

Avtomatski zajem 3D stavb iz gostega oblaka točk za potrebe katastra nepremičnin in GeoBIM

Raziskovalni projekt št. V2-2385
Ciljnega raziskovalnega programa »CRP-2023«

Zaključno poročilo

Delovni paket 1:

Konceptualni model avtomatskega zajema
3D in 2.5D stavb za potrebe katastra nepremičnin

Delovni paket 2:

Metodologija avtomatskega zajema
3D in 2.5D stavb za potrebe katastra nepremičnin

Delovni paket 3:

Test koncepta in metodologije

Delovni paket 4:

Diseminacija

Ljubljana, 31. 5. 2025

PODATKI O PROJEKTU

Naročnika:

Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS)
Bleiweisova cesta 30
1000 Ljubljana
Odgovorna oseba: dr. Špela Stres, direktorica

Geodetska uprava Republike Slovenije (GURS)
Zemljemerska 12
1000 Ljubljana
Odgovorna oseba: Tomaž Petek, generalni direktor

Pogodbene stranke:

Geodetski inštitut Slovenije (GI) (izvajalec)
Jamova cesta 2
1000 Ljubljana
Odgovorna oseba: Milan Brajnik, direktor

Univerza v Ljubljani (UL) (soizvajalec)
Kongresni trg 12
1000 Ljubljana
Odgovorna oseba: prof. dr. Gregor Majdič, rektor
UL sodeluje preko svoje članice Fakultete za gradbeništvo in geodezijo (FGG), ki jo zastopa dekanja prof. dr. Violeta Bokan Bosiljkov

Igea, Svetovanje in storitve področja nepremičnin, infrastrukture in prostora, d.o.o
(soizvajalec)
Podpeška cesta 1
1351 Brezovica pri Ljubljani
Odgovorna oseba: Andrej Mesner, direktor

Pogodba:

Naslov pogodbe: Pogodba št. C2562-23-000074 o (so)financiranju in izvajanju raziskovalnega projekta z naslovom: »V2-2385 Avtomatski zajem 3D stavb iz gostega oblaka točk za potrebe katastra nepremičnin in GeoBIM« v okviru Ciljnega raziskovalnega programa "CRP 2023" v letu 2023

Številka GURS: 45050-81/2023-2562-1 Datum: 12. 10. 2023
Številka GI: Z035068/P1 Datum: 13. 10. 2023

Dogovor:

Naslov dogovora: »Dogovor o ureditvi medsebojnih pravic in obveznosti pri izvajanju skupnega projekta«

GI: Številka: Z035068/D1 Datum: 10. 10. 2023
UL: Številka: 403-6/2023-72 Datum: 10. 10. 2023
IGEA: Številka: P-160/2023 Datum: 10. 10. 2023

Zastopnika:

Naročnik: mag. Ema Pogorelčnik, Geodetske uprava Republike Slovenije, vsebinska spremljevalka projekta

Izvajalec: dr. Dalibor Radovan, Geodetski inštitut Slovenije, vodja projekta

Avtorji:**Geodetski inštitut Slovenije**

dr. Dalibor Radovan, Primož Kete, dr. Mihaela Triglav Čekada, mag. Vasja Bric, mag. Katja Oven, Helena Žnidaršič

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

dr. Jernej Tekavec, dr. Anka Lisec, dr. Urška Drešček

IGEA d.o.o

Alen Šraj, Andrej Mesner

KAZALO VSEBINE

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| POVZETEK PROJEKTA | 9 |
| 1 IZHODIŠČA IN OPREDELITEV PROBLEMA | 11 |
| 2 NAMEN IN CILJI PROJEKTA | 13 |
| 3 KONCEPTUALNI MODEL AVTOMATSKEGA ZAJEMA 3D IN 2.5D STAVB ZA POTREBE KATASTRA NEPREMIČNIN (DP 1) | 14 |
| 3.1 ANALIZA TUJIH KONCEPTOV IN PROGRAMSKE OPREME (AKT. 1.1) | 14 |
| 3.1.1 <i>Države</i> | 14 |
| 3.1.1.1 Nizozemska..... | 14 |
| 3.1.1.2 Avstralija..... | 17 |
| 3.1.1.3 Švedska..... | 19 |
| 3.1.2 <i>Programska oprema</i> | 21 |
| 3.1.2.1 Terrasolid..... | 21 |
| 3.1.2.2 FME..... | 22 |
| 3.1.2.3 Building Reconstruction..... | 22 |
| 3.1.2.4 3Dfier..... | 23 |
| 3.2 PREDHODNO TESTIRANJE IZDELAVE 3D STAVB | 23 |
| 3.2.1 <i>Vhodni podatki CLSS za modeliranje 3D stavb</i> | 23 |
| 3.2.2 <i>Modeliranje 3D stavb z obrisi stavb iz KN (3DGI)</i> | 25 |
| 3.2.3 <i>Modeliranje 3D stavb brez obrisov stavb (Flai)</i> | 25 |
| 3.2.4 <i>Modeliranje 3D stavb z obrisi stavb iz oblaka točk in iz popolnega ortofota (Flycom)</i> | 26 |
| 3.2.5 <i>Primerjava metod in rezultatov modeliranja 3D stavb</i> | 28 |
| 3.3 KONCEPTUALNI MODEL VHODNIH PODATKOV IZ CLSS (AKT. 1.2)..... | 28 |
| 3.3.1 <i>Pomen obrisov stavb iz KN za potrebe izdelave 3D modelov stavb</i> | 29 |
| 3.3.2 <i>Preliminarne in splošne usmeritve glede modeliranja 3D stavb</i> | 29 |
| 3.3.3 <i>Preliminarne in splošne usmeritve glede ravni detajla (LoD)</i> | 30 |
| 3.3.4 <i>Kakovost virov za modeliranje 3D stavb</i> | 31 |
| 3.3.5 <i>Dodatni možni viri za 3D modeliranje stavb</i> | 31 |
| 3.3.5.1 Poševno aerofotografiranje (PAF) | 31 |
| 3.3.5.2 CLSS (AF) | 32 |
| 3.3.5.3 CAS | 32 |
| 3.3.5.4 Prostovoljske geografske informacije (VGI) | 32 |
| 3.3.5.5 Mobilno kartiranje | 32 |
| 3.3.6 <i>Preliminarne in splošne usmeritve glede dodatnih možnih virov</i> | 33 |
| 3.4 KONCEPTUALNI MODEL GEOMETRIJE, TOPOLOGIJE, LOD IN FORMATA IZHODNIH PODATKOV (AKT. 1.3) | 33 |
| 3.4.1 <i>Geometrija</i> | 33 |
| 3.4.2 <i>Topologija</i> | 37 |
| 3.4.3 <i>Podatkovni model</i> | 37 |
| 3.4.4 <i>Usklajevanje 3D stavb s podatki katastra nepremičnin</i> | 38 |
| 3.5 PROCESNI MODEL AVTOMATSKEGA ZAJEMA, OBDELAVE IN VNOSA STAVB V KATASTER NEPREMIČNIN (AKT. 1.4) | 40 |
| 3.5.1 <i>Shema procesnega modela</i> | 40 |
| 3.5.2 <i>Vrste tlorisov stavbe v KN</i> | 42 |
| 3.5.3 <i>Poreklo podatkov o stavbah v KN</i> | 43 |
| 3.5.4 <i>Uporabnost podatkov KN za 3D modeliranje stavb</i> | 45 |
| 3.5.5 <i>Klasifikacija uporabnosti ZPS za 3D modeliranje stavb</i> | 47 |
| 3.5.6 <i>Primeri ovir za uporabo tlorisov iz KN za 3D modeliranje stavb</i> | 47 |
| 3.5.7 <i>Primerjava 3D modelov v podrobnostih LoD 2.1 in LoD 2.3</i> | 49 |
| 3.5.8 <i>Avtomatizirana izdelava 3D modela stavbe</i> | 51 |
| 3.5.9 <i>Diskusija glede stopnje podrobnosti LoD</i> | 52 |
| 3.5.10 <i>Razmislek o hkratnem vodenju različnih ravni podrobnosti v KN</i> | 53 |
| 3.5.11 <i>Vpis po uradni dolžnosti</i> | 53 |
| 3.5.12 <i>Problematika delov stavb</i> | 53 |
| 3.5.13 <i>Oblika zapisa 3D modela stavbe</i> | 54 |

| | | |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.5.14 | Uskladitev med DTM in KN..... | 54 |
| 4 | METODOLOGIJA AVTOMATSKEGA ZAJEMA 3D IN 2.5D STAVB ZA POTREBE KATASTRA NEPREMIČNIN (DP 2) | 55 |
| 4.1 | UVOD | 55 |
| 4.2 | OPREDELITEV POJMOV POVEZANIH Z IZDELAVO 3D MODELOV | 55 |
| 4.3 | VPIS 3D MODELOV STAVB V ZBIRKO 3D PODATKOV O STAVBAH IZ CLSS (AKT. 2.1) | 56 |
| 4.3.1 | <i>Namen, cilj, deležniki.....</i> | <i>56</i> |
| 4.3.1.1 | Namen in cilj vpisa 3D modelov stavb v Zbirko 3D podatkov o stavbah iz CLSS..... | 56 |
| 4.3.1.2 | Deležniki..... | 57 |
| 4.3.2 | <i>Konceptualna izhodišča za modeliranje 3D stavb.....</i> | <i>57</i> |
| 4.3.2.1 | Definicije delov 3D modela stavbe (npr. stene, streha, strešina, frčada, dimnik, tla) z utemeljitvijo tehnološke izvedljivosti in ekonomičnosti zajema..... | 57 |
| 4.3.2.2 | Izbor in utemeljitev ravni podrobnosti (LoD) 3D modela stavbe | 62 |
| 4.3.2.3 | Metoda zajema in modeliranja 3D modelov stavb | 63 |
| 4.3.2.4 | Podatkovni viri za zajem in modeliranje 3D modela stavbe | 65 |
| 4.3.2.5 | Proces vrednotenja primernosti in uporabe florisov iz KN pri modeliranju 3D stavbe (npr. ZPS, podzemni floris, nadzemni floris z registrskim statusom vpisa) | 66 |
| 4.3.2.1 | Uporaba umetne inteligence | 67 |
| 4.3.2.2 | Predvidene podporne metode in viri podatkov v prihodnosti (npr. poševno areofotografiranje - PAF) | 68 |
| 4.3.3 | <i>Zahteve za kakovost podatkov in obvladovanje napak pri zajemu ter modeliranju 3D stavb</i> | <i>68</i> |
| 4.3.3.1 | Minimalne zahteve glede kakovosti podatkov CLSS za zajem podatkov 3D modela stavbe | 68 |
| 4.3.3.2 | Pričakovane napake avtomatskega zajema in modeliranja 3D stavb | 70 |
| 4.3.3.3 | Pričakovani načini odpravljanja napak po avtomatskem zajemu in modeliranju 3D stavb | 70 |
| 4.3.3.4 | Minimalne zahteve za oceno kakovosti podatkov 3D modelov stavb po odpravi napak..... | 71 |
| 4.3.3.5 | Minimalne zahteve za uskladitev in povezavo med 3D modelom stavbe in etažnimi načrti | 72 |
| 4.3.3.6 | Format zapisa ploskev 3D modela stavbe (CityGML – roof, wall, ground)..... | 72 |
| 4.3.4 | <i>Proces avtomatizirane izdelave 3D modelov stavb.....</i> | <i>76</i> |
| 4.3.4.1 | Vhodni podatki..... | 76 |
| 4.3.4.2 | Metoda izdelave..... | 76 |
| 4.3.4.3 | Avtomatizirana izdelava 2.5D florisov streh stavb | 77 |
| 4.3.4.4 | Avtomatizirano modeliranje 3D stavb..... | 79 |
| 4.3.5 | <i>Metodologija obravnave posebnih primerov 3D modelov</i> | <i>81</i> |
| 4.3.5.1 | Proces ločevanja avtomatsko zaznanih sklenjenih stavb iz podatkov CLSS v posamezne že evidentirane stavbe iz katastra nepremičnin | 81 |
| 4.3.5.2 | Postopek združevanja podatkov 3D modelov stavb, ki so različni po višini | 81 |
| 4.3.5.3 | Metodologija izločanja zaznanih objektov, ki ne sodijo v KN (nestavbe) | 81 |
| 4.3.5.4 | Metodologija obravnave zaznanih stavb, ki še niso evidentirane v KN | 81 |
| 4.3.6 | <i>Definicija objekta z utemeljitvijo tehnološke izvedljivosti in ekonomičnosti množičnega zajema 3D modelov in vpisov stavb.....</i> | <i>82</i> |
| 4.3.6.1 | Enostavni objekti po gradbeni zakonodaji | 83 |
| 4.3.6.2 | Nezahtevni objekti po gradbeni zakonodaji..... | 84 |
| 4.3.6.3 | Razvrstitev enostavnih in nezahtevnih objektov glede na kriterije..... | 85 |
| 4.3.7 | <i>Določitev dodatnih tehničnih atributov in metapodatkov 3D modela stavbe</i> | <i>86</i> |
| 4.3.7.1 | Določitev nabora dodatnih tehničnih atributov 3D modela stavbe (npr. volumen, karakteristične višine, število etaž, obstoj frčad)..... | 86 |
| 4.3.7.2 | Metodologija približnega ali točnega izračuna volumna 3D modela stavbe | 87 |
| 4.3.7.3 | Metodologija zajema dodatnih karakterističnih višin stavbe..... | 87 |
| 4.3.7.4 | Dodatni metapodatki 3D modela stavbe glede porekla podatkov (zakonodaja in način vpisa) | 87 |
| 4.3.7.5 | Dodatni podatki 3D modela stavbe glede parametrov kakovosti podatkov | 88 |
| 4.3.8 | <i>Vzpostavitev Zbirke 3D podatkov o stavbah iz CLSS.....</i> | <i>88</i> |
| 4.3.8.1 | Vzpostavitev Zbirke 3D podatkov o stavbah iz CLSS kot tehnične evidence – množična izdelava | 88 |
| 4.3.8.2 | Vzpostavitev Zbirke 3D podatkov o stavbah iz CLSS kot tehnične evidence – posamični vpis..... | 88 |
| 4.3.8.3 | Način vzdrževanja Zbirke 3D podatkov o stavbah iz CLSS | 89 |
| 4.3.8.4 | Proces migracije podatkov iz Zbirke 3D podatkov o stavbah iz CLSS v KN..... | 89 |
| 4.3.9 | <i>Pravni vidik Zbirke 3D podatkov o stavbah iz CLSS</i> | <i>89</i> |
| 4.3.9.1 | Predvidene zakonodajne spremembe zaradi migracije podatkov iz Zbirke 3D podatkov o stavbah iz CLSS v KN90 | 89 |
| 4.3.9.2 | Pravni status 3D modela stavbe v Zbirki 3D podatkov o stavbah iz CLSS | 92 |
| 4.3.10 | <i>Povezovanje Zbirke 3D podatkov o stavbah iz CLSS</i> | <i>92</i> |
| 4.3.10.1 | Proces povezovanja 3D modelov stavb iz CLSS s 3D modeli v DTM | 92 |

| | | |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.3.10.2 | Vzdrževanje podatkov topografskih 3D modelov stavb | 93 |
| 4.3.10.3 | Proces povezovanja podatkov Zbirke 3D podatkov o stavbah iz CLSS z zemljiško knjigo | 93 |
| 4.4 | KATASTRSKA IZDELAVA 3D MODELOV STAVB V KATASTRU NEPREMIČNIN (AKT. 2.2) | 94 |
| 4.4.1 | <i>Namen, cilj, deležniki</i> | 94 |
| 4.4.1.1 | Namen in cilj katastrske izdelave in vpisa 3D modelov stavb..... | 94 |
| 4.4.1.2 | Deležniki..... | 95 |
| 4.4.2 | <i>Konceptualna izhodišča za modeliranje 3D stavb</i> | 95 |
| 4.4.2.1 | Definicije elementov 3D modela stavbe (npr. stene, streha, strešina, frčada, dimnik, stena, tla)..... | 95 |
| 4.4.2.2 | Izbor in utemeljitev ravni podrobnosti (LoD) 3D modela stavbe | 95 |
| 4.4.2.3 | Viri podatkov za 3D model stavbe (npr. geodetske meritve, projektna dokumentacija, BIM) | 96 |
| 4.4.3 | <i>Vpis 3D modela stavbe v KN</i> | 96 |
| 4.4.3.1 | Proces upravnega postopka | 96 |
| 4.4.3.2 | Proces vključitve 3D modela stavbe v KN | 96 |
| 4.4.4 | <i>Pravni vidik vpisa 3D modelov stavb v KN</i> | 97 |
| 4.4.4.1 | Minimalna vsebina pravilnika o izdelavi elaborata za vpis 3D modelov stavb (podatkovni model, geometrija, topologija, etažni načrti, dodatni atributi, povezava 3D stavbe s parcelo, format zapisa)..... | 97 |
| 4.4.4.2 | Pravni status 2.5D in 3D modela stavbe v KN..... | 97 |
| 4.4.4.3 | Previdene spremembe ZKN..... | 97 |
| 5 | TEST KONCEPTA IN METODOLOGIJE (DP 3)..... | 98 |
| 5.1 | IZVEDBA TESTOV (AKT. 3.2) | 98 |
| 5.1.1 | <i>Prvi test avtomatske izdelave 3D vektorskih stavb iz podatkov ZLS (pomlad 2023)</i> | 98 |
| 5.1.1.1 | Cilji testa..... | 98 |
| 5.1.1.2 | Vhodni podatki | 98 |
| 5.1.1.3 | Orodja in programska oprema | 99 |
| 5.1.1.4 | Postopek (koraki, modeliranje)..... | 99 |
| 5.1.1.5 | Kakovost rezultatov | 99 |
| 5.1.1.6 | Zaključki in izzivi | 101 |
| 5.1.1.6.1 | Zaključki vezani na izdelavo 3D modelov 3DGI..... | 101 |
| 5.1.1.6.2 | Zaključki vezani na izdelavo 3D modelov Flai | 102 |
| 5.1.1.6.3 | Zaključek po izvedbi testa | 102 |
| 5.1.2 | <i>Test avtomatskega zajema frčad (Flai, GI)</i> | 102 |
| 5.1.2.1 | Cilji testa..... | 102 |
| 5.1.2.2 | Vhodni podatki..... | 103 |
| 5.1.2.3 | Orodja in programska oprema | 103 |
| 5.1.2.4 | Postopek (koraki, modeliranje)..... | 103 |
| 5.1.2.5 | Kakovost rezultatov | 103 |
| 5.1.2.6 | Zaključki in izzivi | 104 |
| 5.1.3 | <i>Produkcijski test avtomatizirane izdelave 2,5D in 3D modelov stavb (GURS-GI, Flycom, 3DGI, FGG)</i> 104 | |
| 5.1.3.1 | Cilji testa..... | 104 |
| 5.1.3.2 | Vhodni podatki..... | 104 |
| 5.1.3.3 | Zahteve | 104 |
| 5.1.3.4 | Postopek..... | 106 |
| 5.1.3.5 | Rezultati..... | 107 |
| 5.1.3.6 | Zaključki in izzivi | 108 |
| 5.2 | KONTROLA IN VREDNOTENJE REZULTATOV TESTA (AKT. 3.3)..... | 110 |
| 5.2.1 | <i>Analiza ujemanja in povezljivosti 3D modelov stavb iz testa „Produkcijski test avtomatizirane izdelave 2,5D in 3D modelov stavb“ in 3D modelov iz etažnih načrtov KN</i> | 110 |
| 5.2.1.1 | Cilji testa..... | 110 |
| 5.2.1.2 | Vhodni podatki | 110 |
| 5.2.1.3 | Postopek..... | 110 |
| 5.2.1.4 | Rezultati analize | 111 |
| 5.2.1.4.1 | Analiza podatkovnih modelov | 111 |
| 5.2.1.4.2 | Analiza semantičnih razlik..... | 113 |
| 5.2.1.4.3 | Analiza ujemanja geometrije..... | 115 |
| 5.2.1.4.4 | Primerjava tehničnih atributov (volumen, višina, površina)..... | 117 |
| 5.2.1.4.5 | Analiza povezljivosti..... | 117 |
| 5.2.1.4.6 | Posebnosti pri modeliranju | 117 |
| 5.2.1.5 | Zaključki in predlogi..... | 117 |
| 6 | DISEMINACIJA (DP 4) | 119 |

| | | |
|----------|--------------------------------------------------------------------------|------------|
| 6.1 | DISEMINACIJA ZA STROKOVNO IN ZNANSTVENO JAVNOST (AKT. 4.1)..... | 119 |
| 6.2 | POROČANJE NAROČNIKOMA IN ZAKLJUČNA PRIPOROČILA PROJEKTA (AKT. 4.2) | 120 |
| 7 | PRILOGE | 121 |
| 8 | LITERATURA | 122 |

KAZALO SLIK

| | | |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Slika 1: | Prvi primer 3D registracije pravic na Nizozemskem (Stoter et al., 2017). _____ | 14 |
| Slika 2: | Proces 3D registracije pravic na Nizozemskem (Stoter et al., 2017). _____ | 16 |
| Slika 3: | Koncept krožnega toka digitalnih katastrskih podatkov (Haanen et al., 2023). _____ | 17 |
| Slika 4: | Večslojni okvir za 3D kataster v Avstraliji (Atazadeh et al., 2023). _____ | 19 |
| Slika 5: | Zvezno 3D modeliranje topografije z orodjem 3Dfier (3Dfier, 2024). _____ | 23 |
| Slika 6: | Območji s testnimi podatki na območjih Radovljice in Lesc. _____ | 24 |
| Slika 7: | Pregled testnih območij Radovljice in Lesc v RGB obarvanem oblaku točk. _____ | 24 |
| Slika 8: | Pregled treh testnih območij na območju Ljubljane - gornji dve v območju projekta PAF-test, spodnje pa le v bloku CLSS. _____ | 26 |
| Slika 9: | Obrisi streh, ki so bili avtomatsko narejeni iz POF v projektu PAF-test (modri poligoni); sloja KN_SLO_STAVBE_TLORIS_poligon in STAVBE_NADZEMNI_TLORIS (rumeni poligoni). _____ | 27 |
| Slika 10: | Izsek iz specifikacije vrst stopenj podrobnosti LoD (Biljecki, Ledoux, Stoter, 2016). _____ | 30 |
| Slika 11: | Stopnje podrobnosti LoD kot jih določa standard CityGML na primeru stavb (OGC, 2024). _____ | 35 |
| Slika 12: | Podrobnejša definicija stopenj podrobnosti LoD za stanovanjsko stavbo (Biljecki et al., 2016). _____ | 36 |
| Slika 13: | Različni pristopi modeliranja stavbe znotraj stopnje podrobnosti LoD2 (Biljecki et al., 2016). _____ | 38 |
| Slika 14: | Stavbe z manjšim obsegom zemljišča pod stavbo (ZPS) (Vir: Google StreetView). _____ | 39 |
| Slika 15: | Shema procesnega modela avtomatskega zajema, obdelave in vnosa stavb v kataster nepremičnin. _____ | 40 |
| Slika 16: | Vrste tlorisov v katastru nepremičnin. _____ | 42 |
| Slika 17: | Vrste tlorisov v katastru nepremičnin – prerez. _____ | 43 |
| Slika 18: | Vrste topoloških odnosov med Nadzemnim tlorisom stavbe (A, obris stavbe) in Tlorisom stavbe na parceli (B). _____ | 45 |
| Slika 19: | Primeri stavb, kjer tloris zemljišča pod stavbo sega izven tlorisa nadzemnega dela stavbe, tloris nadzemnega dela stavbe ne obsega celotne strehe ali tloris nadzemnega dela stavbe presega celotno streho. _____ | 49 |
| Slika 20: | Primerjava med tremi primeri 3D modelov stavbe v dveh podrobnostih in treh pogledih. _____ | 51 |
| Slika 21: | Osnovni in ostali elementi modeliranja _____ | 58 |
| Slika 22: | Parametri kompleksnosti geometrije _____ | 58 |
| Slika 23: | Primeri frčad za predstavo o zapletenosti zajema njihove geometrije _____ | 61 |
| Slika 24: | Šifrantčnosti določitve položaja in višine (vir: Tehnična pravila zapisa vektorske oblike prostorskih podatkov za stavbe in gradbene parcele, Ur.l. 30/2023) _____ | 69 |
| Slika 25: | Moduli v konceptualnem modelu CityGML 3.0 (vir: Kutzner et al., 2020). _____ | 73 |
| Slika 26: | Možne predstavitve notranjosti in zunanosti stavbe (vir: https://docs.ogc.org/guides/20-066.html#ug_introduction_section) _____ | 73 |
| Slika 27: | CityGML 3.0. Building modul _____ | 75 |
| Slika 28: | Shema procesnega modela avtomatskega zajema, obdelave in vnosa stavb v kataster nepremičnin _____ | 93 |
| Slika 29: | Test 1 - testni območji Radovljica in Lesce v velikosti 150 m x 150 m z okvirjem širine 20 m _____ | 99 |
| Slika 30: | Prvi izdelek: mrežna ploskev, levo tlorisni pogled, desno pogled s strani. _____ | 100 |
| Slika 31: | Odstopanja glede na obrise iz KS. _____ | 101 |
| Slika 32: | Test avtomatskega zajema frčad – rezultat avtomatskega zaznavanja so frčade obkrožene s poligoni _____ | 103 |
| Slika 33: | Avtomatizirano izvedenoteni 2,5D poligoni tlorisa stavbe v tem testu. _____ | 107 |
| Slika 34: | Avtomatizirano izvedenoteni 3D model iste stavbe v tem testu. _____ | 108 |
| Slika 35: | Avtomatizirano izvedenoteni 3D modeli stavb v tem testu. _____ | 108 |
| Slika 36: | Izbrane stavbe, pomen barv: Status podatkov: katastrski vpis (modro), registrski vpis (rumeno), ni v KN (sivo) _____ | 111 |
| Slika 37: | Prikaz 3D modela stavbe iz podatkov KN, zunanosti stavbe (levo), notranjosti (desno) _____ | 112 |
| Slika 38: | Prikaz 3D modela stavbe (zunanosti) iz produkcijskega testa _____ | 112 |
| Slika 39: | Primerjava 3D modela zunanosti stavbe po podatkih KN (levo) in iz produkcijskega testa (desno). _____ | 114 |

POVZETEK PROJEKTA

Za potrebe prenovljenega katastra nepremičnin, ki ga vodi Geodetska uprava RS, je potrebno zagotoviti podatke o stavbah, ki bodo verodostojnejši, ažurnejši, natančnejši, podrobnejši, predvsem pa neposredno dostopni v 3D obliki. Prednost 3D oblike odpira nove možnosti uporabe za modeliranje zunanosti stavb, integracijo podatkov o etažni lastnini in rabi prostorov, opredelitev lastninskih odnosov v stavbah, vrednotenje nepremičnin, vizualizacijo stavb za uporabnike in nove storitve na področju e-graditve ter e-planiranja. V Sloveniji smo že pred leti lasersko skenirali celotno državo s tehnologijo LiDAR. Podatki so medtem postali zastareli, oblak posnetih točk je preredeček za natančni zajem stavb, hkrati pa takratno lasersko skeniranje ni bilo namenjeno zajemu podatkov o nepremičninah. V letu 2023 se je začel novi tri letni cikelj laserskega skeniranja, ki dodatno vključuje tudi aerofotografiranje po vzoru CAS, ki bo v treh letih zagotovil pokritost s temi podatki za celotno Slovenijo in ki bo zagotavljal zajem podatkov z večjo gostoto točk na terenu, kot je bilo to v preteklosti. Podatki CLSS zagotavljajo možnost avtomatizirane razpoznave, zajema in modeliranja stavb, ki so na terenu prisotne v času snemanja.

Od 4.4.2022 je v uporabi Zakon o katastru nepremičnin (ZKN), katerega namen je med drugim zagotoviti vpis pravih in popolnih podatkov o nepremičninah, ki izkazujejo dejansko stanje v prostoru. Od 1. 6. 2022 je v uporabi tudi novi Gradbeni zakon (GZ-1), ki za izbrane skupine objektov javnega pomena predpisuje obvezno izdelavo projektne dokumentacije s pomočjo informacijsko podprtega modeliranja objektov - BIM. Podatki BIM so lahko koristni za izboljšavo podrobnosti in ažurnosti geodetskih zbirk podatkov, pa tudi obratno - geodetske zbirke v 3D obliki bi lahko podprle projektiranje z BIM.

Raziskovalni projekt v skladu z navedenimi izhodišči celostno obravnava proces zajema in uporabe 3D ter 2.5D geodetskih podatkov o stavbah pridobljenih s tehnologijami daljinskega zaznavanja. Pri tem je osnovni cilj zagotovitev podatkov o stavbah za kataster nepremičnin, sekundarni cilj pa možnost prihodnje uporabe 3D podatkov v konceptu BIM oz. GeoBIM. V trenutno veljavni obliki katastra nepremičnin so stavbe v obliki 2.5D, kar je potrebno zagotavljati do nadaljnjega. V predhodnem raziskovalnem projektu CRP »GeoBIM in državni geodetski podatki« pa smo predvideli še vzpostavitev vzporedne različice zbirke stavb v 3D obliki. Podatke o stavbah lahko zajamemo avtomatsko iz podatkov Cikličnega laserskega skeniranja Slovenije (CLSS).

Raziskovalni projekt obravnava podatke, tehnike in procese njihovega zajema in integracijo v kataster nepremičnin. Razdeljen je v 4 delovne pakete (DP), ti pa v skupno 14 aktivnosti s 14 rezultati:

- DP 1: Konceptualni model avtomatskega zajema 3D in 2.5D stavb za potrebe katastra nepremičnin
- DP 2: Metodologija avtomatskega zajema 3D in 2.5D stavb za potrebe katastra nepremičnin
- DP 3: Test koncepta in metodologije
- DP 4: Diseminacija

V prvem DP so analizirani tuji koncepti na tem področju in programska oprema. Izdelani so konceptualni modeli vhodnih podatkov iz CLSS, geometrije, topologije, LoD in formata izhodnih podatkov. Zasnovan je procesni model avtomatskega zajema, obdelave in vnosa stavb v kataster nepremičnin.

V drugem DP so izdelane metodologije: avtomatiziranega procesa izdelave in kontrole kakovosti in vzdrževanja podatkov o stavbah ter metodologije posebnih primerov (postopek ločevanja avtomatsko zaznanih skupin stavb iz podatkov CLSS v posamezne evidentirane stavbe iz katastra nepremičnin, postopek združevanja podatkov 3D modelov stavb, ki so različni po višini,

metodologija izločanja zaznanih objektov, ki ne sodijo v KN (nestavbe), metodologija obravnave zaznanih stavb, ki še niso v KN) ter opredelitve do katastrske izdelave v okviru geodetskih storitev.

V tretjem DP je povzetek obstoječih testov izdelave 3D modelov stavb iz podatkov CLSS , zasnovan in izveden je test primerjave in vrednotenje rezultatov testa. Rezultati so bili upoštevani tudi pri pripravi metodologij.

V sklopu četrtega DP je izvedena diseminacija rezultatov, ki vključuje poročanje naročnikoma in izdelavo zaključnega priporočila raziskovalnega projekta ter predstavitev rezultatov projekta strokovni in znanstveni javnosti.

1 IZHODIŠČA IN OPREDELITEV PROBLEMA

Geodetska stroka zbira, shranjuje in vodi podatke o prostorskih entitetah na več nivojih podrobnosti za celotno državno ozemlje. Ker za potrebe prenovljenega katastra nepremičnin potrebujemo večjo raven podrobnosti podatkov o nepremičninah, se geodetska stroka prilagaja novim tehnološkim rešitvam na tem področju. Geodezija je tradicionalno zbirala podatke o nepremičninah in topografiji predvsem v 2D, 2.5D ali 2D+1D obliki, kjer je bila nadmorska ali pa relativna višina prikazana v obliki atributa (lastnosti) objekta. V primeru, da so bili podatki o geometriji objekta izjemoma zajeti v treh razsežnostih (3D), je bila izbrana raven podrobnost LoD (Level of Detail) nizke stopnje. Kompleksnost grajenega in naravnega okolja tudi na področju geodezije in geoinformatike pa sedaj zahteva 3D modeliranje prostorskih objektov v topografskem okolju. Dodatno velik izziv predstavljajo za geodezijo potencialno uporabni podatki, ki se pripravljajo v okviru informacijskega modeliranja gradnje z BIM (Building Information Modelling).

Zaradi očitne potrebe po izboljšanju kakovosti nepremičninskih podatkov, še posebej pa njihove natančnosti in podrobnosti, je potrebno v ta namen izkoristiti nove tehnologije zajema in modeliranja geodetskih podatkov. V Sloveniji smo že pred leti lasersko skenirali celotno državo s tehnologijo LiDAR. Podatki so medtem postali zastareli, oblak posnetih točk je prereditelj za natančni zajem stavb, hkrati pa takratno lasersko skeniranje ni bilo namenjeno zajemu podatkov o nepremičninah, temveč evidentiranju poplavnih območij, zaradi česar je bila gostota točk večja predvsem na teh površinah, ne pa na vseh območjih gostejše naselitve. V letu 2023 se je začel izvajati projekt CLSS, ki zagotavlja možnost avtomatizirane razpoznavne, zajema in modeliranja stavb, s čemer se za kataster nepremičnin zagotavlja podatke o stavbah, ki so verodostojnejši, ažurnejši, natančnejši, podrobnejši, predvsem pa neposredno dostopni v 3D obliki.

Kot že uvodoma omenjeno, prednost 3D oblike odpira nove možnosti uporabe za modeliranje zunanosti stavb, integracijo podatkov o etažni lastnini in rabi prostorov, opredelitev lastninskih odnosov v stavbah, vrednotenje nepremičnin, vizualizacijo stavb za uporabnike in nove storitve na področju e-graditve ter e-planiranja. Na ta način lahko Geodetska uprava RS, pa tudi ministrstvo, pristojno za prostor, uvajata nove storitve za uporabnike in učinkovitejše upravljanje tako podatkov, kot tudi samih nepremičnin.

Navedene potrebe in spremembe se odražajo tudi v zakonodaji. Sprejet je bil Zakon o katastru nepremičnin (ZKN, datum začetka uporabe 4.4.2022), katerega namen je med drugim zagotoviti vpis pravih in popolnih podatkov o nepremičninah, ki izkazujejo dejansko stanje v prostoru (2. člen). V zvezi s potencialnimi priložnostmi in novimi izzivi geodetske stroke pa je sprejet tudi novi Gradbeni zakon (GZ-1, datum začetka uporabe 1.6.2022), ki za izbrane skupine objektov javnega pomena (10 skupin) predpisuje obvezno izdelavo projektne dokumentacije s pomočjo informacijsko podprtega modeliranja objektov - BIM (9. in 39. člen). S tem postajata projektiranje in gradnja novih objektov (AEC - Architecture, Engineering, Construction) vse bolj podprta z BIM, kar omogoča podrobno modeliranje posamičnih objektov v 3D, pri čemer se za obravnavani projektirani objekt navaja raven razvoja LOD (Level of Development). Podatki BIM so lahko koristni za izboljšavo podrobnosti in ažurnosti geodetskih zbirk podatkov, pa tudi obratno - geodetske zbirke v 3D obliki bi lahko podprle projektiranje z BIM, vendar pa so geodetski podatki geometrično in topološko strukturirani v formatih geografskih informacijskih sistemov, gradbeni podatki BIM pa ne. Pojav gradbeniških metod in tehnik projektiranja objektov v okviru BIM ponuja podatke o grajenih objektih v visokih ravneh podrobnosti, kot tudi načrtovanje in spremljanje gradnje ter vzdrževanje in arhiviranje gradbenega objekta v prostoru (3D), času (4D), s stroški (5D) in podatki o upravljanju vzdržnega življenjskega cikla objekta (6D/7D). Ti podrobni podatki imajo velik, do sedaj še neizkoriščen potencial integracije s podatki nepremičnin, gospodarske javne infrastrukture (GJI) ter okoliške topografije, hidrografije in vegetacije. Z vsem tem se odpirajo nove zahteve po aplikativnem raziskovanju integracije med BIM in geodezijo.

Nadaljnje razmišljanje pa je lahko usmerjeno tudi v razvoj digitalnih dvojčkov (digital twins), ki je pogojen z razvojem odprtih standardov (npr. CityGML, CityJSON). Slednji omogočajo razvoj različnih aplikativnih prostorskih analiz, upravljanja in načrtovanja prostora ter 3D prostorskih vizualizacij.

Raziskovalni projekt je v skladu z navedenimi izhodišči celostno obravnaval proces zajema in uporabe 3D ter 2.5D geodetskih podatkov o stavbah. Pri tem je osnovni cilj zagotovitev podatkov o stavbah za kataster nepremičnin, ki ga vodi GURS. V trenutno veljavnem katastru nepremičnin so stavbe v obliki 2.5D, kar je potrebno zagotavljati do nadaljnjega, v predhodnem raziskovalnem projektu CRP »GeoBIM in državni geodetski podatki« pa smo predvideli še vzpostavitev vzporedne različice zbirke stavb v 3D obliki. Podatke o stavbah lahko zajamemo avtomatsko iz podatkov Cikličnega laserskega skeniranja Slovenije (CLSS).

Raziskovalni projekt je vključeval zasnovo modelov vhodnih in izhodnih podatkov o stavbah za 2.5D in 3D obliko, metodologijo avtomatskega zajema podatkov, proces kontrole kakovosti in zagotavljanja popolnosti podatkov, vzdrževanje 3D zbirke ter testiranje zajema na vzorcu.

2 NAMEN IN CILJI PROJEKTA

Namen projekta je priprava metodoloških, procesnih in podatkovnih osnov za avtomatski zajem 3D podatkov o stavbah na osnovi sistemskih državnih topografskih izmer za potrebe katastra nepremičnin, pri čemer se v okviru katastra napremičnin do nadaljnjega ohranja podatke v 2.5D obliki, kot so trenutno.

Cilji naloge so:

- opredelitev konceptualnega modela za avtomatski 3D zajem podatkov zunanosti stavb za celotno državo na osnovi načrtovane gostote oblaka točk in aerofotografij iz CLSS (10+ točk/m², DTI 15 cm);
- opredelitev izbora 3D podatkovnih gradnikov in njihove ravni detajla za modeliranje zunanosti stavbe (tloris, stene, streha; predvidoma LoD2);
- določitev metodologije izločanja stavb, ki so zajete s CLSS, vendar ne sodijo v kataster nepremičnin;
- ločitev procesa obravnave avtomatsko zaznanih stavb, ki so že del katastra nepremičnin in tistih, ki še niso;
- zagotovitev takšne metodologije in procesa avtomatskega zajema stavb, da bosta omogočala vzdrževanje katastra nepremičnin v dveh skladnih modelih, in sicer v 3D obliki (morebitni bodoči 3D kataster nepremičnin) ter v 2.5D obliki (sedanje stanje po Zakonu o katastru o nepremičninah);
- opredelitev načina zapisa podatkov avtomatsko zajetih stavb v 3D obliki;
- testiranje koncepta in metodologije ter vrednotenje in kontrola rezultatov testa.

