

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEODETSKI FAKULTET
Katedra za satelitsku geodeziju

Kolegij: INTEGRIRANI SUSTAVI U GEOMATICI
Ak. god. 2025./2026.

Pametno selo

Seminarski rad

Ivan Pilekić
Marko Pintarić
Ana Solomun

SADRŽAJ

1. Uvod	3
2. Koncept pametnog sela u EU	4
2.1. Europske direktive i inicijative za pametna sela	4
2.2. Digitalni blizanci	5
3. Integrirani senzori u pametnim selima	6
3.1. Okolišni senzori	6
3.2. Poljoprivredni senzori	7
3.3. Infrastrukturni senzori	8
3.4. Uloga GNSS i GIS tehnologije	9
4. Internet stvari	10
4.1. IoT komunikacijska infrastruktura	10
4.2. Uloga IoT-a u pametnim selima	11
5. Softverska podrška pametnim selima	12
5.1. Open-source GIS alati	12
5.2. Prostorne baze podataka	13
5.3. Middleware – primjer FIWARE platforme	13
5.4. Primjer namjenski razvijene aplikacije (Njemačka)	14
5.5. Digitalni toolboxevi EU	15
6. Primjeri pametnih sela u EU	16
6.1. Pametna sela u Njemačkoj	16
6.2. Pametna sela u Španjolskoj	17
6.3. Pametna sela u Švedskoj	18
6.4. Hrvatski primjer projekta – Babina Greda	19
7. Prednosti i izazovi koncepta pametnih sela	20
8. Zaključak	21
9. Literatura i izvori	23

1. Uvod

Koncept pametnih sela (eng. *Smart villages*) posljednjih godina dobiva sve veću pozornost unutar Europske unije, kao odgovor na brojne izazove s kojima se suočavaju ruralna područja. Depopulacija, starenje stanovništva, slabija dostupnost javnih usluga, ograničena infrastruktura te gospodarska stagnacija potiču potrebu za inovativnim pristupima daljnjem razvoju sela. Projekti pametnih sela temelje se na primjeni suvremenih tehnologija, a naglasak je na informacijskim i komunikacijskim tehnologijama (ICT), Internetu stvari (IoT), integriranim sensorima te geoinformatici. Cilj seminara je analizirati ulogu integriranih senzora i softvera koji se primjenjuju u razvoju pametnih sela, s posebnim naglaskom na geoinformatičke aspekte, na temelju europskih inicijativa koje reguliraju projekte te konkretnih studija slučaja.

Pojam “smart” u kontekstu pametnih sela ne označava isključivo pametna rješenja u doslovnom smislu, već se odnosi na akronim SMART, koji označava kriterije: *Specific* (specifično), *Measurable* (mjerljivo), *Achievable* (ostvarivo), *Relevant* (relevantno) te *Time-bound* (vremenski određeno). U tom smislu, projekti pametnih sela trebaju biti jasno definirani i prilagođeni lokalnom kontekstu (*Specific*), temeljeni na konkretnim podacima i pokazateljima koji se mogu pratiti i mjeriti (*Measurable*), realno izvedivi s obzirom na financijske i ljudske resurse (*Achievable*), usmjereni na konkretne, stvarne potrebe lokalne zajednice (*Relevant*) te planirani u jasno određenim vremenskim okvirima (*Time-bound*).

2. Koncept pametnog sela u EU

Pametna sela definiraju se unutar EU kao ruralne zajednice koje koriste inovativna rješenja i digitalne tehnologije kako bi poboljšale kvalitetu života svojih stanovnika, povećale učinkovitost lokalnih usluga i potaknule održivi razvoj. Za razliku od pametnih gradova, gdje je naglasak često na velikim infrastrukturnim sustavima i prilagodbi visokoj gustoći stanovništva, pametna sela fokusiraju se na digitalnu povezanost (širokopojasni internet), pametne elektroničke usluge, održivo upravljanje resursima (energija, voda, poljoprivreda itd.). Vrlo važan aspekt koncepta je i sudjelovanje samog stanovništva, kako bi se učinkovito zadovoljile njihov konkretne potrebe, a oslonac za odlučivanje su lokalni resursi i znanje lokalnih stručnjaka

Europska unija prepoznala je potencijal pametnih sela kroz niz strateških dokumenata i inicijativa te se kroz njih reguliraju za njih vezani projekti i razvoj. Radi se o inicijativama i politikama koje se bave ruralnim razvojem, digitalnom transformacijom i održivim upravljanjem prostorom. Europske direktive i inicijative stvaraju strateški i financijski okvir unutar kojeg se pametna sela razvijaju. Geodetska struka i prostorni podaci tu imaju ključnu ulogu, budući da predstavljaju temelj za provedbu digitalnih i senzorskih rješenja.

2.1. Europske direktive i inicijative za pametna sela

Jedan od temeljnih okvira za projekte pametnih sela je Zajednička poljoprivredna politika (CAP), koja naglašava inovacije i održivost u ruralnim područjima. Kroz CAP se financiraju projekti koji potiču primjenu modernih tehnologija pri upravljanju prostorom, uključujući senzorske sustave, preciznu poljoprivredu i općenito digitalizaciju.

Važnu ulogu ima i Europska mreža za ruralni razvoj (ENRD), čije metodološke smjernice ističu da sela trebaju kombinirati digitalne tehnologije s društvenim inovacijama, oslanjajući se na lokalne resurse, znanje i sudjelovanje stanovnika. ENRD je jedan od glavnih promicatelja koncepta pametnih sela te kroz studije slučaja, radionice i tematske skupine potiče njegovu implementaciju diljem EU.

