tem dokumentu daje jasen odgovor glede uporabe IoT v kmetijstvu. Tehnologija IoT je primerna za digitalizacijo kmetijstva, še več je ena temeljnih tehnologij ki omogočajo natančno kmetijstvo. Uporaba IoT v kmetijstvu je nesporno koristna in bo pomenila dolgoročno pozitiven vpliv na podnebne spremembe. Z uvedbo najbolj primerne tehnologije IoT za posamezno panogo kmetijstva se lahko pozitivni učinki na zmanjšano onesnaženje vode, tal ali zraka, pokažejo že zelo hitro.

Glede na geografsko razgibanost Slovenije in odlično pokritost z omrežji slovenskih mobilnih operaterjev, je za izbiro povezljivosti smiselno izbrati omrežje 4G/5G. Pravzaprav dilema ali izbrati 4G ali 5G niti ni potrebna, saj sta obe tehnologiji načrtovani tako, da sobivata, kar pomeni, da si delita frekvenčni spekter. Omrežje 4G nudi pokrivanje sedanosti, omrežje 5G pa bližnje prihodnosti. Komunikacijski moduli 4G se že danes vgrajujejo v dostopovne točke IoT, vedno več pa je tudi takšnih, ki za povezljivost uporabljajo 5G. Glede na razvoj omrežij, lahko pričakujemo dobro pokrivanje s tehnologijo 5G že do leta 2025. Do takrat se bo povečalo tudi število modulov IoT, ki bodo za povezljivost uporabljali omrežje 5G.

Zagotavljanje pokrivanja na nižjih frekvencah—700 MHz in 800 MHz—omogoča odlično pokrivanje podeželskega dela Slovenije (kjer živi 75 % prebivalstva) ter omogoča dodatno nameščanje baznih postaj v primeru potreb.

Za dostopovne točke IoT je smiselno izbrati tehnologijo LoRaWAN, ker ima ta najbolj razvejan trg (cenovno dostopnih) senzorjev, ki lahko pokrije vse potrebe sodobnega kmetijstva. Prav tako na trgu obstaja dobra ponudba baznih postaj/dostopovnih točk LoRaWAN, ki jih lahko uporabniki (kmetije) postavijo sami in si tako zgradijo lastno omrežje za svoje potrebe. Lahko pa koristijo tudi podatke iz javne mreže LoRa (npr, podatke o temperaturi, vetru, padavinah, itd.), tako da se naročijo na storitve javnega spletnega portala, ki te podatke beleži in analizira. Za tehnologijo LoRaWAN imamo v Sloveniji kar nekaj ponudnikov opreme in razvejano javno mrežo dostopovnih točk.

Dobra izbira za določene kmetijske aplikacije sta tehnologiji NB-IoT ali LTE-M. Obe sta primerljivo uporabni, ponujata dober kompromis med uporabo širokopasovnih in ozkopasovnih aplikacij ter dobro energetsko učinkovitostjo. Obe tehnologiji sta pripravljeni na prihodnost in bosta operativni vsaj do leta 2030, verjetno pa še precej dlje. Za omrežje skrbijo mobilni operaterji, skrb uporabnikov pa so senzori in upravljanje z njimi. Glede čezmejnega pokrivanja (kar v Sloveniji redko pride v poštev)

je boljša tehnologija LTE-M, ker omogoča boljšo programsko nadgradljivost in mednarodno gostovanje.

Pogoji

Osnovni tehnološki pogoj za razvoj IoT je povezljivost ter razpoložljivost ustreznih senzorskih naprav.

Drugi pogoj je ustrezna cena povezljivosti in cena naprav. Povezljivost je lahko brezplačna, če uporabnik postavi preprosto omrežje sam, kar pa skoraj ni mogoče, saj kmetje ne poseduje dovolj znanj, navadno pa tudi ne sredstev za financiranje izvedbe zunanjih izvajalcev.

Dodatni pogoji za dejansko uporabo na IoT temelječih rešitev so:

- zavedanje kmetov o možnostih uporabe IoT—nujna je promocija uporabnosti tehnologije v smislu digitalizacije kmetijstva;
- ustrezne spodbude za uporabo v smislu usposabljanja in finančne pomoči—velja predvsem za srednje in manjše kmetije.

IV.2 PRILOŽNOSTI IN KORISTI NOVIH TEHNOLOGIJ

Priložnosti in koristi digitalne transformacije, katere del je tudi uvajanje IoT v kmetijstvu, ki jih navaja Evropska komisija, so predvsem.