3 KONCEPTUALNI MODEL AVTOMATSKEGA ZAJEMA 3D IN 2.5D STAVB ZA POTREBE KATASTRA NEPREMIČNIN (DP 1)

3.1 Analiza tujih konceptov in programske opreme (Akt. 1.1)

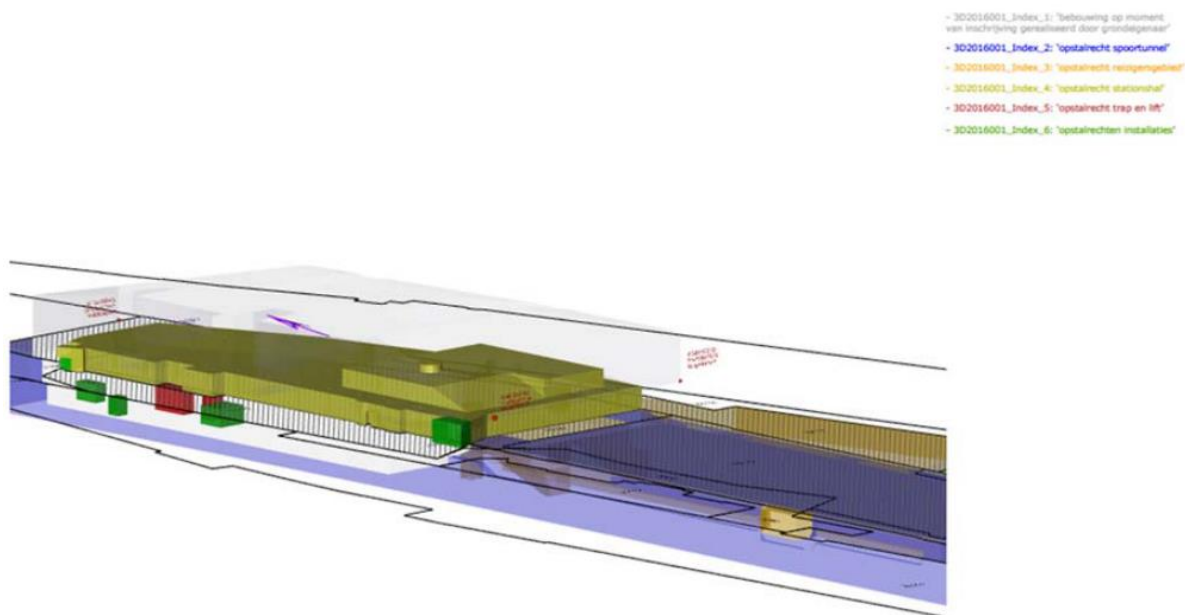
Kot sledi iz naslova je analiza razdeljena v dva dela. Prvi del je o tujih konceptih po posameznih državah, drugi pa o programski opremi za zajem in obdelavo 3D stavb.

3.1.1 Države

Razvoj katastrskih sistemov po svetu v smeri podpore 3D konceptom je po državah zelo različen. Slednje je mogoče pripisati več faktorjem, od zgodovinskega razvoja katastrskih sistemov do razvojne usmerjenosti oz. organiziranosti institucij, ki skrbijo za katastrske sisteme v posamezni državi. V nadaljevanju so podrobneje predstavljene tri države, ki glede na znanstvene objave spadajo med najbolj napredne pri uvajanju 3D tehnologij v nepremičninske evidence.

3.1.1.1 Nizozemska

Nizozemska je med državami, ki so bile med prvimi glede raziskav na temo 3D katastra na prelomu tisočletja (Stoter, 2001). Nizozemska ima dolgoročno vizijo glede 3D katastra, ki se jo je odločila izpeljati postopno in v več korakih. Prvi korak so že izpeljali in vključuje rešitve znotraj omejitev in možnosti obstoječih pravnih in katastrskih okvirov. Cilj te faze je predvsem pridobivanje izkušenj in zagotoviti rešitev za problem, da se 3D pravice v katastru lahko registrirajo. Razvili so postopek za sprejem 3D prikazov pravnih obsegov v formatu 3D PDF kot del listin za registracijo lastništva. Zaradi možnosti sprejemanja digitalne dokumentacije s strani zemljiške knjige, je bila registracija 3D vizualizacije večnivojskih pravic v obliki 3D PDF mogoča brez spremembe zakonov. Ta metoda je bila uvedena v praksi leta 2016, ko je bil registriran prvi primer lastništva z uporabo 3D PDF dokumentacije (slika 1).



Slika 1: Prvi primer 3D registracije pravic na Nizozemskem (Stoter et al., 2017).

3D PDF dokument sestavljajo 3D lastninske enote, ki so lahko vzpostavljene z različnimi pravicami, omejitvami oz. odgovornostmi, ki so določene ob upoštevanju vseh interesov deležnikov. Dokument oz. 3D model dobi svojo identifikacijsko številko, ki omogoči povezavo s katastrskim načrtom. Osnovna zemljiška parcela predstavlja del 3D modela, saj gre še vedno za osnovno enoto lastništva po veljavni zakonodaji. Uvedba 3D registracije pravic v praksi je na Nizozemskem prinesla številna pomembna spoznanja, ki so večinoma prenosljiva tudi na sisteme drugih držav, če se odločijo za podobne rešitve.

Prvo spoznanje je, da uporabnike marsikdaj ne zanima uporaba interaktivnega 3D okolja, kot pogosto predvidevajo tehnične študije o 3D katastru. Zlasti za laične uporabnike so bolj primerni enostavnejši prikazi v obliki 2D vizualizacij kot 3D situacije iz več perspektiv, pri čemer so izpostavljene le določene 3D enote. Za izdelavo takšnih prikazov osnovni 3D model ostaja ključna osnova. Vizualizacija nepremičninskih enot je namreč za pregledovanje zahtevna zaradi medsebojnega prekrivanja 3D enot.

Drugo spoznanje se nanaša na deležnike iz pravne domene. Le-ti so zelo zadržani glede natančnih 3D modelov, iz katerih bi bilo mogoče narediti meritve, saj to vidijo kot vir negotovosti in zato možnih sporov. Na slednje je vezano tudi vprašanje pravnega statusa 3D modela. Na Nizozemskem tehnične študije pogosto predpostavljajo, da je etažno lastnino treba registrirati s točnimi 3D podatki, a notarji so zelo zadržani glede takšne registracije, če ima 3D model pravno veljavo nad opisom nepremičnine in 2D načrti. 3D vizualizacijo vidijo kot sredstvo za pojasnitev situacije poleg verbalnih opisov. V tem smislu 3D vizualizacija lahko enostavno identificira prostore, ki bi sicer bili prezrti, tj. prisili dodelitev lastništva vsakemu prostoru.

Naslednje spoznanje, ki se nanaša na avtoritativnost 3D modelov, je povezana z BIM modeli, ki so pogosto obravnavani kot možni podatkovni vir. Povezava 3D katastra in BIM je že bila raziskovana (Atazadeh et al. 2017; Oldfield et al. 2017). Nizozemske izkušnje so pokazale, da bi moral biti v postopku identifikacije pravnih prostorov vedno vključen pravni strokovnjak. Medtem ko lahko arhitekti/oblikovalci zagotovijo izvirne podatke za 3D modeliranje pravnih prostorov, je potrebno pravne meje 3D nepremičninskih enot določiti v tesnem sodelovanju s pravnim strokovnjakom, ki ima znanje o prenosu fizičnih mej v pravne meje (na Nizozemskem sovpadanje fizičnih in pravnih mej ni obvezno). V primeru uporabe BIM podatkov vidijo tudi potrebne spremembe v postopkih. Po končani gradnji bi bilo treba zagotoviti skladnost podatkov z dejanskim stanjem in tudi skladnost pravnih 3D volumnov z dejansko geometrijo zgrajenih prostorov ter obravnavati njihove medsebojne povezave.

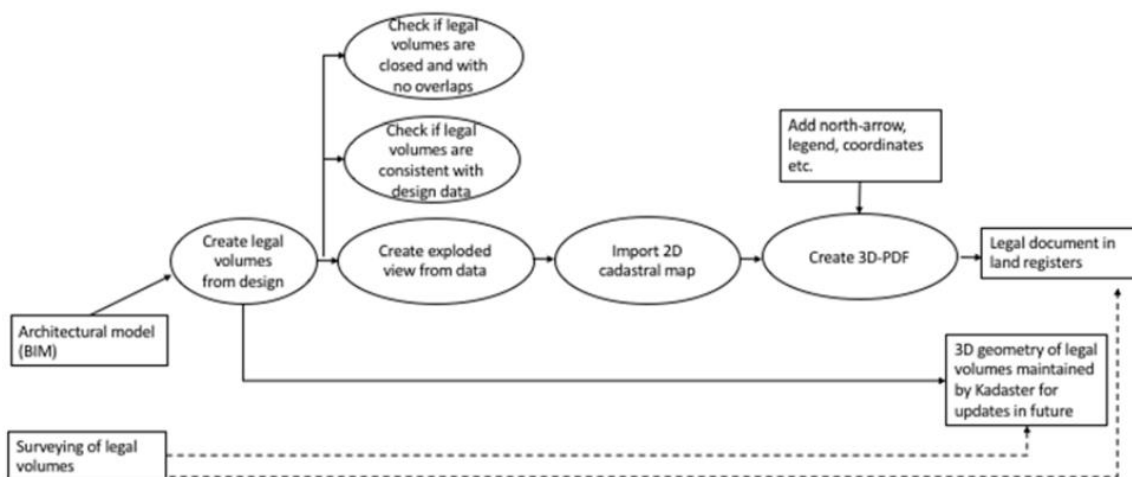
Problematiko vidijo tudi glede enotnih usmeritev ter upravljanja razvoja. Sprašujejo se, ali je registracija pravic lahko vodilna in proaktivna pri spremembah v smeri 3D ali naj sledi spremembam na drugih področjih. Opažajo, da so notarji, ki na Nizozemskem pripravljajo 3D dokumentacijo, zadržani pri prevzemanju pobude. Možnosti, ki se tu pojavljajo, so dodatna podpora in vzpodbuda s strani katastra, da se zmanjšajo ovire pri 3D registraciji, ali pa dodatni predpisi, ki bi takšno obliko predpisali kot nujno.

Registracija nepremičnin je vse bolj del tudi drugih procesov, zato nizozemski Kadaster preučuje razvoj 3D katastra v okviru drugih razvojnih aktivnosti, kot so registracija stavb v 3D, povezovanje s 3D topografijo in vzdrževanje registra s podatki o novih stavbah, ki vključujejo pomembne informacije, kot je spremljanje energetske tranzicije (npr. uporabljeni materiali za stavbo).

Še ena lekcija se nanaša na "načelo specializacije", ki ga upošteva nizozemsko zemljiško upravljanje (kar velja tudi v mnogih drugih državah). To načelo določa, da se mora prvotna parcela razdeliti, če je pravica vzpostavljena samo na delu parcele, s čimer zagotovijo, da parcele, ki se ne sekajo s projekcijo drugih lastnin, niso prizadete zaradi te pravice. Stroški in kompleksnost te prakse so lahko v primerih kompleksnih lastninskih pravic na stavbah zelo visoki. To bi zahtevalo spremembo Kadasterbesluita

(Uredbe o katastru), v katerem bi bilo določeno, da te spremembe niso potrebne, če so vsa pravila znotraj kompleksa predstavljena v 3D.

Med procesom registracije z uporabo 3D modela so odkrili kar nekaj napak, ki bi se zgodile v primeru tradicionalnega 2D vpisa in ne bi bile odkrite. Na Nizozemskem se je pokazalo, da je zaradi zelo kompleksnega postopka registracije pravic 3D registracija stroškovno celo bolj učinkovita. Procesni diagram postopka 3D registracije omogoča dva načina pridobivanja 3D podatkov. V primeru, da je stavba že zgrajena, lahko podatke pridobijo z meritvami, pred tem pa iz BIM dokumentacije (slika 2).



Slika 2: Proces 3D registracije pravic na Nizozemskem (Stoter et al., 2017).

Glede naslednjih korakov razvoja 3D katastra Nizozemci poudarjajo potrebo po dodatnih in temeljnih raziskavah učinkov, saj gre pri 3D katastru za kompleksen preplet prava, tehničnih zmožljivosti ter organizacijskih vidikov. Zavedajo se, da uvedba 3D katastra prinaša potrebo po korenitih spremembah zakonodaje, kar je dolg in zahteven proces. Poudarjajo, da prehod na 3D kataster spreminja tudi ustaljene in preizkušene prakse 2D registracije, kar je treba dobro ter temeljito preučiti.

Prvi izvedeni poskusi 3D registracije so izpostavili številna nerešena vprašanja:

- Ali lahko Kadaster v določenih situacijah uveljavi takšno 3D registracijo in če da, v katerih primerih?
- Kako spremeniti pravno pravilo, da se lahko na eno parcelo vknjiži stanje lastninskih pravic na več ravneh, namesto da se 2D parcelo razdeli tako, da odraža stanje nad in pod površjem?
- Kakšen je pravni status 3D modelov in prikazov? Ali je vizualizacija dodatek k listini ali je vizualizacija namenjena le razjasnitvi 2D listine? Če je 3D listina vodilna, je treba 3D podatke potrditi po uradnem postopku. Kako izvajati te postopke?
- Kakšne so (minimalne) zahteve za 3D model in prikaze?
- Kaj storiti, če obstaja razlika med pravno dokumentacijo in 3D modelom?
- Kakšno je razmerje med 2D in 3D (ali naj se 3D vedno prilega 2D registraciji)?
- Kako vzdrževati 3D podatke?
- 3D PDF je registriran kot pravni dokument. Ali je treba ta dokument posodobiti, če se spremeni (majhen) del primera nepremičnine na več ravneh?

V rezultatih izvedbe vprašalnika, ki se izvaja pod okriljem Mednarodne zveze geodetov (angl. International Federation of Surveyors – FIG), v delovni skupini 3D zemljiška administracija, o statusu katastrskih sistemov v različnih državah v letu 2022 za Nizozemsko ni zaznati posebnega napredka

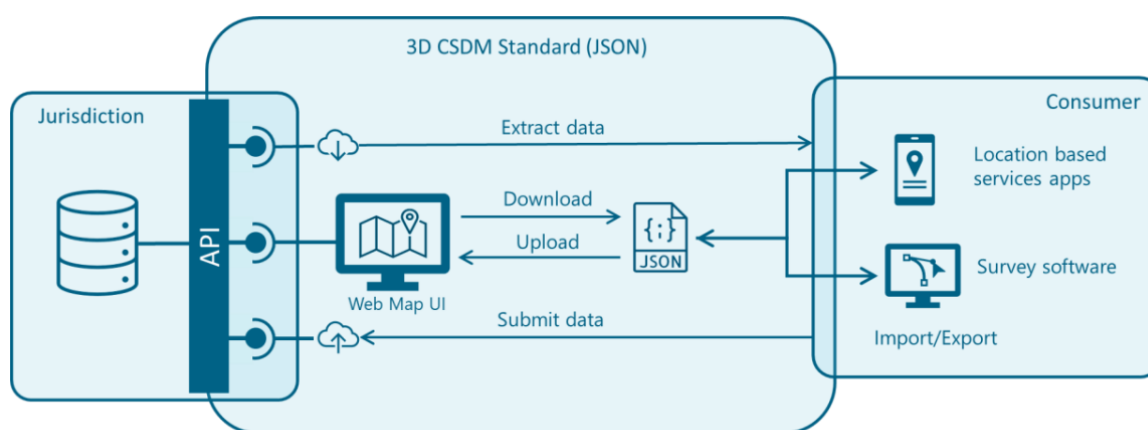
glede števila 3D registriranih stavb z uporabo 3D PDF dokumentacije. Kot že omenjeno, gre to pripisati predvsem zadržanosti pravnih strokovnjakov, ki imajo na Nizozemskem vodilno vlogo pri registraciji nepremičnin.

3.1.1.2 Avstralija

Avstralija je razdeljena na zvezne države, kar vpliva tudi na zemljiško administracijo, ki je organizirana znotraj posamezne zvezne države. Avstralija zato nima enotnega sistema zemljiške administracije. Razvoj 3D katastra poteka intenzivneje od leta 2000 dalje, izraziteje v zveznih državah Victoria, Queensland in New South Wales. Pospešila ga je strategija »Cadastre 2034«, ki je bila sprejeta na zvezni ravni za vse zvezne države. Izdelana je bila pod okriljem medvladnega komiteja za geodezijo ICSM (angl. Intergovernmental Committee for Survey and Mapping). Strategija med cilji določa, da bo kataster v prihodnosti:

- temeljnega pomena za lastništvo zemljišč in nepremičnin,
- trajnostno upravljan,
- dostopen, uporabniku prijazno prikazan in preprosto razumljiv ter uporaben,
- polno integriran s širšimi pravnimi in družbenimi interesi na zemljiščih,
- zagotavlja digitalno predstavitev resničnega sveta,
- geodetsko natančen,
- 3-dimenzionalen in dinamičen,
- je zvezni katastrski sistem, ki temelji na skupnih standardih.

V zadnjih letih pri razvoju kot vse bolj pomemben vidik izpostavljajo usklajenost in povezljivost rešitev med zveznimi državami. V strateške dokumente poleg vključujejo tudi Novo Zelandijo. Vse zvezne države imajo možnost registracije 3D nepremičnin, a v okviru tradicionalnih 2D pristopov registracije. ICSM je na podlagi strategije sprejel program dela, ki bo kataster transformiral v polni digitalni 3D kataster. Gre za program razvoja 3D katastrskega podatkovnega modela in izmenjave podatkov (angl. 3D Cadastral Survey Data Model and Exchange – 3D CSDM+E). Najpomembnejši cilj razvoja je omogočiti krožni tok digitalnih katastrskih podatkov, ki je konceptualno prikazan na spodnji sliki 3.



Slika 3: Koncept krožnega toka digitalnih katastrskih podatkov (Haanen et al., 2023).

V prvi faza programa 3D CSDM+E, ki je že zaključena, so bile analizirane regulativne zahteve in razvit usklajen konceptualni in logični model, ki vključuje posebnosti sistemov vseh zveznih držav in Nove Zelandije. Model so razvijali na temeljih mednarodnih standardov (LADM- angl. Land Administration Domain Model, OGC LandInfra, ePlan) in slovarjev (CaLAThei, LandVoc). Razviti model omogoča shranjevanje:

- tradicionalnih 2D obodov,
- opisov razširjenih pravic,
- geomorfologije terena (DMV ali TIN),
- 3D volumnov,
- DGGS (angl. Discrete Global Grid Reference System) indeksa

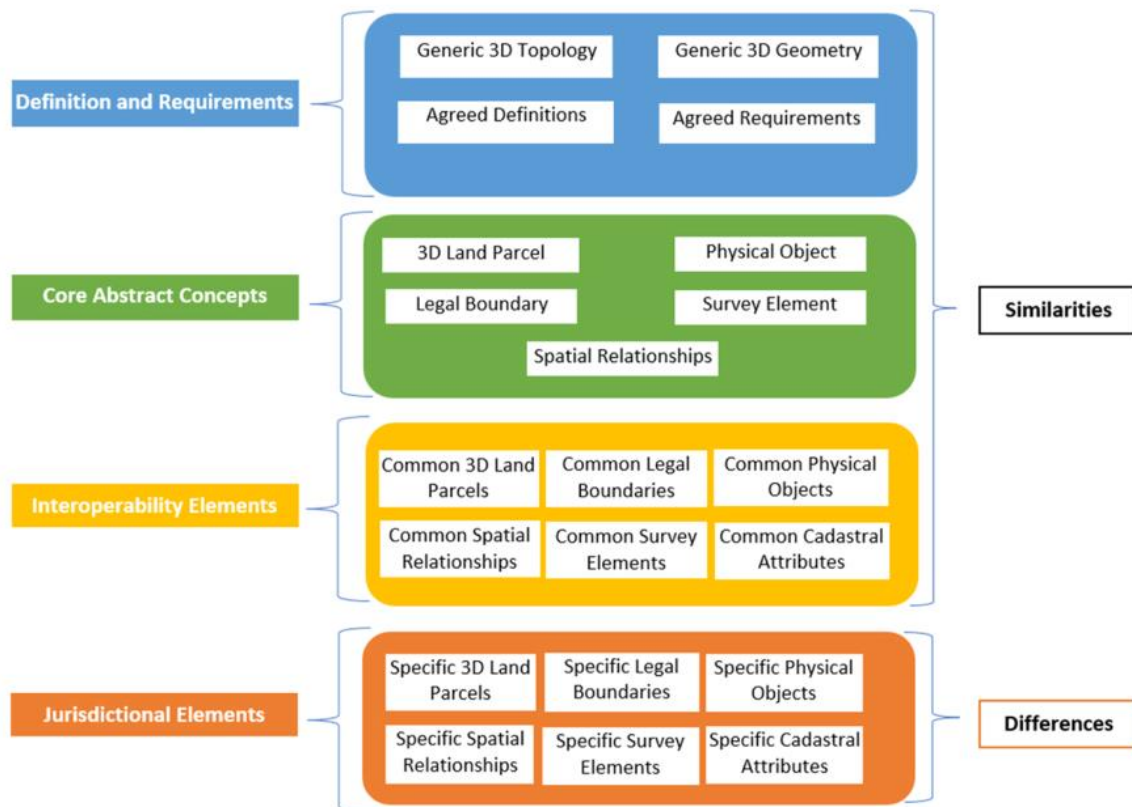
Poleg usklajenega skupnega dela podatkovni model omogoča profile, preko katerih ga lahko posamezni katastrski sistemi prilagodijo glede na lokalno zakonodajo. V sklopu prve faze so raziskali tudi različne možnosti glede formatov zapisa. Ugotovili so, da večina standardov za zapis omogoča implementacijo ob uporabi 2D geometrijskih tipov. LandXML so izključili, ker nima podpore za 3D objekte in ne podpira zastavljenega razvoja. Ostali XML modeli (KML, GML, CityGML, InfraGML) so bili identificirani kot obsežni, preveč zahtevni in neprilagojeni za implementacijo v katastru. Kot najprimernejši format so identificirali format JSON, ki ga je za razviti podatkovni model mogoče uporabiti brez sprememb. Široko se uporablja na spletu v različnih spletnih servisih, predviden je za enega od načinov zapisa IFC podatkov, razvit je tudi JSON zapis podatkovnega modela CityGML in ni zahteven za branje ter razčlenjevanje.

V drugi fazi, ki se je začela v letu 2023, bodo razvili standard za zapis 2D katastrskih podatkov v JSON formatu, skupaj z možnostjo dodajanja profilov za vsako zvezno državo. Razvoj vključuje tudi določitev pravil za samodejno preverjanje kakovosti in skladnosti. V drugi fazi oblikovan standard za zapis 2D katastrskih podatkov bo dal tudi usmeritve glede standarda za zapis 3D katastrskih podatkov, za katerega bo potreben dodaten razvoj. V Avstraliji so ugotovili, da trenutno ni nobene neposredno uporabne rešitve za zapis 3D katastrskih podatkov v skladu z njihovimi zahtevami. Predvidevajo oblikovanje rešitve na podlagi JSON razširitev ali referenciranja 3D objektov.

Tretja faza bo vključevala dejansko implementacijo v vseh zveznih državah. Pričakujejo razlike med njimi v hitrosti in različne »vmesne« rešitve, za lažji prehod na popolnoma digitaliziran sistem.

Tako kot na Nizozemskem so tudi v Avstraliji odprta vprašanja glede pravne veljavnosti 3D podatkov o nepremičninah. Trenutna ureditev digitalnim objektom v katastrski podatkovni bazi ne daje pravne veljave. Sprašujejo se, ali naj bo tako tudi pri 3D digitalnih podatkih in naj služijo samo bolj jasni predstavitvi in povečani medopravilnosti. Odprto imajo tudi vprašanje glede tega, ali naj bo kataster vodilni pri spremembah, ali naj sledi spremembam na drugih področjih (Stoter et al., 2019).

Atazadeh et al. (2023) so v luči programa skupnega razvoja katastra v Avstraliji izvedli primerjalno analizo katastrskih sistemov v različnih zveznih državah in poleg skupnih lastnosti odkrili številne razlike med sistemi. Oblikovali so predlog večslojnega okvira za podporo enotnemu katastrskemu sistemu. Prvi trije sloji so skupni za vse in vključujejo definicije, osnovne koncepte in objekte za medopravilnost, zadnji sloj pa je specifičen za vsako zvezno državo in omogoča modeliranje posebnosti (slika 4).



Slika 4: Večslojni okvir za 3D kataster v Avstraliji (Atazadeh et al., 2023).

V Avstraliji glede na FIG-ov vprašalnik o statusu katastrskih sistemov v letu 2022 trenutno še nimajo sistema, ki bi omogočal digitalno 3D registracijo nepremičninskih enot. Iz aktualnih objav je razbrati spoznanje, da jim bo več prednosti in dodane vrednosti prinesel usklajen napredek ter skladnost podatkovnih modelov vseh zveznih držav kot pa individualni razvoj znotraj posameznih zveznih držav.

3.1.1.3 Švedska

Švedska spada med države, ki se najbolj aktivno ukvarjajo z razvojem 3D katastra. 3D nepremičnine so na Švedskem pravno opredeljene šele od leta 2004. Leta 2009 so v zakonodajo dodali tudi etažno lastnino. Ugotavljajo, da v zadnjih letih zanimanje za registracijo 3D nepremičnin raste, s tem pa tudi potreba po jasni prostorski opredelitvi teh nepremičnin. Tako kot v Sloveniji tudi na Švedskem ugotavljajo, da ob vpisu nepremičnin v kataster nastajajo kakovostni 3D podatki, ki jih kataster ne sprejme in shrani (Larsson et al., 2018, Larsson et al., 2020).

Na Švedskem so v okviru strateškega programa pametnega grajenega okolja (angl. Smart Built Environment) (SBE, 2024) med drugim izvedli tudi projekt na temo prostorskega planiranja, nepremičnin in gradbenih dovoljenj. Raziskave so bile usmerjene v uporabo 3D prostorskih podatkov v procesu načrtovanja, izdaje gradbenega dovoljenja, gradnje in registracije nepremičnin. Izvedli so tudi aktivnosti v zvezi z uporabo 2D katastrske dokumentacije za 3D rekonstrukcijo nepremičninskih enot v okolju BIM.

Strateški program financira tudi druge projekte, povezane z nepremičninami in 3D prostorskimi podatki: projekt DigSam (šved. Digital Samhällsbyggnadsprocess, angl. Digital Community Development Process) (DigSam, 2024) in projekt Delivery Specifications for Geodata-BIM (Geodata-BIM, 2024).

Larsson et al. (2020) predlagajo čimprejšnji razvoj katastra v smeri podpore 3D tehnologij. To dodatno utemljujejo tudi z ekonomskimi argumenti, saj so ugotovili, da je interpretacija in 3D modeliranje iz obstoječe dokumentacije veliko bolj zahtevno in dražje kot oblikovanje 3D volumnov nepremičninskih enot že ob vpisu. Stroški prehoda na 3D kataster, ki ga vidijo kot neizbežnega, tako z vsakim letom naraščajo.

Med priporočili za razvoj 3D katastra na Švedskem iz raziskav, ki jih opravljajo, najdemo tudi, da mora biti katastrski sistem vključen že v postopke oblikovanja 3D nepremičninskih enot v času načrtovanja stavbe. Poudarjajo potrebo po dodatnih raziskavah glede pravnih izzivov in izzivov glede 3D prikazovanja podatkov. Tudi na Švedskem ugotavljajo, da so za prehod na digitalni 3D kataster potrebne zakonske spremembe, poleg slednjih pa tudi organizacijske in procesne spremembe v uradnih katastrskih postopkih. V primeru uporabe podatkov BIM kot vira 3D prostorskih podatkov o nepremičninah izpostavljajo vprašanja glede avtorskih pravic. Izzive vidijo tudi pri interpretaciji natančnosti 3D podatkov, predvsem, ko so natančni in podrobni 3D podatki prikazani skupaj s podatki nižje kakovosti (starejši katastrski vpisi, prostorski plani ...). Med tem, ko ne vidijo neposredne potrebe oz. nujnosti razvoja 3D katastra zaradi njega samega, katastrski sistem namreč deluje dobro, pa opažajo povečan pritisk povezanih področij, ki se hitro digitalizirajo in razvijajo v smeri 3D (prostorsko planiranje, BIM, digitalni dvojčki).

Na Švedskem v okviru že omenjenega projekta Geodata-BIM (Geodata-BIM, 2024) razvijajo tudi nacionalni standard za 3D modeliranje gradenj. Soočeni so namreč z vse več 3D topografskimi modeli območij, ki so medsebojno zelo različni. Na podlagi široke analize standardov in tehnologij so ugotovili, da OGC standard CityGML najbolj ustreza zahtevam za njihov nacionalni standard. Razvili so razširitev (angl. Application Domain Extension – ADE), ki omogoča shranjevanje specifičnih lastnosti in razredov za njihovo uporabo. Standard je med drugim namenjen tudi temu, da omogoča samodejno preverjanje skladnosti gradenj z določenimi zahtevami, kar so v okviru raziskav za izbrana pravila tudi že izvedli (Eriksson, 2020). Standard razvijajo z namenom večnamenske uporabe tudi na drugih področjih – tudi v katastru. Zahteve s področja katastra so naslednje:

- omogočati poenostavljen prikaz podatkov 3D katastra,
- povezava z BIM, kjer so meje 3D katastra določene z zunanjim referenciranjem,
- povezava do 2D katastra, 3D katastra in drugih ustreznih katastrskih informacij z uporabo zunanjega referenciranja.

V podatkovnem modelu predloga standarda uporabljajo tudi koncept razdelitve volumnov prostorov (angl. spaces) na fizične in logične, kot to določa standard CityGML 3.0. Kot primer uporabe logičnih prostorov navajajo prav 3D nepremičninske enote.

Pri razvoju se soočajo z vprašanjem obsega standarda. Vprašanje je, ali razviti popolnoma namenski standard za specifične potrebe, ki je enostavnejši za uporabo in implementacijo, ali za osnovo izbrati širše uveljavljen in bolj kompleksen standard CityGML, ki omogoča večjo povezljivost, več aplikacij in možnosti nadgradenj v prihodnosti. Poudarjajo pomen vključevanja časovne komponente, ki omogoča upravljanje različnih razvojnih faz objektov v 3D modelu (angl. versioning). Ugotavljajo, da je ključnega pomena, da razvoj takšnega standarda vodi jasna opredelitev ciljev, torej katere naloge in funkcije naj 3D model podpira (Eriksson, 2020).

V okviru projekta 3DCIM (angl. Data Center optimization and Infrastructure Management), prav tako znotraj strateškega programa SBE, so tri večja mesta na Švedskem začela z aktivnostmi za standardizacijo 3D modelov mest (Uggla et al. 2023). Prav tako so izbrali CityGML z možnostjo razširitve ADE. Za vsako od mest so ustvarili testni model, pri čemer so ugotovili, da je bilo potrebno veliko ročnega dela. Kot vir podatkov so uporabili obstoječe 3D modele stavb in 2D občinske topografske podatke. Testne 3D modele mest so uporabili za raziskovanje možnosti shranjevanja, 3D prikazov in različnih primerov uporabe v smislu analiz ter simulacij. Za izdelavo modelov mest so izbrali standard CityGML 2.0 in ugotovili, da različica 3.0 ponuja določene izboljšane rešitve, a programska oprema še ni na ravni, ki bi omogočala implementacijo takšnih modelov.

Glede na že prej omenjen vprašalnik FIG iz leta 2022 švedski katastrski sistem ne omogoča shranjevanja in upravljanja 3D nepremičninskih enot v digitalni obliki. Do leta 2026 na tem področju ne pričakujejo večjih sprememb. Pričakovati je torej, da bodo tudi v prihodnosti 3D nepremičninske enote uradno registrirane opisno s podporo 2D tehnologij. Spremembe pričakujejo predvsem pri razvoju 3D orodij in 3D prikazov katastrskih podatkov skupaj z drugimi 3D prostorskimi podatki.

3.1.2 Programska oprema

V tem poglavju so podrobneje opisana najbolj razširjena in napredna orodja za izvedbo različnih operacij 3D modeliranja stavb iz podatkov daljinskega zaznavanja.

3.1.2.1 Terrasolid

Terrasolid je sklop naprednih programskih orodij, ki omogočajo obdelavo podob daljinskega zaznavanja in oblakov točk. Med specifičnimi primeri uporabe programov spada tudi 3D modeliranje stavb. V tem smislu sta najpomembnejša programska modula TerraScan in TerraModeler.

TerraScan, sestavni del programa Terrasolid, zagotavlja orodja za vektorizacijo stavb na podlagi oblaka točk, pridobljenega s tehnologijo LiDAR ali s postopki fotogrametrije. Programska oprema omogoča generiranje 3D vektorskih modelov stavb. Modeli so ustvarjeni na ravni podrobnosti LoD2, kjer so prikazane oblike streh in celotne strešne konstrukcije, medtem ko so stene prikazane kot navpične ploskve.

Postopek samodejne vektorizacije 3D stavb vključuje klasifikacijo talnih točk, prepoznavanje visokih točk in klasifikacijo točk na strehah stavb. Za povečanje točnosti klasifikacije se lahko TerraScan uporablja tudi v kombinaciji z orodji modula TerraPhoto. Kakovost in podrobnost modeliranja sta odvisna predvsem od kakovosti in gostote oblaka točk. Večja gostota točk omogoča natančnejše modele.

Programski modul TerraScan omogoča tudi ročno urejanje samodejno generiranih 3D modelov:

- izboljšati je mogoče obliko streh: prilagajanje obrisov streh, dodajanje detajlov in izpopolnjevanje kompleksnih strešnih konstrukcij;
- urejanje poligonov sten: prilagajanje oblik sten, dodajanje oken, vrat in drugih arhitekturnih podrobnosti;
- dodajanje atributov: pripisovanje atributov, kot sta tip stavbe ali višina, posameznim delom stavbe.

TerraModeler je programski modul za različne naloge oblikovanja in modeliranja 3D ploskev. Omogoča ustvarjanje modelov površin (TIN) iz različnih virov in različne načine vizualizacije 3D ploskev:

- barvne senčene površine,
- plastnice,
- 3D mreže,
- barvne trikotniške mreže,
- smeri naklona,
- površine s teksturami (v kombinaciji z modulom TerraPhoto).

Programski paket TerraSolid omogoča integracijo z GIS in BIM okoljem, saj omogoča izvoz modelov stavb v formatih, ki jih podpirajo GIS in BIM orodja.

3.1.2.2 FME

Safe Software FME je programski paket, ki spada v skupino ETL orodij. Gre za orodja, ki omogočajo branje (Extract), manipulacijo in transformacijo (Transform) in zapis (Load) podatkov. Gre za najnaprednejše orodje te vrste na področju prostorskih podatkov. Z vidika 3D modeliranja stavb je FME pomemben, ker v enem okolju lahko kombiniramo različne vrste podatkov v najrazličnejših formatih. V FME okolju tako lahko preberemo podatke iz najrazličnejših virov, ki jih lahko nato z velikim naborom orodij za 3D analitiko in manipulacijo 3D podatkov kombiniramo, analiziramo in spreminjamo. FME se lahko učinkovito uporablja tudi kot orodje za nadzor kakovosti prostorskih podatkov.

FME podpira tudi podatkovni model CityGML. V razvojni različici je dostopen tudi že bralnik za podatke v CityGML 3.0 podatkovnem modelu, kar ga uvršča med prve programe, ki nudi podporo za zadnjo različico standarda.

3.1.2.3 Building Reconstruction

Building Reconstruction je orodje za 3D modeliranje stavb, ki ga razvija podjetje Virtual City Systems. Čeprav tudi avtorji programa priznavajo, da program ne sledi več zadnjim trendom in inovacijam na področju 3D modeliranja stavb, je program še vedno zelo široko uporabljen za pridobivanje 3D modelov mest po svetu. Building Reconstruction omogoča 3D modeliranje stavb iz kombinacije klasificiranega oblaka točk in 2D poligonov stavb.

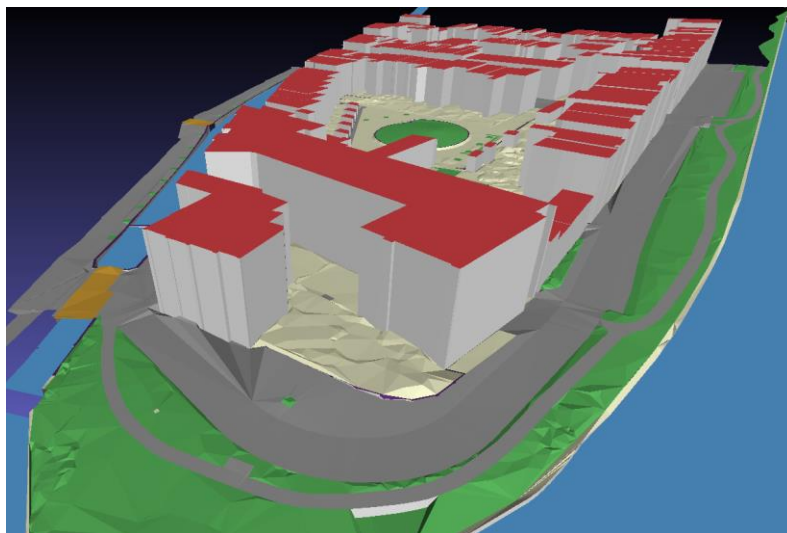
Postopek modeliranja je zasnovan zelo robustno, iz česar sledi, da je rezultat samodejnega modeliranja v veliki večini primerov zelo zadovoljiv. Program ponuja tudi uporabniku prijazna orodja za ročno urejanje posameznih modelov stavb, pri katerih samodejni postopki niso dali ustreznega rezultata. Program uporablja modelni pristop, pri katerem gre za prilagajanje predhodno določenih 3D oblik v oblak točk. Tako ima program za strehe 21 različnih preddefiniranih oblik, ki jih kombinira in prilagaja.

Po končanem modeliranju je mogoče izvesti tudi kontrolo kakovosti, pri kateri se za vsak 3D model izračunajo odstopanja modela od oblaka točk.

3.1.2.4 3Dfier

3Dfier je odprtokodno orodje, ki omogoča 3D modeliranje topografije iz kombinacije 2D GIS podatkovnih slojev in klasificiranega oblaka točk.

Orodje omogoča modeliranje stavb na ravni podrobnosti LoD1. Treba je poudariti, da pri tem ne gre le za modeliranje stavb, ampak celotne topografije, vključno s terenom, cestami, zelenimi in vodnimi površinami (slika 5), kar v postopek modeliranja prinaša dodatno kompleksnost.



Slika 5: Zvezno 3D modeliranje topografije z orodjem 3Dfier (3Dfier, 2024).

Skupina, ki je razvila 3Dfier, je ustanovila podjetje 3DGI, ki kot storitev ponuja tudi modeliranje stavb v nivoju podrobnosti LoD2.2. Orodje 3Dfier je v naboru programov opisano predvsem zato, ker gre med opisanimi za edino odprtokodno rešitev. Program je bil razvit za potrebe 3D topografskega modeliranja na Nizozemskem, zaradi proste dostopnosti pa se uporablja za 3D modeliranje tudi izven Nizozemske.

3.2 Predhodno testiranje izdelave 3D stavb

Predhodno testiranje je imelo glavni namen ugotoviti kako kakovostni so obstoječi procesi avtomatske izdelave 3D vektorskih modelov stavb na lidarskih podatkih daljinskega zaznavanja, ki bodo v letu 2025 na voljo za celo državo.

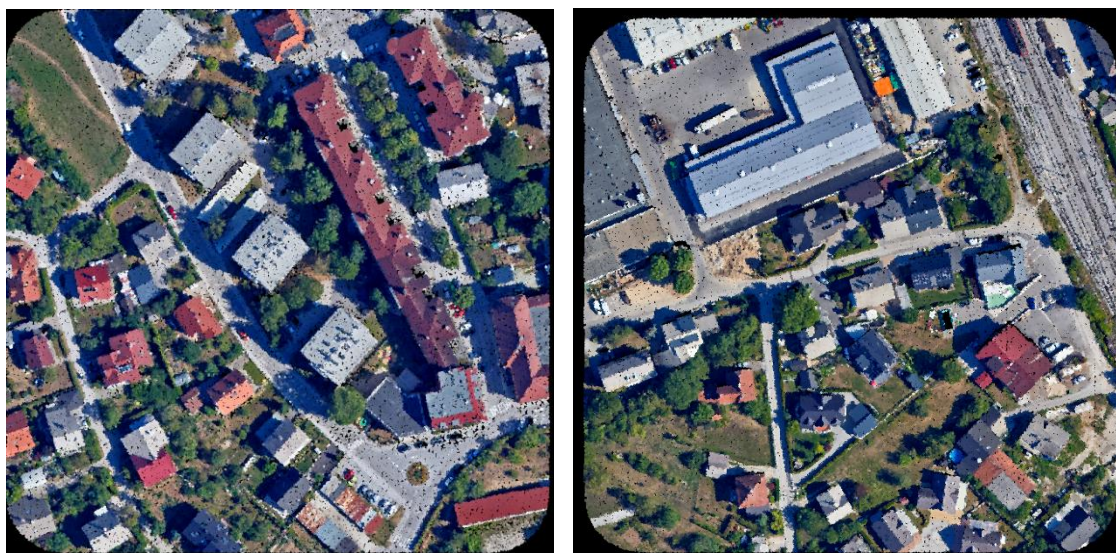
3.2.1 Vhodni podatki CLSS za modeliranje 3D stavb

Pri testnem internem projektu Geodetskega inštituta Slovenije, ki se je zaključil v maju 2023, so bili uporabljeni podatki iz ponudbe Flycoma z javnega razpisa za izvedbo projekta CLSS. Velikost obeh setov (slika 6; območje 1 je Radovljica, območje 2 so Lesce) je bila 150 m x 150 m z dodatnim 20 m bufferjem.