Zbog aspekta digitalne transformacije, značajna je i Digitalna agenda za Europu i šira strategija digitalne transformacije EU-a. Ovi dokumenti naglašavaju važnost širokopojasnog interneta, digitalnih vještina stanovništva i interoperabilnih informacijskih sustava. Za pametna sela to znači stvaranje infrastrukturnih preduvjeta za primjenu ključnih tehnologija, kao što su IoT i GIS.

Koncept pametnih sela također je povezan s ciljevima Zelenog plana, koji promiče održivo upravljanje resursima, energetska učinkovitost i prilagodbu klimatskim promjenama. Senzorski sustavi i prostorne analize omogućuju praćenje okolišnih pokazatelja i donošenje odluka temeljenih na podacima, što pametna sela čini jednim od mogućih načina provedbe zelenih politika.

Također, važan europski pravni i tehnički okvir predstavlja INSPIRE direktiva, čiji je cilj uspostava jedinstvene geoinformacijske infrastrukture u EU. INSPIRE definira standarde za prikupljanje, razmjenu i interoperabilnost prostornih podataka, čime se omogućuje njihova uporaba u različitim sektorima, uključujući i ruralni razvoj i pametna sela. U kontekstu pametnih sela, INSPIRE omogućuje povezivanje postojećih prostornih podataka (npr. katastarskih podataka, podataka o infrastrukturi) s podacima dobivenima iz integriranih senzora. INSPIRE direktivom se uz to osiguravaju kvaliteta i točnost prostornih podataka, što je preduvjet za izradu digitalnih blizanaca sela, prostorno planiranje i napredne GIS analize.

2.2. Digitalni blizanci

Digitalni blizanac je virtualni, prostorno referencirani prikaz stvarnog prostora ili sustava koji se kontinuirano ažurira podacima iz senzora. U kontekstu pametnih sela, digitalni blizanac može obuhvaćati infrastrukturu, okoliš, poljoprivredne površine i energetske sustave. Kako bi takav model bio pouzdan, nužno je da se temelji na standardiziranim prostornim podacima. Taj standard osigurava primjena INSPIRE direktive, kroz definirane teme prostornih podataka, jedinstvene referentne sustave i interoperabilne modele podataka. Time se omogućuje da se podaci iz različitih izvora objedine u jedinstveni digitalni model prostora.

3. Integrirani senzori u pametnim selima

Integrirani senzori predstavljaju temeljnu komponentu pametnih sela jer omogućuju kontinuirano i nepristrano prikupljanje podataka o ruralnom prostoru, okolišu i procesima koji se u njemu odvijaju. Uloga geodezije i geoinformatike je senzore prostorno referencirati te podatke dobivene pomoću njih integrirati kroz GIS okruženja. U pametnim selima senzori se najčešće postavljaju kao fiksni, ali mogu biti i mobilni (npr. montirani na vozila ili strojeve).

3.1. Okolišni senzori

Okolišni senzori koriste se za mjerenje fizikalnih i kemijskih parametara okoliša, poput temperature zraka, relativne vlage, atmosferskog tlaka, količine oborina, brzine i smjera vjetra (Slika 1.), kvalitete i zagađenja zraka te kakvoće površinskih i podzemnih voda.



Slika 1. IoT senzor za monitoring vjetra.²⁵

Ključni aspekt primjene okolišnih senzora nije samo njihova tehnička funkcija, već i njihovo optimalno prostorno pozicioniranje. Prije same instalacije senzora, GIS se koristi za provedbe analiza s ciljem određivanja optimalnih lokacija za njihovo postavljanje na temelju prostornog konteksta, uključujući topografiju terena, nadmorsku visinu, ekspoziciju, blizinu izvora zagađenja, vodotoka, prometnica i sl. Korištenjem digitalnih

modela reljefa (DMR), slojeva korištenja zemljišta i klimatskih podataka, moguće je odrediti lokacije koje su reprezentativne za šire područje, ali i one koje su kritične iz aspekta praćenja promjena u okolišu.

U pametnim selima, integracija okolišnih senzora i GIS-a omogućuje donošenje odluka temeljenih na senzorskim podacima, poput ranog upozoravanja na ekstremne vremenske uvjete, praćenja onečišćenja ili optimizacije upravljanja prirodnim resursima.

3.2. Poljoprivredni senzori

Poljoprivreda je jedno od najvažnijih područja primjene integriranih senzora te GNSS tehnologije u pametnim selima. Cilj njihove primjene je optimizacija poljoprivredne proizvodnje kroz smanjenje troškova i negativnog utjecaja na okoliš. Integracija precizne poljoprivrede u koncept pametnih sela omogućuje razmjenu podataka između poljoprivrednika, lokalne zajednice i upravljačkih sustava.

Poljoprivredni senzori koji se koriste u preciznoj poljoprivredi uključuju senzore vlage tla (Slika 2.), temperature tla, pH vrijednosti te dronove za praćenje stanja usjeva. Ovi senzori prikupljaju podatke na različitim lokacijama unutar poljoprivrednih parcela, čime se dobiva uvid u prostornu varijabilnost tla i usjeva. Svi senzori su, kao i okolišni, prostorno referencirani te se podaci koji daju s ciljem boljeg donošenja odluka obrađuju, analiziraju i vizualiziraju pomoću GIS-a.