- povečana ekonomska in okoljska učinkovitost, ki omogoča kmetom rast,
- okoljska trajnost, ki omogoča kmetijstvu da postane bolj zeleno,
- konkurenčnost digitalne oskrbovalne verige EU,
- izboljšanje delovnih pogojev za kmete,
- povečanje transparentnosti dobavne verige.

Neposredno zaznane **koristi** za okolje in kmete so:

- manjša količina porabljenih škropiv,
- učinkovitejše namakanje,
- ciljna poraba gnojil,
- pravočasno pobiranje pridelkov,
- boljši življenjski pogoji pri reji živali,
- itd.

IV.3 IZZIVI IN POTENCIAL NOVIH TEHNOLOGIJ

Izzivi

Kmetje v EU se srečuje z izzivi, ki so povezani predvsem z negotovostjo povezano z vremenom, cenami in prihodki. Veliko kmetijskih delavcev dela na kmetiji zgolj delno ali so samozaposleni, zato se pri večjih sezonskih delih na kmetijah zanašajo na sezonske delavce. Sektor se sooča s pomanjkanjem delavcev z ustreznimi strokovnimi znanji. Ključne izzive s katerimi se sooča kmetijski sektor v Sloveniji smo podrobno opisali v prvem poglavju. Omejeni so proizvodni viri, 75 % zemlje je v območjih z omejenimi možnostmi pridelave (pretežno hribovit svet), neugodna je starostna

struktura kmetov (57 let), imamo velik delež neprofesionalnih samooskrbnih kmetij in ključni sektor v Sloveniji je reja živali.

Kot kaže analiza, so konkretni izzivi zelo povezani s tem kje geografsko se kmetija nahaja, z velikostjo kmetije, številom živali na kmetiji ter s starostjo in izobrazbo upravljalcev kmetij.

Pri reševanju vseh naštetih izzivov lahko pomagajo digitalne tehnologije, med katerimi je tudi IoT. Pri implementaciji digitalnih rešitev se v EU pojavljajo predvsem naslednje omejitve:

- povezljivost,
- zavedanje glede koristi, ki jih prinašajo sodobne tehnologije,
- interoperabilnost sistemov,
- znanja kmetov,
- razmerje strošek-koristi,
- nepripravljenost deljenja podatkov.

Potencial

Potencial so praktično vse kmetije, seveda z ustrezno prilagojenimi rešitvami glede na njihovo velikost in vrsto kmetovanja. Ob ustreznih sistemskih rešitvah in spodbudah ni posebnih ovir, da bi postala uporaba IoT splošno uporabljena tehnologija za digitalizacijo kmetijstva in Slovenija ena najnaprednejših na tem področju v EU.

IV.4 ZAHTEVE IN NAČINI VPELJAVE NOVIH TEHNOLOGIJ

Zahteve

Zahteve po ključnih tehnologijah je smiselno razdeliti na tri segmente (senzorji, povezljivost in aplikacije), kot smo prikazali uvodoma in jih prilagoditi posebnostim glede na velikost kmetij.

Na ravni senzorjev moramo upoštevati posebnosti uporabe za doseganje posameznih ciljev, ki jih zasledujemo—precizno kmetovanje. Tehnološko je treba poiskati rešitve s čim manjšo porabo energije in združljivostjo s tehnologijo, ki zagotavlja povezljivost. Standardizirane rešitve, ki oddajajo informacije v obliki, da jo je mogoče uporabiti v aplikacijah, ki jih bodo uporabili kmetje.

Na ravni povezljivosti je osnovna zahteva možnost zagotovitve same povezljivosti za priključitev senzorjev, ki jo je potrebno obravnavati tako, kot je kot pojasnjeno uvodoma.

Na ravni aplikacij je smiselno uporabiti pristop, ki sledi velikosti uporabnikov.

—Za velike kmetije so primerne že razvite rešitve na ravni EU oziroma vključevanje takšnih kmetij v evropske raziskovalne projekte/razpise. Implementacija naj se v prvi fazi osredotoči na te kmetije.

—Za srednje velike kmetije je smiselno razviti platformo na kateri se zbirajo in so dostopni javno dostopni nacionalni podatki (*open data*), ki jih lahko kmetje kombinirajo z lastnimi mikro podatki, zbranimi na svojih kmetijah. Razvoj platforme lahko financira država ali preko kombiniranih instrumentov EU.

—Za majhne kmetije je smiselno razviti lastno platformo, lahko pa se uporabi ista kot za srednje kmetije, pri čemer je glede na finančno moč teh kmetij potrebno razmisliti oziroma predvideti sredstva tudi za nakup senzorjev ter IKT-opreme za delo in obdelavo zbranih podatkov.