Slika 6: Območji s testnimi podatki na območjih Radovljice in Lesc.

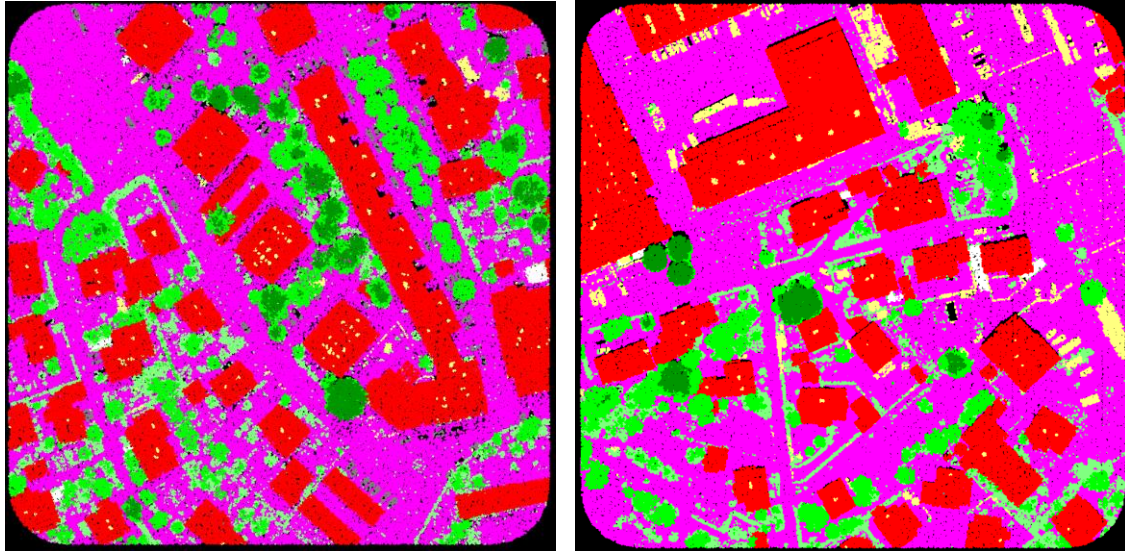
Oba seta oblakov točk sta poleg intenzitete vsebovala tudi obarvanost iz istočasno zajetih aerofotografij v RGB načinu (slika 7). Gostota oblaka točk na izdelku GKOT (georeferenciran klasificiran oblak točk), ki je bil uporabljen za test, je bila več kot 10 točk/m² in sicer območje 1 je imelo gostoto 27 točk/m², območje 2 pa je imelo gostoto 14 točk/m².



Slika 7: Pregled testnih območij Radovljice in Lesc v RGB obarvanem oblaku točk.

Na obeh testnih območjih je bila izvedena tudi klasifikacija oblaka točk (slika 8).

| | |
|---|------------------|
| 0 | Never Classified |
| 1 | UnClassified |
| 2 | Ground |
| 3 | Low Vegetation |
| 4 | Med Vegetation |
| 5 | High Vegetation |
| 6 | Building |
| 7 | Low Point(Noise) |
| 8 | Model Key Point |
| 9 | Water |



Slika 8: Pregled testnih območij Radovljice in Lesc v obarvanem oblaku točk glede na klasificirane razrede.

Pravkar opisani testni podatki so bili posredovani dvema podjetjem, ki se ukvarjata z avtomatsko izdelavo 3D vektorskih stavb. Prvo podjetje je nizozemsko (3DGI), drugo je slovensko(Flai). Tretji test je na drugih podatkih, ki so predstavljeni v poglavju 3.2.4., izvedlo podjetje Flycom. Opis treh različnih postopkov obdelave in rezultatov je v nadaljevanju.

3.2.2 Modeliranje 3D stavb z obrisi stavb iz KN (3DGI)

Oba seta podatkov smo poslali na Nizozemsko, kjer je nizozemsko podjetje 3DGI izdelalo 3D modele stavb ob uporabi obrisov stavb iz katastra nepremičnin za obe območji. 3DGI je uporabil enako programsko opremo in enak postopek kot pri izdelavi 3D modelov stavb za celotno Nizozemsko v treh variantah LoD (LoD1.2, 1.3 in 2.2).

Obrisi stavb se na Nizozemskem enotno vzdržujejo na nivoju države, za njihovo ažurnost pa so zadolžene občine. Njihovo zbirko 3D stavb si je mogoče ogledati na <https://3dbag.nl/en/viewer>. Tehnologija temelji na klasičnem programiranju (3 leta razvoja), ki je optimizirano za obdelavo velikih količin podatkov, saj ima Nizozemska okrog 10 milijonov stavb, pri čemer je obdelava oz. izdelava vseh 3D modelov trajala približno en teden. Zbirka ni uporabljena v njihovem katastru nepremičnin, pač pa za druge namene.

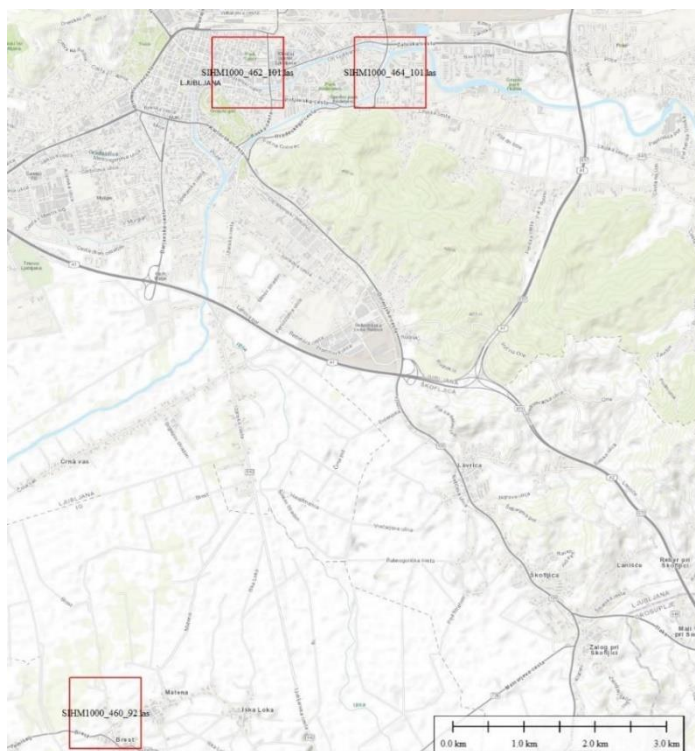
3.2.3 Modeliranje 3D stavb brez obrisov stavb (Flai)

Podjetje Flai je za test uporabilo enake podatke zračnega laserskega skeniranja (ZLS) kot podjetje 3DGI, le da ni uporabilo obrisov stavb. Iz georeferenciranega klasificiranega oblaka točk (GKOT) iz CLSS je direktno generiralo vektorske 3D modele stavb. Kakovost izdelanih 3D modelov stavb je bila v splošnem slabša kot pri 3DGI, vendar ne nujno zaradi neuporabe obrisov stavb. Flai svojo proizvodnjo linijo 3D modeliranja stavb, temelječo na AI tehnologiji, še izboljšujejo.

3.2.4 Modeliranje 3D stavb z obrisi stavb iz oblaka točk in iz popolnega ortofota (Flycom)

Tretji test (gl. *Tehnično_poročilo_3D_stavbe_GURS_2023_ver1.pdf*), ki ga je Flycom izvedel za GURS za potrebe izdelave 3D modela stavb, je temeljil na georeferenciranemu oblaku točk, ki je bil pridobljen v okviru projekta CLSS 2023. Poleg podatkov laserskega skeniranja so uporabili še obrise stavb, ki so jih izdelali iz izdelka popolni ortofoto (POF) v okviru testnega projekta poševnega aerofotografiranja na območju Ljubljane (projekt *PAF-test*). POF je bil izdelan samo iz vertikalnih posnetkov projekta *PAF-test*, ki pa je bil v osnovi izdelan iz aerofotografij večje ločljivosti (5 cm) in zato poslabšan na ločljivost 10 cm. V okviru systemskega projekta CLSS, ki naj bil uporabljen pri izdelavi 3D stavb za celo državo, ima izdelek POF ločljivost 16 cm. V poročilu ni pojasnjeno, zakaj ni bil uporabljen izdelek POF iz projekta CLSS, ki se izdeluje za celo državo. Večja ločljivost omogoča tudi večjo položajno točnost in boljšo izdelavo obrisov stavb. Iz navedenega sledi, da izvedeni test za dve območji ni nujno reprezentativen za celotno državo.

Namen naloge je bil raziskati možnosti avtomatizacije 3D modeliranja stavb in zajema ključnih podatkov na treh manjših območjih, velikosti 1x1 km, kar je bila osnova za oblikovanje metodologije zajema podatkov za celotno območje Slovenije. Izbralo se je 3 območja znotraj območja Ljubljane (slika 9), od katerih sta dve območji na območju projekta *PAF-test*, kjer so bile fotografije zajete s tehnologijo za poševno fotografiranje. Izbrano je bilo gosto poseljeno območje znotraj centra Ljubljane, mešano območje z različnimi tipi stavb ter ruralno območje na obrobju Ljubljane. Oznake območij so za urbano območje na km² 464_101, za mešano območje na km² 464_101 in za ruralno območje na km² 460_92.



Slika 8: Pregled treh testnih območij na območju Ljubljane - gornji dve v območju projekta *PAF-test*, spodnje pa le v bloku CLSS.

Uporabili so georeferenciran oblak točk (GOT) z gostoto 15-20 točk/m², ki pa so ga posebej za namene izdelave 3D stavb klasificirali na naslednje razrede: teren, vegetacija in ostalo, strehe, zidovi in dimniki. V klasifikaciji, ki jo predvideva projekt CLSS razreda zidovi in dimniki nista uporabljena.

Poleg drugače klasificiranega GOT so uporabili tudi obrise stavb (projekcijo streh na teren), ki so jih izdelali na dva načina, enega iz oblaka točk klasificiranih v stavbe, in drugega iz popolnega ortofota, kar je že bilo opisano. Tlorisov stavb iz KN niso uporabili, ker so bili preslabi.

Tlorisi stavb, v katerega so bile vključene tudi karakteristične linije streh, so bili narejeni na podlagi strojnega učenja iz popolnega ortofota (POF), ki je bil izdelan iz vertikalnih fotografij projekta *PAF-test*. Uporabljena ločljivost POF je bila 10 cm. POF so uporabili tudi za segmentacijo stavb na posamezne dele. Ti obrisi stavb so služili kot vhodni podatki pri izdelavi 3D modelov.

V okviru projekta so naredili tudi primerjavo med tlorisi generiranimi iz POF z naslednjimi sloji iz zbirke GURS: KN_SLO_STAVBE_TLORIS_poligon, STAVBE_NADZEMNI_TLORIS in KN_SLO_STAVBE_tocka. Le zadnji sloj s centriidi je bil uporabljen tudi za prepoznavanje posameznih stavb. Primerjava je zanimiva, saj nam lahko delno pokaže ujemanje med generiranimi obrisi iz POF CLSS in slojema zbirke GURS (slika 9).



Slika 9: Obrisi streh, ki so bili avtomatsko narejeni iz POF v projektu *PAF-test* (modri poligoni); sloja KN_SLO_STAVBE_TLORIS_poligon in STAVBE_NADZEMNI_TLORIS (rumeni poligoni).

Na sliki 9 je 18 stavb prikazanih na POF v celoti. Od teh so samo štiri rumeni obrisi znotraj modrih, ki bi omogočali izdelavo modela LoD2.3. Vse ostale stavbe bi rabile popravke modrih in/ali rumenih obrisov.

3.2.5 Primerjava metod in rezultatov modeliranja 3D stavb

V nadaljevanju je podanih nekaj slabih in dobrih strani načinov modeliranja.

Slabe strani:

- Nobena od navedenih metod 3D modeliranja stavb ne obravnava izdelave modela LoD2.3, ki bi bila ključna za vzpostavitev 3D stavbe za KN. Vse tri metode v najboljšem primeru proizvedejo LoD2.2, zato je treba v bodoče spremljati razvoj metod izdelave LoD2.3.
- Prva in tretja metoda zahtevata poleg oblaka točk ZLS (GKOT) tudi obrise stavb.
- V Sloveniji obrisi stavb iz katastra nepremičnin ne dosegajo zadovoljive kakovosti.
- Končni rezultati druge metode so nekoliko slabši od rezultatov prve in tretje metode.
- Vse tri metode oz. rezultati so rahlo zastareli, saj se metode zajema posodabljaajo, še hitreje pa programska oprema za izdelavo 3D modelov stavb iz podatkov ZLS in dodatnih podatkov.

Dobre strani:

- Dobili smo delni vpogled v konkretne rezultate, ki nam kažejo kaj je v tem trenutku z obstoječimi podatki mogoče narediti, in v nivo razvoja programske opreme za izdelavo 3D modelov stavb.
- V test so bile vključene tri različne metode, ki so dale precej podobne rezultate.
- Zaznavamo razvoj programske opreme na področju modeliranja 3D stavb, ki bo morda v prihodnje omogočal 3D modeliranje stavb tudi v LoD2.3.
- Tretji test je dodal v zbirko tudi naslednjih 10 atributov, ki se pridobijo iz uporabljenega oblaka točk streh, obrisov tlorisa streh in 3D modelov: najnižjo nadmorsko višino stika stavbe s tlemi, nadmorsko višino slemena, nadmorsko višino kapi, višino nadzemnega dela stavbe, število etaž brez kleti, bruto tlorisno površino stavbe, površino stavbe, volumen/prostornino stavbe, tip strehe in najvišji zidani del.
- Opravljeni testi so nam pomagali tudi pri zasnovi konceptov, ki so opisani v nadaljevanju.
- Rezultati testov so bolj obširno prikazani v poglavju 5.1.1 (DP3).

3.3 Konceptualni model vhodnih podatkov iz CLSS (Akt. 1.2)

Seznam podatkov daljinskega zaznavanja in s tem tudi njihovega zajema za izvedbo avtomatskega zajema 3D stavb je širok. Za zajem podatkov bi lahko uporabljali naslednje tehnologije in/ali njihove kombinacije: laserska tehnologija, ki se lahko nadgrajuje z istočasnim fotografiranjem, kot na primer zračno lasersko skeniranje (npr. CLSS in PLS z letala in/ali helikopterja), lasersko skeniranje z letalnikov, mobilno lasersko skeniranje, terestrično lasersko skeniranje. Lahko pa se izvede tudi samo fotografiranje: vertikalno aerofotografiranje (npr. CAS in PAS z letala in/ali helikopterja), poševno aerofotografiranje (npr. PAF z letala, helikopterja ali letalnika), mobilno fotografiranje (npr. Street View) in tudi terestrično fotografiranje.

Omenjene tehnike zajema podatkov o stavbah se lahko prilagajajo potrebam zelenega končnega rezultata. Želeni nivo 3D modelov stavb za potrebe katastra nepremičnin je LoD2.3. Da bi bilo avtomatsko generiranje 3D modelov stavb za potrebe KN čimbolj uspešno, t.j. da bi se pridobilo dovolj točk tudi na stenah stavb, bi se lahko koti zajema podatkov LiDAR povečali. Z uporabo naprednejše tehnologije zajema (nov instrumentarij) bi se kot laserskega skeniranja lahko povečal, ob tem pa bi se ohranila zelena gostota in po možnosti tudi stroški zajema podatkov.

3.3.1 Pomen obrisov stavb iz KN za potrebe izdelave 3D modelov stavb

Različni obrisi stavb lahko pomagajo pri izdelavi 3D modela stavb, ni pa nujno. Podjetje 3DGI v svojem postopku izdelave 3D modelov stavb obrise stavb uporablja, podjetje Flai pa ne. Na Nizozemskem imajo obrise stavb ažurne, vzdržujejo jih s pomočjo centralne zbirke obrisov vseh stavb na Nizozemskem (okrog 10 milijonov) in jih zato v samem postopku izdelave 3D modela stavb neposredno vključujejo.

Za generiranje 3D modelov stavb v načinu LoD2.3 pa bi bilo najverjetneje potrebno uporabiti tlorise stavb ob stiku s terenom oz. ZPS (zemljišče pod stavbo), saj ravnin fasad objektov iz državnih podatkov LiDAR ne moremo pridobiti.

V postopku generiranja 3D modelov stavb je potrebno uporabiti centroide stavb iz KN za povezljivo identifikacijo stavbe iz KN napram 3D modelu stavbe. Obrisi stavb (npr. ZPS) pa pripomorejo pri deljenju (členjenju) npr. vrstnih hiš.

Za pomoč pri členitvi stavb, ki bi jih algoritem za 3D modeliranje zaznal kot eno samo stavbo, bi bila koristna uporaba obrisov stavb (npr. ZPS) iz KN in tudi centroidov.

3.3.2 Preliminarne in splošne usmeritve glede modeliranja 3D stavb

Na osnovi predhodnih poglavij te aktivnosti povzemamo:

- Za generiranje vektorskih 3D modelov stavb lahko uporabimo oblak točk iz CLSS.
- Gostota oblaka naj bo vsaj 10 točk/m² (za LoD2.1), po možnosti pa več (za LoD2.2 in LoD2.3).
- Izvede naj se nova klasifikacija točk z dodatnimi razredi kot sta: dimniki in stene, ki jih projekt CLSS ne predvideva.
- Za izdelavo 3D modelov na temnih strehah, kjer je slab odboj ZLS ali ga sploh ni, se lahko uporabi digitalni model površja (DMP) generiran iz aerofotografij projekta CLSS.
- 3D modele stavb se lahko izdelava avtomatsko iz oblaka točk ZLS s pomočjo kakovostnih obrisov stavb ali pa samo iz oblaka točk.
- Kakovost 3D modelov stavb je odvisna od tipa in stopnje naprednosti algoritma, od kakovosti vhodnih podatkov/izdelkov LiDAR, od gostote točk na m². V primeru uporabe obrisov stavb, pa tudi od njihove kakovosti.
- Uporabljeni algoritmi za klasifikacijo oblaka točk so pri oblaku točk CLSS (GKOT) izvedeni za teren na klasičen način (TerraSolid), za ostale razrede pa se uporablja umetna inteligenca oz. globoko učenje (Flai).
- Uporabljeni algoritmi za generiranje 3D modela stavb so lahko izvedeni na klasičen način s programskim jezikom (3DGI in Flycom), ali pa se uporabi umetno inteligenco oz. globoko učenje (Flai).
- V kolikor se neposredno v postopku izdelave 3D modela stavb uporabljajo obrisi stavb, njihova kakovost močno vpliva na kakovost končnega rezultata. Ugotovljeno je, da kakovost obrisov stavb iz KN za potrebe modeliranja 3D stavb ne ustreza (Flycom).
- Za avtomatsko generiranje 3D modelov stavb v LoD2.1 in/ali LoD2.2 se lahko uporabi obris stavbe, ki je projekcija strehe na teren, ki je pridobljen iz oblaka točk CLSS in/ali iz POF.
- Za avtomatsko generiranje 3D modelov stavb v LoD2.3 naj se testira kakovost tlorisa ZPS iz KN, kjer se stavba stika s tlemi. ZPS je na razpolago za okrog 20 % stavb v državi. Tu je treba še raziskati ali so algoritmi za generiranje stavb za LoD2.3 že dosegli produkcijsko raven.

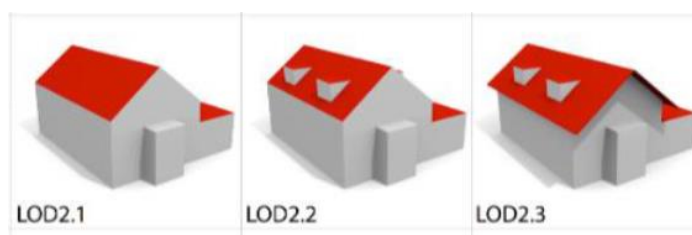
3.3.3 Preliminarne in splošne usmeritve glede ravni detajla (LoD)

V nadaljevanju podajamo še usmeritve glede ravni detajla:

- Z avtomatskim generiranjem 3D modela stavbe le iz podatkov CLSS širine napuščev ne moremo dobiti avtomatsko.
- Z morebitnim izboljšanim načinom zajema podatkov (npr. t.i. NFB scan – Nadir – Forward – Backward scanning) in algoritmi za klasifikacijo točk v dodaten razred (stene), povečanjem gostote točk/m² in izboljšanimi algoritmi pri generiranju 3D modela je mogoče že v bližnji prihodnosti pričakovati tudi avtomatsko izdelavo modela LoD 2.3, kar vključuje napušče.
- Tudi podatki poševnega aerofotografiranja (PAF) lahko zagotavljajo veliko točk na stenah in so lahko velik potencial pri avtomatskem generiranju 3D modelov stavb za nivo LoD2.3.
- Zaenkrat zajem podatkov s PAF ni predviden, saj je predrag, če bi bil uporabljen samo za namene GURS. Če pa bi država razširila njihovo uporabo na nekatera ministrstva, ki bi privarčevala veliko sredstev pri zmanjševanju terenskih obiskov zaradi uporabe PAF in dala podatke tudi v uporabo delovnim organizacijam in splošni javnosti, bi bil strošek lahko upravičen.
- Smiselno bi bilo tudi preveriti kakovost podatkov PAF (iz testnega projekta za Ljubljano) za avtomatsko generiranje 3D modelov stavb v LoD2.3 in poiskati algoritme, ki bi to omogočali.
- Za meritev napuščev je na voljo več metod daljinskega zaznavanja, ki vključujejo ročno delo, kar je ocenjeno kot stroškovno in časovno neracionalno. Terenska izmera z geodetskimi metodami je sicer natančnejša, vendar tudi veliko dražja.
- Za tiste stavbe, kjer je na razpolago tloris ZPS iz KN in je ta tudi dovolj kvaliteten in ažuren (v celoti mora biti znotraj obrisa stavbe s streho), se izdelava 3D modela stavbe LoD2.3 z izvlačenjem ZPS do strehe 3D modela stavbe, ki se avtomatsko generira iz podatkov CLSS.

Razlika med LoD2.1, 2.2 in 2.3 je naslednja:

- Najpomembnejša razlika je, da imata LoD2.1 in 2.2 stene 3D modela stavbe na obrisu projekcije strehe na teren, pri LoD2.3 pa je obris stavbe realističen, torej so stene na pravem mestu (slika 10). To tudi pomeni, da je direktni izračun volumna iz 3D modela v LoD2.1 ter 2.2 nerealen in ga je zato treba popraviti za širino nadstreškov.



Slika 10: Izsek iz specifikacije vrst stopenj podrobnosti LoD (Biljecki, Ledoux, Stoter, 2016).

- Manj pomembna razlika med LoD2.1 ter LoD2.2 in 2.3 je še pri modeliranju frčad oz. strešnih oken, ki jih v LoD2.1 ni.
- Pri uporabnosti za izračun števila etaž so si navedeni LoD zelo podobni.
- Za potrebe KN je vsekakor dolgoročni glavni cilj dobiti LoD2.3.
- Najbolj popoln model 3D stavbe za potrebe KN je LoD2.3 – polieder s streho, ki vsebuje tudi frčade in napušče. Iz takega 3D modela lahko avtomatsko izračunamo zelo realen volumen stavbe.
- Podrobnosti LoD2.2 in 2.3 na strehi so pri frčadah, vendar pa algoritmi za avtomatsko generiranje 3D stavb (streh) delujejo tako negotovo, da so frčade po sedanjih izkušnjah zajete premalo točno, tako z vidika popolnosti kot tudi položajne točnosti.

- Popravljanje topologije streh zaradi generalizacije frčad ali urejanja slemen pri bolj kompliciranih ostrejših je lahko stroškovno nesprejemljivo.
- Predlagamo, da se 3D stavbe za potrebe KN zaenkrat zagotovijo v LoD2.2, pri čemer bi morali omejiti ročno popraviljanje geometrije in topologije na še sprejemljiv minimum.
- Po primernosti za izračun števila etaž so si navedeni LoD2.1, 2.2 in 2.3 zelo podobni.

3.3.4 Kakovost virov za modeliranje 3D stavb

Ravninska in višinska točnost oblaka točk je predpisana z $RMSE_{e,n} < 20$ cm in $RMSE_h < 10$ cm za dobro definirane detajle, kar strehe vsekakor so, razen v primeru, ko streho deloma zakriva gosta vegetacija. Predpisna točnost je v projektu CLSS tudi dejansko dosežena in jo lahko pričakujemo tudi za strehe stavb, razen če so zakrite z vegetacijo ali so temne. Iz podatkov CLSS je razvidno, da bodo težave povzročale temne strehe (črne, temno sive), kjer se gostota točk zelo zmanjša, kjer 3D modela stavbe ne bo mogoče izdelati oz. bo nepopoln. V ta namen je treba vključiti DMP, ki je izdelan iz aerofotografij. O tej težavi poroča tudi Flycom v svoji študiji izdelave 3D modelov stavb.

Kot že omenjeno, naj bi se za potrebe izdelave 3D stavb iz oblaka točk ponovno izvedla tudi klasifikacija, in sicer v dodatna razreda stene in dimniki. Vsaj ena stena od prostostoječe stavbe naj bi vsebovala tudi nekaj odbojev laserskih točk, kar bi lahko omogočilo določitev širine vsaj enega od napuščev, ki pa ni nujno enaka za vse napušče na tej stavbi.

Treba bi bilo analizirati uporabnost podatkov DMP, ki je izdelan iz aerofotografij (AF) projekta CLSS, in kjer je gostota cca 100 točk/m², saj je DTI enak cca 10 cm, DMP pa se izračunava za vsak piksel. Po specifikacijah naj bi bila dolžina talnega intervala (DTI) za aerofotografije (AF) sicer manjša od 15 cm, vendar je dejansko še boljše, približno 10 cm. Če bi bila velikost DTI cca 15 cm, bi bila gostota še vedno boljše od 40 točk/m². Seveda pa kakovost podatkov DMP iz aerofotografij ne dosega kakovosti oblaka točk iz laserskih meritev v smislu višinske točnosti. Za opredelitev, v kolikšni meri te kakovosti ne dosega, pa bi bilo treba narediti natančnejšo primerjavo med obema DMP, kot tudi za primer, ko bi pri temnejših strehah uporabili DMP izdelan iz AF.

3.3.5 Dodatni možni viri za 3D modeliranje stavb

V okviru daljinskega zaznavanja so mogoči tudi drugi viri in/ali dopolnjeni načini zajema podatkov kot so poševno aerofotografiranje (PAF), podatki digitalnega modela površja (DMP) iz aerofotografij (AF) zajetih v okviru CLSS, podatki DMP za AF CAS. Mogoči so tudi dodatni viri izvornih podatkov, ki pa ne zagotavljajo systemskega pokritja države v celoti, oz. bi bilo bistveno predragi samo za določen namen. Taka vira sta npr. VGI (angl. Volunteered geographic information) in mobilno kartiranje.

3.3.5.1 Poševno aerofotografiranje (PAF)

Iz aerofotografij PAF je mogoče pridobiti DMP s povečanim številom točk glede na podatke CLSS, ki definirajo fasade oz. stene stavb. Dodatno bi bilo treba analizirati njihovo kakovost in obseg ter uporabnost pri izdelavi 3D stavb za LoD2.3. To bi bilo mogoče storiti na podlagi podatkov že zaključenega projekta *PAF-test*. Podatki PAF (npr. stereomodeli), pa tudi samo pogledi na fasade, bi pomagali razjasniti marsikateri detajl, ki ga na avtomatsko generiranih modelih 3D stavb iz CLSS ni mogoče interpretirati, še manj pa popraviti. Menimo, da imajo podatki poševnega aerofotografiranja velik potencial pri generiranju in popraviljanju ter vzdrževanju 3D stavb za potrebe KN.

Njegova uporabnost je lahko toliko večja npr. v primerjavi z mobilnim skeniranjem saj sistematsko lahko pokrije veliko večje površine in tudi hitreje. Trenutno pa se še ne izvaja projekt, ki bi pokrival celotno državo ali vsaj določena območja, npr. hitro razvijajoče se centre ali večja mesta. Ta vir podatkov torej sistemsko še ni na voljo.

3.3.5.2 CLSS (AF)

Kot omenjeno, je DMP iz AF, izdelanih v okviru projekta CLSS, lahko uporaben na temnih strehah, kjer podatkov iz zračnega laserskega skeniranja (ZLS) ni, ali so zelo razredčeni in zato posledično neuporabni pri izdelavi popolnih 3D modelov stavb. Prednost uporabe teh podatkov je tudi časovna izenačenost zajema z ZLS, slabost pa je slabša točnost. Slednje je treba še raziskati. V primerjavi s podatki CAS je uporaba teh AF vsekakor bolj priporočljiva tudi zaradi zajema v času neolistanja ali vsaj v času zmanjšane bujnosti vegetacije.

3.3.5.3 CAS

Ločljivost AF CAS je cca 25 cm, kar teoretično pomeni gostoto cca 16 točk/m², kar je na nivoju ZLS v projektu CLSS. Kakovost izdelanega DMP je tu še slabša, saj je višina aerofotografiranja višja in točnost po višini slabša kot pri ZLS (RMSE je cca 40 cm na dobro določenem detajlu.) CAS se izvaja v času olistanja, kar zmanjšuje njegovo uporabnost pri izdelavi 3D stavb, ki so zgrajene ob vegetaciji, poleg tega pa točke DMP ne penetrirajo skozi vegetacijskih pokrovov, kot je to primer pri ZLS.

3.3.5.4 Prostovoljske geografske informacije (VGI)

Pod ta naslov lahko vključimo predvsem podatke, ki bi jih lastniki stavb prispevali sami z namenom, da se kakovost predstavitev njihovih 3D stavb izboljša ali popravi. Najprej bi bilo treba pripraviti zbirko 3D stavb za celotno državo in jo publicirati, nato pa omogočiti prostovoljcem, da z vnaprej pripravljenim orodjem 3D model stavbe izboljšajo, če bi to želeli. V zbirko pa bi se popravljen ali dopolnjen 3D model stavbe vključil šele po izvedeni kontroli. Kakršnakoli sprememba podatkov 3D stavb v KN pa mora potekati skladno z veljavnimi upravnimi postopki po obstoječi zakonodaji s tega področja. Uporaba take metode je smiselna, ko vse ostalo že deluje v nekem dovolj kratkem ciklu vzdrževanja. S tem bi dali možnost posameznikom, da lahko tudi med cikli vzdržujejo svoj 3D model stavbe.

3.3.5.5 Mobilno kartiranje

V okviru mobilnega kartiranja je treba zajem izvesti s posebej opremljenim vozilom, ki bi se vozilo po vseh cestah in sistematsko zbiralo podatke (oblake laserskih točk in fotografije) in iz katerih bi bilo potem mogoče mnoge 3D stavbe, ki bi bile generirane iz podatkov iz zraka, dopolniti s stenami in drugimi podatki ali popraviti napačno generiranje ali interpretirane 3D stavbe.

Mobilno kartiranje je drago in vsekakor neracionalno, če bi se izvajalo samo za potrebe vzdrževanja ali popravljanja zbirke 3D stavb. Če pa bi se npr. izvajalo še za vzdrževanje cestne infrastrukture, različnih nadzemnih vodov in podobno, pa bi ga bilo smiselno uporabiti tudi za ta namen. Dopolnitev teh podatkov so tudi podatki aplikacije Google Street View, ki lahko razrešijo marsikatero dilemo, npr. glede vprašanja ali je stavba generirana iz podatkov daljinskega zaznavanja res stavba, ali pa gre zgolj za nadstrešek in podobno.

3.3.6 Preliminarne in splošne usmeritve glede dodatnih možnih virov

Povzemimo še glavne zaključke glede dodatnih možnih virov:

- PAF lahko zagotovi podatke o fasadah 3D stavb za KN, vendar ob dodatnem strošku aerofotografiranja in zajema teh podatkov, ali pa so podatki tudi dovolj kvalitetni za izdelavo 3D stavbe za namene KN, pa bi bilo treba še raziskati.
- Če bi se sprejela odločitev, da se podatki PAF uporabljajo za izdelavo LoD2.3, bi moral PAF postati sistemski vir podatkov za celo državo ali vsaj za območja gostejše poselitve, če bi bilo mogoče za bolj ruralna območja uporabiti CLSS.
- Treba bi bilo analizirati tudi uporabnost podatkov DMPa1, ki je izdelan v času neolistanosti iz AF (iz projekta CLSS), ima večjo gostoto točk, vendar slabšo višinsko točnost. To bi lahko delno rešilo problem temnih streh.
- CAS zaradi svojih lastnosti ni primeren dodatni vir za generiranje 3D stavb (manjša ločljivost, slabša višinska točnost DMP, aerofotografiranje v času olistanja).
- Prostovoljske informacije (VGI) bi lahko postale stalen dodaten vir tudi v obdobju, dokler 3D modeli stavb ne postanejo uradni podatek v KN v primeru, ko bi lastnik želel prispevati podatke o stanju svoje stavbe, sicer pa bodo to lahko proti plačilu uradno naredili z elaboratom, ko bo in če bo za 3D stavbe v KN to omogočeno in dopuščeno.
- Mobilno kartiranje je možen dodatni vir za identifikacijo stavb in fasad, vendar bi bilo predrago, če bi se izvajalo samo za potrebe vzdrževanja 3D stavb v KN.
- Za identifikacijo stavb je lahko pomožni vir tudi Google Street View.

3.4 Konceptualni model geometrije, topologije, LoD in formata izhodnih podatkov (Akt. 1.3)

V GIS-okoljih se na področju modeliranja mest in pokrajin pogosto odločamo za izdelavo semantičnih 3D modelov mest, v katerih so objekti, ki nas zanimajo, označeni glede na njihov pomen in lahko vsebujejo dodane opisne podatke. Tovrstne 3D modele najpogosteje izdelamo v primerih, ko želimo model uporabiti ne zgolj za vizualizacijo, temveč tudi v zahtevnejših primerih uporabe, npr. v 3D prostorskih analizah, na področju upravljanja nepremičnin, prostorskega načrtovanja, simulacij ob naravnih nesrečah idr. (Biljecki et al., 2015) Semantični 3D model mesta je sestavljen iz posameznih pomenskih elementov, ki se nadaljnje lahko delijo na podellemente skladno s hierarhijo podatkovnega modela.

3.4.1 Geometrija

V splošnem geometrijo stavb v 3D modelih mest lahko pridobimo iz različnih podatkov, med drugim iz fotogrametričnih podatkov, podatkov laserskega skeniranja, z izvlečenjem 2D obrisov stavbe na izbrano višino, s pretvorbo arhitekturnih modelov in načrtov, s proceduralnim modeliranjem idr.

Model stavb in drugih objektov v prostoru lahko v 3D obliki izdelamo z uporabo različnih metod modeliranja (Kresse in Danko, 2012):

- modeliranje s porazdeljevanjem prostora: prostor razdelimo na enako velike geometrijske 3D celice (voksle), ki opisujejo objekte v prostoru;
- poligonsko modeliranje: kompleksne prostorske entitete so razčlenjene v veliko preprostih poligonov, ki skupaj tvorijo sklenjeno mrežo (angl. mesh); primer sklenjene mreže poligonov je

TIN-mreža površja; rezultat poligonskega modeliranja je lahko tudi model robnih ploskev (angl. boundary representation – B-Rep), kjer robne ploskve omejujejo telo;

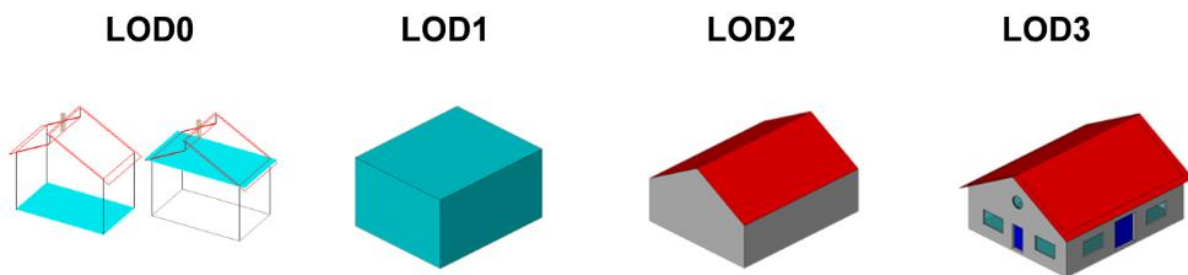
- implicitno modeliranje: določitev oblike prostorske entitete preko implicitne enačbe površine;
- modeliranje z uporabo geometričnih gradnikov: prostorska entiteta je sestavljena iz enega ali več geometričnih gradnikov, ki skupaj sestavljajo trden objekt.

V semantičnih 3D modelih mest se predstavitev objektov v smislu geometrije največkrat naslanja na abstraktne definicije, kot jih opredeljuje mednarodni standard ISO 19107:2019 Geografske informacije – Prostorska shema. V modelih, skladnih s standardom CityGML, se za modeliranje geometrije objektov uporabljajo osnovni geometrični gradniki v 0-, 1-, 2- ali 3D, in sicer kot točke, linije, ploskve ali telesa. Vsi objekti z nekaj izjemami morajo biti določeni s 3D koordinatami. Poleg osnovnih geometrijskih gradnikov lahko uporabimo tudi skupne geometrije (angl. aggregates – MultiPoint, MultiCurve, MultiSurface). Telesa se najpogosteje izdelajo z modeliranjem z robnimi ploskvami, s katerimi definiramo robna območja telesa (OGC, 2021).

Za doseg geometrijske pravilnosti celotnega modela je treba zagotoviti geometrijsko pravilnost vseh elementov in podelementov, ki hierarhično sestavljajo objekte v 3D modelu. Geometrijska pravilnost se preverja glede na definicije v standardu ISO 19107. Tako morajo biti vsi poligoni ravne ploskve in topološko zaprti. Pri sestavljenih strukturah, kot je sestavljena ploskev (angl. composite surface) morajo biti vsi poligoni v strukturi pravilni, med seboj se ne smejo prekrivati, niti ne sme biti med njimi praznin. Pri telesu (angl. solid) moramo za geometrijsko pravilnost zagotoviti, da so vsi elementi, ki sestavljajo telo, geometrijsko pravilni, npr. poligoni, ki določajo robne ploskve telesa, morajo biti geometrijsko pravilni. Dodatno morajo biti pri telesu med drugim vse robne ploskve sklenjene, tako da skupaj tvorijo »vodotesno« geometrijo telesa.

Pred pričetkom modeliranja je treba sprejeti odločitev o stopnji podrobnosti detajla (angl. Level of Detail – LoD) objektov v 3D modelu mesta. Višja kot je stopnja podrobnosti objekta, bolj podrobno so definirani posamezni elementi 3D modela. Definicije stopenj podrobnosti se nanašajo na geometrijsko in prostorsko predstavitev elementov v modelu in ne na njihovo semantično razdelitev. Standard CityGML 3.0 določa štiri stopnje podrobnosti, od LOD0 z najpreprostejšo do LoD3 z najpodrobnejšo geometrijo elementov modela. Stopnje podrobnosti so v standardu CityGML najbolj jasno opredeljene za stavbe kot eden pomembnejših elementov 3D modela mesta (slika 11:) in so definirane kot (OGC, 2021):

- LoD0: najpreprostejša oblika predstavitve mesta in pokrajine, stavbe so prikazane z obrisi stika stavbe s površjem ali obrisom oboda strehe,
- LoD1: model sestavljajo preprosti bloki – prizme, stavbe so prikazane s preprostimi geometrijskimi telesi, strehe stavb so modelirane z vodoravnimi ploskvami,
- LoD2: objekti v modelu so prikazani s podrobnejšo geometrijo, stavbe so določene z izoblikovano streho (enokapnica, dvokapnica, ravna streha ipd.), podrobnosti na strehah so običajno izpuščene (npr. dimniki),
- LoD3: najpodrobnejši model, v katerem objekti vsebujejo veliko količino podrobnosti, pri stavbah poleg dejanske geometrije strehe z napuščem modeliramo tudi okna, vrata, dimnike in ostale podrobnosti na fasadah.