Slika 2. IoT senzor vlage tla.²⁶

GNSS tehnologija ima veliku primjenu kod poljoprivrednih senzora, budući da upravo ona omogućuje točno pozicioniranje senzora, poljoprivrednih strojeva i mjernih točaka. Korištenjem GNSS-a, i to augmentiranih sustava poput GBAS-a (Ground-Based Augmentation System) ili nacionalnih mreža referentnih GNSS stanica (npr. CROPOS), postiže se centimetarska točnost pozicioniranja. Takva razina točnosti nužna je za precizno navođenje poljoprivredne mehanizacije, optimalnu primjenu gnojiva i pesticida te izvođenje složenijih tehničkih zahvata.

3.3. Infrastrukturni senzori

Infrastrukturni senzori imaju važnu ulogu u pametnim selima jer omogućuju praćenje stanja i funkcioniranja komunalne i tehničke infrastrukture u stvarnom vremenu. U ruralnim područjima, gdje je održavanje često ograničeno i nepravovremeno, senzorski sustavi omogućuju učinkovitije upravljanje i pravovremeno reagiranje na kvarove.

Primjeri infrastrukturnih senzora uključuju senzore protoka i tlaka u vodoopskrbnim sustavima, senzore curenja vode, pametna brojila električne energije, senzore potrošnje plina, senzore stanja ulične rasvjete (Slika 3.), te senzore vibracija i opterećenja na prometnicama. Ovi senzori omogućuju kontinuirano praćenje infrastrukture i rano otkrivanje problema, čime se smanjuju troškovi održavanja i gubici resursa.



Slika 3. Ulična rasvjeta s različitim sensorima.²⁷

Infrastrukturni senzori u pametnim selima također se promatraju kroz kontekst GIS-a i prostornih podataka. Katastar nekretnina, katastar infrastrukture, topografske karte i pogonski katastri upravitelja infrastrukturom predstavljaju osnovu za prostorno lociranje senzora i interpretaciju njihovih opažanja. Podaci infrastrukturnih senzora ponekad se objedinjuju i kroz specijaliziranu vrstu GIS-a, komunalne informacijske sustave (KIS). KIS je informacijski sustav koji objedinjuje prostorne podatke o komunalnoj infrastrukturi, podatke iz katastra, različitih baza podataka o održavanju i podatke dobivene iz senzorskih sustava.

3.4. Uloga GNSS i GIS tehnologije

Globalni navigacijski satelitski sustavi (GNSS) imaju izuzetno važnu ulogu u pametnim selima, budući da su temeljna tehnologija za precizno pozicioniranje svih vrsta fiksnih senzora. Uz to, GNSS se koristi i za praćenje mobilnih senzora, primjerice na vozilima ili poljoprivrednoj mehanizaciji. U preciznoj poljoprivredi, GNSS omogućuje precizno vođenje poljoprivrednih strojeva, npr. traktora. Osim toga, GNSS je ključan za integraciju senzorskih podataka u jedinstveni prostorni referentni sustav, što omogućuje kasniju analizu podataka u GIS okruženju.

GIS sustavi predstavljaju integracijsku platformu u kojoj se senzorski i GNSS podaci objedinjuju s postojećim prostornim bazama podataka, poput katastra, topografskih karata i tematskih slojeva. U GIS-u se senzorski podaci povezuju s prostornim objektima, analiziraju se njihovi prostorno-vremenski obrasci te se izrađuju karte, modeli i analitički izvještaji.

Integracija senzora, GNSS tehnologije i geoinformatičkih sustava predstavlja središnji element koncepta pametnih sela, jer omogućuje povezivanje fizičkog prostora s njegovim digitalnim prikazom. Ona omogućuje razvoj naprednih funkcionalnosti poput digitalnih blizanaca, sustava ranog upozoravanja i optimizacije upravljanja resursima. Na primjer, podaci iz okolišnih senzora mogu se analizirati u odnosu na reljef i korištenje zemljišta, dok se infrastrukturni senzori povezuju s katastarskim evidencijama radi učinkovitijeg održavanja.

4. Internet stvari

Internet stvari (eng. *Internet of Things – IoT*) predstavlja još jednu temeljnu tehnologiju u konceptu pametnih sela, jer omogućuje povezivanje senzora, uređaja i informacijskih sustava u jedinstvenu mrežu. Prema definiciji IEEE-a, Internet stvari je mreža uređaja, senzora, vozila i strojeva povezanih zajedničkom komunikacijskom infrastrukturom i softverskom podrškom, koja omogućuje tim objektima prikupljanje i razmjenu podataka. IoT ne obuhvaća samo senzore, već cjelokupni sustav koji uključuje fizičke uređaje, komunikacijsku infrastrukturu (bežična mreža), mjesto za pohranu i obradu podataka, kao što je server ili cloud, te aplikacijski sloj za pregled, obradu i analizu podataka (GIS, web-sučelja, mobilne aplikacije).

4.1. IoT komunikacijska infrastruktura

Zbog prostorne raspršenosti i ograničene, često nedovoljno razvijene infrastrukture u ruralnim područjima, pametna sela najčešće koriste komunikacijske tehnologije prilagođene niskoj potrošnji energije i velikom dometu. Jedna od najčešće primjenjivanih tehnologija je LoRaWAN (Long Range Wide Area Network), koja omogućuje pouzdan prijenos malih količina podataka na udaljenostima od nekoliko kilometara. LoRaWAN se temelji na LoRa radio-odašiljačima niske snage (Slika 4.) koji se montiraju na same senzore, a omogućuju prijenos malih količina podataka uz izuzetno nisku potrošnju energije, zbog čega senzori mogu raditi mjesecima ili godinama bez zamjene baterija.