IV.5 VPETOST TEHNOLOGIJ V SKUPNO KMETIJSKO POLITIKO

To poglavje se navezuje na vodila *Strateškega načrta skupne kmetijske politike 2023–2027 za Slovenijo*³⁵ (25. 8. 2022), s katerim želi Republika Slovenija uresničiti devet (9) specifičnih ciljev evropske skupne kmetijske politike in enega (1) horizontalnega, ki se glasi:

»modernizacija kmetijstva in podeželja s spodbujanjem znanja, inovacij in digitalizacije«.

Krovni cilji skupne evropske kmetijske politike za obdobje 2023–2027 so konkurenčnost in odpornost kmetijskega sektorja, varstvo okolja in podnebja ter skladen razvoj podeželja. Krovna usmeritev slovenskega strateškega načrta skupne kmetijske politike 2023–2027 (v nadaljevanju SN SKP 2023–2027) je v kontekstu prehranske in energetske draginje ter podnebnih in okoljskih izzivov zagotoviti trajnostno pridelavo hrane na celotnem območju države in povečati samooskrbo, pri čemer so pomembna vsa območja in vsa kmetijska gospodarstva, ne glede na velikost, usmeritev ali tržno usmerjenost. Ta krovna usmeritev podaja odgovore na izzive prehranske varnosti kot tudi na okoljsko–podnebne izzive, ki so pred nami.³⁶

Strateški načrt SKP 2023–2027 v strateški izjavi eksplicitno navaja, da ni uspešnega razvoja slovenskega kmetijstva in podeželja brez učinkovitega prenosa znanja in inovacij ter uvajanja digitalizacije. Slovenija se je zavezala, da bo spodbujala razvojne mreže deležnikov v sistemu AKIS (ang. Agricultural Knowledge and Innovation System), demonstracijske projekte, specializirana svetovanja in usposabljanja. Posebna pozornost je namenjena usposabljanju kmetijskih in gozdarskih svetovalcev, ki so eden izmed ključnih deležnikov v sistemu prenosa znanja. V SN SKP 2023–2027 se obseg finančnih sredstev za sistem AKIS povečuje glede na PRP 2014–2020, ko je bilo za izvajanje ukrepov prenosa znanja, svetovanja in inovativnosti namenjenih 3,49 milijona evrov letno. V SN SKP 2023–2027 se za AKIS namenja 33,26 milijonov evrov (oz. 6,65 milijona evrov letno), kar na letni ravni v primerjavi s prejšnjim obdobjem pomeni 90,6 % povečanje alokacije sredstev za sistem AKIS, s čimer izkazuje svojo zavezanost za njegovo krepitev. Sistem AKIS bo osredotočen na vsebine prehoda v zeleno, digitalno in podnebno nevtrarno kmetijstvo. Financiran bo tudi z nacionalnimi sredstvi za kmetijsko izobraževanje, znanstveno–raziskovalno dejavnost in delovanje javnih služb. Za področje digitalizacije pa bodo na voljo tudi sredstva v okviru Načrta za okrevanje in odpornost (28,3 milijonov evrov).

³⁵ Strateški načrt skupne kmetijske politike 2023–2027 za Slovenijo (poročilo): https://skp.si/wp-content/uploads/2022/08/SFC2021-2023_1.1_20220825.pdf

³⁶ Skupna kmetijska politika: <https://skp.si/skupna-kmetijska-politika-2023-2027>

Glede na navedeno lahko ugotovimo, da SN SKP 2023-2027 ustrezno naslavlja potrebe glede uvajanja digitalizacije in IoT kot enega njenih najpomembnejših tehnologij za prihodnji razvoj slovenskega kmetijskega sektorja. Kot ugotavlja študija pa je potrebno projekte zasnovati strateško in prilagojeno slovenskim specifičnim razmeram.

V. PRIPOROČILA

Priporočen terminski načrt uvajanja tehnologije IoT v slovensko kmetijstvo je podan v naslednji preglednici:

Obdobje	Dokument	Vsebina
2023	Podlage za pilotne projekte	- Tehnološke potrebe (senzorji, povezljivost, aplikacije)/enoto (veliko, srednjo, majhno kmetijo) - Analiza SWOT - Analiza stroškov in koristi - Finančna konstrukcija/enoto (npr. kmetijsko površino, število glav živine)
2023–2024	Izvedba in financiranje pilotnih projektov	(1) 1 velika kmetija (nad 20 ha) (2) 1 srednje velika kmetija (3 do 20 ha) (3) 3 majhne kmetije (pod 3 ha) (4) 2 kmetiji s 6 do 10 glavami živine (5) 2 kmetiji s pridelavo sadja (npr. 1 večji pridelovalec jabolk ali 1 vinograd) (6) 2 rastlinjaka za gojenje zelenjave
2025–2030	Implementacija rešitev za vso Slovenijo:	
2025–2027	-velike kmetije (>20ha)	Kmetije in pridelovalci vseh velikosti
2026–2028	-srednje kmetije (3-20ha)	
2028–2030	-majhne kmetije (<3ha)	

Priporočamo, da se začnejo tehnološke novosti uvajati postopoma, najprej na velike kmetije (>20 ha), nato na srednje velike kmetije (3-20 ha) in na koncu na majhne kmetije (<3 ha). Dinamika uvajanja se lahko prilagaja uspešnosti pilotskih projektov in razvoju tehnologije.