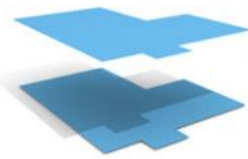
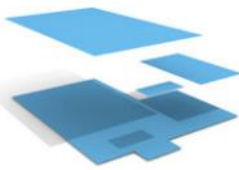
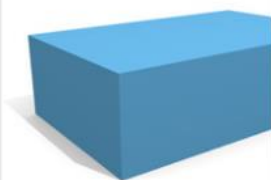













Slika 11: Stopnje podrobnosti LoD kot jih določa standard CityGML na primeru stavb (OGC, 2024).

V preteklosti je bila na voljo tudi še višja stopnja podrobnosti – LOD4, ki je poleg podrobne predstavitve zunanosti vključevala tudi modeliranje notranjosti objektov v modelu. V trenutno veljavni različici standarda CityGML 3.0 se notranjost lahko modelira v vseh stopnjah podrobnosti, skladno z namenom uporabe 3D modela (OGC, 2021).

Čeprav standard CityGML definira štiri stopnje podrobnosti, je znotraj ene definicije LoD možnih več različic geometrije istega objekta. Tako so lahko stavbe v LoD2 modelirane s stenami, ki potekajo od strehe navpično navzdol do stika s terenom ali pa so modelirani tudi napušči in so zunanje stene stavbe na pravi lokaciji glede na dejansko stanje. Obe različici modela sta skladni z zahtevami CityGML v stopnji podrobnosti LoD2, vendar se razlikujeta tako v načinu izdelave kot v vhodnih podatkih, ki so potrebni za izdelavo 3D modela (Biljecki et al., 2016).

Za jasnejšo določitev stopenj podrobnosti stavb v semantičnih 3D modelih so Biljecki et al. (2016) predlagali podrazličice uradno sprejetih stopenj podrobnosti (slika 13). Čeprav podrobnejša definicija omogoča jasnejšo opredelitev načina modeliranja stanovanjskih stavb, ni postala del nove različice uradnega standarda CityGML 3.0 (OGC, 2021).

| | LOD x.0 | LOD x.1 | LOD x.2 | LOD x.3 |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| LOD0 |  LOD0.0 |  LOD0.1 |  LOD0.2 |  LOD0.3 |
| LOD1 |  LOD1.0 |  LOD1.1 |  LOD1.2 |  LOD1.3 |
| LOD2 |  LOD2.0 |  LOD2.1 |  LOD2.2 |  LOD2.3 |
| LOD3 |  LOD3.0 |  LOD3.1 |  LOD3.2 |  LOD3.3 |

Slika 12: Podrobnejša definicija stopenj podrobnosti LoD za stanovanjsko stavbo (Biljecki et al., 2016).

Na kakšen način izdelamo 3D model mesta, je odvisno predvsem od želenega namena uporabe 3D modela, lastnosti vhodnih podatkov za izdelavo modela in kompleksnosti objektov na obravnavanem območju. Namen uporabe 3D modela opredeljuje lastnosti objektov v modelu, npr. stopnjo podrobnosti, položajno točnost, stopnjo topološke skladnosti itd. V splošnem želimo pri modeliranju doseči, da imajo objekti čim bolj preprosto geometrijo, čim višjo točnost glede na vhodne podatke in so sestavljeni iz geometrično pravilnih gradnikov. Postopek modeliranja je odvisen tudi od kakovosti vhodnih podatkov, tako z vidika točnosti kot popolnosti, in od kompleksnosti objektov v realnosti, ki jih želimo modelirati (Oho et al., 2024).

Metode za 3D rekonstrukcijo stavb na osnovi prostorskih podatkov se med seboj razlikujejo glede na predhodno znanje o obliki stavbe, ki jo rekonstruiramo, kar vpliva na pristop izdelave 3D modela. Prva skupina so metode, ki temeljijo na tako imenovanem modelnem pristopu (angl. model-driven approach), druga skupina pa so metode, ki uporabljajo podatkovni pristop (angl. data-driven approach). Pri modelnem pristopu izhajamo iz predhodno oblikovane zbirke možnih oblik stavb, predvsem strehe, ki jih v postopku modeliranja primerjamo z geometrijo vhodnih prostorskih podatkov, npr. oblakom točk. V 3D modelu tako uporabimo tisto obliko stavbe, ki se najbolje prilega predhodno določenim modelom v zbirki možnih oblik.

Pri podatkovnem pristopu se modeliranje izvaja neposredno iz vhodnih podatkov, s prileganjem osnovnih geometrijskih oblik v vhodne podatke, ki določajo dele modela. Na koncu vse gradnike za posamezne dele stavbe povežemo v skupen 3D model (Tarsha-Kurdi et al., 2007).

Če kot vir podatkov za 3D modeliranje stavb uporabimo podatke aero laserskega skeniranja, je z avtomatskimi postopki modeliranja v večini primerov mogoče doseči predvsem stopnjo podrobnosti LOD2, saj imamo na voljo dobre podatke o oblikovanosti strehe, medtem ko podatki o obliki fasade ter lokaciji oken in vrat, običajno deloma ali v celoti manjkajo. V takih primerih najpogosteje sprejmemo predpostavke o obliki stavbe in izdelamo poenostavljene modele. Če imamo na voljo tudi obrise stikov stavb s terenom, lahko z izvlečenjem obrisa navpično navzgor proti strehi dobimo tudi pravo lokacijo fasad. Model stavbe je v tem primeru pravilen, če fasada stavbe po celotni višini sovпада z obliko tlorisa stavbe na terenu.

3.4.2 Topologija

Pri izdelavi 3D modelov mest in pokrajin moramo zagotoviti ustrezne topološko odnose med elementi in podelementi, ki sestavljajo 3D model. Z vidika posamezne stavbe je treba zagotoviti, da so geometrični gradniki, ki sestavljajo objekt, topološko pravilni, npr. poligoni, ki sestavljajo telo, morajo biti topološko zaprti. Stavbe običajno izdelamo v oblike geometrijskega telesa, ki že s samo geometrijsko pravilnostjo v obliki »vodotesnosti« zagotovi pravilne topološke odnose med gradniki, ki ga sestavljajo.

Pri 3D modeliranju več stavb je treba večjo pozornost nameniti zagotavljanju pravilnih topoloških odnosov med različnimi objekti. Topološki odnosi se vzpostavijo glede predhodno določena pravila o tem, ali se različni objekti lahko med seboj dotikajo ali sekajo oz. prekrivajo.

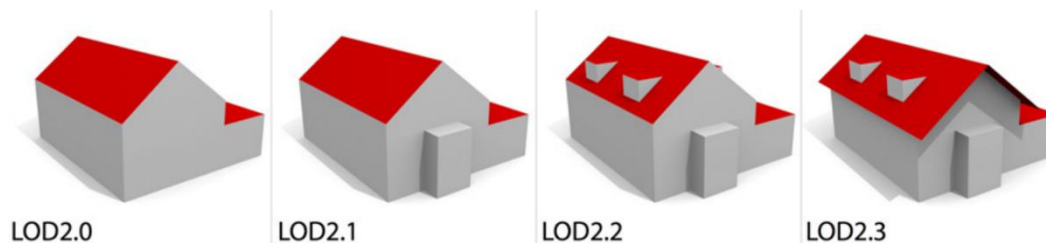
3.4.3 Podatkovni model

Enega od zgledov za razvoj nacionalnega 3D podatkovnega modela za stavbe predstavlja Švedska, ki je trenutno v stopnji aktivnega razvoja. Švedi so ugotovili, da je CityGML najbolj sprejemljiva osnova za razvoj, ki hkrati tudi predstavlja mednarodno najbolj uveljavljen standard za 3D prostorske podatke, predvsem na področju modelov mest. Podatkovni model CityGML pa seveda ne zagotavlja vseh razredov in atributov, ki izhajajo iz njihovih potreb, zato so le-tega v določenih delih tudi razširili.

Podobna izhodišča si lahko zastavimo tudi za Slovenijo, pri čemer je pomemben vidik razširitev osnovnega modela z vsebino katastra nepremičnin. Pomembno pri razvoju podatkovnega modela je, da je skladen z osnovnimi razredi podatkovnega modela CityGML 3.0. Ta ponuja določene rešitve, ki niso bile možne v okviru podatkovnega modela 2.0 in so pomembne z vsebinskega vidika katastra nepremičnin. Ne glede na stopnjo podrobnosti podatkovni namreč model 3.0 omogoča modeliranje tudi notranjosti objektov. V primeru katastra nepremičnin gre za dele stavb oz. lahko tudi prostore znotraj stavbe.

Podatkovni model je neodvisen od načina in tehnologije shranjevanja ter upravljanja podatkov. CityGML oz. CityJSON predstavljata le prenosni format podatkov. Osnovni podatki bodo shranjeni v podatkovni bazi, ki podpira 3D geometrijske podatkovne tipe (volumne in ploskve). Za distribucijo je tako potrebno oblikovati proces transformacije izvornih podatkov v standardni zapis CityGML oz. CityJSON.

Stopnja podrobnosti 3D modelov stavb, ki jih bo mogoče v veliki meri samodejno pridobiti iz podatkov CLSS, je v okvirih specifikacije LoD2. Biljecki et al. (2016) stopnje podrobnosti standarda CityGML nadalje razdrobijo (slika 14). Ta razdelitev se je v strokovni javnosti precej dobro uveljavila in služi za razlikovanje različnih različic oz. pristopov modeliranja stavb, predvsem znotraj stopnje podrobnosti LoD2.



Slika 13: Različni pristopi modeliranja stavbe znotraj stopnje podrobnosti LoD2 (Biljecki et al., 2016).

CLSS podatki omogočajo pridobitev stopnje podrobnosti 2.2 in 2.3 na pokrivnih oz. iz zraka vidnih površinah. Težavo pri modeliranju v stopnji podrobnosti 2.3 iz podatkov CLSS predstavljajo stene in drugi elementi, ki niso neposredno vidni iz zraka. Slednje lahko trdimo že brez izvedbe testov, saj to izhaja iz samih teoretičnih omejitev vhodnih podatkov. V začetni fazi projekta lahko tako predvidevamo, da je dosegljiva stopnja podrobnosti za vse stavbe v Sloveniji na stopnji podrobnosti 2.2.

Določene stavbe, za katere imamo na voljo kakovostne dodatne podatke, je mogoče modele izboljšati tudi do stopnje podrobnosti 2.3. Kljub možnosti izboljšanja določenih modelov stavb z dodatnimi podatki je za doseganje skladnosti modela ključno, da so vse stavbe modelirane v skladu z enotnim postopkom modeliranja in preverjanja kakovosti. Izboljšane modele bi bilo tako bolje opredeliti kot dodatne modele, ki bi bili na voljo poleg osnovnih.

3.4.4 Usklajevanje 3D stavb s podatki katastra nepremičnin

Za kataster nepremičnin je na splošno značilna precejšnja heterogenost podatkov. Tako imamo tudi pri stavbah na voljo različno kakovostne podatke o njihovi geometriji. Predvsem je to odvisno od obdobja, v katerem je bila stavba vpisana v nepremičninske evidence. Za stavbe je značilna tudi določena mera spremenljivosti skozi čas, ki se ne odraža v spremembah v uradnih evidencah (nadstreški, dozidave, predelave ...). Vse to lahko vodi do neskladja med 3D modeli stavb, ki so modelirane iz oblaka točk, in podatki o stavbah, ki so vpisane v kataster nepremičnin. Seveda k temu lahko v določeni meri pripomorejo tudi omejitve pri modeliranju 3D stavb iz oblaka točk. Za uporabo 3D modelov stavb, modeliranih iz oblaka točk, v katastru nepremičnin je zato treba dobro preučiti vrste in vzroke za odstopanja ter natančno definirati postopke usklajevanja podatkov.

Med priložnostmi, ki se ponujajo ob usklajeni uporabi podatkov katastra nepremičnin in oblaka točk CLSS, je tudi možnost izboljšanja stopnje podrobnosti končnega 3D modela stavbe. Geometrije 3D stavb, ki jih lahko pridobimo s postopki daljinskega zaznavanja in samodejnega 3D modeliranja, lahko na trenutni stopnji razvoja tehnologije zagotovijo modele do stopnje podrobnosti LoD2.2 (glej slika 13). Dejanska geometrija sten, ki je modelirana na stopnji LoD2.3, je težko dosegljiva. Kataster nepremičnin po drugi strani za določen odstotek stavb vsebuje tudi kakovostno določen stik stavbe z zemljiščem (zemljišče pod stavbo – ZPS). Kombinacija kakovostno modelirane strehe in poligona ZPS, ki ga iz nivoja tal izvlečemo (angl. extrusion) do strehe v teoriji tako omogoča modeliranje LoD2.3 modelov, vendar z določenimi pridržki. Obstajajo stavbe, ki imajo pri stiku s tlemi precej manjši obseg

kot v višjih etažah. Nekaj primerov takšnih stavb je na sliki 15. V teh primerih model ne bi izkazoval dejanske oblike stavbe oz. bi z opisanim postopkom dobili zelo nenavadne 3D geometrije stavb.



Slika 14: Stavbe z manjšim obsegom zemljišča pod stavbo (ZPS) (Vir: Google StreetView).

Usklajevanje podatkov katastra nepremičnin in 3D modelov stavb iz podatkov CLSS predstavlja kompleksno nalogo, saj so podatki katastra nepremičnin vpisani na podlagi uradnih postopkov. Zakonodaja predvideva tudi uradne postopke za spreminjanje teh podatkov, ki pa predstavljajo preveliko obremenitev za izvedbo masovnega usklajevanja.

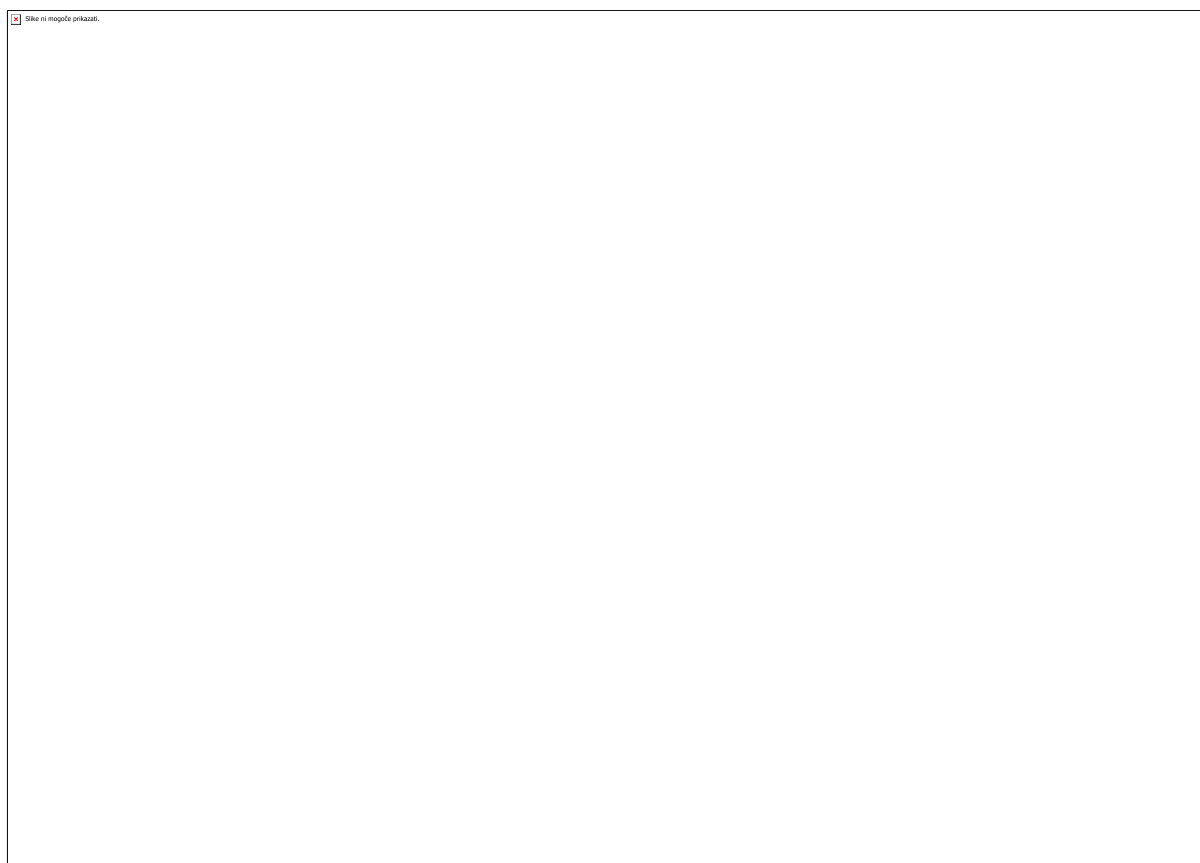
Dodaten element za usklajevanje predstavljajo tudi etažni načrti delov stavb. Za razliko od geometrije stavbe tu ne gre za podatke, ki imajo izključno topografski značaj, saj določajo območje lastninske pravice ter opcijsko drugih pravnih dejstev nad delom stavbe. Prvi nivo usklajevanja je pri etažnih načrtih potreben že z obstoječimi podatki v katastru nepremičnin, drugi nivo pa je usklajevanje s stavbami CLSS. Konceptualno je etažne načrte mogoče vključiti v podatkovni model 3D stavb v obstoječi obliki (2D poligoni na ustrezni višini) ali pa kot 3D volumne. Obe obliki zapisa podatkov o notranjosti stavbe podpira tudi podatkovni model CityGML 3.0.

3.5 Procesni model avtomatskega zajema, obdelave in vnosa stavb v kataster nepremičnin (Akt. 1.4)

Namen aktivnosti je, da pred izdelavo metodologij in izvedbo testiranj ocenimo, kakšen bi lahko bil procesni model od zajema 3D stavb do njihovega masovnega vnosa v KN. Pri tem so nekatere odločitve odvisne od zgodovine nastanka podatkov stavb v sedanjem KN: načina vpisa stavbe v KN, definicij različnih tipov tlorisov stavb, kakovosti podatkov in vrste povezave stavbe ter parcele. Aktivnost začnemo s predlogom preliminarne sheme procesnega modela, ki ji sledijo analitična in pojasnjevalna podpoglavja v podporo tej shemi, z analizo porekla podatkov o stavbah v KN. Gre za načelna in preliminarne vrednotenja, ki ne pomenijo dokončnih odločitev. Te sledijo v naslednjih delovnih paketih.

3.5.1 Shema procesnega modela

Glede na funkcijo KN, ki mora na eni strani v interesu lastnika stavbe (ali dela stavbe) po vpisu v zemljiško knjigo ščititi pravno varnost njegove lastnine, na drugi strani pa v interesu geodetske službe zagotavljati javne geodetske podatke o stavbah za različne druge namene, predlagamo, da se vnos podatkov 3D stavb v KN v grobem zagotovi na dva načina kot sledi (slika 15).



Slika 15: Shema procesnega modela avtomatskega zajema, obdelave in vnosa stavb v kataster nepremičnin.

Katastrska izdelava podatkov 3D modela stavbe naj nekoč v prihodnje omogoča posamični vpis 3D stavbe na zahtevo lastnika. Podatke za vpis zagotovita geodetsko podjetje z geodetsko izmero, ali projektant s projektno dokumentacijo. Pri tem se v obeh primerih lahko uporabi podatke BIM, če so na razpolago. Geodetska izmera omogoča 3D modeliranje v višji stopnji podrobnosti, ki lahko dosega LoD2.3, če zaradi potreb po zagotavljanju večje pravne varnosti ali večje podrobnosti podatkov tako

želi lastnik stavbe, sicer pa je lahko tudi nižja, če lastnik zaradi večjih stroškov izdelave 3D elaborata tega morda ne želi. Pomembno je, da o izbiri LoD in tudi o izbiri med 2.5D in 3D podatki odloča lastnik, pa tudi, da pravno šibkejši lastnik zaradi potrebe GURS po 3D podatkih stavb v čim višjem LoD ne sme biti prisiljen v tak vpis, pri čemer pa GURS na svoj strošek vpis 3D stavbe v *Register 3D stavb* lahko izvede za svoje potrebe. Pri tem je potrebno izbiro LoD zaradi racionalnega podatkovnega modela omejiti na npr. dve možni podrobnosti.

Avtomatizirana izdelava 3D modelov stavb izdelava podatkov 3D modela stavbe naj po drugi strani omogoča tako posamični kot masovni vpis 3D stavb na zahtevo GURS. Ta je tehnološko in metodološko zapletenejša in zato podrobneje opisana v nadaljevanju.

Do masovnega vpisa 3D stavb lahko GURS glede na trenutno stanje tehnologije najlažje, čeprav še vedno s številnimi tehničnimi težavami in stroški, pride s pomočjo obdelave novih podatkov CLSS in z algoritmi za avtomatsko generiranje 3D modelov stavb iz gostega oblaka točk laserskega skeniranja. Pri obdelavi mora algoritem upoštevati tehnične zahteve in kriterije o tem, kateri avtomatsko zaznani objekti se štejejo za stavbe skladno s KN in DTM ter se na obe zbirki navezati z enoličnim identifikatorjem stavbe (ID, EID), pri čemer pa za avtomatsko zaznavo in izdelavo podatkov 3D stavb v večini primerov ne moremo uporabiti obstoječe geometrije iz KN in DTM.

Pri obdelavi podatkov oblaka točk bo imel algoritem težave z razpoznavo in kakovostnim modeliranjem napuščev, sten, tlorisov, frčad, dimnikov, strešnih slemen, pa tudi z ločevanjem samostojnih stavb in njihovih delov skladno z zahtevami za zajem obeh evidenc. Po avtomatskih postopkih bo v vsakem primeru potrebno uporabiti še ročno popraviljanje ali pa avtomatsko in ročno generalizacijo omenjenih detajlov. Podobno bo potrebno uskladiti tudi vsebinske in tehnične attribute (npr. število etaž, višine stavb) ter metapodatke o kakovosti podatkov ter poreklu podatkov stavbe. Rezultat obdelave bodo nadzemni tlorisi, karakteristične linije strehe in višine stavbe. S temi podatki lahko naredimo naslednje:

- Vzdržujemo geometrijo 2.5D stavbe v DTM.
- Izdelamo 3D model v podrobnosti LoD2.1 (ali z nekaj več obdelave v LoD2.2). Iz tega modela lahko volumen stavbe prenesemo kot atribut v KN. Ta podrobnost je dosegljiva z optimalnimi postopki, žal pa nastali polieder s streho ne upošteva napuščev (stene so vertikalna povezava roba strehe s tlemi).
- Ocenimo kakovost geometrije nadzemnih tlorisov stavbe in attribute (višine) v KN, ter popravimo geometrijo registrsko vpisanih nadzemnih tlorisov stavb v KN.
- Izdelamo 3D model v podrobnosti LoD2.3 tako, da za 3D model vzamemo avtomatsko pridobljene nadzemne tlorise skupaj s tlorisom ZPS in podzemnim tlorisom iz KN - kjer je to primerno in izvedljivo glede na rezultate gornje analize porekla podatkov o stavbah v KN. Za izgradnjo modela LoD2.3 lahko alternativno uporabimo tudi fotogrametrično in/ali terensko izmero za zajem podatkov o napuščih, kar bi dalo najboljšo kakovost 3D modela stavbe, vendar ob nesorazmerno visokih stroških izmere. Tudi iz tega modela lahko volumen stavbe prenesemo kot atribut v KN.

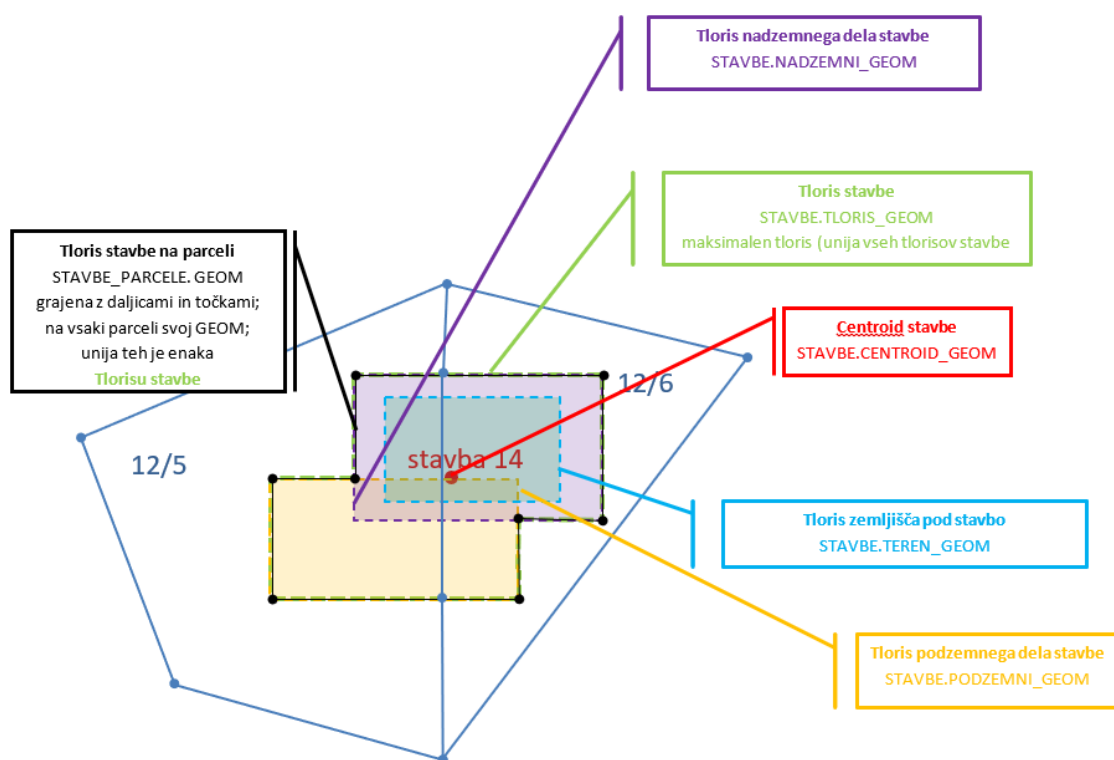
Ko je 3D model stavbe na katerikoli način narejen, se zapiše v 3D izmenjevalni format, ki mora omogočati zapis v izbranem LoD 2.x. Glede na stanje razvoja tehnologij za avtomatski zajem 3D stavb v tem trenutku model v LoD 2.1 (opcijsko LoD 2.2) poimenujemo *Tehnični 3D model stavbe*, model v LoD 2.3 pa *Nadgrajeni tehnični 3D model stavbe*. Oba se zapišeta v *Register 3D stavb* (kot smo ga imenovali v predhodnem projektu CRP GeoBIM). Register je v obe smeri povezan s KN. Vpis 3D modela podrobnosti LoD 2.3 na zahtevek lastnika gre neposredno v KN in še v register.

3.5.2 Vrste tlorisov stavbe v KN

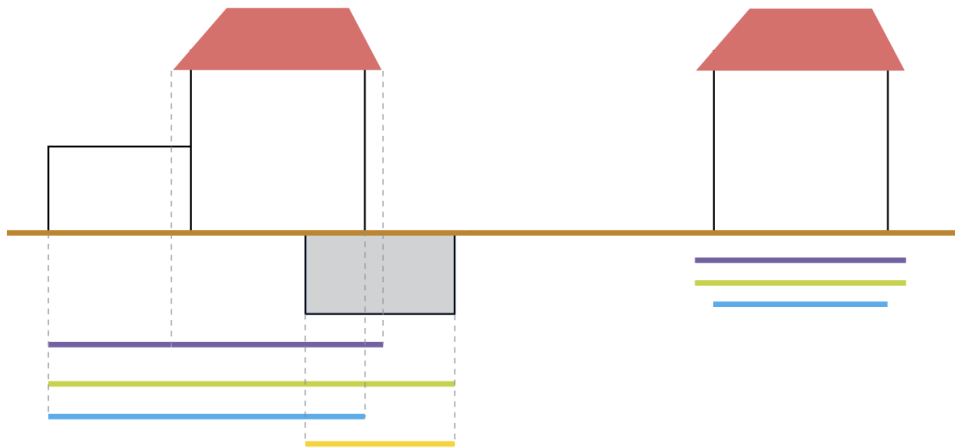
Za določitev stika stavbe z zemeljskim površjem, obsega posameznih stavb in višine stavbe se lahko uporabijo podatki evidentiranih stavb iz KN in DTM, za kar pa je potrebno razumevanje, kakšni so podatki in kateri atributi lahko vplivajo na metodologijo obdelave podatkov, njihovo kakovost in uporabnost za modeliranje 3D stavb. Stavba na parceli je lahko v 2D geometriji določena z različnimi tlorisi, ki se danes vodijo v KN (tabela 1, sliki 17 in 18).

| VRSTE TLORISOV v KN | | |
|---------------------|-------------------------------|----------------------------------------------------------|
| STAV | tloris stavbe | $S=N+P$, maksimalni tloris stavbe |
| NADZ | tloris nadzemnega dela stavbe | tloris je viden iz zraka in vsebinsko enak topografskemu |
| PODZ | tloris podzemnega dela stavbe | |
| ZEM_POD | tloris zemljišča pod stavbo | |

Tabela 1: Vrste tlorisov v katastru nepremičnin.



Slika 16: Vrste tlorisov v katastru nepremičnin.



Slika 17: Vrste tlorisov v katastru nepremičnin – prerez.

3.5.3 Poreklo podatkov o stavbah v KN

Procesi nastanka in migracije podatkov stavb glede na postopke po ZKN so predstavljeni v tabeli 2.

| Geometrija v ZKN (atribut v bazi) | Definicija geometrije(ZKN) | MIGRACIJA OPIS posodobljena pravila | OPOMBA |
|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tloris stavbe (STAVBE.TLORIS_GEOM) | navpična projekcija zunanjega obrisa celotne stavbe na ravnino | STAVBE.OSTAVBE_SDO_G.GEOMETRY vnese se tlorise stavb iz KS, kjer je katastrski vpis | <ul style="list-style-type: none"> migracija polni za katastrske vpise (A in K) migracija ne polni za registrske vpise Za nove tlorise stavbe se prevzame iz elaborata. Po ZKN velja da je to maksimalni tloris stavbe. Skrajni rob vseh tlorisov stavbe (nadzemnega, podzemnega, stika z zemljo). |
| Tloris stavbe na parceli (STAVBE.PARCELE.GEOM) | tloris stavbe razdeljen na parcele, ki leže pod stavbo | PAR_DEL_GR.GEOMETRY (poligon) ali centroid stavbe (ne glede na to, ali stavba leži na eni ali več parcelah) ali centroid presečne ploskve | <ul style="list-style-type: none"> geometrija vezana na daljice in točke migracija polni s geometrijo ZPS migracija, če ne obstaja geometrija. določi centroid povezave stavbe in parcele pri vpisih po ZKN se prevzame iz elaborata (pravilo - unija teh tlorisov za isto stavbo je enaka tlorisu stavbe. |
| Tloris nadzemnega dela stavbe (STAVBE.NADZEMNI_GEOM) | navpična projekcija zunanjega obrisa nadzemnega dela stavbe na ravnino | vnese se obrise streh (fotogrametrični zajem), kjer ni katastrskega vpisa | <ul style="list-style-type: none"> migracija, če ni stavba vpisana katastrsko (A in K), se migrira obrise streh (fotogrametrični zajem) pri vpisih po ZKN se prevzame Tloris nadzemnega dela stavbe iz elaborata |
| Tloris podzemnega dela stavbe (STAVBE.PODZEMNI_GEOM) | navpična projekcija zunanjega obrisa podzemnega dela stavbe na ravnino | se pusti prazno | <ul style="list-style-type: none"> se ne migrira pri vpisih po ZKN se prevzame iz elaborata |
| Tloris zemljišča pod stavbo (STAVBE.TEREN_GEOM) | navpična projekcija preseka stavbe z zemljiščem na ravnino | Predhodno mora biti napolnjena tabela NEP.STAVBE_PARCELE. Če za stavbo obstaja vsaj en zapis v NEP.STAVBE_PARCELE => vnese se unija vseh NEP.STAVBE_PARCELE.GEOM te stavbe ostane prazno v primeru točk | <ul style="list-style-type: none"> v migraciji zapiše unija geometrij Tlorisa stavbe na parceli pri vpisih po ZKN se polni iz elaborata |

Tabela 2: Poreklo podatkov o stavbah v katastru nepremičnin.

Stavbe so se skozi zgodovino nastanka katastra stavb, registra nepremičnin in danes katastra nepremičnin vpisovale z različnimi upravnimi statusi kot so to določali veljavni zakoni (tabela 3).

| Status vpisa stavbe | Število stavb | Delež stavb |
|---------------------|---------------|-------------|
| ZEN | 224.023 | 19 % |
| ZENDMPE | 9.390 | 1 % |
| Registrski vpis | 932.403 | 78 % |
| ZKN | 22.383 | 2 % |

Tabela 3: Število stavb po statusu vpisa.

Upravni status nam nakazuje poreklo teh stavb, metodologijo nastanka njihovih podatkov in kakovost podatkov. Tako lahko za določanje stika stavbe s terenom uporabimo podatke KN, kjer se vodi geometrija *Tlorisa stavbe na parceli*, ki predstavlja povezavo stavbe in parcele. Skozi zgodovino vodenja stavb, npr. kot rabe v zemljiškem katastru, nato kot stavbe v katastru stavb, so se uporabljale različne metode določitve podatkov, ki se danes vodijo kot *Tloris stavbe na parceli*. To prikazuje spodnja tabela 4, kjer so predstavljene vrste povezave stavbe in parcele.

| Vrsta povezave stavbe in parcele | Število stavb | Delež stavb |
|------------------------------------|---------------|-------------|
| Tloris | 23.000 | 2 % |
| Posebej označen tloris (ZPS) - 220 | 221.859 | 19 % |
| Posebej označen tloris (ZPS) - 221 | 480.595 | 40 % |
| Točka povezave | 462.745 | 39 % |

Tabela 4: Število stavb po vrsti povezave stavbe in parcele.

Vrsto povezave *Tloris* je uvedel ZKN in je enak uniji *Tlorisov stavbe*. To velja samo za stavbe, ki imajo določen tloris skladno s pravili ZKN.

Posebej označen tloris (ZPS) – 220 je nastal v času ZEN in ZENDMPE ter predstavlja na terenu določeno *Zemljišče pod stavbo* ali *ZPS*, ki se je evidentiralo v zemljiškem katastru. To so tako imenovani *Pravi ZPS*.

Posebej označen tloris (ZPS) – 221 pa je rezultat prevzetih podatkov rab zemljišč iz zemljiškega katastra. Ti podatki niso bili določeni z meritvami na terenu.

Točka povezave je določena za stavbe, ki niso imele drugega podatka.

Če združimo tabeli 3 in 4, dobimo rezultate v tabeli 5.

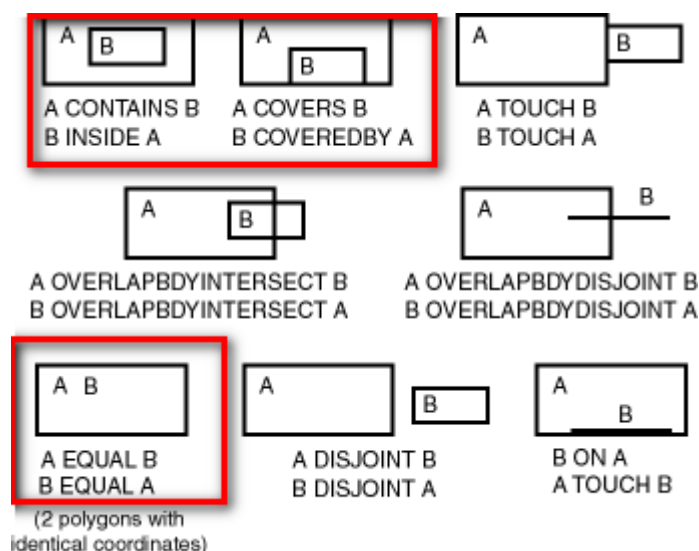
| Status vpisa stavbe | Vrsta povezave stavbe in parcele | Število stavb | Delež stavb |
|---------------------|------------------------------------|---------------|-------------|
| ZEN | Tloris | 478 | 0,04 % |
| | Posebej označen tloris (ZPS) - 220 | 211.603 | 18,11 % |
| | Posebej označen tloris (ZPS) - 221 | 5.409 | 0,46 % |
| | Točka povezave | 970 | 0,08 % |
| ZENDMPE | Tloris | 4 | 0,00 % |
| | Posebej označen tloris (ZPS) - 220 | 2.524 | 0,22 % |
| | Posebej označen tloris (ZPS) - 221 | 5.930 | 0,51 % |
| | Točka povezave | 895 | 0,08 % |
| Registrski vpis | Tloris | 201 | 0,02 % |
| | Posebej označen tloris (ZPS) - 220 | 2.253 | 0,19 % |

| | | | |
|-----|------------------------------------|---------|---------|
| | Posebej označen tloris (ZPS) - 221 | 455.013 | 38,94 % |
| | Točka povezave | 460.776 | 39,44 % |
| ZKN | Tloris | 22.278 | 1,91 % |
| | Posebej označen tloris (ZPS) - 220 | 15 | 0,00 % |
| | Posebej označen tloris (ZPS) - 221 | 13 | 0,00 % |

Tabela 5: Število stavb po statusu vpisa ter vrsti povezave stavbe in parcele.

3.5.4 Uporabnost podatkov KN za 3D modeliranje stavb

Podatki evidentirani z ZKN so topološko in vsebinsko usklajeni, vsebujejo dodatne potrebne informacije (*Nadzemni tloris*, *Tloris zemljišča pod stavbo*) in jih lahko v celoti in brez težav uporabimo za določanje stika stavbe in parcele. Za ostale podatke pa ugotovimo, da geometrijsko razmerje obrisa stavbe (*Tloris stavbe* ali *Nadzemni tloris*) in *Tlorisa stavbe na parceli* ni skladno s pričakovanji, da je obris stavbe večji ali enak *Tlorisu stavbe na parceli*. Če pregledamo možne topološke odnose med dvema poligonoma (slika 19), iščemo primere, ki so na sliki označeni z rdečo. Na shemi črka A predstavlja obris stavbe, črka B pa *Tloris stavbe na parceli*.



Slika 18: Vrste topoloških odnosov med *Nadzemnim tlorisom stavbe* (A, obris stavbe) in *Tlorisom stavbe na parceli* (B).

Analiza podatkov KN odkrije naslednje razrede, ki izražajo topološko razmerje (našteti so razredi z več kot 500 primeri):

1. Obrisi stavbe in tloris stavbe na parceli sta enaka (A EQUAL B)
2. Tloris stavbe na parceli v celoti leži znotraj obrisa stavbe (A CONTAINS B)
3. Tloris stavbe na parceli leži znotraj obrisa stavbe in se ga dotika (A COVERS B)
4. Obrisi stavbe in tloris stavbe na parceli se deloma prekrivata (A OVERLAP BY INTERSECT B)
5. Obrisi stavbe in tloris stavbe na parceli nimata stika (A DISJOINT B)
6. Ostalo

Če zgornji tabeli 5 pridružimo še topološka razmerja s slike 19, kjer ne upoštevamo točkovnih povezav, dobimo tabelo 6.

| Status vpisa stavbe | Vrsta povezave stavbe in parcele | Število vseh stavb razreda | Število stavb razmerij (1,2,3) | Delež stavb razmerij (1,2,3) | Število stavb razmerij (4,5,6) | Delež stavb razmerij (4,5,6) |
|---------------------|----------------------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| ZEN | Tloris | 478 | 429 | 90 % | 49 | 10 % |
| | ZPS 220 | 211.603 | 168.475 | 80 % | 43.128 | 20 % |
| | ZPS 221 | 5.409 | 1.298 | 24 % | 4.111 | 76 % |
| ZENDMPE | Tloris | 4 | 2 | 50 % | 2 | 50 % |
| | ZPS 220 | 2.524 | 888 | 35 % | 1.636 | 65 % |
| | ZPS 221 | 5.930 | 1.461 | 25 % | 4.469 | 75 % |
| Registrski vpis | Tloris | 201 | 33 | 16 % | 168 | 84 % |
| | ZPS 220 | 2.253 | 460 | 20 % | 1.793 | 80 % |
| | ZPS 221 | 455.013 | 97.370 | 21 % | 357.643 | 79 % |
| ZKN | Tloris | 22.278 | 22.256 | 100 % | 22 | 0 % |
| | ZPS 220 | 15 | 15 | 100 % | 0 | 0 % |
| | ZPS 221 | 13 | 13 | 100 % | 0 | 0 % |

Tabela 6: Delež stavb po več razlikovalnih parametrih.