Tipične udaljenosti prijena LoRaWAN signala u ruralnim područjima kreću se od 5 do 15 kilometara, a u povoljnim uvjetima mogu biti i veće. LoRaWAN se često koristi za povezivanje okolišnih i poljoprivrednih senzora, poput senzora vlage tla, temperature i kvalitete zraka. Senzori šalju podatke prema LoRaWAN gateway uređajima, koji prikupljene podatke opažanja senzora konvertiraju u digitalni oblik te ih prosljeđuju putem internetske veze (npr. optičke ili mobilne mreže) prema centralnoj IoT platformi, odnosno serveru.



Slika 4. IoT senzor za tlak zraka s ugrađenim LoraWAN odašiljačem.²⁸

4.2. Uloga IoT-a u pametnim selima

U kontekstu pametnih sela, IoT omogućuje kontinuirani dotok podataka iz ruralnog prostora, njihovu obradu u stvarnom vremenu te integraciju s GIS sustavima. Senzorski podaci prikupljeni putem IoT mreža povezuju se s prostornim podacima u GIS-u, čime se osigurava ažurnost i realističnost digitalnih prikaza prostora, kao što su digitalni blizanci. U pametnim selima IoT tako predstavlja poveznicu između fizičkog prostora i njegovog digitalnog prikaza, omogućujući praćenje stanja okoliša u stvarnom vremenu, simulacije, informiranje samog lokalnog stanovništva i donošenje odluka temeljenih na podacima. Iz tog razloga, IoT zauzima središnje mjesto u integriranim senzorskim sustavima i predstavlja jednu od ključnih tehnologija u razvoju pametnih sela.

5. Softverska podrška pametnim selima

Softverska podrška predstavlja jedan od ključnih elemenata uspješne implementacije pametnih sela jer omogućuje integraciju, obradu i vizualizaciju podataka dobivenih iz senzorskih sustava. Iz europskih projekata vidljivo je da u području pametnih sela trenutačno ne postoji jedinstvena, standardizirana softverska platforma koju bi sva sela koristila, već se primjenjuje kombinacija open-source alata, komercijalnih rješenja i lokalno razvijenih aplikacija. Ovakav pristup omogućuje prilagodbu specifičnim potrebama stanovništva, ali istovremeno predstavlja izazov zbog interoperabilnosti i standardizacije.

5.1. Open-source GIS alati

Open-source GIS alati omogućuju obradu, analizu i vizualizaciju prostornih podataka bez visokih troškova licenciranja. Među njima se najčešće ističe QGIS, koji se široko koristi u projektima zbog svoje proširivosti *plug-inovima* i kompatibilnosti s različitim formatima podataka. GIS alati koriste se za mnoge funkcionalnosti koje su izravno povezane s integracijom senzora i prostornih podataka. Jedna od osnovnih funkcija je upravljanje prostornim slojevima, uključujući katastar, infrastrukturu, i korištenje zemljišta, koji služe kao prostorna podloga i za pozicioniranje senzora i interpretaciju njihovih mjerenja.

GIS softver omogućuje i prostorne analize, poput analize udaljenosti, preklapanja slojeva i interpolacije podataka, što je posebno važno kod okolišnih i poljoprivrednih senzora. Na temelju senzorskih mjerenja moguće je izrađivati npr. karte varijabilnosti, zone upravljanja i tematske karte koje služe kao podloga za donošenje odluka. Uz to, GIS se koristi za vizualizaciju GNSS trajektorija, uključujući tragove kretanja poljoprivredne mehanizacije ili mobilnih senzora. Integracijom vremenskih atributa podataka sa senzora u GISU-u se omogućuju i prostorno-vremenske analize, čime se prate razne promjene u ruralnom prostoru kroz vrijeme.

5.2. Prostorne baze podataka

Prostorne baze podataka predstavljaju još temeljnu komponentu softvera primjenjivanog u konceptu pametnih sela, budući da omogućuju pouzdanu pohranu, upravljanje i analizu velikih količina prostornih, vremenski promjenjivih podataka. Primjer često korištene prostorne baze podataka je PostgreSQL s prostornim proširenjem PostGIS. Korištenjem prostornih baza podataka omogućuje se skalabilnost sustava, rad mnogo korisnika istovremeno i interoperabilnost s drugim softverskim komponentama.

Prostorne baze podržavaju pohranu i vektorskih i rasterskih prostornih podataka, definiranje prostornih indeksa te izvođenje različitih prostornih upita i analiza. Svaki senzorski zapis može se pohraniti u bazu sa svojim prostornim koordinatama i vremenskom oznakom, što za pametna sela omogućuje učinkovite prostorno-vremenske analize, primjerice za praćenje okolišnih promjena, upravljanje infrastrukturom i preciznu poljoprivredu.