Financiranje iz naslednjih virov:

- izvajanje ukrepov prenosa znanja, svetovanja in inovativnosti 2023-2027 (AKIS): 33,26 milijonov evrov.
- Načrt za okrevanje in odpornost: 28,3 milijonov evrov.

VI. VIRI

- Združeni narodi-vzdržni razvojni cilji: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>
- NASA-korelacija dviga globalne temperature na zemlji in koncentracije CO2: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/>
- Univerza v Oxfordu-emisije toplogrednih plinov po sektorjih: <https://ourworldindata.org/ghg-emissions-by-sector>
- Svetovna banka-podnebno pametno kmetijstvo: <https://www.worldbank.org/en/topic/climate-smart-agriculture>
- Kuhar, 2021-izzivi slovenskega kmetijstva: <https://www.kmetijskizavod.si/Portals/0/lombergarjevi/Slovensko%20kmetijstvo%20stanje%20in%20razvojni%20potencial%20v%20vinarstvu%20in%20vinogradni%C5%A1tvu.pdf?ver=2021-12-20-102913-440>
- Livestock's long shadow – Environmental issues (FAO): https://www.startus-insights.com//wp-content/uploads/dlm_uploads/2020/12/AgriTech_Trend_Report_StartUs-Insights.pdf
- StartUs, 10 inovacijskih trendov v kmetijstvu v letu 2022: <https://www.startus-insights.com/innovators-guide/agriculture-trends-innovation/>
- Wikipedia-Internet of Things: https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_of_things
- ITU-T Recommendation Y.2060: Global information infrastructure, internet protocol aspects and next-generation networks, Next Generation Networks – Frameworks and functional architecture models, Overview of the Internet of things
- Naprave IoT: <https://www.thethingsnetwork.org/marketplace/products/devices>
- Slovenski satelit za opazovanje Zemlje: <https://www.space.si/mikrosatelit/>
- Telenor-lastnosti omrežij, ki omogočajo povezljivost IoT: <https://iot.telenor.com/technologies/connectivity/>
- GEOPORTAL AKOS-pokrivanje z mobilnim signalom 4G: <https://gis.akos-rs.si>
- Strateški cilji pokrivanja z mobilnimi omrežji naslednje generacije: <https://www.gov.si/assets/vladne-sluzbe/SDP/Dokumenti/Nacrt.pdf>
- GSMA-komercialna omrežja IoT (2022): <https://www.gsma.com/iot/mobile-iot-commercial-launches/>
- GSMA-moduli IoT: <https://www.gsma.com/iot/mobile-iot-modules/>
- Sigfox: <https://www.unabiz.com/>
- LoRaWAN: <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/what-is-lorawan/>
- LoRaWAN v Sloveniji: <https://lorawan.si/>
- Pokritost z omrežjem LoRa v Sloveniji: <https://ttnmapper.org/heatmap/>
- Matter: <https://csa-iot.org/all-solutions/matter/>
- Zigbee: <https://csa-iot.org/all-solutions/zigbee/>
- Bluetooth: <https://www.bluetooth.com/specifications/>
- Satelitski IoT: <https://sateliot.space/en/>

- Telenor-aplikacije v oblaku: <https://iot.telenor.com/offering/managed-iot-cloud/>
- ETSI-kibernetska varnost: <https://www.etsi.org/technologies/cyber-security>
- Evropska komisija-digitalizacija kmetijskega sektorja: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/digitisation-agriculture>
- Škofja Loka-pametno mesto: <https://www.skofjaloka.si/objava/641721>
- Strateški načrt skupne kmetijske politike 2023–2027 za Slovenijo (poročilo): https://skp.si/wp-content/uploads/2022/08/SFC2021-2023_1.1_20220825.pdf
- Mokosmart-sistem IoT za pametno kmetijstvo: <https://www.mokosmart.com/smart-agriculture-iot-system/>
- EU-platforma za pametno kmetijstvo: <https://ec.europa.eu/eip/agriculture/en/find-connect/online-resources/smart-farming-platform>