Rezultati analize so skladni s pričakovanji in kažejo, da lahko stavbe evidentirane z statusom vpisa ZKN in ZEN ter z vrsto povezave ZPS 220 vsekakor uporabimo kot vhodni podatek za določanje stika stavbe z zemljiščem. Ti razredi imajo večinsko (več kot 80 %) pravilnost podatkov in predstavljajo 191.188 stavb, ker je 16,3 % delež vseh evidentiranih stavb v KN. Vseh stavb, ki zadoščajo samo pogoju topološke usklajenosti, pa je 292.700, kar je 25 % delež vseh stavb. Pri tem pa je potrebno upoštevati, da ima kar 39 % stavb kot *Tloris stavbe na parceli* evidentirano točkovno povezavo.

3.5.5 Klasifikacija uporabnosti ZPS za 3D modeliranje stavb

Na osnovi tabele 6 predhodnega podpoglavja pogledajmo še načelno in potencialno primernost uporabe ZPS za modeliranje 3D stavb (tabela 7). Iz tabele je vidno, da delež primernosti ZPS ni visok.

| | STATUS VPISA | ŠT. VSEH STAVB | DELEŽ VSEH STAVB | | ŠT. STAVB ANALIZE (1,2,3) | DELEŽ STAVB ANALIZE (1,2,3) | DELEŽ VSEH STAVB ZA LOD2.3 | UPORABNOST ZPS ZA 3D MODELIRANJE STAVB | | | |
|-----------------|--------------|----------------|------------------|---------|---------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------------------|-------|---------|-----------------|
| | | | | | | | | | | | |
| ZEN | tloris | 478 | 19 % | 0,04 % | 429 | 90 % | 0,04 % | | | | |
| | ZPS 220 | 211.603 | | 18,11 % | | | | 168.475 | 80 % | 14,49 % | ZPS načeloma |
| | ZPS 221 | 5.409 | | 0,46 % | | | | 1.298 | 24 % | 0,11 % | ZPS potencialno |
| | točka | 970 | | 0,08 % | | | | | 0 | | |
| ZENDMPE | tloris | 4 | 1% | 0 | 2 | 50 % | 0,00 % | | | | |
| | ZPS 220 | 2.524 | | 0,22 % | | | | 888 | 35 % | 0,08 % | ZPS načeloma |
| | ZPS 221 | 5.930 | | 0,51 % | | | | 1.461 | 25 % | 0,13 % | ZPS potencialno |
| | točka | 895 | | 0,08 % | | | | | 0 | | |
| Registrski vpis | tloris | 201 | 78% | 0,02 % | 33 | 16 % | 0,00 % | | | | |
| | ZPS 220 | 2.253 | | 0,19 % | | | | 460 | 20 % | 0,04 % | ZPS načeloma |
| | ZPS 221 | 455.013 | | 38,94 % | | | | 97.370 | 21 % | 8,18 % | ZPS potencialno |
| | točka | 460.776 | | 39,44 % | | | | | 0 | | |
| ZKN | tloris | 22.278 | 2% | 1,91 % | 22.256 | 100 % | 1,91 % | | | | |
| | ZPS 220 | 15 | | 0 | | | | 15 | 100 % | 0,00 % | ZPS načeloma |
| | ZPS 221 | 13 | | 0 | | | | 13 | 100 % | 0,00 % | ZPS potencialno |
| SKUPAJ | | | | | | | 14,61 % | ZPS načeloma | | | |
| | | | | | | | 8,42 % | ZPS potencialno | | | |

1. *Obris stavbe in tloris stavbe na parceli sta enaka (A EQUAL B)*
2. *Tloris stavbe na parceli v celoti leži znotraj obrisa stavbe (A CONTAINS B)*
3. *Tloris stavbe na parceli v leži znotraj in se dotika obrisa stavbe (A COVERS B)*
4. *Obris stavbe in tloris stavbe na parceli se deloma prekrivata (A OBERPLABDYINTERSECT B)*
5. *Obris stavbe in tloris stavbe na parceli nimata stika (A DISJOINT B)*
6. *Ostalo*

Tabela 7: Delež stavb glede na uporabnost zemljišča pod stavbo za 3D modeliranje stavb.

3.5.6 Primeri ovir za uporabo tlorisov iz KN za 3D modeliranje stavb

Za izdelavo 3D modela stavbe v KN v podrobnosti LoD 2.3 potrebujemo:

- tloris nadzemnega dela stavbe, segmentiran po višini (z višinskim kriterijem),
- tloris zemljišča pod stavbo,
- tloris podzemnega dela stavbe.

Tloris nadzemnega dela stavbe iz KN večinoma ni uporaben za 3D modeliranje, kar je bilo ugotovljeno v nalogi *Testna izdelava topografije stavb – GURS (Flycom, 2023)*. Razlogi so:

- položajno neujemanje s točkami CLSS - neustrezen položaj karakterističnih linij strehe v 3D modelu (položajna neskladnost),
- poligon nadzemnega tlorisa stavbe je pomensko različno evidentiran (semantična neskladnost),
- višinsko različni deli stavbe niso ločeni poligoni (topološka neskladnost),
- nekatere stavbe niso evidentirane (nepopolnost).

Na sliki 20 so s črtami različnih barv prikazani nekateri primeri stavb iz omenjene naloge Flycoma za GURS, kjer npr. tloris zemljišča pod stavbo sega izven tlorisa nadzemnega dela stavbe, tloris nadzemnega dela stavbe ne obsega celotne strehe ali tloris nadzemnega dela stavbe presega celotno streho.

Legenda slike 20:

- tloris nadzemnega dela stavbe iz KN
- tloris zemljišča pod stavbo
- tloris podzemnega dela stavbe
- tloris nadzemnega dela stavbe iz CLSS (Flycom)





Slika 19: Primeri stavb, kjer tloris zemljišča pod stavbo sega izven tlorisa nadzemnega dela stavbe, tloris nadzemnega dela stavbe ne obsega celotne strehe ali tloris nadzemnega dela stavbe presega celotno streho.

3.5.7 Primerjava 3D modelov v podrobnostih LoD 2.1 in LoD 2.3

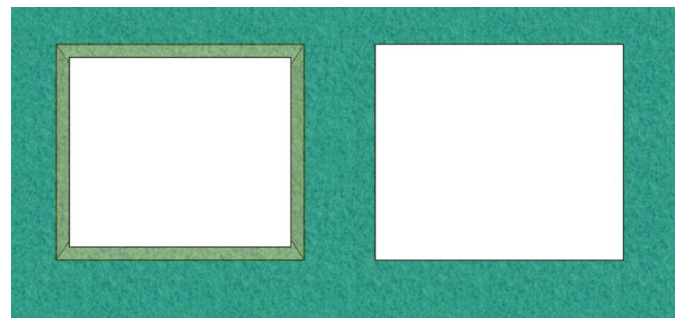
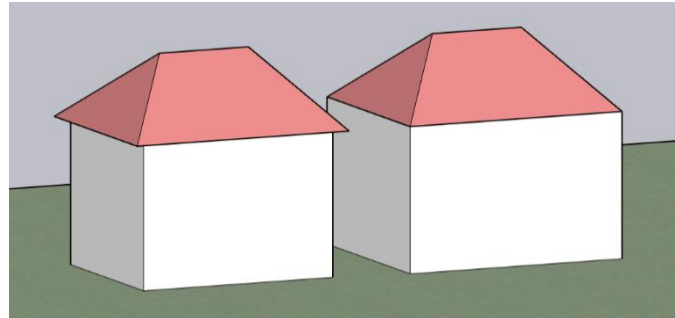
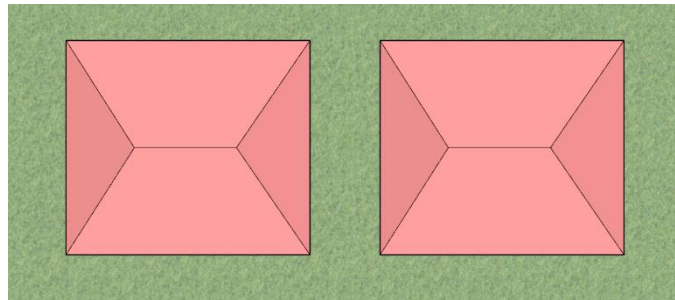
Spodaj je na sliki 21 prikazana primerjava med tremi različnimi primeri 3D modelov stavbe v dveh različnih podrobnostih:

- LoD 2.1 (npr. za potrebe DTM) – desno,
- LoD 2.3 (npr. za potrebe KN) – levo;

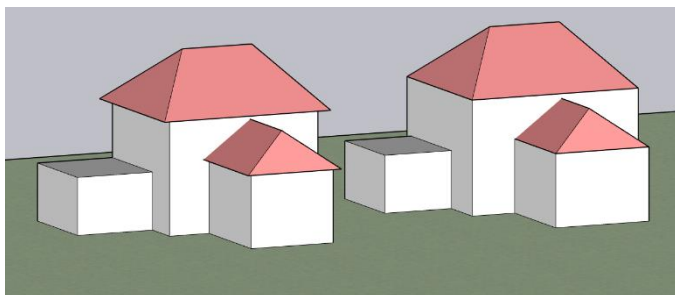
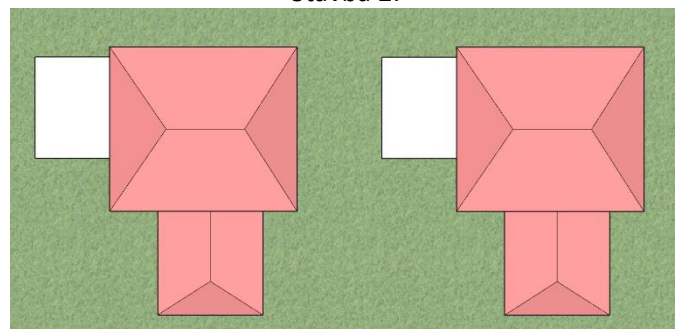
in treh različnih pogledih:

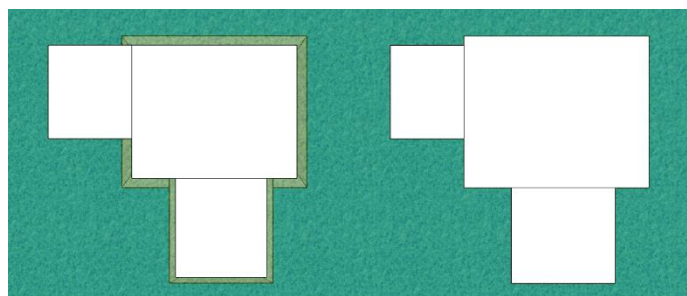
- a) pogled od zgoraj – tloris nadzemnega dela stavbe,
- b) izometrični pogled,
- c) pogled od spodaj – tloris zemljišča pod stavbo.

Stavba 1:

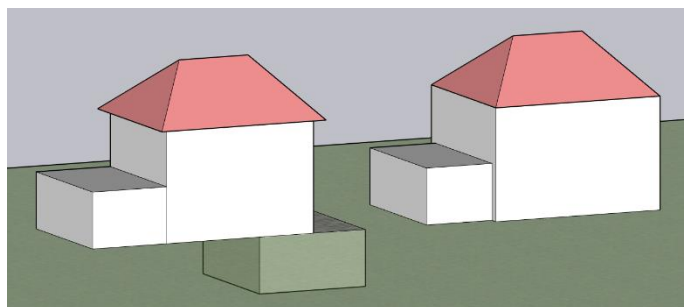
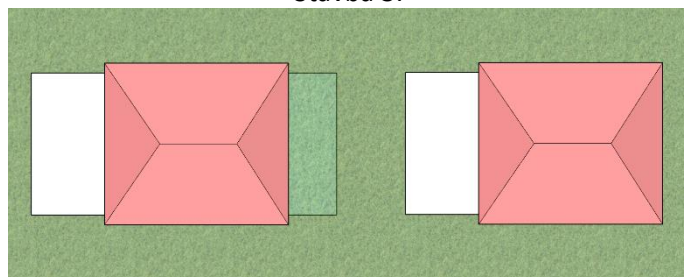


Stavba 2:





Stavba 3:



Slika 20: Primerjava med tremi primeri 3D modelov stavbe v dveh podrobnostih in treh pogledih.

3.5.8 Avtomatizirana izdelava 3D modela stavbe

Avtomatizirana izdelava 3D modela stavbe se lahko izvede v podrobnosti LoD 2.1 (opcijsko LoD 2.2) za vse stavbe, kjer so tlorisi v KN sprejemljivo dobri pa lahko tudi v podrobnosti LoD 2.3. Izhodišča za izdelavo za KN s kombinacijo podatkov daljinskega zaznavanja in obstoječih podatkov KN so:

- masovno 3D modeliranje na osnovi podatkov daljinskega zaznavanja in obstoječih podatkov KN,
- 3D modeliranje odvisno od porekla (statusa) vpisa stavbe v KN,
- 3D modeliranje nadzemnega tlorisa stavbe se izvede iz podatkov CLSS.

Pri tem se:

- za LoD 2.3 iz KN za modeliranje privzame tloris ZPS, kjer le-ta leži v nadzemnem tlorisu stavbe, pridobljenem iz CLSS, tj. če ustreza kriterijem, kot navedeno v poglavju »Uporabnost podatkov KN za 3D modeliranje stavb«,
- za potrebe celotnega prikaza stavbe v 3D iz KN za modeliranje lahko privzame tloris podzemnega dela stavbe.

Potrebna je še:

- vsebinska členitev stičnih stavb, ki so samostojno evidentirane v KN,
- višinska členitev za izboljšanje 3D modela (če so deli stavb različno visoki),
- izločitev stavb, ki niso predmet evidentiranja v KN.

3.5.9 Diskusija glede stopnje podrobnosti LoD

Glede na testne rezultate, ki smo jih uspeli pridobiti s strani nizozemskega ponudnika avtomatske razpoznave 3D stavb in domačih ponudnikov Flycom in Flai ugotavljamo:

- Če se 3D stavbe za potrebe KN izdelava v LoD 2.1 (nivo podrobnosti brez napuščev), je potrebna omejitev ročnega popraviljanja geometrije in topologije na še sprejemljivo raven.
- Frčade se v 3D model stavbe v primeru generalizacije geometrije na raven LoD 2.1 lahko vključi kot atribut (npr. frčada, ki nakazuje na mansardno etažo: da/ne). Zaznava oz. obstoj frčad na strehi še ni zadosten pogoj za to, da evidentiramo samostojno dodatno etažo. Avtomatsko tega še ne znamo zadovoljivo ločevati.
- Volumen nadzemnega dela stavbe iz CLSS v LoD 2.1 predstavlja uporaben podatek v KN.
- Volumen nadzemnega dela stavb iz CLSS v LoD 2.1 lahko predstavlja podatek o zasedenosti prostora, ki je pridobljen na enoten način. Pomembno je, da kljub zgodovinsko različnim vpisom v KN pridobimo večjo homogenost dodane geometrije stavb v KN.
- Trenutno avtomatski algoritmi omogočajo izdelavo stavb v LoD 2.2, ob ustreznem čiščenju 3D podatkov streh pa lahko pridobimo LoD 2.1. Kakovost in podrobnost se v programski opremi določa s poskusnim določanjem parametrov, kar pomeni, da uporabnik ne izbira med opcijami LoD 2.x, temveč izbrani LoD doseže s prilagajanjem izračunavanja.
- Za približno 20 % stavb v KN bi bilo možno izdelati 3D modele stavb v LoD 2.3 ob uporabi ustreznih ZPS iz KN. Podrobnost LoD 2.3 (polieder s streho, ki vsebuje ločeno tudi geometrijo frčad in napuščev) trenutno sicer ni ekonomsko upravičena rešitev za KN, predvidevamo pa nadaljnji razvoj avtomatskih algoritmov in podatkovnih virov (npr. poševnih fotografiranj) v bližnji prihodnosti.
- Švicarska rešitev, ki zajame polieder stavbe, pri čemer se del stavbe pod streho po celem obodu zmanjša za pavšalno odšteto širino napušča, fotogrametrično izmerjeno na enem vogalu stavbe, ni primerna za KN.
- Iz 3D oblaka točk CLSS načeloma lahko pridobimo/izračunamo različne podatke o stavbah: 2D obrise streh, število etaž, obstoj frčad, osončenost, volumen, karakteristične višine stavb in podobno. Kakovost je brez ročnega popraviljanja in preverjanja zaenkrat vprašljiva. Prav tako je potrebna odločitev, kaj je sploh del KN in kaj je podatek za druge namene.

3.5.10 Razmislek o hkratnem vodenju različnih ravni podrobnosti v KN

Katastrski vpis 3D stavbe v KN v podrobnosti LoD 2.3 na podlagi vloge lastnika bo predvidoma dražji od sedanjega vpisa. Podobno velja tudi za morebitni vpis na podlagi podatkov iz BIM. Za male zasebne lastnike (manj vredne ali enostavnejše nepremičnine, predvsem z enim delom stavbe) bo to nesorazmerno velik strošek. Veliki in mali lastniki ne bodo v enakopravnem položaju, prav tako bo vsaj ob uveljavljanju BIM razlika med javnimi in zasebnimi lastniki. Potreben bo razmislek, ali ni uvedba 3D KN prava priložnost za nekatere bodoče paradigmatične spremembe in kompromise v KN:

- Enotni elaborat za vse, vendar z neobveznimi dodatki, kjer za lastnike, ki želijo večjo pravno varnost, omogočimo vpis v LoD 2.3 ali z BIM, za ostale pa 2.5D.
- Dilema ostaja stopnja detajla, kjer je LoD 2.3 trenutno tehnološko preveč kompleksen in izvedljiv le z geodetsko terensko meritvijo; LoD 2.2 dosegljiv, vendar z napakami v geometriji (predvsem) strehe; LoD 2.1 enostaven, vendar ga lahko dobimo le s poenostavljanjem LoD 2.2. Več o tem v DP 3 (testiranje).
- GURS izvede masovni vpis po uradni dolžnosti 3D stavb v primeru, kjer lastnik ne želi 3D evidentiranja, GURS pa ga mora zagotavljati zaradi javnega interesa (prostorski podatki) ali zakonske zaveze (npr. zeleni prehod, energetika).
- Homogenizacija geometrične in atributne kakovosti podatkov KN, vendar s segmentacijo metod in tehnik obdelave 3D stavb v različne stopnje kompleksnosti (stavbe z več deli; večetažnost; tip ostrešja, napuščev in frčad; kakovost tlorisov (ZPS); podzemni deli stavbe; vrednost stavbe).
- Prilagoditev vzdrževalnih postopkov za podatke 3D stavb in uskladitev z DTM glede na gornje dileme tako, da bodo zadovoljni tako lastniki kot GURS in uporabniki podatkov.

3.5.11 Vpis po uradni dolžnosti

Proučiti je treba možnost, da bi se enostavnejši objekti, ki po večini nimajo podzemnih delov, lahko na osnovi podatkov daljinskega zaznavanja vpisali v KN v 3D obliki po uradni dolžnosti in kako bi v ta namen prilagodili določbe v ZKN.

Po uradni dolžnosti bi lahko v KN v 3D obliki vpisali tudi nove stavbe, za katere lastniki niso poskrbeli za vpis v KN - za izbrane tipe stavb in na podlagi pridobljenih podatkov ob izdelavi 3D modelov.

Glede na različne pretekle, sedanje in bodoče načine vpisa stavb v KN (2.5D ali 3D), kakovost in vir podatkov ter status vpisa (različna pretekla zakonodaja) je zaželena uvedba atributa s kvalitativnim klasifikatorjem za sledenje porekla podatkov o vsaki stavbi v KN.

3.5.12 Problematika delov stavb

Zaradi avtomatskega zajema stavb iz podatkov CLSS in semantičnih pravil KN za delitev stavb v dele, bo med podatki prišlo do različnih neskladij, ki jih v grobem lahko razdelimo takole:

- Povezava med stavbami, pridobljenimi iz CLSS in ustrežajočimi stavbami iz KN je neproblematična v primeru, ko zaznana stavba iz CLSS ustreza eni stavbi v KN (1:1).
- V primeru, ko stavba, zaznana iz CLSS ustreza več stičnim evidentiranim stavbam v KN (1:N), je potrebna dodatna obdelava zaznanih stavb za delitev v ločene stavbe oz. dele. V ta namen je potrebno razviti metodologijo členitve stavb, ki bo ustrezala členitvi stavb v KN.
- Obstajajo tudi različni primeri brez povezave stavb med CLSS in KN. Pri tem gre lahko za nestavbe ali pa za stavbe, ki še niso vpisane v KN.

3.5.13 Oblika zapisa 3D modela stavbe

Za zapis 3D modela v KN bo potrebna razširitev podatkovnega modela. Za začetek bi bila stavba v KN solid 3D model (atributi se vežejo na ID stavbe), v bodočnosti pa 3D stavba s ploskvami (atributi se vežejo na ploskve stavbe: streha, stena, ...). Potreben je razmislek, ali ne bi modela že takoj izvorno zajeli in shranili kot ploskve. Ker je zapis v »solid« ali »s ploskvami« avtomatizem, bi se po drugi strani lahko zapis 3D stavbe tudi podvojil v obe obliki. Pomembno je, da že od začetka razmišljamo o uporabi formata CityGML za stavbe v bodočem 3D KN in o 3D solid modelih delov stavb.

3.5.14 Uskladitev med DTM in KN

Vzporedno teče projekt Vzpostavitev 3D modelov stavb za potrebe nadgradnje DTM. V tem projektu se vrednoti tudi uporabnost nadzemnih tlorisov stavb, pridobljenih iz CLSS za potrebe DTM. Predvideno je ročno urejanje, kjer avtomatsko dobljeni rezultati ne bodo zadovoljivi. V DTM bodo stavbe povezane s KN s prevzemanjem enoličnega ID stavbe (EID) kot je to praksa že do sedaj. ID bo kot atribut vključen tudi v 3D modele. Stavbe, ki so predmet evidentiranja tudi v KN, bodo enako modelirane v DTM in KN. Cilj je skupna produkcijska linija.

Glede primernosti stopnje podrobnosti (LoD) za nadgradnjo DTM je v poročilu omenjenega projekta priporočeno, »da bi bila vsaj LoD 2.1:

- *tloris stavbe predstavlja obris strehe (napušči niso opredeljeni),*
- *tloris stavbe je lahko členjen v več delov,*
- *manjše konstrukcijske značilnosti strehe (frčade) so generalizirane (izpuščene).*

Če se v produkcijskem testu izkaže, da je vsebinsko ustrezno in dolgoročno izvedljivo (tehnično, časovno in finančno), predlagamo modeliranje v LoD 2.2. Glede na LoD 2.1 to pomeni vključitev manjših konstrukcijskih značilnosti strehe (frčade) v model.

Vključitev napuščev v 3D modeliranje stavb za potrebe topografije (tj. prehod na LoD 2.3) je smiselna, če bo na osnovi rezultatov novega projekta CRP 2023 vzpostavljen skupni proces izdelave 3D modelov stavb za potrebe DTM in KN. Ker se vse vrste stavb, ki so predmet evidentiranja v DTM, ne evidentirajo v KN, v primeru skupnega procesa predlagamo mešane nivoje podrobnosti v topografskem sloju 3D stavb (LoD 2.3 za vrste stavb, ki so skupne obema evidencama in LoD 2.1 oz. 2.2 za ostale vrste stavb, ki so predmet evidentiranja samo v DTM).«

Ugotovitve tega raziskovalnega projekta CRP vplivajo tudi na izvedbo omenjenega projekta, ki se tiče nadgradnje DTM (in obratno), zato je tudi v prihodnje potrebno njuno medsebojno usklajevanje.

4 METODOLOGIJA AVTOMATSKEGA ZAJEMA 3D IN 2.5D STAVB ZA POTREBE KATASTRA NEPREMIČNIN (DP 2)

4.1 Uvod

Delovni paket 2 z naslovom »Metodologija avtomatskega zajema 3D in 2.5D stavb za potrebe katastra nepremičnin« je glede na postopek oblikovanja konceptualnega modela v Delovnem paketu 1 po dogovoru z naročnikom ločen na dve aktivnosti:

- Aktivnost 2.1: Vpis 3D modelov stavb v Zbirko 3D podatkov o stavbah iz CLSS
- Aktivnost 2.2: Katastrska izdelava 3D modelov stavb v Katastru nepremičnin

Novo poimenovani aktivnosti zajemata tudi vse v prijavi projekta opredeljene aktivnosti oz. metodologije:

- avtomatskega zajema stavb iz CLSS,
- kontrole kakovosti rezultatov,
- izločanja zaznanih stavb, ki ne sodijo v kataster nepremičnin,
- obravnave zaznanih stavb, ki še niso v katastru nepremičnin,
- vzdrževanja podatkov o stavbah.

4.2 Opredelitev pojmov povezanih z izdelavo 3D modelov

3D model stavbe je prostorska opredelitev geometrije stavbe v treh dimenzijah, ki vključuje osnovne elemente, kot so stene, streha, tla in druge arhitekturne značilnosti stavbe. Uporablja se lahko za vizualizacijo, vrednotenje, načrtovanje in analizo prostorskih lastnosti stavb. V dokumentu se pojem nanaša na modele, izdelane v skladu s potrebami katastra nepremičnin (KN).

2.5D tloris strehe stavbe je iz podatkov CLSS izvrednoten poligon, 2D lomnim točkam poligona je pripisan atribut višina kapi posamezne strehe stavbe oz. njenega dela členitve glede na podatke CLSS in predstavlja osnovo za izdelavo 3D modelov stavb.

Raven podrobnosti (LoD, Level of Detail) je koncept, ki določa stopnjo podrobnosti 3D modela. Višja raven podrobnosti omogoča bolj podrobno predstavitev stavbe. Raven podrobnosti LoD 2.1 na primer vključuje le osnovno geometrijsko obliko stavbe, medtem ko LoD 2.3 prikazuje podrobnejše detajle, kot so frčade, napušči in druge arhitekturne značilnosti.

Volumen stavbe se izračuna na podlagi njenih geometrijskih značilnosti v topološko zaprtem 3D modelu. Določa ga tudi raven podrobnosti, ki se lahko prilagodi za namene uporabe npr. vrednotenja nepremičnin.

4.3 Vpis 3D modelov stavb v Zbirko 3D podatkov o stavbah iz CLSS (Akt. 2.1)

Zbirka 3D podatkov o stavbah iz CLSS je predlagani bodoči tehnični del KN, ki bi vseboval 3D podatke modelov stavb v ravni podrobnosti LoD 2.1 (oz. LoD 2.2). Vpis 3D modelov naj bi se izvedel množično in enotno za celotno državo, vzpostavi ga GURS predvsem na osnovi podatkov CLSS. V primeru zadostnega razvoja tehnologije avtomatskega zajema in potreb uporabnikov, bi se določeni modeli lahko kasneje vzpostavili tudi v nadgrajeni obliki v ravni podrobnosti LoD 2.3.

4.3.1 Namen, cilj, deležniki

4.3.1.1 Namen in cilj vpisa 3D modelov stavb v Zbirko 3D podatkov o stavbah iz CLSS

Namen izdelave 3D modelov stavb za celo državo je izboljšati kakovost in natančnost prostorskih podatkov o stavbah v KN. S 3D modeli lahko vizualiziramo stavbe in njihove značilnosti v prostorskem kontekstu, kar je koristno za različne uporabe, kot so vrednotenje, simulacije, načrtovanje infrastrukture, priprava na naravne nesreče, izdelava digitalne topografske baze (DTB), nepremičninske posle, povezavo z BIM, pa tudi kot podlaga za izvajanje različnih nacionalnih in EU politik (npr. zeleni prehod, energetika, trajnostni razvoj). Z izdelavo bo ustvarjena enotna baza podatkov, ki lahko služi povezovanju različnih deležnikov ter podpira različne uporabnike v javnem in zasebnem sektorju. Kot smo opredelili že v izhodiščih, prednost 3D oblike odpira več možnosti kot sledi.

- **Izboljšanje natančnosti prostorskih podatkov.** 3D modeli nudijo natančnejši in podrobnejši prikaz stavb, vključno z višinami in volumni.
- **Podpora prostorskemu načrtovanju in odločanju.** Uporaba 3D modelov omogoča natančnejše načrtovanje in bolj informirano odločanje pri urejanju prostora in načrtovanju javne infrastrukture.
- **Optimizacija upravnih postopkov.** Natančni podatki o stavbah so ključni za gradbene in nepremičninske postopke, omogočajo zmanjševanje napak in skrajšujejo čas za preverjanje prostorskih podatkov.
- **Podpora pri obvladovanju tveganj naravnih nesreč.** S 3D modeli lažje ocenjujemo vplive naravnih nesreč, kot so na primer poplave in potresi, ter bolje načrtujemo ukrepe za zaščito prebivalstva in infrastrukture.
- **Izboljšanje javne dostopnosti do prostorskih podatkov.** Zbirka 3D podatkov o stavbah iz CLSS omogoča dostop do podrobnih informacij o stavbah, kar prispeva k transparentnosti in dostopnosti prostorskih podatkov za javnost, podjetja in raziskovalce.

Cilj je masovni vpis 3D podatkov o stavbah iz CLSS v KN za celo državo, kar izvede GURS.

4.3.1.2 Deležniki

Deležniki v procesu izdelave in uporabe 3D podatkov o stavbah iz CLSS so predvsem:

- Ključni deležniki so državni organi, predvsem geodetska uprava za potrebe evidentiranja stavb v okviru KN in vrednotenja nepremičnin, izven področja nepremičnin so potrebe topografije oz. DTB.
- Občine in druge lokalne skupnosti so lahko vključene pri uporabi 3D modelov za načrtovanje in urbanistične analize.
- Podjetja in izvajalci storitev sodelujejo pri zbiranju podatkov, modeliranju in nadzoru kakovosti 3D modelov.
- Lastniki nepremičnin so (pasivni) deležniki v smislu, da se njihovi objekti evidentirajo in prostorsko umeščajo, kar vpliva na vrednotenje nepremičnin, urejanje prostora in zaščito njihovih pravic.
- Ostali deležniki so javnost, raziskovalne ustanove in različni strokovnjaki s področja geodezije, arhitekture, gradbeništva in okolja kot pomembni uporabniki 3D podatkov za svoje delo in raziskave.

4.3.2 Konceptualna izhodišča za modeliranje 3D stavb

Modeliranje 3D stavb temelji na enotnem pristopu, ki omogoča uporabo podatkov tako v topografiji kot v katastru. S tem se zagotavlja povezljivost podatkovnih slojev, zmanjšujejo se stroški. Čeprav se kataster nepremičnin in topografija po namenu in podrobni vsebini razlikujeta, se s postopki avtomatizirane obdelave, ročnih dopolnitev in ocene kakovosti geometrije (tlorisi, višine) zagotovi ustrezna točnost za uporabo podatkov v obeh evidencah.

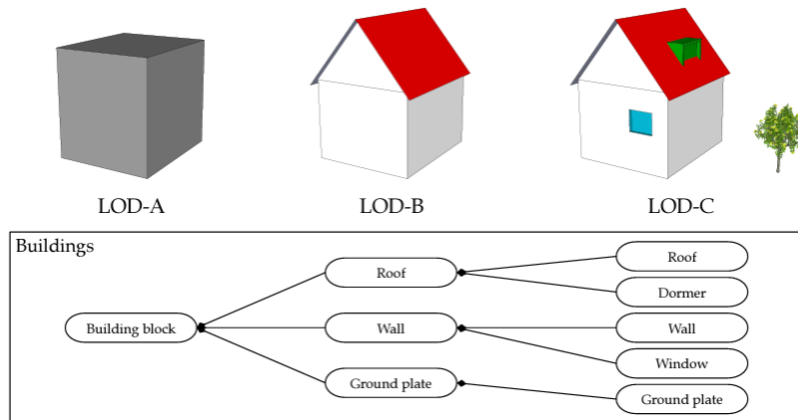
4.3.2.1 Definicije delov 3D modela stavbe (npr. stene, streha, strešina, frčada, dimnik, tla) z utemeljitvijo tehnološke izvedljivosti in ekonomičnosti zajema

Pri geometrijskem modeliranju stavb je treba definirati vsak del geometrijskega 3D modela, ki naj bi bil relevanten glede na predvideno uporabo. Geometrijski model, ki vključuje dele, kot so npr. stene, streha, strešina, frčada, dimnik, tla, omogoča bolj natančno in podrobno predstavitev stavbe ter večjo kakovost informacij. Zasnova delov geometrijskega 3D modela oblikuje celotno strukturo modela. Definiranje delov modela je ključno v zgodnjih fazah načrtovanja vzpostavitve 3D modelov. Natančno definiranje delov omogoča, da je model skladen s potrebami končnega uporabnika in zagotavlja povezovanje z drugimi zbirkami podatkov.

Sestavni deli geometrijskega modela skupaj ustvarjajo predstavitev stavbe v 3D prostoru.

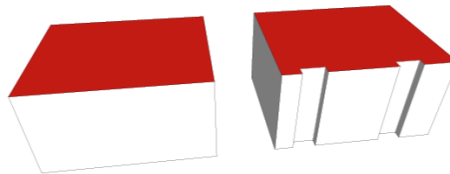
Definiranje 3D modelov obsega (Biljecki 2014):

- izbor elementov, ki jih modeliramo, na primer, ko modeli vključujejo stene, talno ploskev in strešno konstrukcijo brez dodatnih strešnih elementov;



Slika 21: Osnovni in ostali elementi modeliranja

- določitev parametrov kompleksnosti geometrije v primerjavi z realnim svetom, npr. ko določamo najmanjšo dolžino linearnih elementov v realnem svetu, ki bodo vključeni v model;



Slika 22: Parametri kompleksnosti geometrije

- pripis semantičnih lastnosti elementom modeliranja;
- določitev velikost, ki jo mora imeti objekt, da ga zajamemo v 3D obliki;
- izbiro seznama atributov za vsak element modeliranja.

V nadaljevanju je izhodiščna opredelitev treh osnovnih elementov (streha, tla in stena):

- **Streha:** Streha so vse ploskve, ki pokrivajo zgornji del stavbe. Pri geometrijskem modeliranju se strehe definirajo s svojimi robnimi linijami (konturami) in naklonom. Modeliranje lahko vključuje več strešnih segmentov, kar omogoča natančno predstavitev kompleksnih oblik, kot so: dvokapnice, večkapnice ali mansardne strehe, ter dodatne strešne elemente (frčade, dimniki).

Streho se definira tudi le kot obod oziroma kot robno linijo, kar pomeni, da je model omejen na zunanji obris strehe brez podrobnega modeliranja posameznih strešnih segmentov.

- **Strešina:** Strešina se nanaša na specifične naklone in oblike strešnih ploskev, ki določajo smer odtekanja vode s strehe. Pri modeliranju se strešina definira kot skupina ploskev. Vsak segment je ločena strešna ploskev s svojim naklonom, smerjo in dolžino. Geometrijsko se določa z robnimi linijami in višinskimi točkami.

- Frčada: Frčada je element strehe, ki običajno štrli iz strešine in vsebuje okno ali zračno odprtino. Geometrijsko se modelira kot kombinacija sten in strešnih ploskev, ki so integrirane v osnovno streho. Frčada ima lastne dimenzije (širina, višina, globina) in pogosto tudi drugačne naklone kot preostala streha. Modeliranje frčad se ne loči od modeliranja ostale strehe, zaradi svoje kompleksnosti pa ni vedno najbolj kakovostno. Z večanjem gostote laserskega skeniranja in izboljšanimi algoritmi 3D modeliranja bodo tudi frčade v prihodnosti bolje modelirane. Izločanje frčad zaenkrat ni zadovoljivo in tudi ni smiselno, saj bi se ob tem zmanjšal volumen stavbe, ki eden od zelo pomembnih podatkov o stavbah. Za morebitno izločanje frčad je treba najprej precej izboljšati klasifikacijo oblaka točk. Frčade se zaenkrat modelirajo kot del strehe z vsemi morebitnimi napakami. Spodaj so prikazani različni primeri frčad za lažjo predstavilo o zapletenosti zajema njihove geometrije.







Slika 23: Primeri frčad za predstavo o zapletenosti zajema njihove geometrije

- **Dimnik:** Dimnik se v primeru visoke ravni podrobnosti lahko modelira kot navpični pravokotni ali cilindrični element, ki štrli iz strehe ali zunanje stene stavbe. Običajno se dimnik definira s premerom (pri cilindrični obliki) ali širino in dolžino (pri pravokotni obliki) ter višino, ki presega streho. Če takšna podrobnost ni potrebna, se lahko zajame le njegova višina. Izločanje dimnikov omogoča klasifikacija oblaka točk, ki je v primeru dimnikov in anten boljša kot pri frčadah.
- **Tla:** Tla se modelirajo kot horizontalne ploskve, ki omejujejo posamezne etaže stavbe. Tla so določena z višinskim nivojem in robnimi linijami, ki ustrezajo zunanjemu obrisu stavbe. Tla lahko definiramo s podatki o debelini ipd., kar je pomembno za natančno modeliranje višine etaž. Pri manj podrobnih modelih, kjer notranji prostori niso modelirani (npr. samo zunanji prikaz stavbe), tla definiramo kot osnovno horizontalno ploskev, ki leži na najnižji višini stika s terenom.

- **Stena:** Stene se modelirajo kot vertikalne ploskve, ki omejujejo prostore zunaj in znotraj stavbe. Tipično so definirane s svojimi osnovnimi linijami (tlorisnimi omejitvami), višino in debelino. V modelu so stene parametrične, kar pomeni, da lahko spreminjajo obliko glede na strukturo zgradbe in nastavitve parametrov npr. višina, širina, debelina, položaj, naklon). Pri manj podrobnih modelih, ki prikazujejo samo zunanjo geometrijo stavbe, se definicija sten parametrično določi le z višino in širino (lahko tudi naklonom).

Pri izbiranju LoD in posledičnem določanju definicij elementov 3D modeliranja je treba preveriti tehnološke, finančne in časovne zmožnosti, ki dopuščajo izbrane opredelitve osnovnih elementov za izdelavo 3D modelov.

4.3.2.2 Izbor in utemeljitev ravni podrobnosti (LoD) 3D modela stavbe

Pri izbiri ravni podrobnosti 3D modela je ključnega pomena, da odločitveni proces poteka že v fazi definicije elementov (predhodna točka) in oblikovanja procesnega modela. Na ta način zagotovimo, da model ne bo samo funkcionalen in stroškovno učinkovit, ampak bo prilagodljiv glede na prihodnje potrebe in ustrezen za integracijo z drugimi podatkovnimi viri.

- Pri izbiri ravni podrobnosti je potrebno upoštevati namen 3D modelov. Opredeliti je treba elemente, ki bodo vključeni na izbrani ravni ter njihove lastnosti.
- Na natančnost in obseg podatkov, ki jih lahko vključimo v 3D model vplivajo tehnologije za zajem podatkov (zračno lasersko skeniranje, aerofotografiranje, uporaba obstoječih etažnih? načrtov) in drugi razpoložljivi podatki (npr. geometrija zemljišč pod stavbami).
- Vsak nivo podrobnosti prinaša različno stopnjo kompleksnosti in različne stroške izdelave. Preden se odločimo za izbran LoD, je pomembno pretehtati, ali so dodatni stroški višje ravni podrobnosti upravičeni glede na pridobljene koristi. Za nekatere analize ali projekte ni smiselno vlagati v najvišje stopnje LoD, če ni pričakovati, da bodo podrobnosti pomembno prispevale k rezultatom.
- Smiselno je upoštevati možnost kasnejše nadgradnje modela (dodajanja podrobnosti, če se pojavijo dodatne zahteve oz. možnosti).