5.3. Middleware – primjer FIWARE platforme

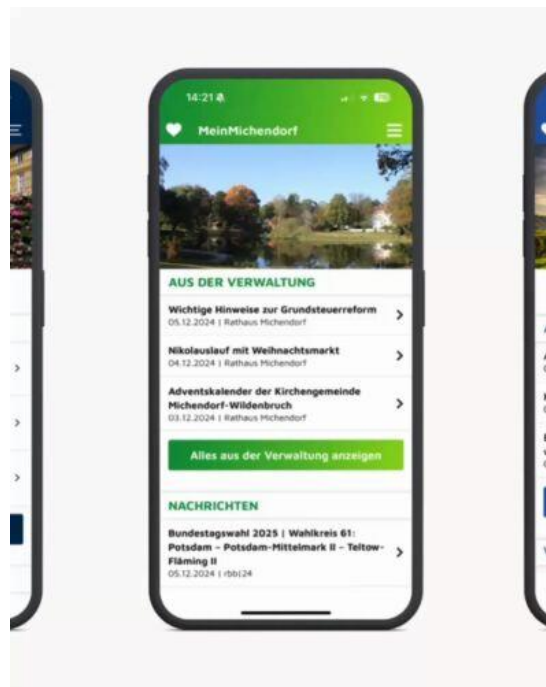
FIWARE predstavlja primjer open-source platforme razvijene u EU s ciljem olakšavanja razvoja pametnih aplikacija i usluga, a često se koristi u projektima pametnih gradova i pametnih sela. FIWARE nije klasičan GIS softver, već middleware platforma (posrednik) između IoT integriranih senzora, baza podataka i krajnjih aplikacija. Senzorski podaci iz IoT mreža šalju se prema FIWARE-u, gdje se pohranjuju kao kontekstne informacije povezane s određenim objektima ili lokacijama.

FIWARE omogućuje standardiziranu razmjenu podataka korištenjem otvorenih API-ja, što olakšava integraciju s sa svim elementima IoT-a. Kombinacijom FIWARE platforme i GIS alata ostvaruje se cjelovit sustav u kojem FIWARE upravlja dinamičkim, vremenski promjenjivim podacima, dok GIS osigurava prostornu analizu i vizualizaciju.

5.4. Primjer namjenski razvijene aplikacije (Njemačka)

Iako ne postoji nikakav univerzalni softver za sva pametna sela u EU, ponegdje su razvijena rješenja koja su namjenski usmjerena na potrebe ruralnih zajednica (komunikacija s građanima, objedinjavanje lokalnih informacija i usluga te povezivanje s postojećim administrativnim sustavima). Smart Village App je primjer takvog rješenja u Njemačkoj, koje je razvijeno s ciljem da ga više općina može preuzeti i prilagoditi, umjesto da svaka jedinica lokalne samouprave razvija vlastite aplikacije. Aplikacija je zamišljena kao mreža općina koje međusobno razmjenjuju iskustva, funkcionalnosti i nadogradnje, s ciljem smanjenja troškova i ponovne upotrebe razvijenih komponenti.

Smart Village App nije platforma za IoT i GIS, već samo za krajnje korisnike, odnosno front-end korisničko sučelje (mobilna i web verzija; Slika 5.) za lokalne usluge i komunikaciju. Služi kao korisničko sučelje za prikaz već obrađenih podataka sa senzora (npr. informacije o stanju javnih usluga, obavijesti u slučaju izvanrednih događaja) i kao kanal za prijavu problema samom stanovništvu.



Slika 5. Mobilno sučelje SmartVillageApp aplikacije.²⁹

5.5. Digitalni toolboxevi EU

U razvoju pametnih sela Europska unija ne oslanja se isključivo na tehnička rješenja poput senzora, IoT i GIS softvera, već značajnu ulogu imaju i online alati i metodološke smjernice namijenjene općinama, tzv. digitalni toolboxevi. Digitalni toolboxevi namijenjeni su planiranju, evaluaciji i provedbi projekata pametnih sela, a ne njihovoj izravnoj tehničkoj implementaciji. Njihova je osnovna svrha pomoći općinama i s njima povezanim institucijama u razumijevanju koncepta pametnih sela, identifikaciji lokalnih potreba te odabiru prikladnih rješenja i izvora financiranja. Njihova je uloga osobito važna u manjim i slabije razvijenim ruralnim sredinama, gdje nedostatak stručnih i financijskih kapaciteta često predstavlja prepreku implementaciji pametnih rješenja.

Jedan od alata u je Smart Villages Digital Toolbox, razvijen uz podršku Europske komisije i Europske mreže za ruralni razvoj (ENRD). Korisnici kroz njega mogu analizirati stanje svoje lokalne zajednice, definirati ciljeve razvoja pametnog sela te identificirati relevantne europske inicijative i fondove koji mogu poduprijeti realizaciju projekata.

Drugi primjer je inicijativa Smart Rural 27, koja se temelji na pilot-projektima pametnih sela u 27 europskih ruralnih područja. U okviru ove inicijative razvijeni su digitalni alati koji omogućuju kartiranje postojećih i planiranih projekata pametnih sela na europskoj razini. Smart Rural 27 koristi prostorne prikaze i tematske karte kako bi se vizualizirali različiti primijenjeni modeli pametnih sela, njihove funkcionalnosti i korištene tehnologije. Na taj se način omogućuje usporedba različitih pristupa te razmjena iskustava između ruralnih zajednica.

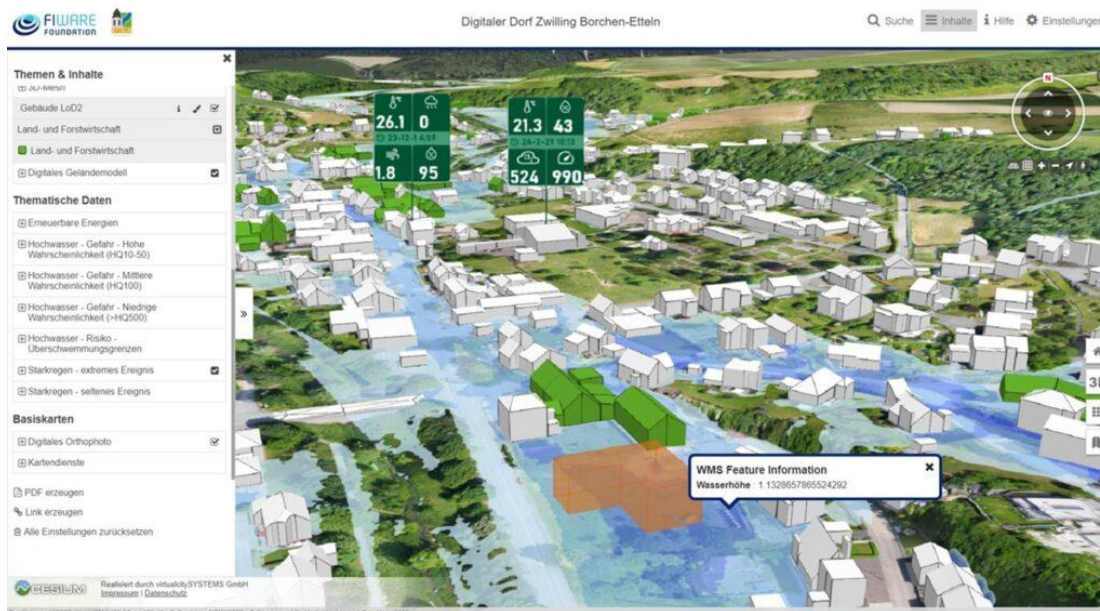
6. Primjeri pametnih sela u EU

Europska mreža za ruralni razvoj (ENRD), kao i brojni znanstveni i strateški dokumenti (OECD, FAO), naglašavaju da se pametna sela razvijaju kroz različite modele, ovisno o lokalnim potrebama, razini digitalne zrelosti i dostupnim resursima. U nastavku su analizirani neki europski primjeri, koji prikazuju različite pristupe implementaciji pametnih sela, s naglaskom na senzore, geoinformatičku infrastrukturu i softversku podršku.

6.1. Pametna sela u Njemačkoj

Njemačka se ističe kao jedna od vodećih zemalja u razvoju koncepta pametnih sela, a selo Etteln, u pokrajini Nordrhein-Westfalen, jedno je od najnaprednijih primjera. Projekt razvoja pametnog sela u Ettelnu temelji se na snažnoj integraciji IoT senzora, digitalnih platformi i prostornih analiza.

U Ettelnu se koriste senzori za praćenje potrošnje energije, javne rasvjete, okolišnih parametara i dijelova komunalne infrastrukture. Senzori su povezani putem LoRaWAN mreže, što omogućuje energetske učinkovitu komunikaciju u ruralnom prostoru. Prikupljeni podaci integrirani su u FIWARE platformu (Slika 6.), koja omogućuje centralizirano upravljanje podacima, a samim time razvoj digitalnog blizanca sela, koji je onda putem web-sučelja dostupan kao krajnji produkt stanovništvu. Iz geoinformatičke perspektive, ključno je da su svi senzorski podaci prostorno referencirani i integrirani u GIS, čime se omogućuje vizualizacija i analiza podataka u stvarnom vremenu. Etteln predstavlja primjer visokog stupnja digitalne zrelosti pametnog sela.



Slika 6. Digitalni blizanac sela Etteln temeljen na FIWARE platformi.³⁰

6.2. Pametna sela u Španjolskoj

Zbog velikih udaljenosti između naselja i izraženih zahtjevnih klimatskih uvjeta, naglasak kod pametnih sela u Španjolskoj stavljen je na osiguravanje bežičnih komunikacija, odnosno širokopojasnog interneta, ali i infrastrukture niske potrošnje, poput LoRaWAN-a, koje omogućuju povezivanje senzora na velikim područjima uz minimalne infrastrukturne zahtjeve.

Selo Ansó, smješteno u Pirenejima, u pokrajini Aragón, primjer je pametnog sela koje primjenjuje koncept pametnih sela prvenstveno u svrhu održivog ruralnog turizma. Za razliku od projekata koji su fokusirani na senzorske mreže i tehničku infrastrukturu, Ansó koristi pametna rješenja kako bi unaprijedilo upravljanje turističkim resursima. Ansó je razvilo digitalne turističke usluge koje uključuju web i mobilne platforme za informiranje posjetitelja, npr. o vremenskim uvjetima i sigurnosti pješačkih i planinarskih staza. Uz to, prati se i broj posjetitelja te sezonska opterećenja turističke infrastrukture, što je važno za učinkovito upravljanje prostorom i zaštitu okoliša.

6.3. Pametna sela u Švedskoj

Selo Veberöd u Švedskoj jedno je od primjera pametnog sela u okviru nacionalne inicijative IoT Sweden, koja potiče primjenu IoT-a u javnom sektoru i lokalnim zajednicama. Veberöd je primjer složene implementacije senzora i IoT-a u ruralnom okruženju, s ciljem poboljšanja kvalitete života, upravljanja okolišem i infrastrukturom i učinkovitijeg iskorištavanja resursa.