Glede na racionalnost zajema, potrebe in tehnološke zmožnosti v tem trenutku, se za potrebe 3D zajema stavb opredelujemo za izbor ravni podrobnosti LoD 2. V splošnem za to raven podrobnosti velja:

- LoD 2.1: osnovni nivo podrobnosti, ki vključuje modelirane oblike streh brez frčad ali drugih kompleksnih strešnih elementov. Stene stavb se projicirajo navpično iz strešnih obrisov do tal, kar omogoča enostaven izračun volumna, vendar ne vključuje detajlov strehe in napuščev.
- LoD 2.2: nadgradnja LoD 2.1, ki omogoča bolj natančno modeliranje strešnih detajlov, vključno z manjšimi strešnimi konstrukcijami, kot so frčade.
- LoD 2.3: najvišji nivo podrobnosti na tej ravni, kjer se modeliranje izvede z natančnimi obrisi linij stavb. Ta raven vključuje tudi napušče in druge arhitekturne detajle, kar omogoča točnejši izračun nadzemnega volumna stavbe in natančno modeliranje vseh streh in fasadnih elementov.

Glede na značilnosti procesnega modela zajema podatkov in izdelave 3D modelov ter glede na analizo podatkov o zemljiščih pod stavbami (ZPS, gl. DP 1) je smiselna izbira za vse stavbe:

- 3D modele vseh stavb izdelamo v ravni podrobnosti LoD 2.2 z geometrijskimi elementi: streha brez podrobnosti (dimniki in antene), stene iz obrisa strehe, tla iz projekcije obrisa stavbe. Vsi elementi se pridobijo iz laserskega skeniranja (CLSS).
- vsi modeli se povežejo z identifikatorji katastra nepremičnin na podlagi prostorskih odnosov med centriidi KN in 2D obrisom stavbe (en model ima enega ali več centroidov).

Za stavbe, za katere z analizo razpoložljivih podatkov o zemljiščih pod stavbami (ZPS) ugotovimo, da so le-ti ustrezni za podrobnejši nivo (takih stavb je cca. 15% - glej Tabela 7), se lahko izdelata tudi LoD 2.3:

- 3D modele stavb izdelamo v ravni podrobnosti LoD 2.3 z geometrijskimi elementi: streha z napušči, stene iz obrisa zemljišča pod stavbami, tla iz obrisa zemljišča pod stavbo. Elementi podatkov o strehi in višino tal se pridobijo iz laserskega skeniranja CLSS, elementi za stene in obris stavbe pa iz podatkov KN.
- oba modela (LoD 2.2 in LoD2.3) se povežeta z identifikatorji KN na podlagi prostorskih odnosov med centriidi KN in obrisom stavbe (en model ima en centroid).

Za masovno izdelavo 3D modelov predstavlja LoD 2.2 ekonomičen način za zajem osnovnih podatkov o stavbi, medtem ko LoD 2.3 vključuje bolj podrobno predstavitev, ki je uporabna za zahtevnejše analize ali podrobnejše ocenjevanje vrednosti.

Modele LoD 2.3 je mogoče izdelati le za manjši odstotek vseh stavb v državi, modele LoD 2.2 pa bo mogoče izdelati za vse stavbe v državi, po končanem projektu CLSS 2023-2025.

4.3.2.3 Metoda zajema in modeliranja 3D modelov stavb

Metodo zajema in modeliranja 3D stavb iz podatkov zračnega laserskega skeniranja (ZLS), v našem primeru iz podatkov projekta CLSS, je treba razdeliti na dva dela:

- Priprava podatkov za modeliranje

Klasifikacija oblaka točk v različne razrede, ki so pomembni za modeliranje 3D stavb. Ti razredi so tla, stavbe-strehe, manjše stavbe-strehe, stene stavb, dimniki in antene:

- točke klasificirane v razred **tla** okoli stavbe so pomembne, saj definirajo najnižjo točko preseka stavbe s tlemi,
- točke v razredu **stavbe-strehe** so ključne za modeliranje oblike strehe in tudi obrisa stavbe. Zaradi lažjega 3D modeliranja se iz njih umaknejo dimniki in antene,
- točke klasificirane v razred **manjše stavbe-strehe** običajno predstavljajo objekte, ki so podobni stavbam in ne presegajo določenih velikosti, npr. površina 9 m² in višina 2 m. Ali se klasificirane skupine točk uvrščajo med stavbe ali med npr. pokrite skladovnice drv, pasje ute, pokrite oznake je treba ugotoviti z ročnim pregledom ali drugačno naknadno analizo,

- točke je v razred **frčade** smiselno klasificirati le v primeru, ko jih ne želimo modelirati in se torej izbrišejo iz oblaka točk, ki ga uporabimo za modeliranje 3D stavbe. Metoda klasifikacije točk v frčade še ni dodelana, in torej se vse frčade ne klasificirajo v popolnosti, ker tudi definicija frčad, ki so lahko zelo različne, še ni dodelana. Tudi modeliranje 3D strehe stavbe brez frčad ni nujno lažje kot v primeru, da so vključene. Verjamemo, da bodo v prihodnosti, ko bo gostota točk v oblaku večja, in se bodo izboljšali tudi algoritmi za 3D modeliranje, frčade bodo prepoznane kot dodaten element 3D modela stavb,
- kot je že bilo omenjeno v DP 1, v poglavju 3.2.8, se v ZLS uvajajo tudi metodologije, ki bodo pridobile več točk na **stenah**, kar bo omogočalo direktno modeliranje v LoD 2.3. Točke na stenah bi omogočale pridobiti tudi obris stavbe stika s tlemi, torej ZPS. Točke na stenah bi se lahko pridobile tudi pri obdelavi poševni aerofotografij, ki v tem trenutku sicer še niso na razpolago, v prihodnosti, ko se bo ugotovilo, da so tudi za druge državne uporabe zanimive, pa verjetno bodo.
- klasifikacija **dimnikov in anten** je že omogočena, ni pa izvedena v podatkih CLSS. Iz tega razreda točk bi lahko pridobili najvišjo višino stavbe, ki običajno ni sleme, ampak prav dimnik ali antena. Za 3D modeliranje stavbe bi ta razred izločili iz klasificiranega oblaka točk.

- Modeliranje

Oblikovanje klasificiranih točk v 3D modele stavb in členitev stavb na podlagi drugih podatkov, kot so obrisi stavb (npr. ZPS, centriodi iz KN, obrisi iz POF, ali iz DTM), ki jih iz oblaka točk ni mogoče nedvoumno prepoznati:

- Stavbo lahko modeliramo za več potreb. V našem primeru bi se lahko modelirala za KN in/ali DTM. KN potrebuje bolj kakovosten model tj. LoD 2.3, DTM bi se lahko zadovoljila z LoD 2.2. Treba je upoštevati trenutne možnosti izvedbe, hkrati pa slediti razvoju. Smiselno je, da se zaradi podobnosti proces izdelave 3D modelov stavb razvija in izvaja v skupnem procesu tako za KN kot DTM.
- Trenutno je modeliranje 3D stavb za nivo LoD 2.2 bolj ali manj avtomatizirano, medtem ko za LoD 2.3 ni. Vprašanje modeliranja in vzdrževanja 3D modelov bo aktualno tudi v prihodnje, ko bo mogoča tudi avtomatizirana izdelava LoD 2.3. Druga možnost izdelave LoD2.3 je izhajanje iz ZPS za stene in podatkov CLSS za strehe, ki ga je treba izdelati za vse stavbe, ki ga še nimajo. Seveda so to teoretične predpostavke, ki so lahko vodilo za prihodnost, sedanost pa omogoča nivo LoD 2.2 za vse stavbe in za omejeno število stavb LoD 2.3
- Modeliranje LoD 2.3 (v Sloveniji) je sicer mogoče, vendar je v tem trenutku omejeno na stavbe, ki imajo izdelan ZPS. Linija izdelave 3D modelov stavb za nivo LoD 2.3, ki imajo ZPS, še ni izdelana, niti ni preverjeno, ali se podatki ZPS in obrisi stavb iz CLSS dovolj ujemajo za modeliranje v LoD 2.3. Operativna rešitev za izdelavo LoD 2.3 še ni poznana oz. na voljo.

- Pogoja, ki bi morala biti zadoščena, da bi bilo v prihodnje 3D modeliranje v LoD 2.3 izvedljivo, sta vsaj:
 - da bi vse stavbe imele dovolj natančen ZPS ali da bi dobili ustrezen ZPS za celo državo iz meritev na terenu, kar pa verjetno ni za pričakovati v doglednem času. Ob morebitni vzpostavitvi je potrebno pripraviti tudi načrt vzdrževanja tovrstnih podatkov.
 - da bi bilo mogoče iz točk na stenah generirati ZPS iz podatkov daljinskega zaznavanja, kar bi bilo treba preveriti npr. v ločeni raziskavi (uporaba novejših skenerjev in/ali PAS za izvedbo državnih projektov).
 - da se frčade generirajo avtomatsko.

Pri modeliranju podatkov z namenom zagotavljanja povezljivosti z identifikatorji katastra nepremičnin je ključnega pomena vzpostavitev metodologije za ločevanje stavb, ki so fizično povezane. To lahko vključuje analizo barvnih razlik, variacije višin streh, ter drugih geometrijskih ali spektralnih prekinitev, ki omogočajo določitev posameznih objektov.

4.3.2.4 Podatkovni viri za zajem in modeliranje 3D modela stavbe

Glavni vir podatkov za zajem in modeliranje je projekt CLSS, ki vsebuje podatke zračnega laserskega skeniranja in aerofotografiranja.

Podatki CLSS – zračno lasersko skeniranje (ZLS). Osnovni podatkovni vir za zajem podatkov, potrebnih za 3D modeliranje stavb, so v tem trenutku (januar 2025) podatki Cikličnega laserskega skeniranja Slovenije (CLSS), ki bodo za celo državo na voljo konec leta 2025. Sedaj so na razpolago za 2/3 države. Po tem bodo zelo verjetno na voljo novi podobni podatki v naslednjem 3-letnem ciklu CLSS 2026-28.

- Poleg podatkov iz CLSS 2023-25 so na razpolago tudi podatki iz prvega cikla, ki se je zaključil 2015, kjer je gostota točk pod 10 t/m^2 (med $2\text{-}5 \text{ t/m}^2$) kar ni primerno za 3D modeliranje stavb.
- Potencialno je treba razmišljati o dodatnih podatkih ali celo alternativah, kot so npr. poševno aerofotografiranje (PAF), ki poleg podatkov za 3D modeliranje nudi tudi vizualni pregled stavb za pridobivanje dodatnih informacij brez obiska terena. Pri PAF je čas od zajem podatkov do objave originalnih aerofotografij v spletnem pregledovalniku zelo kratek, ker vse poteka avtomatsko. Paralelno ali naknadno se lahko izdelata še DMP (in drugi izdelki), ki vsebuje veliko več točk na stenah objektov kot ZLS., celoten proces je potrebno preveriti, saj se pričakuje nekaj slabšo točnost točk DMP.
- Za zajem podatkov za 3D modeliranje stavb bi lahko uporabili kombinacijo podatkov ZLS in PAF tako, da bi se PAF (vsaj na začetku) izvajal le za večja mesta, kar bi omogočalo zajem dodatnih točk na stenah, ki jih sistemsko skeniranje v okviru CLSS ne bi zagotovilo v ustrezni meri.
- Ne glede na način zajema podatkov (samo CLSS ali kombinacija CLSS in PAF) bodo zelo verjetno pri 3D modeliranju stavb nastale napake, ki bodo lahko posledica:
 - pomanjkljivih podatkov daljinskega zaznavanja,
 - ne dovolj kakovostne klasifikacije oblaka točk in
 - nepopolnega algoritma za 3D modeliranje.
- Ob ugotovitvi, da so zajeti podatki pomanjkljivi, bi se za posamezne stavbe ali skupino stavb (npr. v zelo gosti poselitvi) izvedel še zajem z letalniki.

- Za odpravo napak 3D modeliranja bo treba najti orodje, ki bo omogočalo popraviljanje že izdelanih 3D modelov. Tako orodje lahko deluje na več načinov, tako da operater lahko istočasno vidi in popravlja 3D model na izvornih podatkih:
 - o Uporaba aerofotografij iz podatkov CLSS ali PAF ali letalnikov, ki tvorijo stereopare in kjer je omogočeno tudi popraviljanje 3D modela,
 - o Uporaba oblaka točk iz podatkov CLSS v okolju, kjer je omogočeno tudi popraviljanje 3D modela.
- Treba je razmišljati tudi o vzdrževanju Zbirke 3D podatkov o stavbah iz CLSS. Predpostavljamo, da bo zajem podatkov CLSS (in drugih dodatnih virov) vedno lažji, hitrejši in cenejši, ter da se bodo algoritmi izboljševali. Z vsakim novim zajemom naj bi se vse 3D stavbe modelirale na novo:
 - o ker bomo s tem verjetno dobili objektivne informacije o spremembah na stavbah,
 - o ker bomo s tem dobili objektivne informacije o novih in podrtih stavbah,
 - o ker bodo lahko tudi 3D modeli kvalitetnejši z uporabo izboljšanih podatkov in algoritmov,
 - o ker se bodo stari podatki hranili za morebitne analize časovnih razlik,
 - o ker bo primerjava med starimi in novimi modeli omogočala iskanje razlik, bi lahko nespremenjene stavbe in stavbe z minimalnimi oz. zanemarljivimi razlikami ostale v zbirki in bi se zamenjale le stavbe z večjimi razlikami, dodale pa bi se nove stavbe.

Podatki CLSS – aerofotografije (AF). Obrisi 2D streh stavb iz POF so lahko v pomoč pri izdelavi 3D modelov. DTI POF je za celo državo enaka, in sicer 16 cm, kar pomeni gostoto cca 39 t/m², ki je v splošnem večja od zahtev CLSS (minimalno 10 t/m²). Torej je obris iz podatkov POF boljše določljiv, kot iz podatkov CLSS. Tudi ravninska točnost je na dobro določljivih detajlih (na kontrolnih točkah na tleh) boljša na POF kot na GOT. Iz tega sklepamo, da je POF bolj primeren za izdelavo obrisa. Izdelava kakovostnega obrisa stavb ni odvisna samo od vhodnih podatkov, pomemben je tudi algoritem za iskanje tega obrisa. V prihodnje je smiselna je izvedba testa določanja obrisov na podlagi POF.

4.3.2.5 Proces vrednotenja primernosti in uporabe tlorisov iz KN pri modeliranju 3D stavbe (npr. ZPS, podzemni tloris, nadzemni tloris z registrskim statusom vpisa)

V KN imajo stavbe po Zakonu o katastru nepremičnin lahko določene naslednje tlorise:

- **tloris stavbe**, ki je navpična projekcija zunanjšega obrisa celotne stavbe na ravnino (maksimalni tloris),
- **tloris nadzemnega dela stavbe**, ki je navpična projekcija zunanjšega obrisa nadzemnega dela stavbe na ravnino,
- **tloris podzemnega dela stavbe**, ki je navpična projekcija zunanjšega obrisa podzemnega dela stavbe na ravnino,
- **tloris zemljišča pod stavbo**, ki je navpična projekcija preseka stavbe z zemljiščem na ravnino.

Grafični podatki o tlorisih se v KN vodijo kot poligoni. Iz njihovih definicij sledi, da se tloris nadzemnega dela stavbe, tloris podzemnega dela stavbe in tloris zemljišča pod stavbo nahajajo znotraj tlorisa stavbe.

O tlorisu stavbe se v KN vodijo naslednji podatki: poligon tlorisa stavbe, številka točke, 2D koordinate in točnost koordinat točke, model transformacije koordinat točke, status točke ter tloris in površina tlorisa stavbe na parceli. Če stavba stoji na več parcelah, se tloris stavbe na vsaki parceli, na kateri stoji stavba, določi s svojim poligonom.

V postopku modeliranja stavb s katastrskimi (upravnimi) podatki in odločanju o podrobnosti je potrebno izdelati analizo dejanskih razmerij in primernosti podatkov za avtomatsko izdelavo podrobnejših modelov. Npr. za modeliranje stavb LoD 2.3 z napuščem je primerna kombinacija podatkov, zajetih iz CLSS in tlorisa zemljišča pod stavbo, ki ustrezajo kriterijem (kot sledi iz testne analize (gl. DP 1, pogl. 3.4):

- Obrisi stavbe iz CLSS in tloris zemljišča pod stavbo na parceli sta enaka.
- Tloris zemljišča pod stavbo na parceli v celoti leži znotraj obrisa stavbe iz CLSS.
- Tloris zemljišča pod stavbo na parceli leži znotraj obrisa stavbe iz CLSS in se ga deloma dotika.

V procesu modeliranja se tlorisi lahko ocenijo glede na kakovost podatkov (natančnost, topološka doslednost ter geometrijske lastnosti nadzemnih in podzemnih tlorisov, ki vplivajo na izbiro ravni podrobnosti). Trenutno homogenosti podatkov o tlorisih iz katastra nepremičnin za celotno državo ne moremo zagotoviti.

4.3.2.1 Uporaba umetne inteligence

Strojno učenje omogoča avtomatsko prepoznavanje stavb v lidarskih podatkih z visoko natančnostjo in točnostjo. Avtomatska segmentacija s pomočjo algoritmov strojnega učenja lahko bistveno pospeši postopek modeliranja stavb, saj zmanjša potrebo po ročnem delu in omogoča dosledne rezultate.

Ena ključnih prednosti strojnega učenja je njegova skalabilnost, saj omogoča obdelavo velikih količin lidarskih podatkov na učinkovit način, predvsem pri obdelavi večjih območij in tam, kjer je hitrost obdelave podatkov bistvena. V primerjavi s klasičnimi metodami lahko z uporabo umetne inteligence analiziramo velike podatkovne nize v krajšem času in z večjo ponovljivostjo rezultatov, kar je ključno za zanesljivo modeliranje v različnih geografskih okoljih.

Pri obdelavi lidarskih podatkov se pogosto uporabljajo nevronske mreže, kot so konvolucijske nevronske mreže (CNN), ki omogočajo klasifikacijo objektov na podlagi 3D oblakov točk. S pomočjo globokega učenja je mogoče natančno segmentirati različne površine, kot so strehe, fasade, tla in vegetacija, ter rekonstruirati kompleksne geometrije stavb.

Z združevanjem fotogrametrije in strojnega učenja se bistveno izboljšuje natančnost in kakovost končnih 3D modelov. Takšna kombinacija omogoča bolj celovito predstavitev urbanega prostora in boljše zaznavanje prostorskih značilnosti.

Z nadaljnjim razvojem umetne inteligence se pričakuje še večja natančnost, hitrost in avtomatizacija 3D modeliranja iz lidarskih podatkov.

Glede na lastnosti in vsebino podatkov CLSS se lahko uporabi kombinirano analizo klasificiranega lidarskega oblaka točk in popolnega ortofota, pri čemer se uporabi metode geometrijske analize in strojnega učenja. Na podlagi strojnega učenja se izvede filtriranje in dodatno klasificiranje lidarskega oblaka točk, kjer se identificira točke, ki pripadajo strešnim ploskvam. Izvede se višinsko analizo oblaka točk za segmentacijo strešnih ploskev, pri čemer se upoštevajo skoki v višini, ki kažejo na spremembe v strešni strukturi in prepoznavanje obrisov streh in členitvijo kompleksnih struktur na podlagi barvnih, teksturnih in spektralnih značilnosti na popolnem ortofotu.

4.3.2.2 Predvidene podporne metode in viri podatkov v prihodnosti (npr. poševno areofotografiranje - PAF)

Zajem podatkov PAF samo za izdelavo 3D modelov stavb za KN ni ekonomičen. Noben zajem podatkov z daljinskim zaznavanjem ni smiselno samo za en namen, in tudi uporabnost podatkov PAF za različne namene je velika. Več o širši uporabnosti podatkov PAF je zapisano v poročilu o projektu »Kontrola testnega poševnega aerofotografiranja (Kontrola PAF-test)«, ki je bil v letih 2022 in 2023 izdelan za GURS.

S podatki PAF se izdelava DMP, ki je podoben DMP iz CLSS. Pri visoki ločljivosti AF (npr. na območju testne lokacije Ljubljane je DTI AF = 5 cm), gostota cca 100 t/m², na območju srednje ločljivosti (DTI = 10 cm) je gostota cca 25 t/m², in na območju nižje ločljivosti (DTI = 15 cm) je gostota cca 11 t/m². V vseh treh primerih se pri izračunu ujemanja slik uporabi vsak drugi piksel, če pa bi se uporabil vsak piksel, bi gostota povsod narasla za faktor 4. Gostote je torej dovolj, točnost je nekaj slabša kot pri DMP iz CLSS, težave na prozornih, svetlečih površinah in vodi so podobne, ni pa težav na temnih površinah.

Točk na stenah stavb je več kot iz podatkov ZLS in zato so ti podatki zanimivi, saj omogočajo modeliranje sten, in s tem izračun 3D modela stavb na nivoju ločljivosti LoD 2.3. Kakovost teh podatkov za 3D modeliranje stavb še ni preverjena. Iskanje algoritma ali programske opreme, ali celo lasten razvoj izdelave 3D modelov stavb na nivoju LoD 2.3, so izven okvira te naloge. V okviru projekta PAF-test so na voljo podatki (DMP), ki bi bili uporabni za testiranje izdelave 3D stavb, kar bi lahko bila ena od naslednjih nalog v okviru 3D modeliranja stavb za uporabo v KN.

Kombinacija podatkov CLSS in PAF. Treba bi bilo oceniti kombinacijo podatkov CLSS in PAF, torej obeh DMP za namen 3D modeliranja stavb in njihovo postopno kombiniranje (vključevanje PAF).

Modernizacija zajema podatkov z ZLS. Strojna in programska oprema na področju ZLS se nenehno posodablja in izpopolnjuje. Najnovejši Riglov skener za skeniranje velikih območij in državnih projektov serije VQ 1560 omogoča skeniranje istočasno v dveh kanalih, kar povečuje učinkovitost in hitrost zajema, ter tudi razporejenost točk. Ali bo več točk posledično tudi na stenah stavb in se bo s tem večala možnost neposredne izdelave LoD 2.3, bo treba še raziskati.

4.3.3 Zahteve za kakovost podatkov in obvladovanje napak pri zajemu ter modeliranju 3D stavb

4.3.3.1 Minimalne zahteve glede kakovosti podatkov CLSS za zajem podatkov 3D modela stavbe

Pri definiranju zahtev kakovosti podatkov CLSS, je najprej potrebno opredeliti, kakšna kakovost 3D modelov stavb se pričakuje, tj. kakšna naj bo npr. ravninska in višinska točnost 3D modelov stavb. Kakovost obstoječih vhodnih podatkov GKOT in POF za izdelavo 3D modelov stavb je opisana v nadaljevanju.

Za projekt CLSS, ki se izvaja po celotni državi, je zahteva glede gostote najmanj 10 t/m², ki je za do sedaj zajete podatke zagotovljena; gostota je velikokrat tudi precej večja; za določena poplavna območja se zahteva gostota 20 t/m², in tudi ta je večinoma dosežena; za nekaj koridorjev ob rekah, ki niso del projekta CLSS, pač pa posebnega laserskega skeniranja (PLS) pa gostota dosega skoraj 40 t/m².

Povprečna ravninska točnost podatkov GKOT, ki se uporabljajo za generiranje 3D modelov, je nekaj boljša od zahtevanih 21 cm, povprečna višinska točnost pa je nekaj boljša od zahtevanih 10 cm.

Prikazana lokacijska točnost je izračunana z uporabo kontrolnih točk in zapisana s cenilko RMSE (1 sigma). Groba napaka bi v podatkih nastopila šele, ko bi bila odstopanja večja od 3-kratne vrednosti RMSE.

Točnost se po nadaljnjih obdelavah, npr. pri generiranju karakterističnih linij na strehi iz GKOT ali generiranje oboda stavbe iz POF nekaj zmanjša, prihaja tudi do grobih napak, ker algoritmi v avtomatski obdelavi še ne uspejo v celoti pravilno izdelati karakterističnih linij streh in/ali obrisa stavb.

Groba ocena za točnost izdelanega 3D modela stavb, na dobro določenem detajlu brez grobih napak, ki bodo v avtomatsko generiranem 3D modelu prisotne, je za ravnino do 30 cm, za višino pa do 20 cm (RMSE 1 sigma). Za bolj točno oceno točnosti bi bilo treba izvesti meritve.

Šifranti

ŠIFRANT TOČNOSTI DOLOČITVE POLOŽAJA

| SIFRA | NAZIV | OPIS |
|-------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 1 | Točnost koordinat (standardni odklon) do $\pm 0,25$ m | Koordinate, določene z izmero v D96 (GNSS ali kombinirana metoda) |
| 2 | Točnost koordinat (standardni odklon) do $\pm 1,0$ m | Koordinate, določene s fotogrametričnim zajemom |
| 3 | Točnost koordinat (standardni odklon) do $\pm 2,5$ m | Koordinate, določene z vektorizacijo na ortofotu |

ŠIFRANT TOČNOSTI DOLOČITVE VIŠINE

| SIFRA | NAZIV | OPIS |
|-------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 1 | Točnost višin (standardni odklon) do $\pm 0,25$ m | Višine, določene z meritvami |
| 2 | Točnost višin (standardni odklon) do $\pm 0,35$ m | Višine, določene s transformacijo (uporaba modela geoida) |
| 3 | Točnost višin (standardni odklon) do 1,0 m | Višine, določene s fotogrametričnim zajemom |
| 4 | Točnost višin (standardni odklon) slabša od 1,0 m | Ostalo |

Slika 24: Šifrant točnosti določitve položaja in višine (vir: Tehnična pravila zapisa vektorske oblike prostorskih podatkov za stavbe in gradbene parcele, Ur.l. 30/2023)

Kataster zahteva točnost določitve položaja **do $\pm 0,25$ m** za najvišjo kategorijo (Šifra 1), kar pomeni, da so podatki CLSS blizu tega praga, vendar se lahko v določenih primerih že uvrščajo v drugo kategorijo (Šifra 2, do $\pm 1,0$ m), še posebej po nadaljnjih obdelavah. Če so v modelu prisotne dodatne napake zaradi avtomatske obdelave, se lahko zgodi, da končni 3D modeli ne bodo ustrezali najstrožjim zahtevam katastra.

Kataster za najvišjo kategorijo zahteva višinsko točnost **do $\pm 0,25$ m (Šifra 1)**, kar pomeni, da 3D modeli lahko ustrezajo zahtevam katastra.

4.3.3.2 Pričakovane napake avtomatskega zajema in modeliranja 3D stavb

Vzroki za napake na 3D modelih stavb so lahko predvsem naslednji:

- slaba klasifikacija nekaterih odvečnih vsebin (frčad, dimnikov in anten) in posledično netočno odstranjene točke za modeliranje,
- slaba klasifikacija ključnih objektnih tipov za modeliranje (strehe stavb, teren itd.),
- slaba kakovost obrisov iz POF, če so vključeni kot dodatna vsebina,
- premalo točk na temnih strehah in/ali slabša klasifikacija teh točk,
- delna zakritost strehe zaradi sosednjih streh ali drevja in drugih objektov,
- premalo točk ZLS na temnih strehah ali pa točk ZLS na temnih strehah sploh ni,
- nepravilnosti pri formiranju ploskev na strehah zaradi prej omenjenih napak,
- nepravilnosti pri stikih med sosednjimi ploskvami zaradi prej omenjenih napak,
- nepravilno zaključevanje ploskev v zaprt 3D model zaradi prej omenjenih napak,
- nepravilna generalizacija (izpuščanje, izravnava, itd.),
- prevelika razlika med pravo obliko strehe in 3D modelom strehe,
- kompleksnost objekta, ki ga ni mogoče avtomatsko modelirati.

Vsem napakam lahko botrujejo še premalo podatkov, nedodelani algoritmi, nedodelana AI klasifikacija oblaka točk zaradi premajhnih učnih vzorcev in slaba kakovost obrisov stavb, če so ti tudi vhodni podatek poleg podatkov ZLS.

4.3.3.3 Pričakovani načini odpravljanja napak po avtomatskem zajemu in modeliranju 3D stavb

Prvi korak za izvedbo odprave napak, je iskanje in lociranje napak v avtomatsko generiranih 3D modelih. Zaradi velike količine podatkov je smiselno ta proces vsaj deloma avtomatizirati kot sledi:

- Prvi postopek za iskanje napak je ročni pregled 3D modelov, v okviru katerega bi bilo treba nazorno videti samo stavbo. Najboljši pregledi 3D modelov bi bili z uporabi fotografij PAF v stereo načinu, če bi bile poševne fotografije na voljo. Dokler teh podatkov ni na razpolago, bo treba uporabiti POF/ortofoto in/ali stereo model iz CLSS/CAS in/ali StreetView. Seveda bi bilo smiselno, da je ročni pregled že povezan s programsko opremo, ki omogoča popraviljanje 3D modelov stavb. V ozadju pregledovalnika bi morale biti avtomatsko pomikanje med stavbami, kjer je se pričakuje največ napak: cerkve, velike kompleksne stavbe, ...
- Drugi postopek je primerjava z obstoječo zbirko KN. V tej primerjavi bi iskali razlike pri površini tlorisa stavbe in višinah, ki so v obstoječi zbirki. V tej primerjavi ne bi našli le napak na 3D modelih, ampak tudi v zbirki KN.
- Tretji postopek za iskanje napak bi bil indikator znotraj algoritma v programski opremi za formiranje 3D modela, ki bi se zapisal ob zaznanih težavah pri formiranju 3D modelov, npr. veliko št. točk glede na površino objekta, ali veliko št. ploskev z majhno površino, podaljšan čas procesiranja glede na površino stavbe. Za zaznane težave bi programska oprema za pregled in popraviljanje 3D modelov morala omogočati avtomatski »obisk« in ročno odpravo napak na teh modelih.
- Četrty postopek bi bil lahko algoritem AI, ki bi se učil iz vzorčnega ročnega pregleda 3D stavb. Ročni pregled bi ustvaril učno množico 3D stavb z napakami, potem bi algoritem AI iskal podobne napake na celotni zbirki 3D modelov.

Pri iskanju napak je treba določiti, postopke iskanja in odprave napak, ter zahtevano stopnjo točnosti, da se zagotovi optimalno ravnovesje med kakovostjo rezultatov in učinkovitostjo postopka.

Ko imamo nabor 3D objektov, ki bi jih bilo treba popraviti, jih je treba uvesti v programsko okolje, ki omogoča hitro, učinkovito in enostavno ročno popravljanje. Tu je na voljo več rešitev:

- 3D model z napako se uvede v stereo okolje, ki ga tvorijo stereo modeli iz AF iz CLSS. Tako okolje bi moralo omogočati enake funkcije, kot če bi 3D modele ročno zajemali, ker bo včasih verjetno hitreje, da se 3D model zajame na novo, kot da se ga popravlja. Če bo kakšen 3D model manjkal, bi ga bilo verjetno najhitreje zajeti ročno, ali pa imeti možnost izvesti avtomatsko generiranje 3D modela.
- Obstajajo tudi napredni programi z mono pogledi (strojna oprema je precej cenejša), običajno pa se tam uporabljajo v naprej pripravljene 3D modeli, ki se jih samo prilagodi na velikost obstoječe stavbe na fotografijah.
- Popravljanje je mogoče tudi s ponovno izdelavo 3D modelov, kjer bi se spremenili izbrani parametri.

Po popraviljanju sledi ponovni pregled popravljenih 3D modelov s prej omenjenimi postopki.

4.3.3.4 Minimalne zahteve za oceno kakovosti podatkov 3D modelov stavb po odpravi napak

Za opredelitev glede minimalnih zahtev za kakovost podatkov 3D modelov stavb bi bilo smiselno uporabiti mednarodni standard z dne 1. 7. 2023, »Geografske informacije – kakovost podatkov – 1. del: Splošne zahteve« (ISO 19157-1:2023) - SIST EN ISO 19157-1:2023, ki nadomešča SIST EN ISO 19157:2015 in SIST EN ISO 19157:2015/A1:2018.

Podrobneje je predstavljen v okviru trenutno potekajočega raziskovalnega projekta z naslovom »Sistem upravljanja kakovosti za zagotavljanje medopravičnih geoprostorskih informacij«, št. V2-2387, ciljnega raziskovalnega programa »CRP 2023«, ki ga izvajajo UL Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Geodetski inštitut Slovenije in Igea. Financira ga ARIS in Geodetska uprava RS. Dokončni izsledki omenjenega raziskovalnega projekta bodo znani ob njegovem zaključku jeseni leta 2025.

Omenjeni standard opredeljuje naslednje elemente kakovosti, ki naj bodo vključeni tudi v oceno kakovosti podatkov 3D modelov stavb:

- **popolnost** (angl. completeness): določa prisotnost in odsotnost pojavov, njihovih atributov in razmerij; opredeljujeta jo presežek in primanjkljaj podatkov v nizu;
- **logična skladnost** (angl. logical consistency): določa stopnjo skladnosti z logičnimi pravili glede strukture podatkov, atributov in razmerij; ločimo konceptualno, domensko, formatno in topološko skladnost prostorskih podatkov;
- **položajna točnost** (angl. positional accuracy): definira točnost položaja izbranega prostorskega podatka v okviru referenčnega prostorskega sistema; ločimo absolutno ali zunanjo točnost, relativno ali notranjo točnost in položajno točnost mrežnih podatkov;
- **časovna kakovost** (angl. temporal quality): opisuje kakovost časovnih atributov prostorskih podatkov v smislu točnosti izmere časa, časovne skladnosti in časovne veljavnosti in
- **tematska kakovost** (angl. thematic quality): definirana je kot točnost kvantitativnih atributov prostorskih podatkov, pravilnost nekvantitativnih atributnih podatkov in pravilnost klasifikacije.

V okviru minimalnih zahtev za oceno kakovosti podatkov 3D modelov stavb predlagamo, da naj se upošteva vseh pet elementov kakovosti, pri čemer se je potrebno opredeliti do izbire pripadajočih podelementov kakovosti.

Za izvedbo ocene kakovosti podatkov 3D modela stavb je potrebno opredeliti tudi vrste cenilk in njihove dopustne vrednosti ter določiti, ali se kakovost podatkov ocenjuje na vzorcu ali pa na celotnem sloju 3D modelov stavb. Slednje je potrebno upoštevati tudi pri opredelitvi minimalnih zahtev glede kakovosti geometrije in topologije podatkov 3D stavb.

Kakovost geometrije in topologije sodi v logično skladnost. Minimalne zahteve za kakovost geometrije in topologije podatkov 3D modela stavbe po odpravljanju napak, morajo biti predhodno opredeljene in biti izpolnjene pri izdelavi.

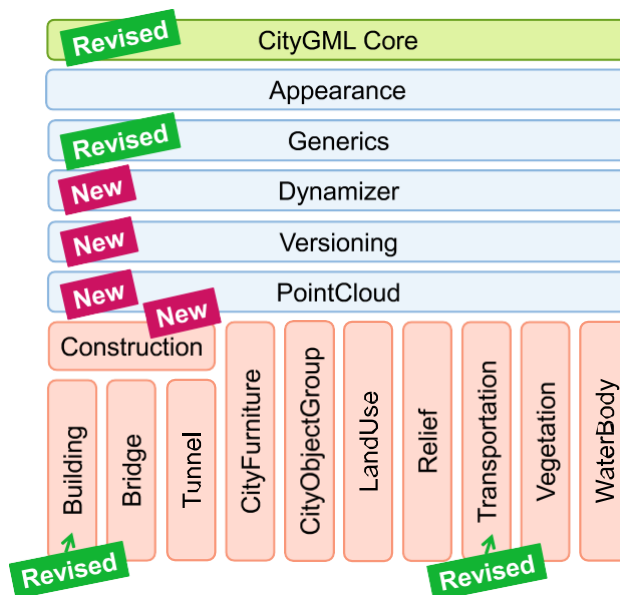
4.3.3.5 Minimalne zahteve za uskladitev in povezavo med 3D modelom stavbe in etažnimi načrti

Podatki etažnih načrtov so shematični prikazi delov stavb (predstavljajo merjeno notranjost stavbe) v vsaki etaži. Vsak etažni načrt je na določeni nadmorski višini glede na višino etaž. Povezava etažnih načrtov in 3D modelov je zagotovljena preko identifikatorjev katastrske občine in številke stavbe oz. preko enoličnega identifikatorja stavbe. Prikazovanje podatkov izdelanih 3D modelov in podatkov iz etažnih načrtov je zaradi različnih virov za njihovo izdelavo lahko problematično s stališča skladnosti položajev. Skupna uporaba podatkov je smiselna za postopke ocenjevanja (izboljšanja) kakovosti podatkov in optimizacije postopkov pridobivanja podatkov.

4.3.3.6 Format zapisa ploskev 3D modela stavbe (CityGML – roof, wall, ground)

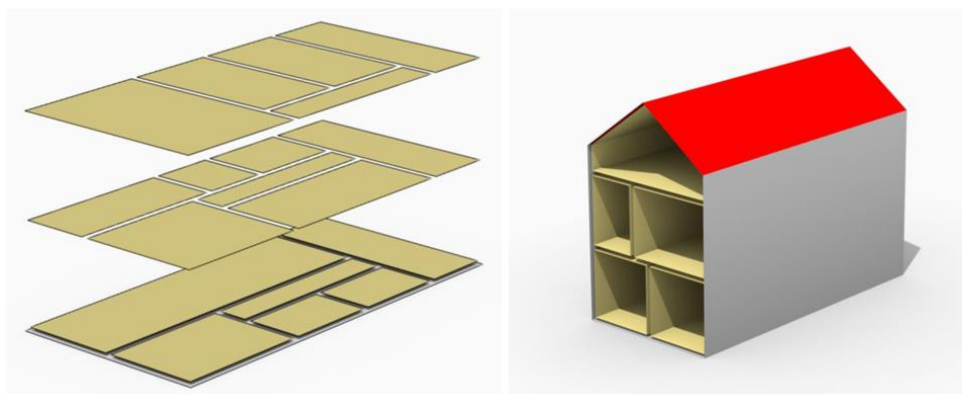
Kot je že navedeno v poglavju 3.3.3., je podatkovni model neodvisen od načina in tehnologije shranjevanja ter upravljanja podatkov. CityGML oz. CityJSON predstavljata lahko prenosni format podatkov. Osnovni podatki stavb bodo shranjeni v podatkovni bazi, ki podpira 3D geometrijske podatkovne tipe (volumne in ploskve).

Konceptualni model CityGML 3.0 opredeljuje 17 modulov, kot je prikazano na spodnji sliki. Navpični okvirji prikazujejo različne tematske module. Vodoravni moduli določajo koncepte, ki veljajo za vse tematske module. Vsi moduli iz predhodne različice CityGML 2.0 so del CityGML 3.0. Poleg tega so bili uvedeni novi moduli Dynamizer, Versioning, PointCloud in Construction, moduli Core, Generics, Building in Transportation pa so bili revidirani. Ostali moduli so bili posodobljeni za delo z novim modulom Core.



Slika 25: Moduli v konceptualnem modelu CityGML 3.0 (vir: Kutzner et al., 2020).

Največja sprememba med CityGML 3.0 glede na predhodne različice je ta, da imajo zdaj lahko vsi objekti hkrati zunanje in notranje elemente v LOD od 0 do 3 (za tiste objekte, kjer je to smiselno, kot so stavbe, predori ali mostovi). To pomeni, da je lahko zunanja lupina stavbe prostorsko predstavljena v LOD2, notranji elementi, kot so sobe, vrata, hodniki, stopnice itd., pa v LOD1. CityGML se zdaj lahko uporablja za predstavitev tlorisov stavb, ki so predstavitev notranjosti stavb v LOD0. Možno je celo modelirati zunanjo lupino stavbe v LOD1, medtem ko je notranja struktura predstavljena v LOD2 ali 3. Na spodnji sliki je prikazan primer predstavitev notranjosti in zunanosti stavbe: prikaz tlorisa (LOD0) stavbe (levo), kombiniran prikaz notranjih in zunanjih prostorov LOD2 (desno) (vir slike: Lowner et. al. 2016).



Slika 26: Možne predstavitev notranjosti in zunanosti stavbe (vir: https://docs.ogc.org/guides/20-066.html#ug_introduction_section)

Že v letu 2020 se je predvidevalo izboljšanje modula za konstrukcije (Construction modul) in stavbe (Building modul). CityGML 3.0 je bil koncipiran, da bo vseboval nov Construction modul, ki opredeljuje koncepte, skupne vsem vrstam umetnih konstrukcij, kot so stavbe, mostovi in predori. To pomeni, da modul združuje vse razrede, ki so si podobni pri različnih vrstah konstrukcij in so v City-GML 2.0 opredeljeni ločeno v moduli Stavbe, Mostovi in Predori. To so zlasti različne tematske površine, kot so RoofSurface, GroundSurface ali WallSurface, ter odprtini Door in Window.

Modul Konstruktiv opredeljuje razred Abstract-Construction kot podrazred razreda AbstractOccupiedSpace, ki je povezan z različnimi tematskimi površinami. Stavbe, mostovi in predori pa so opredeljeni kot podrazredi razreda AbstractConstruction, ki na ta način samodejno podedujejo povezave z vsemi tematskimi površinami. Ta vodi do znatne poenostavitve modelov UML modulov Stavb, Mostov in Predorov. Poleg tega je bil za predstavitev umetnih struktur, ki niso niti stavbe niti predori niti mostovi (npr. veliki dimniki ali mestno obzidje), uveden nov razred OtherConstruction kot podrazred razreda AbstractOccupiedSpace.

Da bi olajšali bolj neposredno preslikavo IFC na City-GML, je uveden nov tip značilnosti AbstractConstructiveElement, ustrezni podrazredi BuildingConstructiveElement, BridgeConstructiveElement in TunnelConstructiveElement pa so opredeljeni v modulih Building (glej sliko spodaj), Bridge in Tunnel. Ti tipi elementov omogočajo preslikavo konstrukcijskih elementov iz podatkovnih nizov BIM iz standarda IFC (npr. razredi IFC IfcWall, IfcRoof, IfcBeam, IfcSlab itd.) v CityGML.

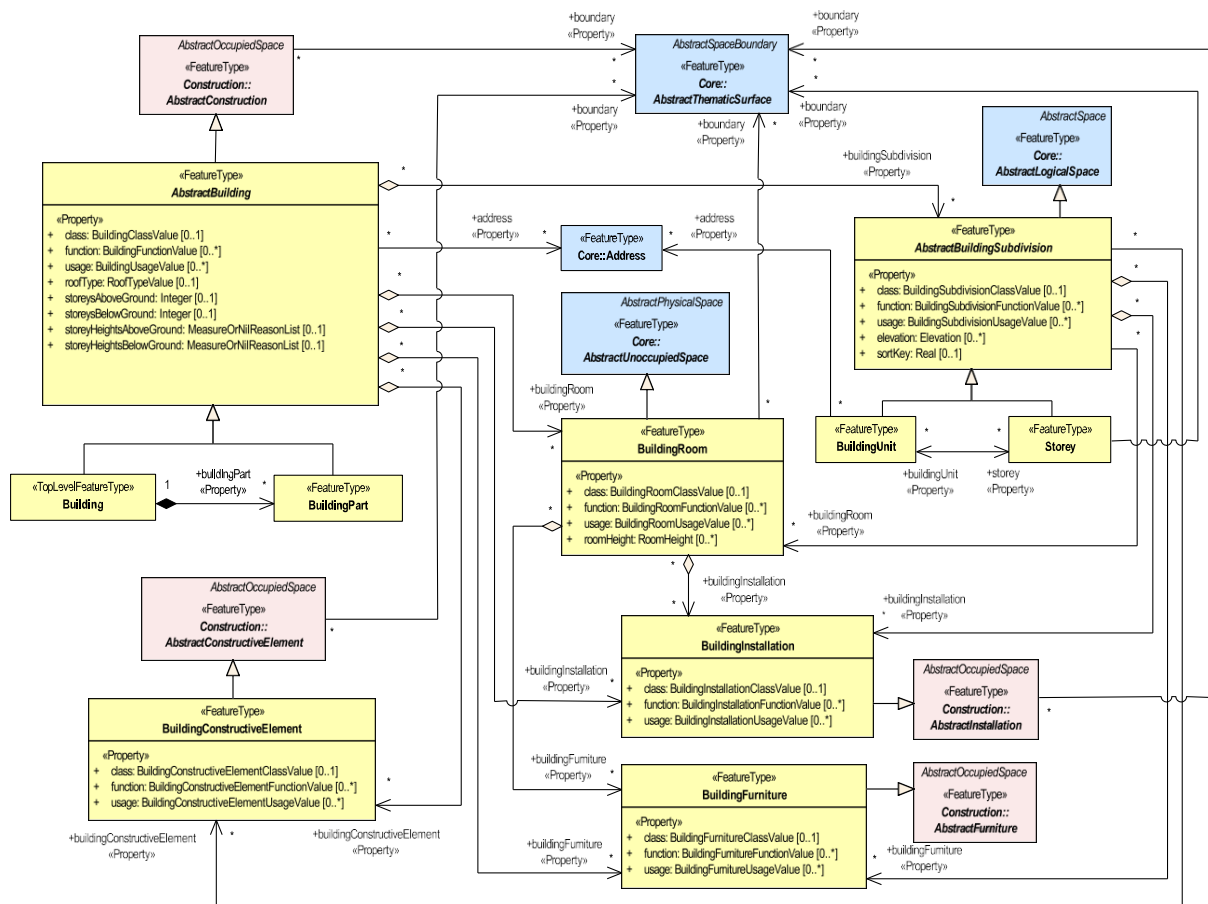
Te prostorninske komponente so omejene tudi z različnimi tematskimi površinami RoofSurface, WallSurface itd. Tako prostor in meja prostora vzpostavljata eksplicitno povezavo med (volumetričnimi) konstrukcijskimi elementi in njihovimi tematskimi mejnimi površinami.

Interoperabilnost CityGML z INSPIRE je izboljšana s prevzemom atributov iz teme podatkov o stavbah INSPIRE (JRC 2013), ki omogočajo določitev več višinskih ravni in izmerjenih višin. Poleg tega je mogoče navesti različne dogodke in njihove datume, kot so datum izdaje gradbenega dovoljenja, začetek prenove ali konec prenove.

Vrata in okna imajo zdaj jasnejšo semantiko. Razreda Window (okno) in Door (vrata) zdaj predstavljata polnilne elemente; poleg tega sta uvedena razreda WindowSurface (površina okna) in DoorSurface (površina vrat), ki predstavljata polnilne površine.

Modul Building uvaja nov razred AbstractBuildingSubdivision, ki je modeliran kot podrazred Abstract-LogicalSpace, ter dve specializaciji BuildingUnit in Storey, ki omogočata predstavitev gradbenih enot (kot so stanovanja) in nadstropij.

Spodnja slika prikazuje CityGML 3.0. Building modul.



Slika 27: CityGML 3.0. Building modul

(prevedeno iz vira: Tatjana Kutzner, Kanishk Chaturvedi & Thomas H. Kolbe. **CityGML 3.0: New Functions Open Up New Applications**. PFG – Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science
 Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation. ISSN 2512-2789 PFG. DOI 10.1007/s41064-020-00095-z. 24. januar, 2020).

4.3.4 Proces avtomatizirane izdelave 3D modelov stavb

Cilj metodologije je opredeliti sistematičen in ponovljiv postopek za avtomatizirano izdelavo 2,5D tlorisov streh stavb, ki so osnova za avtomatizirano izdelavo 3D modelov stavb.

Predlog metodologije je oblikovan na podlagi izkušenj in ugotovitev, pridobljenih v sklopu te naloge in glede na rezultate testov (poglavje 5). Upošteva različne potrebe uporabnikov (dopolnitve evidenc katastra nepremičnin in topografije, uporaba pri vrednotenju nepremičnin in povezovanje z drugimi uporabniki).

4.3.4.1 Vhodni podatki

Vhodni podatki za izvedbo avtomatizirane izdelave 2,5D tlorisov streh stavb in 3D modelov so:

- podatki in izdelki zračnega laserskega skeniranja CLSS:
 - CLSS GKOT (geolociran in klasificiran oblak točk CLSS – osnovni vir za izvedenost geometrije 2,5D tlorisov streh stavb, karakterističnih linij streh 3D modelov stavb, izračun karakterističnih višin)
 - CLSS POF (popolni ortofoto CLSS – dodatni vir za izvedenost geometrije 2,5D tlorisov streh stavb)
 - CLSS DMR 1 (digitalni model reliefa CLSS – vir za izračun nadmorske višine stika stavbe s terenom)
 - CLSS fotogrametrični DMPa1 (digitalni model površja, ki je izdelan iz aerofotografij CLSS – dopolnilni vir za izračun najvišje nadmorske višine na stavbi)
- podatki katastra nepremičnin (identifikatorji in geometrija obstoječih stavb)
- podatki DTM (identifikatorji in geometrija stavb)

4.3.4.2 Metoda izdelave

V produkcijski liniji avtomatizirane izdelave 2,5D tlorisov streh stavb se zagotovi kombinirano analizo klasificiranega oblaka točk in popolnega ortofota, pri čemer se uporabi metode geometrijske analize in strojnega učenja vključno z:

- filtriranjem in dodatno klasifikacijo lidarskega oblaka točk (na podlagi strojnega učenja), kjer se identificira točke, ki pripadajo strešnim ploskvam,
- višinsko analizo oblaka točk za segmentacijo strešnih ploskev, pri čemer se upoštevajo skoki v višini, ki kažejo na spremembe v strešni strukturi,
- prepoznavanjem obrisov streh in členitvijo kompleksnih struktur na podlagi barvnih, teksturnih in spektralnih značilnosti z uporabo strojnega učenja na popolnem ortofotu.

Ključni fazi izdelave 3D modelov stavb sta:

- Avtomatizirana izdelava 2,5D poligonov streh stavb
- Avtomatizirana izdelava 3D modelov stavb

Pred izdelavo 2,5D tlorisov streh stavb določimo tehnične in vsebinske zahteve.

| | |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Tehnične zahteve | min. površina in višina |
| | opredelitev osnovne enote zajema in delitev posamezne stavbe v člene |
| | minimalne dimenzije detajla tlorisa stavbe |
| | minimalne dimenzije detajla strehe stavbe |
| | položajna in višinska točnost |
| | topološka urejenost |
| | oddajni format |
| Vsebinske zahteve | vsebinski atributi posamezne stavbe |
| | raven podrobnosti (LoD) |
| | Enolični identifikator stavbe v 3D modelu |
| | semantična členitev 3D modela posamezne stavbe v elemente |
| | 3D modeliranje delov stavbe |
| | preseki stavbe s terenom |
| | posebni primeri npr. enojni kozolci |
| | poligoni KN/DTM brez poligona CLSS |

Opis zahtev in določitev vrednosti v produkcijskem testu je opisan v poglavju 5.1.3.3.

4.3.4.3 Avtomatizirana izdelava 2.5D tlorisov streh stavb

Izvedba avtomatizirane izdelave 2.5 D tlorisov stavb iz CLSS se izvaja v več korakih:

I. del:

- določitev dodatnih razredov klasifikacije točk (npr. dimniki, manjše stavbe)
- avtomatiziran postopek izdelave glede na vsebinske in tehnične zahteve ter dodatne razrede
- dodatna zaznava atrijev in ročni zajem manjkajočih atrijev
- izvedba kontrol

II. del:

- avtomatizirano uparjanje atributov DTM/KN na poligone stavb CLSS
- prostorska analitika za identifikacijo ročnih popravkov in kontrolo
- ročni pregled in izvedba posamičnih popravkov na podlagi rezultatov prostorske analitike (2D popravki in posamični 3D fotogrametrični popravki)
- masovni ročni popravki
- dopolnitev uparjanja atributov DTM/KN s tlorisi stavb CLSS
- generiranje karakterističnih linij streh stavb in izračun karakterističnih višine
- izvedba kontrol

III. del:

- ocena kakovosti

Po vsaki dopolnitvi priprave poligonov se izvedejo kontrole:

- avtomatizirana odprava napak geometrije in topologije

Ročna kontrola in popravki se izvajajo usmerjeno za del objektov, določenih na podlagi znanih sistematičnih odstopanj in dodatne podatkovne analitike. V nadaljevanju podajamo glavna sistematična odstopanja, zaradi katerih je bilo potrebno ročno urejanje v okviru testa:

- identifikacija in ureditev atrijev, členitev za ustrezno uparjanje s podatki katastra nepremičnin in DTM, izločitev enojnih kozolcev, izbris poligonov stavb, ki ne ustrezajo minimalnim površinskim in višinskim kriterijem.
- glede na ročni pregled podatkov o vkopanih objektih, objektih ali njihovih delih pod vegetacijo, manjših objektih, ki jih na osnovi podatkov CLSS z avtomatsko metodo ni mogoče prepoznati, vendar so še vedno prisotni v prostoru, se le te vključijo v sloj poligonov s prevzemom podatkov evidenc stavb KN in DTM. Če jih v uradnih evidencah ni, niso predmet obravnave.

Rezultat avtomatske izdelave 2.5 poligonov tlorisov streh stavb so izdelani poligoni iz CLSS ter vsakemu poligonu pripisani identifikatorji uradnih evidenc KN in DTM ter izračunane karakteristične višine stavbe oz. njenega člena (BuildinPart): Z_TEM, Z_KAP, Z_SLEM, Z_MAX. Lomne točke poligona so na višini kapi posamezne stavbe oz. njenega člena glede na podatke CLSS.

Ocena kakovosti (izbrane cenilke) služi za potrjevanje/zavračanje rezultatov med samo izvedbo.

Pri oceni kakovosti 2,5D poligonov stavb upoštevamo elemente kakovosti popolnost, položajna točnost, tematska kakovost, logična skladnost in časovne kakovosti. Glede na element kakovosti, se ocena izvaja bodisi na celotnem sloju bodisi na reprezentativnem vzorcu. Sistematično preverjamo, kot na primer v testu:

| ELEMENT KAKOVOSTI | CENILKA | SPREJEMLJIVA MEJA KAKOVOSTI (AQL) |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| POPOLNOST | 1A. Presežek | 1 % |
| | 1B. Primanjkljaj CLSS | 5 % |
| | 1C. Primanjkljaj DTM/KN | 0 % |
| | 1D. Primanjkljaj atributov | 0 % |
| POLOŽAJNA TOČNOST | 2A. Horizontalna točnost | ± 1 m |
| | 2B. Višinska točnost | ± 1 m |
| TEMATSKA KAKOVOST | 3A. Ustreznost pripisa enoličnih identifikatorjev DTM in KN | 0 % |
| | 3B. Ustreznost izračuna karakterističnih višin | ± 1 m |
| LOGIČNA SKLADNOST | 4A. Formatna skladnost | 0 % |
| | 4B. Domenska skladnost vseh atributov | 0 % |
| | 4C. Topološka skladnost | 0 % |
| | 4D. Ustreznost členitve stavbe v dele | 10 % |
| | 4E. Ustreznost ravni podrobnosti poligona stavbe CLSS | 10 % |
| ČASOVNA KAKOVOST | 5A. Časovna skladnost | 0 % |
| | 5B. Časovna veljavnost | 0 % |

4.3.4.4 Avtomatizirano modeliranje 3D stavb

Za avtomatizirano modeliranje 3D stavb uporabimo vhodne podatke ter podatke izdelanih 2,5D tlorisov streh stavb.

Izvedba avtomatizirane izdelave 3D modelov stavb iz CLSS se izvaja v več korakih:

- Avtomatiziran postopek izdelave glede na tehnične in vsebinske zahteve
- Avtomatiziran postopek izdelave, če ni ustreznih podatkov CLSS (enostavnejše 3D modeliranje)
- Avtomatiziran postopek izdelave za posebne primere (npr. zvoniki - identifikacija na podlagi dodatnega vira, deloma ročno urejanje)

Postopek je v celoti avtomatiziran. Izjema je zadnji korak, kjer dopolnimo modeliranje na podlagi dodatnih virov z deloma ročnim urejanjem.

Rezultat so 3D modeli stavb, ki vključujejo 3D volumsko geometrijo (angl. Solid) in mejne ploskve (angl. BoundarySurface), strešno ploskev (RoofSurface), zidno ploskev (WallSurface) in talno ploskev (GroundSurface). V 3D modelu stavbe, ki je razdeljena na več delov po višini, je več členov stavbe (BuildingPart), ki so modelirani kot 3D volumski objekt. Stavbe so je definirane s hierarhičnim združevanjem členov v višje enote (Building), ki jim je mogoče pripisati skupne lastnosti (attribute) in s tem določiti obseg stavbe kot celote.

3D modeli so izdelani v ravni podrobnosti LoD 2.2 (brez modeliranja frčad) oz. kjer podatki CLSS tega ne omogočajo, se enostavnejše modeliranje izvede v LoD 1.2 (podatki iz KN/DTM). Dopustno je odstopanje detajla strešnih ploskev pri bolj kompleksnih strehah ter višinska ustreznost in ujemanje lomnih točk strehe stavbe po višini.

Ročna kontrola in popravki avtomatizirano izdelanih 3D modelov se ne izvajajo, izvede se le ocena kakovosti, ki služi za potrjevanje/zavračanje rezultatov med samo izvedbo. Glede na element kakovosti, se ocena izvaja bodisi na celotnem sloju bodisi na reprezentativnem vzorcu.

Pri oceni kakovosti 3D modelov stavb upoštevamo elemente kakovosti popolnost, položajna točnost, tematska kakovost, logična skladnost in časovne kakovosti. Glede na element kakovosti, se ocena izvaja bodisi na celotnem sloju bodisi na reprezentativnem vzorcu. Sistematično preverjamo, kot na primer v testu:

| ELEMENT KAKOVOSTI | CENILKA | SPREJEMLJIVA MEJA KAKOVOSTI (AQL) |
|-------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| POPOLNOST | 1A. Presežek | rezultat prevzet od 2,5D poligonov stavb CLSS |
| | 1B. Primanjkljaj CLSS | rezultat prevzet od 2,5D poligonov stavb CLSS |
| | 1C. Primanjkljaj napram 2,5D tlorisom | 0 % |
| | 1D. Primanjkljaj atributov | 0 % |
| POLOŽAJNA TOČNOST | 2A. Horizontalna točnost modeliranja | $\pm x$ m (poda se dosežena vrednost, ni zavračanja ob preseženi vrednosti) |
| | 2B. Višinska točnost modeliranja | $\pm x$ m (poda se dosežena vrednost, ni zavračanja ob preseženi vrednosti) |
| TEMATSKA KAKOVOST | 3A. Ustreznost pripisa enoličnega identifikatorja ID_PROD | 0 % |
| | 3B. Točnost modeliranega volumna | $\pm x$ % (poda se dosežena vrednost, ni zavračanja ob preseženi vrednosti) |
| | 3C. Ustreznost izračuna azimuta | 5 % |
| | 3D. Ustreznost določitve tipa strehe | 10 % |
| LOGIČNA SKLADNOST | 4A. Formatna skladnost | 0 % |
| | 4B. Domenska skladnost vseh atributov | 0 % |
| | 4C. Topološka skladnost | 1 % |
| | 4D. Ustreznost izračuna volumna | 0 % |
| | 4E. Ustreznost ravni podrobnosti 3D modela stavbe CLSS | $\pm x$ % (poda se dosežena vrednost, ni zavračanja ob preseženi vrednosti) |
| ČASOVNA KAKOVOST | 5A. Časovna skladnost | 0 % |

4.3.5 Metodologija obravnave posebnih primerov 3D modelov

Metodologija obravnave posebnih primerov 3D modelov je lahko del celotnega procesa izdelave 2.5D tlorisov streh stavb in 3D modelov ali pa predstavlja naknadno urejanje 2.5D tlorisov streh stavb in izbor 3D modelov. Kot posebne primere z vidika katastra nepremičnin opredelimo:

- postopek ločevanja avtomatsko zaznanih skupin stavb iz podatkov CLSS v posamezne evidentirane stavbe iz katastra nepremičnin
- postopek združevanja podatkov 3D modelov stavb, ki so različni po višini
- metodologija izločanja zaznanih objektov, ki ne sodijo v KN (nestavbe)
- metodologija obravnave zaznanih stavb, ki še niso v KN

4.3.5.1 Proces ločevanja avtomatsko zaznanih sklenjenih stavb iz podatkov CLSS v posamezne že evidentirane stavbe iz katastra nepremičnin

Ločitev enovito zaznanih sklenjenih stavb CLSS (npr. vrstne stavbe ali dvojčki) se izvede v fazi avtomatizirane izdelave sloja 2.5 tlorisov streh stavb z ročnim urejanjem, kjer avtomatika ne zagotovi ustreznih rezultatov (glede na izvedbo testa za cca 15% stavb).

4.3.5.2 Postopek združevanja podatkov 3D modelov stavb, ki so različni po višini

Stavbe, ki so različne po višini (npr. stavbe z nadstreški, cerkve z zvoniki) imajo tloris sestavljen iz več 2.5D poligonov, ki jih povezuje enak identifikator stavbe KN. Za določitev enega poligona stavbe je potrebna avtomatizirana združitev geometrije na podlagi skupne vrednosti atributa. Za potrebe KN se to izvede naknadno kot samostojni korak. Po višini členjena stavba ostane v 3D modelu razdeljena na več členov (BuikldingPart) po višini, ki pa so hierarhično povezani v en 3D model stavbe (Building).

4.3.5.3 Metodologija izločanja zaznanih objektov, ki ne sodijo v KN (nestavbe)

Geodetska uprava uporablja atribut "nestavba" za označevanje objektov, ki so bili sprva zaznani kot možne stavbe, vendar se je kasneje ugotovilo, da ne izpolnjujejo kriterijev za vpis stavbe v kataster nepremičnin. Gre za objekte, ki jih z metodami daljinskega zaznavanja sicer prepoznamo kot stavbe, vendar niso predmet evidentiranja. Podatki o »nestavbi« so shranjeni v opozorilnem sistemu geodetske uprave.

Identifikacija in izključitev 3D modelov »nestavb«, ki so evidentirane v opozorilnem sistemu, se za potrebe KN izvede tako, da se 2,5D tlorise »nestavb« izloči s prostorskim uparjanjem s podatki v opozorilnem sistemu. Po potrebi se lahko izločena geometrija uporabi za geometrijo opozorila »nestavbe« v opozorilnem sistemu. 3D modeli »nestavb« se izločijo na osnovi enoličnega identifikatorja, ki povezuje 2,5D tloris in 3D model stavbe CLSS.

4.3.5.4 Metodologija obravnave zaznanih stavb, ki še niso evidentirane v KN

Če stavba CLSS še ni evidentirana v KN, potem 2.5 tlorisi streh in 3D modeli teh stavb nimajo pripisanega identifikatorja stavbe KN. Te stavbe je potrebno naknadno verificirati in zagotoviti njihovo evidentiranje oz. se opredeliti, da gre za »nestavbo«, ki še ni v opozorilnem sistemu.

Podatki iz faze izdelave 2.5 tlorisov streh stavb (tlorisi, višine) iz CLSS se za stavbe, ki še niso v KN, lahko prenesejo v opozorilni sistem:

- Za nevpisane stavbe in spremembe stavb geodetska uprava izvede verifikacijo podatkov o stavbi in preveri dejansko stanje stavb v naravi ter lastnika pozove k vpisu stavbe v kataster nepremičnin. Če geodetska uprava vloge za vpis stavbe in delov stavb ne prejme v predpisanem roku, v skladu s 94. členom Zakona o katastru nepremičnin izdela elaborat in stavbo vpiše po uradni dolžnosti.
- V prihodnje bi geodetska uprava za nekatere objekte (definirani glede na zakonodajo GZ-1¹), ki niso v KN, lahko izvedla poenostavljen množični vpis stavb in delov stavb po uradni dolžnosti brez pošiljanja poziva lastnikom. V ta namen bi bilo potrebno prilagoditi predpise - dopolnitev se 94. člena (glej poglavje 4.3.9).

4.3.6 Definicija objekta z utemeljitvijo tehnološke izvedljivosti in ekonomičnosti množičnega zajema 3D modelov in vpisov stavb

Tehnološka izvedljivost evidentiranja stavb na podlagi podatkov 3D modelov temelji na dejavnikih:

- Zaradi manjših dimenzij in konstrukcijske enostavnosti objektov je količina podatkov, potrebnih za zajem, majhna.
- Dimenzijsko manjše objekte je možno identificirati iz podatkov daljinskega zaznavanja (LiDAR, ortofoto, fotogrametrija) in jih enostavno modelirati v LoD1 ali LoD2.
- Algoritmi za avtomatsko zaznavanje dimenzijsko manjših objektov so zaradi njihove enostavne geometrije relativno natančni, kar omogoča avtomatiziran zajem.

Ekonomičnost zajema lahko utemeljimo glede na razmerje med količino podatkov in koristnostjo za evidenco.

Za razvrstitev stavb za množični vpis stavb v kataster nepremičnin po uradni dolžnosti le na podlagi obdelave podatkov CLSS je smiselno upoštevati kriterije iz gradbene zakonodaje ter zahtevam za vpis v nepremičninske evidence. Predlog kriterijev:

- osnovni kriteriji geometrije iz gradbene zakonodaje (višina, etažnost, površina)
- zaznavnost z LiDAR in ortofoto podatki
- trajnost umestitve objektov (ugotavljanje s podatkovno analitiko npr. obstoj na preteklih DOF, podatki opozorilnega sistema)
- relevantnost objektov za javne evidence (npr. pomembni za davčne obremenitve, prostorsko načrtovanje, rabo prostora – določitev dejanskih rab po selekciji npr.
 - pomožne stavbe (garaže, lope do določene višine in površin)
 - GJI objekti (elektro omarice, vodna zajetja)
 - izključevanje (prikolice, začasni objekti - nestavbe).

¹ 1. odstavek, 3. člena GZ -1 (Uradni list RS, št. 199/21) določa:

- zahtevni objekt je objekt velikih dimenzij ali konstrukcijsko zahteven objekt ali objekt, ki je namenjen zadrževanju večjega števila oseb v njem, in je prostorsko zaznaven (točka 44);
- manj zahtevni objekt je objekt, ki ni uvrščen med zahtevne, nezahtevne ali enostavne objekte (točka 13);
- nezahtevni objekt je objekt manjših dimenzij, konstrukcijsko nezahteven in prostorsko zaznaven (točka 23);
- enostavni objekt je objekt tako majhnih dimenzij, da se v njem ne more zadrževati večje število oseb, konstrukcijsko enostaven in prostorsko manj zaznaven (točka 3).

V nadaljevanju so predstavljeni kriteriji za enostavne in nezahtevne objekte, kot jih definira gradbena zakonodaja, ki so potencialni za izvedbo množičnega vpisa stavb v kataster nepremičnin iz podatkov CLSS, brez poziva lastnikov.

4.3.6.1 Enostavni objekti po gradbeni zakonodaji

Enostavni objekti so opredeljeni z Gradbenim zakonom (GZ-1), Uredbo o razvrščanju objektov² ter Tehnično smernico TSG-V-006 2022³. Pri razvrščanju enostavnih objektov je potrebno upoštevati tudi druge resorne predpise, ki urejajo specifična področja, kot so kmetijska zemljišča, elektronske komunikacije, rudarstvo in lovstvo.

Enostavni objekt je v skladu z GZ-1 (3.člen) objekt:

- tako majhnih dimenzij, da se v njem ne more zadrževati večje število oseb,
- konstrukcijsko enostaven,
- prostorsko manj zaznaven.

V skladu z Uredbo o razvrščanju objektov (Uradni list RS, št. 96/22) se enostavni objekti razvrščajo glede na naslednja splošna merila:

1. Stavba kot enostavni objekt (1. odstavek 11. člena uredbe):

- ima samo eno etažo,
- njena višina ne presega 4 m,
- njena globina ne presega 1 m.

2. Gradbeni inženirski objekt kot enostavni objekt (2. odstavek 11. člena uredbe):

- višina ne presega 5 m,
- globina ne presega 2 m,
- nosilni razpon ne presega 4 m.

3. Dodatne določbe (3., 4. in 5. odstavek 11. člena uredbe):

- Stavba je enostavni objekt samo, če pri njeni izgradnji ni treba izvesti nasipa ali izkopa terena več kot 2 m.
- Enostavni objekt je lahko tudi oporni zid z ograjo, če oba elementa ločeno ne presegata meril za enostavne objekte.
- Ne glede na zgornja merila, se za enostavne objekte štejejo tudi:
 - priključek,
 - vrtina za zajem toplote iz vode in zemljine,
 - ekološki otok,
 - objekt za oglaševanje in informacijski pano,
 - naprava za opazovanje naravnih pojavov,
 - urbana oprema in spominska obeležja na javnih površinah,
 - zunanja naprava in oprema za proizvodnjo in shranjevanje električne energije iz OVE.

² Uredba o razvrščanju objektov (Uradni list RS, št. 96/22)

³ Tehnična smernica TSG-V-006 2022, Razvrščanje objektov (Uradni list RS, št. 96/22)

Ne glede na delitev objektov po zahtevnosti gradnje pa v tretjem odstavku 1. člen GZ-1 določa, da se zakon ne uporablja za objekte v rudniškem prostoru, agromelioracij in pomožno kmetijske-gozdarske opreme. Posledično temu Uredba o razvrščanju objektov teh objektov ne ureja.

Tehnična smernica TSG-V-006 2022 določa, da če splošno merilo iz uredbe odstopa od merila v Prilogi 1 uredbe, velja merilo iz Priloge 1. Na primer, če Priloga 1 določa, da je določena stavba enostavni objekt ne glede na globino vkopa, potem ta stavba kljub preseganju splošnega merila globine ostaja enostavni objekt.

Prav tako smernica pojasnjuje, da GZ-1 opredeljuje razlikovanje med enostavnim in zahtevnim objektom tudi glede na število oseb, ki se v njem lahko zadržujejo. Čeprav uredba ne vsebuje števila oseb kot merila za razvrščanje, je bilo to upoštevano posredno preko merila površine.

V skladu z Uredbo o razvrščanju objektov za enostavne objekte gradbeno dovoljenje ni potrebno, razen če kakšen drug predpis določa drugače.

4.3.6.2 Nezahtevni objekti po gradbeni zakonodaji

Definicija nezahtevnega objekta (3. člen, GZ-1): nezahtevni objekt je objekt manjših dimenzij, konstrukcijsko nezahteven in prostorsko zaznaven.

Nezahtevni objekt je v skladu z GZ-1 (3.člen) objekt:

- manjših dimenzij, konstrukcijsko nezahteven in prostorsko zaznaven.
- za katerega uporabno dovoljenje ni potrebno (8. člen, GZ-1 - Za začetek uporabe objekta, za katerega je predpisana pridobitev gradbenega dovoljenja, je treba imeti uporabno dovoljenje, razen za nezahtevni objekt).
- za katerega je potrebno gradbeno dovoljenje (46. člen, GZ-1 - Investitor vloži zahtevo za izdajo gradbenega dovoljenja, ki se ji priložijo dokumentacija za pridobitev gradbenega dovoljenja za gradnjo nezahtevnega objekta).

V skladu z Uredbo o razvrščanju objektov (Uradni list RS, št. 96/22, 10. člen) se nezahtevni objekti razvrščajo glede na naslednja merila:

1. Stavba je nezahtevni objekt (1. odstavek 10. člena uredbe), če izpolnjuje merila iz Priloge 1 uredbe in naslednja splošna merila :
 - ima samo eno etažo,
 - njena višina ne presega 6 m in
 - njena globina ne presega 2 m.
2. Gradbeni inženirski objekt je nezahtevni objekt (2. odstavek 10. člena uredbe), če izpolnjuje merila iz Priloge 1 te uredbe in naslednja splošna merila:
 - njegova višina ne presega 10 m,
 - njegova globina ne presega 4 m in
 - njegov nosilni razpon ne presega 5 m.

3. Ne glede na prvi in drugi odstavek tega člena je nezahtevni objekt tudi objekt (v nadaljnjem besedilu: objekt proizvod):

- če je kot celota dan na trg kot proizvod, ki izpolnjuje zahteve iz predpisov, ki urejajo splošno varnost proizvodov,
- za postavitve katerega se ne uporabljajo betonska in zidarska dela ali se na mestu postavitve ne varijo konstrukcijski elementi,
- nima lastnih komunalnih in drugih priključkov in
- ni enostavni objekt.

Šteje se, da je objekt proizvod kot celota dan na trg, če proizvajalec varnost celote objekta proizvoda zagotovi v skladu s predpisom, ki ureja splošno varnost proizvodov, in je iz tehnične dokumentacije objekta proizvoda razvidno, da so za predvideni namen objekta izpolnjene tudi zahteve gradbenotehničnih predpisov.

Ne glede na prvi odstavek 10. člena je stavba nezahtevni objekt samo, če za njeno izgradnjo ni treba izvesti nasipa ali izkopa terena višine oziroma globine več kot 2 m.

Nezahtevni objekt je tudi oporni zid z ograjo, če oporni zid in ograja vsak zase ne presegata meril za nezahtevni objekt iz 10. člena.

4.3.6.3 Razvrstitev enostavnih in nezahtevnih objektov glede na kriterije

Kriterije za razvrščanje objektov glede na njihovo zahtevnost določa Priloga 2 Uredba o spremembi Uredbe o razvrščanju objektov glede na zahtevnost gradnje, Uradni list RS, št. 26-950/2013. Z analizo so bili sistematično identificirani objekti, ki po merilih uredbe spadajo v kategorijo enostavnih in nezahtevnih objektov. Rezultati analize so v tabeli (Priloga 1):

| CC-SI koda | Vrsta objekta | Enostavni objekt | Nezahtevni objekt |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 12713 | Kmetijski silos | 20 m ² , višina do 5 m | do 100 m ² , višina do 10 m |
| 12722 | Pokopališke stavbe | do 10 m ² | do 25 m ² |
| 12730 | Kulturna dediščina, ki se ne uporablja za druge namene | do 10 m ² | do 25 m ² |
| 12745 | Ute, letne kuhinje, vratarnice | do 10 m ² | do 25 m ² |
| 12111 | Hotelske in podobne gostinske stavbe | do 10 m ² | do 25 m ² |
| 12121 | Druge gostinske stavbe za kratkotrajno nastanitev | do 10 m ² | do 25 m ² |
| 12410 | Postajna poslopja, terminali, stavbe za izvajanje komunikacij ter z njimi povezane stavbe | do 10 m ² | do 25 m ² |
| 12745 | Nadstrešnice | do 20 m ² | do 50 m ² |
| 12420 | Garažne stavbe | do 20 m ² | do 50 m ² |
| 12712 | Stavbe za rejo živali | do 20 m ² | do 100 m ² |
| | Kleti, vinske kleti | do 20 m ² , ne glede na globino vkopa in globino podzemnih delov | do 50 m ² , do dve etaži, ne glede na globino vkopa in globino podzemnih delov |
| 12713 | | | |
| 12713 | Skladišča pridelkov | do 40 m ² | do 150 m ² |
| 12714 | Stavbe za shranjevanje kmetijskih strojev, orodja in mehanizacije | do 40 m ² | do 150 m ² |
| 12713 | Kozolci | do 40 m ² , do dve etaži | do 150 m ² , do dve etaži in ne glede na višino |
| 12711 | Stavbe za rastlinsko pridelavo | do 50 m ² | do 150 m ² |
| 12712 | stavbe ribogojnice | do 50 m ² | do 100 m ² |
| 12610 | paviljoni in stavbe za živali in rastline v živalskih in botaničnih vrtovih | površina do 20 m ² | površina do 50 m ² |
| | Skladiščne stavbe | površina do 20 m ² , nobena stavba za skladiščenje radioaktivnih ali nevarnih snovi ter nevarnih odpadkov | površina do 100 m ² , nobena stavba za skladiščenje radioaktivnih ali nevarnih snovi ter nevarnih odpadkov |
| 12520 | | | |
| 12520 | Stolpni silosi za suhe snovi | površina do 20 m ² , višina do 5 m | površina do 100 m ² , višina do 10 m |
| 12122 | Stavbe za kratkotrajno nastanitev na drevesu | površina do 5 m ² , višina od tal do vrh | površina do 25 m ² , višina od tal do vrh |
| | Rezervoarji in cisterne za vodo in druge tekočine | prostornina do 20 m ³ , noben rezervoar radioaktivnih ali nevarnih snovi ter nevarnih odpadkov | prostornina do 100 m ³ , noben rezervoar radioaktivnih ali nevarnih snovi ter nevarnih odpadkov |
| 12520 | | | |
| 12520 | Rezervoarji za nafto in plin | prostornina do 5 m ³ | prostornina do 15 m ³ |
| 11100 | Enostanovanjske stavbe | | do 25 m ² |
| 12112 | Gostilne, restavracije in točilnice | | do 25 m ² |
| 12201, 12202, 12203, 12204 | Stavbe javne uprave, pošt, bank, druge poslovne stavbe, konferenčne in kongresne stavbe | | do 25 m ² |
| 12301, 12302, 12303, 12304 | Trgovske stavbe, Sejmske dvorane, razstavišča, stavbe za storitvene dejavnosti | | do 25 m ² |
| 12510 | Industrijske stavbe | | do 25 m ² |
| 12620 | Muzeji, arhivi in knjižnice | | do 25 m ² |
| 12630 | Stavbe za izobraževanje in znanstvenoraziskovalno delo | | do 25 m ² |
| 12640 | Stavbe za zdravstveno oskrbo | | do 25 m ² |
| 12650 | Stavbe za šport | | do 25 m ² |
| 12721 | Stavbe za opravljanje verskih obredov | | do 25 m ² |
| 12741 | Vojašnice in stavbe za nastanitev policistov | | do 25 m ² |
| 12742 | Stavbe sil za zaščito, reševanje in pomoč, gasilski domovi | | do 25 m ² |
| 12744 | Sanitarije | | do 25 m ² |

4.3.7 Določitev dodatnih tehničnih atributov in metapodatkov 3D modela stavbe

4.3.7.1 Določitev nabora dodatnih tehničnih atributov 3D modela stavbe (npr. volumen, karakteristične višine, število etaž, obstoj frčad)

Pri izdelavi Zbirke 3D podatkov o stavbah iz CLSS se določi nabor dodatnih tehničnih atributov, ki se izračunajo iz 3D modelov že v fazi njihove izdelave ali naknadno s pomočjo geometrijskih operacij.

Atribute ločimo na obvezne (ključne za kakovost in uporabnost modelov) in opsijske (za potrebe različnih evidenc, dodatne analize). Vključitev dodatnih atributov lahko vpliva že na vhodne zahteve za modeliranje.

Obvezno vključeni atributi v 3D model stavbe so:

- Karakteristične višine stavbe:
 - največja nadmorska višina stavbe (vključno z dimniki).
 - nadmorska višina slemena strehe.
 - nadmorska višina kapi stavbe.
 - nadmorska višina temelja stavbe.
- Volumen stavbe:
 - celoten volumen stavbe (izračunan iz Solid geometrije modela).
 - volumen posameznih višinsko različnih čelnov stavbe (BuildingPart).
- Vsebinski atributi:
 - Azimut strešne ploskve – izračunan na osnovi azimuta normale posamezne strešne ploskve.
 - Metoda zajema – določa, kateri podatkovni vir je bil uporabljen pri izdelavi modela (GKOT, DMPa1, DTM, KN).

Dodatno se lahko vključijo naslednji atributi, ki omogočajo boljše razumevanje in uporabo podatkov:

- Tip strehe (tip strehe se določa glede na število strešnih ploskev in višinske razlike med lomnimi točkami strehe. Razlikujemo štiri osnovne tipe streh:
 - Ravna streha
 - Enokapna streha
 - Dvokapna streha
 - Večkapna streha
- Površina strehe – celotna površina vseh strešnih ploskev modelirane stavbe.
- Spremembe med obdobji – možnost evidentiranja in izračuna sprememb (npr. sprememba volumna stavbe med periodami, sprememba strešnih značilnosti). Priporočljivo je, da se izračuni razlik izvajajo ločno od primarnega zajema modela, kar omogoča fleksibilnost pri analizi časovnih sprememb stavb.
- Ločen volumen stavbe brez strehe in volumen strehe - pri izdelavi volumna stavbe se lahko določi možnost ločene obravnave strehe in osrednjega volumna stavbe, kar je možno doseči z dvema metodama:
 - določitev volumna iz geometrije Solid – neposreden izračun iz 3D geometrije modela (potrebno vključiti zahteve pri izdelavi modelov).
 - Volumen, določen na osnovi površine tlorisa in višine kapi je alternativa, če solid model ni na voljo.

4.3.7.2 Metodologija približnega ali točnega izračuna volumna 3D modela stavbe

Volumen stavb se določi iz izdelanih 3D modelov v postopku avtomatskega zajema CLSS. Pridobimo približen volumen zunanosti (t.i. kvazi bruto volumen). Glede na stanje vhodnih podatkov in postopek avtomatske klasifikacije točk iz CLSS, bruto volumna po standardu sist-iso-9836-2018 ni možno določiti.