U Veberödu su implementirani različiti okolišni senzori, uključujući senzore za razinu buke, senzore temperature i relativne vlage zraka, senzore kvalitete zraka te senzore vlage tla na zelenim površinama. Osim okolišnih senzora, koriste se i mnogi infrastrukturni senzori, kao što su senzori javne rasvjete, koji omogućuju pametno upravljanje intenzitetom i vremenom rada rasvjete, kao i senzori mobilnosti u prometu, poput brojača pješaka, biciklista i automobila integriranih s umjetnom inteligencijom, koja procjenjuje o kojem tipu korisniku prometa se radi. Senzorski sustavi u Veberödu povezani su pute LoRaWAN mreže, a prikupljeni podaci šalju se prema centralnim IoT platformama, gdje se obrađuju i pohranjuju te dalje koriste za analizu i donošenje odluka.

U okviru projekta pametnog sela Veberöd razvijen je i 3D prostorni model naselja, koji predstavlja primjer digitalnog blizanca temeljenog na IoT-u (Slika 7.). Model obuhvaća područje površine približno 5 km², čime su obuhvaćeni stambeni dijelovi naselja, javni prostori, prometna infrastruktura i zelene površine te služi kao prostorna podloga za integraciju različitih skupova podataka, uključujući senzorske podatke prikupljene iz okolišnih i infrastrukturnih sustava.



Slika 7. 3D model i digitalni blizanac sela Veberöd.³¹

6.4. Hrvatski primjer projekta – Babina Greda

Općina Babina Greda, smještena u Vukovarsko-srijemskoj županiji, odabrana je 2025. godine za predstavnika iz Hrvatske u okviru europskog projekta „Pametne ruralne zajednice“ (Smart Rural), između 734 kandidata iz 25 država članica Europske unije. Strategija projekta pametnog sela Babine Grede usmjerena je na održivo gospodarstvo, inovativne tehnologije, pametnu poljoprivredu, razvoj kontinentalnog turizma i uključivanje svih dobnih skupina u lokalni razvoj.

U poljoprivrednom sektoru, planovi uključuju analize tla i suradnju sa Sveučilištem Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, s ciljem primjene ekološki prihvatljivih tehnologija u poljoprivrednoj proizvodnji. Tom suradnjom planiran je razvoj aplikacija za nadzor zdravlja usjeva i korištenje dronova za precizno praćenje stanja na poljima, što zahtjeva integraciju s GIS-om, a potencijalno i uspostavu IoT-a.

7. Prednosti i izazovi koncepta pametnih sela

Koncept pametnih sela donosi brojne prednosti za razvoj ruralnih područja, ali istovremeno za sobom nosi i niz izazova koji ovise o lokalnoj situaciji, dostupnim resursima i odabranom modelu. Analiza primjera pametnih sela iz različitih europskih država pokazuje da ne postoji univerzalno rješenje, već da se pametna sela razvijaju kroz različite pristupe prilagođene lokalnim uvjetima.

Jedna od ključnih prednosti pametnih sela je poboljšanje kvalitete života u ruralnim područjima. Digitalne usluge, pametna infrastruktura i bolja dostupnost informacija omogućuju stanovnicima lakši pristup javnim uslugama. U primjerima kao što je njemačko selo Etteln, snažna integracija senzora, IoT tehnologija i digitalnih platformi rezultirala je učinkovitijim upravljanjem infrastrukturom i energijom, što ima izravne pozitivne učinke na svakodnevni život stanovnika.

Još jedna od prednosti je učinkovitije i održivije upravljanje prirodnim resursima i infrastrukturom na temelju primjene senzorskih sustava, GNSS tehnologije i GIS-a. Pametna sela također potiču inovacije i lokalno poduzetništvo, npr. u državama poput Španjolske, gdje je naglasak stavljen na digitalizaciju i razvoj turizma. Takvi pristupi potiču zadržavanje stanovništva u ruralnim područjima i stvaranje novih gospodarskih prilika.

S druge strane, jedan od glavnih izazova koncepta pametnih sela je nedostatak standardizacije i interoperabilnosti. Budući da ne postoji jedinstvena softverska platforma za pametna sela na razini EU, svaka zajednica često razvija vlastita rješenja, što otežava razmjenu podataka i dovodi do bitnih razlika u kvaliteti implementacije tih rješenja. INSPIRE direktiva djelomično rješava problem standardizacije na razini prostornih podataka, no integracija senzorskih, IoT sustava i krajnjih aplikacija i dalje je gotovo u potpunosti individualna.

Dodatni izazov je ovisnost o osiguranim financijskim sredstvima. Sela često nemaju stručnjake niti novčana sredstva za uspostavu i održavanje složenih senzorskih i digitalnih sustava. Uz to, bez odgovarajuće digitalne pismenosti i institucionalne podrške stanovništvu, tehnologija sama po sebi ne može donijeti očekivane rezultate te im unaprijediti kvalitetu života.

Izazov je i nedostatak kvalitetnih i ažurnih prostornih podataka, osobito u ruralnim područjima gdje su katastarske i druge prostorne podloge često zastarjele ili nedovoljno održavane. Nepotpuni ili neusklađeni podaci otežavaju precizno pozicioniranje senzora, integraciju IoT sustava i pouzdanu prostornu analizu u GIS okruženju.

8. Zaključak

Pametna sela predstavljaju suvremeni pristup razvoju ruralnih područja koji se temelji na primjeni digitalnih tehnologija, senzorskih sustava i geoinformatičkih rješenja, prilagođenih lokalnim potrebama zajednice. Temeljni elementi koncepta su integrirani senzori, IoT tehnologija, GNSS-a i geoinformatičke tehnologije. Senzori omogućuju kontinuirano prikupljanje podataka o okolišu, poljoprivredi i infrastrukturi, dok IoT osigurava njihovo povezivanje i prijenos u stvarnom vremenu. Iz geodetske i geoinformatičke perspektive, ključnu ulogu ima prostorno referenciranje tih podataka, pri čemu GNSS tehnologija i kvalitetni prostorni podaci omogućuju njihovu pouzdanu integraciju u GIS sustave. Kroz platforme poput FIWARE-a, senzorski podaci mogu se povezati s prostornim modelima, čime se omogućuje stvaranje digitalnih blizanaca i drugih aplikacija koje omogućuju poboljšano donošenje odluka i pristup korisnim informacijama za lokalno stanovništvo.

Analize studija slučaja iz Njemačke, Španjolske, Švedske i Hrvatske pokazuju da ne postoji jedinstveni model pametnog sela, već da se primijenjena rješenja prilagođavaju lokalnim potrebama, mogućnostima i prioritetima. Uz to, trenutačno ne postoji jedinstvena, univerzalna platforma za pametna sela na europskoj ili globalnoj razini. Njemačko selo Etteln i švedsko selo Veberöd imaju sličan pristup temeljen na integraciji okolišnih i infrastrukturnih senzora, IoT platformi, GIS-a i digitalnih blizanaca, dok je španjolski primjer Ansó usmjeren na održivo upravljanje turizmom kroz digitalne usluge. Hrvatski primjer Babine Grede naglasak ima na razvoju pametne poljoprivrede i iskorištavanju lokalnih resursa.

Pametna sela imaju značajan potencijal za unaprjeđenje kvalitete života u ruralnim područjima, učinkovitije upravljanje prostorom i održivi razvoj. Njihov dugoročni uspjeh

zahtijeva kvalitetne i pouzdane prostorne podatke, interoperabilne sustave, rad na razvoju digitalnih vještina stanovništva te osigurane financijske resurse.

Ruralna područja u Hrvatskoj već se dulje vrijeme suočavaju s nizom problema, kao što su depopulacija, starenje stanovništva, nedostatak radnih mjesta te zapuštena i nedovoljno održavana infrastruktura. Ovi procesi doveli su do postupnog odumiranja brojnih sela, smanjenja dostupnosti javnih usluga i slabljenja lokalnog gospodarstva. U tom kontekstu, koncept pametnih sela može predstavljati jedno od mogućih rješenja za ublažavanje tih negativnih trendova, budući da pametna sela omogućuju unaprijeđenje kvalitete života u ruralnim sredinama kroz bolju dostupnost javnih usluga, digitalnu povezanost i učinkovitije upravljanje infrastrukturom.

9. Literatura i izvori

1. Akinsiku, M., Ubochi, B: *IoT in Smart Villages: Challenges and Prospects*.
2. Bhargava, S. i drugi: *Smart Village Development Monitoring System*
3. Căne, R: *Development of Smart Villages as a Factor for Rural Digital Transformation*.
4. Cogent Social Sciences: *SMART Village Approach: An Effective Strategy for Reducing Rural Vulnerability*.
5. E40: *Vodič kako postati pametno selo*.
6. Europska komisija: *EU Action for SMART Villages*.
7. Europska GNSS agencija (GSA): *EGNOS and Galileo for Agriculture*.
8. Europska mreža za ruralni razvoj (ENRD): *Smart Villages*.
9. FAO: *Digital Technologies in Agriculture and Rural Areas*
10. FIWARE Foundation: *FIWARE Platform – Technical Overview and Architecture*.
11. FIWARE Foundation: *Smart Rural and Smart Village Use Cases*.
12. IoT Sweden: *IoT Sweden visited the smart village of Veberöd*.
13. Gemeinde Borcheln: *Smart Village Etteln – Digitales Dorf*.
14. Journal of Engineering Research: *The Smart Village Approach for Employing Technology to Enhance Quality of Life and Achieve Sustainability in Rural Areas*.
15. Marković, A: *Primjenjivost koncepta „Pametna sela“ u razvoju općine Kalnik*.
16. MDPI Agriculture: *Smart Farming: Internet of Things (IoT)-Based Sustainable Agriculture*.
17. OECD: *Unlocking Rural Innovation*.
18. RuralED.eu: *Smart Village Competences*.
19. Semtech: *LoRa Technology Overview*.
20. Sinha, PK i drugi: *Impact of Internet of Things Applications in Smart Villages*.
21. Smart Rural 21: *Ansó – Smart Rural Areas*
22. Smart Rural 27: *Smart Village Case Studies – Etteln (Germany)*.
23. Żukowska, S. i drugi: *The Smart Village Concept and Transport Exclusion of Rural*

Areas—A Case Study of a Village in Northern Poland.

24. Turistička zajednica Općine Babina Greda: *Babina Greda – odabrano pametno selo.*
25. <https://www.baranidesign.com/meteowind-iot-pro>
26. <https://store.ncd.io/product/wireless-soil-moisture-sensor-greenhouse-iot/>
27. <https://www.bswlight.com/showroom/multi-function-smart-city-iot-street-lighting-system-with-alarm-flash-wind-speech-sensor-wind-direction-sensor-rain-sensor-environmental-monitoring-sensor.html>
28. <https://www.premierwireless.com/ellenex-iot-pressure-sensor/>
29. <https://smart-village.solutions/>
30. <https://vc.systems/en/explore/technical-articles/from-model-to-future-how-etteln-became-the-worlds-smartest-community-with-the-help-of-its-digital-twin/>
31. <https://www.smartrural21.eu/smart-solution/digital-village-twin/>