Uporabniki podatkov si bodo metodologijo za izračun prilagojenega volumna za lastne potrebe npr. brez napuščev izdelali sami npr. s testno izvedbo primerjave izračunov, ob upoštevanju standardov določanja površin in prostornin (npr. glede na debelino plošč, sten in izolacije, število etaž, merjeno ali ocenjeno širino napuščev, kakovost določitev tlorisov).

Skupna uporaba podatkov 3D modelov LoD2.2 in KN je smiselna za postopke ocenjevanja (izboljšanja) kakovosti podatkov po postopku:

- segmentiranje po različnih podatkih (npr. dejanski rabi, številu etaž, druge kombinacije)
- določitev indikatorjev razlike, npr. volumni iz obstoječih katastrskih podatkov vs. volumni iz CLSS

Z napredkom tehničnih zmožnosti, ki bodo tudi finančno dostopne, in zagotavljanjem kakovostnih podatkov za izvedbo 3D modeliranja LoD2.3 bo možen prehod od indikatorjev k volumnom LoD2.3 (bruto prostornine in površine).

4.3.7.3 Metodologija zajema dodatnih karakterističnih višin stavbe

Zaradi prehoda na 3D modeliranje (3D modeli so določeni s 3D koordinatami vsake točke) v večji podrobnosti kot so 2.5D podatki o stavbah, lahko uvedemo dodatne karakteristične višine, o čemer se odločamo glede na namen in uporabno vrednost teh višin ter postopek določanja oz. izračuna. Njihova določitev se lahko določi tekom modeliranja ali naknadno z izračunom.

Karakteristične višine stavbe so določene tudi kot atributi 3D modela.

Dodatne karakteristične višine so npr.:

- višina stene (razlika med nadmorsko višino kapi in nadmorsko višino temelja)
- višina strešne konstrukcije (razlika med nadmorsko višino slemena in kapi)
- povprečna vrednost nadmorskih višin strešnih ploskev

4.3.7.4 Dodatni metapodatki 3D modela stavbe glede porekla podatkov (zakonodaja in način vpisa)

Hitri razvoj daljinskega zaznavanja in 3D modeliranja zahteva, da metapodatki 3D modelov zagotavljajo sledljivost, povezovanje z uradnimi evidencami in dolgoročno vključitev v pravno veljavne evidence.

Ker bodo 3D modeli stavb v novi zbirki (geometrija in atributi), bodo sprva predstavljali predvsem tehnični sloj za KN. V prihodnosti se bo potrebno odločiti, kateri podatki iz daljinskega zaznavanja bodo postali integriran del uradnega KN ali morebitnega prihodnjega 3D KN.

Vsak 3D model stavbe mora vključevati informacije o viru in metodi izdelave, razlikujemo:

- podatki iz daljinskega zaznavanja (LiDAR fotogrametrija) – avtomatizirano zajeti podatki, ki niso pravno veljavni v KN, služijo kot tehnična podlaga,
- podatki iz uradnih evidenc (KN) – podatki, ki že imajo pravni status in jih je mogoče vključiti v uradno evidenco brez dodatnih postopkov (npr. podatki iz etažnih načrtov)
- podatki iz dodatnih preverjanj in vizualne interpretacije (npr. uradnih postopkov vpisa).

Možni pristopi pri določanju statusa podatkov so:

- Tehnični sloj v KN – 3D modeli se uporabljajo kot referenčni podatki brez pravne veljavnosti.
- Vključitev atributov v KN – npr. vključitev volumna, nadmorskih višin, tipa strehe
- Vzpostavitev ločene evidence 3D KN, kjer bi bili 3D podatki postali delno ali v celoti uradni sloj katastra.

4.3.7.5 Dodatni podatki 3D modela stavbe glede parametrov kakovosti podatkov

Prehod na zajem stavb s 3D podatki je priložnost za opremljanje vsake stavbe z dodatnimi metapodatki, ki določajo kakovost podatkov vsake stavbe posebej glede načina izdelave, vezano glede na prevzemanje (kombiniranje) podatkov iz KN, lahko tudi glede na različne namene izdelave ipd. (opredeljeno v poglavju 4.3.3).

Za prevzem atributnih podatkov zunanjosti 3D modelov v kataster nepremičnin kot objektivnega vira, ki omogoča opis nepremičnine v smislu »zasedenosti prostora«, je potrebno posodobiti zakonodajo tako, da je volumen eden od obveznih atributov. Hkrati je potrebno zagotoviti sistematično in kakovostno pridobivanje in vzdrževanje podatkov.

4.3.8 Vzpostavitev Zbirke 3D podatkov o stavbah iz CLSS

Vzpostavitev Zbirke 3D podatkov o stavbah iz CLSS kot tehnične evidence zahteva postopno in sistematično vključevanje podatkov v kataster nepremičnin (KN), pri čemer je ključno zagotoviti:

- homogenost podatkov na ravni države – vsi podatki morajo biti zajeti in obdelani po enakih metodoloških principih;
- standardizacijo strukture in formatov – podatki morajo biti organizirani v enotnih podatkovnih formatih in skladni z obstoječimi evidencami;
- usklajenost z zakonskimi podlagami – zagotoviti je treba zakonsko skladnost zbiranja, obdelave in uporabe podatkov.

4.3.8.1 Vzpostavitev Zbirke 3D podatkov o stavbah iz CLSS kot tehnične evidence – množična izdelava

Cilj množične izdelave je zagotoviti homogenost podatkov (enotna metodologija zajema, struktura in kakovost). Čim večji del izvedenosti podatkov mora potekati avtomatsko, zagotavljati je potrebno preverjanje kakovosti in zagotavljanje povezljivosti z obstoječimi evidencami o stavbah.

Podatkovna zbirka se vzpostavi na podlagi podatkov in metodologije (glej 4.3.4).

4.3.8.2 Vzpostavitev Zbirke 3D podatkov o stavbah iz CLSS kot tehnične evidence – posamični vpis

Posamična izdelava in vpis 3D modela stavbe v tehnično zbirko se lahko izdela za izbrane stavbe po končani izvedbi masovnega zajema zbirke iz CLSS. To se lahko zgodi v primerih, ko podatki stavbe iz CLSS niso dovolj kakovostni oz. ustrezni, ko je stavba nova ali po pomoti izpuščena, in v postopku vzdrževanja.

4.3.8.3 Način vzdrževanja Zbirke 3D podatkov o stavbah iz CLSS

Za bodoče vzdrževanje podatkov stavb na osnovi avtomatizirane izdelave 3D modelov (glej 4.3.4) , se uporabi identifikacija sprememb, njihova obdelava ter vključitev v zvezni podatkovni sloj. Zaradi potrebnega ročnega urejanja zamenjava celotnega sloja ob vsakokratni posodobitvi ni smiselna.

Načini vzdrževanja zbirke so glede na zagotavljanje podatkov, lahko:

- množični - periodični skladno z izdelavo CLSS,
- posamični (glej pogl. 4.3.8.2),
- po območjih glede na različne potrebe (npr. za urbana območja, območja naravnih nesreč).

Predvideti je potrebno shranjevanje zgodovine in metapodatkov izdelave.

4.3.8.4 Proces migracije podatkov iz Zbirke 3D podatkov o stavbah iz CLSS v KN

Podatki 3D modelov stavb se povežejo s KN preko identifikatorjev in integrirajo v KN.

Migracija podatkov v KN se izvede glede na potrebe uporabnikov in ob sistemskem zagotavljanju podatkov.

4.3.9 Pravni vidik Zbirke 3D podatkov o stavbah iz CLSS

Zbirka 3D podatkov ohrani status tehničnega sloja, ki primarno služi kot vir za 3D vizualizacijo podatkov o KN stavbah ter omogoča izračun volumna, prostorske zasedenosti stavbe. Ne posega v pravni status podatkov v KN, ampak jih dopolnjuje kot dodatni tehnični vir.

Za zagotavljanje povezljivosti med Zbirko 3D podatkov in evidenco KN je treba omogočiti, da podatkovne zbirke delujejo usklajeno ter si izmenjujejo podatke v realnem času, da se vzpostavi standardiziran format za izmenjavo podatkov (npr. GML, CityGML, IFC). Način izmenjave podatkov poteka brez posebne pravne regulacije (tehnična zbirka 3D podatkov).

Z dopolnitvijo zakonodaje (Zakona o katastru nepremičnin) bi določili način povezovanja Zbirke 3D podatkov s katastrom nepremičnin ter opredelili njeno uporabo za prostorske analize, vrednotenje in druge tehnične namene.

4.3.9.1 Previdene zakonodajne spremembe zaradi migracije podatkov iz Zbirke 3D podatkov o stavbah iz CLSS v KN

Za učinkovito povezovanje in izmenjavo podatkov med Zbirko 3D podatkov o stavbah iz CLSS in katastrom nepremičnin (KN) je potrebno v zakonodaji določiti pravila integracije, ki zagotavljajo nemoteno delovanje podatkovnih zbirk v realnem času. Omogočiti je potrebno tehnično povezljivost med Zbirko 3D podatkov in KN tako, da podatki npr. o volumnu stavb, karakterističnih višinah postanejo razpoložljivi za analize v okviru katastrskega sistema ter povezava poteka v skladu z 35. členom ZKN, ki določa elektronsko povezovanje drugih evidenc o nepremičninah s KN.

V nadaljevanju so predstavljeni predlogi zakonodajnih sprememb za uporabo podatkov o stavbah iz CLSS za potrebe katastra nepremičnin za:

- vpis za enostavne in nezahtevne objekte brez poziva (glej enostavni in nezahtevni objekti v poglavju 4.3.6),
- vzdrževanje podatkov stavb (masovni vpis sprememb podatkov),
- evidentiranje podatka o volumnu.

Vpis za enostavne in nezahtevne objekte brez poziva

Po veljavni zakonodaji se v kataster nepremičnin vpisujejo stavbe in drugi pokriti objekti, v katere se lahko vstopi, so namenjeni bivanju, opravljanju dejavnosti ali zaščiti, ter jih ni mogoče prestaviti brez škode za njihovo substanco (ZKN, 10. člen (1)). Trenutni sistem temelji na vlogi lastnika in pozivu Geodetske uprave RS, kar je v praksi povzročilo, da številni enostavni objekti ostajajo nevpisani v kataster nepremičnin. Kljub njihovi dejanski prisotnosti v prostoru in evidentiranju v občinskih evidencah ter Zbirki podatkov o gradivi objektov, do uradnega vpisa v Kataster nepremičnin pogosto ne pride.

Zaradi razpoložljivih tehničnih možnosti pridobivanja podatkov (CLSS), se predlaga dopolnitev zakonodaje, ki bi omogočila samostojen vpis enostavnih in nezahtevnih objektov s strani Geodetske uprave, brez predhodnega poziva lastniku.

V primeru nezahtevnih objektov bi se kot vir podatkov upoštevala Zbirka podatkov o gradivi objektov, za enostavne objekte pa poročanje občin, ki sicer trenutno še ni vzpostavljeno. Vpis bi bil mogoč, če bi bili izpolnjeni naslednji pogoji: objekt še ni evidentiran v katastru nepremičnin; razpolagamo z geometrijskimi podatki, ki jih je mogoče ovrednotiti iz CLSS (2.5D tlorisi streh), na voljo so podatki o dejanski rabi objekta – za nezahtevne iz naziva v zbirki gradiv, za enostavne na podlagi uradnega poročanja občin. GURS bi tak vpis izvedel le na podlagi popolnih in potrjenih podatkov. Lastnika bi se o avtomatiziranem vpisu obvestilo v okviru postopka pridobivanja gradbenega dovoljenja – npr. besedilo na obrazcih v fazi pridobivanja dovoljenj za gradnjo. Poleg odločbe bi prejel tudi navodila za poenostavljeno spremembo podatka o dejanski rabi. Drugi atributi (npr. površina) bi se vzdrževali prek katastrskega vpisa.

Dodatno je predlagan razmislek o poenostavljenem elaboratu za takšne primere, ki bi omogočil večjo avtomatizacijo postopkov ter obravnavo večjega števila objektov hkrati. S tem bi se omogočila večja učinkovitost, hkrati pa bi bilo treba posodobiti tudi Pravilnik in ob tem oceniti slabosti zaradi nehomogenosti elaboratov.

Predlagana je dopolnitev 94. člena ZKN (dodaten odstavek), ki določa, da lahko geodetska uprava po uradni dolžnosti vpiše stavbo v kataster nepremičnin, če ugotovi, da ta še ni evidentirana, in če je mogoče na podlagi uradnih prostorskih evidenc določiti lego, osnovno geometrijo in dejansko rabo objekta ter je razvidno, da ta sodi med nezahtevne ali enostavne objekte.

Elaborat se pripravi poenostavljeno, postopek temelji na nespornih dejstvih, brez ugotovitvenega postopka, kot to omogoča ZUP. Enostavno spreminjanje bi bilo omogočeno le za dejansko rabo, ne pa za druge podatke.

Predvideva se tudi možnost vpisa za objekte, ki ustrezajo kriterijem enostavnih in nezahtevnih objektov, ki so že zaznani v opozorilnem sistemu GURS. Tudi zanje bi se lahko izvedel vpis po uradni dolžnosti. Za ostale objekte bi še vedno veljal klasični postopek, ki temelji na pozivu, preverbi in odzivu lastnika.

Vzdrževanje podatkov stavb (masovni vpis sprememb podatkov)

Z razvojem prostorskih tehnologij in naraščajočo razpoložljivostjo natančnejših podatkov iz sistemskih državnih virov, kot je npr. CLSS, se kaže možnost po sistematičnem in avtomatiziranem vzdrževanju predvsem grafičnih podatkov o stavbah v katastru nepremičnin.

Predlaga se uvedba avtomatizirane metode, ki omogoča masovni vpis sprememb atributov, kot so nadzemni tloris in karakteristične višine stavb. Gre za postopek tehnične narave in bi potekal brez vpliva na pravice in obveznosti lastnikov – zato tudi brez njihovega obveščanja. Spremembe bi se neposredno vnesle v evidenco in bile dostopne preko javnega vpogleda.

Posebna metodologija bi morala predvideti izjeme, na primer (npr. napačna pripadnost parcele). Lastnik bi imel možnost preverjanja in sprožitve postopka urejanja podatkov v primeru neskladij. Prav tako se je v metodologiji potrebno opredeliti, ali tak način posodobitve izvajati zgolj za enostavne in nezahtevne objekte ali za vse stavbe v evidenci. Tehnično bi sicer pridobili bolj natančne grafične prikaze, hkrati pa obstaja tveganje za neusklajenost z drugimi atributi, kot je npr. površina.

Predlog določbe je nov člen ZKN, ki bi omogočil, da se geometrijski podatki za že vpisane stavbe posodablajo brez obvestila lastniku, če spremembe izhajajo iz zanesljivih uradnih virov, kot je CLSS.

Evidentiranje podatka o volumnu

Z razvojem tehnologij (npr. LIDAR, fotogrametrija in BIM) je postalo možno zanesljivo določiti nadzemni volumen stavbe. Volumen je dodatni geometrijski atribut stavbe (volumen zasedanja prostora stavbe nad zemeljskim površjem). Podatki o volumnu bodo na voljo iz CLSS.

Volumen stavbe omogoča prostorske analize npr. za potrebe občin (ocena izkoriščenosti stavbnih zemljišč), državne uprave (spremljanje rasti naselij) in statistike (ocena gostote naselitve na volumen). Pred uvedbo atributa v evidenco katastra nepremičnin je priporočljivo izvesti testno preverjanje uporabnosti z izbranimi končnimi uporabniki. Hkrati je odprta dilema smiselnosti dvojnega prikazovanja podatka o volumnu. Ker bo podatek o volumnu dostopen v topografski evidenci skupaj s 3D-geometrijo, se postavlja vprašanje, ali je smiselno podatek o volumnu dodatno voditi tudi v katastru nepremičnin.

V primeru vključitve podatka je potrebna dopolnitev 11. člena ZKN, ki določa podatke o stavbah in delih stavb ter uvedba novega člena v Pravilniku o vodenju podatkov v katastru nepremičnin. Volumen nadzemnega dela stavbe bi se določil na podlagi uradnih prostorskih podatkov z ustrežno točnostjo, izražal bi se v kubičnih metrih. Podatek bi imel svoj način in dinamiko posodabljanja, ločeno od klasične geodetske izmere.

4.3.9.2 Pravni status 3D modela stavbe v Zbirki 3D podatkov o stavbah iz CLSS

Pravni status Zbirke 3D podatkov o stavbah iz CLSS in 3D modela stavbe je informativni podatek. (glej tudi 4.3.7)

4.3.10 Povezovanje Zbirke 3D podatkov o stavbah iz CLSS

4.3.10.1 Proces povezovanja 3D modelov stavb iz CLSS s 3D modeli v DTM

Zaradi enakega vira (podatki CLSS) je povezovanje 3D modelov stavb iz CLSS za KN s 3D modeli v DTM smiselno. Vir in tehnologija trenutno omogočata avtomatizirano izvedenost 2.5D poligonov tlorisov stavb (nadzemni tloris stavbe) in 3D modelov stavb iz teh tlorisov (LoD 2.1, opcijsko LoD 2.2). Za masovno izdelavo iz podatkov CLSS je tako smiselno vzpostaviti skupni proces izdelave, ki bo upošteval potrebe obeh evidenc, povečal njuno povezljivost in rentabilnost vzdrževanja obeh evidenc pri naročniku. Predlagani skupni proces izdelave vključuje avtomatizirane obdelave, opredelitev relevantnosti posameznega objekta za eno in/ali drugo evidenco, ročne dopolnitve, 3D modeliranje in zapis 3D modelov v dogovorjenem izmenjevalnem formatu ter posredovanje relevantnih rezultatov v hrambo obeh evidenc.

Najprej je potrebno pripraviti vhodne podatke in opredeli unijo tehničnih zahtev in kriterijev obeh evidenc (za nadzemne tlorise stavbe in 3D modele). Z avtomatiziranimi obdelavami (avtomatizirano izvedenost geometrije prostorskih objektov, geometrijsko in topološko urejanje rezultatov izvedenosti, pripis relevantnih atributov obeh evidenc (enolični identifikator stavbe v eni in drugi evidenci) na geometrijo in izračun izbranih vsebinskih atributov (npr. karakteristične višine posameznega objekta), v naslednjem koraku izdelamo najprej 2.5D poligone nadzemnih tlorisov stavbe in karakterističnih linij streh stavb. Izvede se kontrola in ocena kakovosti rezultatov.

Sledijo ročne dopolnitve v dogovorjenem obsegu (odvisno od ustreznosti rezultata avtomatiziranih obdelav, dogovorjenih poenostavitvev zahtev in kriterijev na račun avtomatizacije in hitrosti izdelave ter razpoložljivih sredstev). Minimalni obseg ročnega urejanja vključuje enolično povezavo z objekti v obeh evidencah (vsaka stavba v KN in/ali DTM je atributno povezana z eno stavbo in njenim 3D modelom iz podatkov CLSS) in opredelitev relevantnosti izvedenosti objektov za eno in/ali drugo evidenco, če ti tam še niso evidentirani. Izvede se kontrola in ocena kakovosti rezultatov.

Naslednji korak je avtomatizirana izdelava 3D modelov stavb iz ročno dopolnjenih 2.5D podatkov in izračun dodatnih vsebinskih atributov za 3D model vsake stavbe (npr. volumen stavbe, azimut posamezne strešine stavbe). Izvede se kontrola in ocena kakovosti rezultatov.

Končna različica 2.5D poligonov nadzemnih tlorisov stavb in 3D modelov se v dogovorjenem izmenjevalnem formatu posreduje v hrambo in/ali nadaljnjo urejanje obeh evidenc. Posamezna evidenca uporabi rezultate za dopolnitve/zamenjavo vsebine, analizo razlik z evidentiranim stanjem in pripravo opozoril za odpravo ugotovljenih razlik po lastnih postopkih.

Postopek je prikazan v spodnjem diagramu.



Slika 28: Shema procesnega modela avtomatskega zajema, obdelave in vnosa stavb v kataster nepremičnin

4.3.10.2 Vzdrževanje podatkov topografskih 3D modelov stavb

Vzdrževanje podatkov topografskih 3D modelov stavb za potrebe DTM še ni opredeljeno. V sklopu projekta »Produkcijski test avtomatizirane izdelave 2.5D in 3D modelov stavb«, ki trenutno poteka, bodo podana priporočila za bodoči način vzdrževanja teh podatkov. V presoji sta dva načina vzdrževanja: iskanje sprememb in vklop le-teh v zvezni podatkovni sloj ali vsakokratno novo avtomatizirano izvrednotenje, ko je na voljo novo stanje vira (novo snemanje CLSS).

Priporočila bodo podana v začetku leta 2025 in bodo upoštevala naslednje dejavnike: popolna avtomatiziranost izdelave ali delni fotogrametrični ročni popravki, obseg ročnih popravkov in potreben čas za njihovo realizacijo, velikost območja vzdrževanja, razpoložljivost kadra za izvedbo fotogrametričnih ročnih popravkov pri zunanjih izvajalcih ter zahtevana časovnica vzdrževanja podatkov topografskih 3D modelov stavb s strani naročnika.

4.3.10.3 Proces povezovanja podatkov Zbirke 3D podatkov o stavbah iz CLSS z zemljiško knjigo

Zbirka 3D podatkov o stavbah iz CLSS ima z zemljiško knjigo posredno povezavo preko katastra nepremičnin.

4.4 Katastrska izdelava 3D modelov stavb v katastru nepremičnin (Akt. 2.2)

Pri vzpostavitvi Zbirke 3D podatkov o stavbah bo glavni vir podatkov za izdelavo 3D modelov stavb CLSS, kar posledično vpliva na dejstvo, da bo predmet modeliranja predvsem zunanost stavb.

V tem poglavju so predstavljena izhodišča za razvoj katastrskega vpisa stavb. S projektom neposredno povezan je del, ki se nanaša na spremembe pri vpisu zunanosti stavbe. Ker gre pri vpisu stavbe v KN za enovit postopek vpisa zunanosti in notranosti, v poglavju podajamo izhodišča za razvoj obojega. Dejstvo je, da je del stavbe v realnem svetu 3D element v prostoru. Opredeljevanje delov stavb z 2D geometrijo znotraj KN je v bolj kompleksnih primerih lahko pomanjkljivo, kar izhaja iz številnih raziskav na tem področju. To izhaja iz samih omejitev, ki jih prinaša 2D opisovanje 3D prostora. Pravna varnost lastništva in drugih pravic je prav v kompleksnih primerih etažne lastnine izrednega pomena za lastnike. Prav zato je smiselno pristopiti k razmisleku, kako izboljšati prostorsko opredelitev delov stavb in s tem v prvi vrsti izboljšati pravno varnost lastnikov nepremičnin.

Zasebnim lastnikom, ki bi želeli večjo pravno varnost nepremičnine in večjo podrobnost podatkov, tistim, ki imajo v lasti ali upravljanju večstanovanjske stavbe, ter javnim lastnikom stavb velike vrednosti in pomena v lasti države ali lokalne skupnosti bi lahko GURS ponudil možnost katastrskega vpisa podrobnega 3D modela stavbe neposredno v KN v podrobnosti LoD 2.3 ter 3D volumnov delov stavb oz. prostorov. Na tej stopnji gre za idejo nadgradnje KN v smislu omogočanja večje transparentnosti in pravne varnosti v kompleksnih primerih prostorske razporeditve nepremičninskih enot v stavbi. S tem se bistveno poveča tudi uporabnost 3D modela stavbe za druge namene, saj bi omogočala natančnejšo določitev notranjih dimenzij stavbe, vključno s površino in volumnom prostorov.

Za zagotovitev medsebojne skladnosti podatkov v KN je za takšne vpise potrebna prenova podatkovnega modela KN, ki bi dovoljeval vpise z različnim nivojem podrobnosti vsebine. Za zagotavljanje homogenosti vpisov se stavba, vpisana z višjim nivojem podrobnosti, lahko vpiše tudi z nižjim nivojem podrobnosti, kot vse ostale stavbe (2D tlorisi, 2D etažni načrti delov stavb). Podrobnejši katastrski vpis 3D modela bo smiselni tudi za lastnike, ki imajo stavbo projektirano v BIM. Lastnik naroči vpis pri geodetskem podjetju, in to ne glede na to, da je 3D model stavbe že v Zbirki 3D podatkov o stavbah iz CLSS v podrobnosti LoD 2.1 (oz. LoD 2.2).

4.4.1 Namen, cilj, deležniki

4.4.1.1 Namen in cilj katastrske izdelave in vpisa 3D modelov stavb

Izdelava podrobnih 3D modelov stavb je ključna predvsem za lastnika stavbe. Glavni namen je omogočiti lastniku, da je njegova nepremičnina nedvoumno in natančno 3D prostorsko opredeljena v KN. Poleg tega lahko podroben 3D model služi tudi za izboljšanje upravljanja in vzdrževanja stavbe. Tako izdelani modeli omogočajo natančne meritve, ki so za lastnika, upravljalca, investitorja ali projektanta (npr. dodatnih gradbenih elementov ali vzdrževanja) uporabne za arhitekturne in gradbene analize, energetske učinkovitost, oceno prostorskih potreb ter načrtovanje prenov ali adaptacij in podporo pri analizi varnosti.

Podrobnejši 3D vpis stavbe v KN prinaša številne prednosti ne samo za lastnika, ampak tudi za druge državne institucije. Predvsem pomembne so tu institucije za zagotavljanje varnosti, zaščite in reševanja. 3D modeli stavb s podatki o notranosti bi omogočili bolj učinkovito posredovanje in bolj informirane odločitve.

4.4.1.2 Deležniki

Deležniki so tu skladni predvsem z namenom KN:

- Geodetska uprava. 3D modeli služijo kot podlaga za evidentiranje lastninskih pravic in prostorskih podatkov ter vrednotenje nepremičnin.
- Lastniki nepremičnin. Imajo koristi od natančnih katastrskih vpisov, ki zagotavljajo natančno vrednotenje, prostorske analize in pravno varnost lastništva.
- Projektanti. Uporabljajo modele za načrtovanje, projektiranje, prenovu in ocenjevanje energetske učinkovitosti (na željo lastnika).
- Državne institucije (z določenimi omejitvami dostopa).

Za morebitne ostale deležnike je potrebno opredeliti način dostopa do podatkov in morebitne omejitve.

4.4.2 Konceptualna izhodišča za modeliranje 3D stavb

4.4.2.1 Definicije elementov 3D modela stavbe (npr. stene, streha, strešina, frčada, dimnik, stena, tla)

V poglavju je predstavljen osnovni koncept nadgradnje obstoječega vpisa stavb v KN, ki se delno dotika vsebine tega projekta (zato je tudi vključen v vsebino), večinoma pa gre za vsebino, ki sega izven področja obravnave projekta.

Katastrski vpis pa poleg zunanosti stavbe vključuje tudi prostorsko opredelitev delov stavb, torej elementov v notranosti stavbe. Tu je možnih rešitev več. Ena možnost je, da se ohrani enak koncept evidentiranja delov stavb kot do zdaj, le da se poleg 2D obrisa dela stavbe v vsaki etaži omogoči tudi vpis 3D volumna. Zaradi zagotavljanja povezljivosti podatkov z drugimi domenami, predvsem s področjem načrtovanja in gradnje stavb, je bolj primeren način modeliranja notranosti z uporabo prostorov. Prostorom je preko atributov mogoče določiti pripadnost delu stavbe. Del stavbe tako predstavlja zbirka 3D opredeljenih prostorov, ki temu delu stavbe pripadajo. Mogoča je tudi kombinacija 3D volumna delov stavb ter pripadajočih 3D prostorov.

Gre za konceptualna izhodišča, ki odpirajo številna vprašanja in dileme. Večina vprašanj in dilem izhaja prav iz dejstva, da 3D podatki omogočajo nedvoumno in natančno opredelitev delov stavb.

Zapisana izhodišča za nadaljnji razvoj zato potrebujejo veliko nadaljnjega razvoja in obširno razpravo.

4.4.2.2 Izbor in utemeljitev ravni podrobnosti (LoD) 3D modela stavbe

Raven podrobnosti zunanosti stavbe je v primeru posamične storitve izdelave 3D modela smiselno postaviti na LoD 2.3, saj je z individualno izmero mogoče pridobiti vse podatke, potrebne za takšno modeliranje. Ta nivo podrobnosti omogoče tudi ustrezno umestitev geometrij delov stavb znotraj 3D modela zunanosti.

Pri notranosti stavbe so v prejšnjem podpoglavju opredeljeni možni elementi (prostori oz. del stavbe). Notranost stavbe v topografskih podatkovnih modelih ni prednostna, saj so podatki redko dosegljivi na večjem območju. CityGML podatkovni model je v različici 3.0 predvidel uvedbo geometrij notranosti tudi v nižjih stopnjah podrobnosti. Volumni prostorov ustrezajo ravni podrobnosti LoD 2 glede na podatkovni model CityGML 3.0.

4.4.2.3 Viri podatkov za 3D model stavbe (npr. geodetske meritve, projektna dokumentacija, BIM)

Tehnologija 3D zajema podatkov in 3D modeliranje podatkov se izredno hitro razvijata. Trenutno smo tehnološko že na ravni, ko je mogoče razviti učinkovite metodologije 3D zajema in modeliranja stavb v skladu s predstavljenimi konceptualnimi izhodišči.

Poleg tega se na področju gradnje uvaja tehnologija BIM, ki ji različni strokovnjaki napovedujejo različno hitrost dejanske široke uvedbe v prakso. Dejstvo je, da primerno pripravljene in kontrolirane podatke BIM lahko predstavljajo kakovostno podatkovno osnovo za 3D model stavbe. Podatki BIM, ki so potencialno uporabni za KN, so podatki na nivoju PID, kar pomeni, da naj bi podatki predstavljali dejansko stanje zgrajene stavbe. Trenutno tako tehnologija kot tudi procesi v Sloveniji ne omogočajo takšne uporabe. Evidentiranje dejanskega stanja v prostoru predstavlja enega od temeljev KN, zato morajo biti v primeru kakršnekoli uporabe BIM podatkov za vpis v KN vedno izvedene kontrole sovpadanja dejanskega stanja in podatkov BIM. V prihodnosti bo potrebno spremljati razvoj tehnologije BIM in procesov graditve, predvsem procesov pridobivanja uporabnega dovoljenja in priprave dokumentacije PID. Potrebna bo previdnost pri morebitni uvedbi uporabe teh podatkov kot vira za KN, predvsem z vidika izkazovanja dejanskega stanja stavbe.

4.4.3 Vpis 3D modela stavbe v KN

4.4.3.1 Proces upravnega postopka

Uvedba podrobnejšega vpisa 3D stavb v KN je lahko večfazna, saj je v določenih delih (notranjosti) potrebno več razvoja in razprave.

V prvi fazi je torej primerno razmišljati o nadgradnji katastrskega vpisa zunanosti stavbe, ki bi zagotovil podatke stopnje podrobnosti 2.3. Upravni postopek se ustrezno dopolni s tehničnimi podrobnostmi in zahtevami glede določanja zunanosti stavb s 3D modeli. Evidentiranje notranjosti v tej fazi ostane nespremenjeno.

V naslednji fazi se lahko ob vpisu stavbe v KN omogoči tudi vpis 3D volumnov delov stavb oz. prostorov v skladu z izhodišči, predstavljenimi v poglavju 4.4.2. To bi zahtevalo razvoj tehničnih specifikacij in najverjetneje ustrezne spremembe zakonodaje na več nivojih (pravilniki in zakon). Uvedba slednjega je prav tako lahko v več fazah. V začetnem obdobju je takšen vpis lahko popolnoma opsijski. V nadaljevanju se lahko uvede obveznost vpisa 3D volumnov delov stavb oz. prostorov za javne objekte in za objekte, za katere se vzpostavi etažna lastnina.

4.4.3.2 Proces vključitve 3D modela stavbe v KN

3D model zunanosti stavbe se poveže s KN preko identifikatorja.

Vse v poglavju navedene nadgradnje KN je mogoče ustrezno medsebojno informacijsko povezati in vključiti v obstoječ sistem evidentiranja nepremičnin.

4.4.4 Pravni vidik vpisa 3D modelov stavb v KN

4.4.4.1 Minimalna vsebina pravilnika o izdelavi elaborata za vpis 3D modelov stavb (podatkovni model, geometrija, topologija, etažni načrti, dodatni atributi, povezava 3D stavbe s parcelo, format zapisa)

V skladu s sedmim odstavkom 41. člena Pravilnika o vodenju podatkov katastra nepremičnin (Uradni list RS, št. 41/22) je Geodetska uprava Republike Slovenije dne 25. 3. 2022 objavila Navodila za izpolnitev obrazcev, ki jih morajo vsebovati elaborati.

Poleg teh obrazcev, ki se vsi izdelajo v digitalni obliki, bi bilo potrebno za prehod na 3D elaborat za vpis stavbe v bodoči 3D KN poleg pravil za izdelavo elaboratov vpisa podatkov o stavbi in delih stavb dopolniti tudi pravila vpisa sprememb podatkov o stavbi in delih stavb.

Razmislek bi bil potreben predvsem v smiselnosti izdelave različnih poligonov stavb in delov stavb ter različnih tlorisov stavb, kot jih trenutno Pravilnik določa, ter smiselnosti ohranjanja nekaterih atributov, ki se vodijo o stavbah, kot so npr. višinske kote stavb in karakteristična višina stavbe. Slednje je že del 3D geometrije stavbe, vpisane v 3D KN.

Površine delov stavb in prostorov se bodo kot atributi najverjetneje še vedno vodile tudi v 3D KN, zaradi uvedbe 3D geometrije stavb v 3D KN pa se ne bo mogoče izogniti razmisleku o eventualni uvedbi 3D volumnov delov stavb oz. prostorov.

Kar se tiče izmenjevalnih formatov je že sedaj v Pravilniku predpisano, da se morajo izmenjevalni formati in njihove spremembe objaviti vsaj 30 dni pred začetkom njihove uporabe na osrednjem spletnem mestu državne uprave (2. člen). Spremembe formata so torej možne brez spremembe Pravilnika.

Skladno z dopolnitvijo Pravilnika z vidika vpisa stavb v bodoči 3D KN s pomočjo 3D elaborata se morajo temu primerno posodobiti tudi omenjena Navodila.

4.4.4.2 Pravni status 2.5D in 3D modela stavbe v KN

2.5D podatki o stavbah tvorijo trenutni uradni KN, za 3D modele v KN pa v bodočnosti ravno tako predlagamo uraden status, vendar po prehodnem obdobju in spremembi zakonodaje.

V kolikor se omogoči podrobnejši 3D vpis delov stavb, je smiselno zagotoviti, da je status teh modelov uraden, saj ob enaki natančnosti zagotavljajo bolj kakovostno prostorsko opredelitev dela stavbe.

4.4.4.3 Previdene spremembe ZKN

Pri tem načinu vpisa 3D podatkov na željo lastnika bodo spremembe zakonodaje drugačne kot za Zbirko 3D podatkov o stavbah iz CLSS, ki jih zagotovi GURS neodvisno od lastnikov in za drugačen namen.

5 TEST KONCEPTA IN METODOLOGIJE (DP 3)

5.1 Izvedba testov (Akt. 3.2)

V okviru raziskave smo preverili in pripravili povzetek testov izdelave 3D modelov stavb iz podatkov CLSS. Prvi test avtomatske izdelave 3D vektorskih stavb iz podatkov ZLS (glej 5.1.1) je bil v manjšem obsegu izveden v sodelovanju Geodetskega inštituta Slovenije (v nadaljevanju GI) in podjetij Flai d.o.o. (v nadaljevanju FLAI) ter nizozemskega 3DGI, v letu 2023. Drugi predstavljen test izdelave 3D modelov je t. i. Produkcijski test topografskega modeliranja 3D stavb (glej 5.1.3) v okviru Zelenega slovenskega lokacijskega okvirja (GreenSLO4D).

Dodatno je bil v sodelovanju Geodetskega inštituta ter podjetja Flai izveden test (glej 5.1.2) klasifikacije frčad, z namenom, da se le te izločijo iz procesa modeliranja 3D stavb.

Test koncepta in oblikovanje metodologij sta potekala sočasno, pri čemer so bila v metodologije vključena spoznanja iz testov. Glede na procesni model avtomatskega zajema smo izvedli primerjalno analizo podatkov 3D modelov iz Produkcijskega test topografskega modeliranja 3D stavb in 3D modelov iz KN etažnih načrtov (glej 5.2).

5.1.1 Prvi test avtomatske izdelave 3D vektorskih stavb iz podatkov ZLS (pomlad 2023)

5.1.1.1 Cilji testa

Test je bil izveden za namen ugotavljanja nivoja in kakovosti izdelave 3D vektorskih stavb iz podatkov Cikličnega laserskega skeniranja Slovenije (CLSS). Ideja za izvedbo internega testa je bil ogled objavljenih rezultatov 3D stavb na Nizozemskem v obliki pregledovalnika 3DBAG in predstavitve le tega na odprti delavnici, ki so jo organizirali izvajalci vzpostavitve pregledovalnika nizozemskih 3D stavb (3DGI). Zanimala nas je domača proizvodnja teh izdelkov, zato smo v test vključili tudi podjetje Flai, ki je za gradnjo vektorskih 3D stavb uporabilo orodja UI.

5.1.1.2 Vhodni podatki

Za izdelavo manjšega testa so bili vzeti podatki iz ponudbe za prijavo na razpis za izvedbo projekta CLSS. Iz izdelkov ponudbe je bil uporabljen izdelek georeferenciran in klasificiran oblak točk (GKOT), ki vsebuje več razredov, uporabljena sta bila: razred »stavbe« in razred »tla«.

Izbrani sta bili dve manjši območji (Radovljica in Lesce) v velikosti 150 m x 150 m z okvirjem širine 20 m. Za obe območji so bili pripravljene podatki GKOT in grafični podatki (tlorisi stavb) iz zbirk KS in DTM. Podatke smo posredovali v obdelavo na podjetji 3DGI (NL) in Flai (SLO).



Slika 29: Test 1 - testni območji Radovljica in Lesce v velikosti 150 m x 150 m z okvirjem širine 20 m

5.1.1.3 Orodja in programska oprema

3DGI je uporabil že razvito programsko orodje, ki je začelo nastajati s pomočjo evropskih sredstev (ERC) na univerzi v Delftu (NL), delno pa je bilo financirano tudi s pomočjo različnih nizozemskih organizacij kot so: NWO, AMS, RIVM, Rijkswaterstaat in Kadaster. Razvoj programskega orodja je baziral na klasičnem programiranju in je trajalo več let, ter se še razvija. Z istim orodjem so izdelali 3D vektorske stavbe za celotno Nizozemsko (cca. 10 milijonov), in jih ponovno izdelujejo tudi iz novo zajetih državnih lidarskih podatkov. Cikel novega zajema lidarskih podatkov na Nizozemskem je 3 leta. Flai je svoje orodje (flai.ai) razvijal samostojno, z namenom ugotavljanja, kaj omogoča UI pri 3D modeliranju stavb.

5.1.1.4 Postopek (koraki, modeliranje)

3DGI je svoje orodje uporabili na posredovanih podatkih in ga ni prilagajal dodatnim zahtevam in/ali podatkom. Uporabili so GKOT in obrise stavb. Posebej so uporabili obrise stavb iz katastra nepremičnin in posebej iz DTM.

Flai je uporabil le podatke GKOT in ni uporabil obrisov stavb.

5.1.1.5 Kakovost rezultatov

Rezultati 3DGI

3D GI so predali rezultate za obe območji (Radovljica in Lesce) s 3D modeli stavb na osnovi obrisov stavb iz DTM in KS. Modeli 3D stavb v izdelkih iz obrisov DTM so videti kot na višine dvignjeni obrisi stavb. Obrisi so dvignjeni na osnovi z koordinate in ne zapisa v »Z_KAP«. V praksi gre za LoD 1.1 vrhnje ploskve stavb (kubusov). CityJSON Ninja te ploskve prikazuje kot LoD 0.

Vhodni DTM ima Z koordinato (približno) enako »Z_KAP«. Pri nekaterih objektih se vrednost geometrijske Z koordinate od »Z_KAP« razlikuje do 2 cm oz. ima včasih »Z_KAP« vpisano le eno decimalko, v geometrijskem Z pa sta dve.

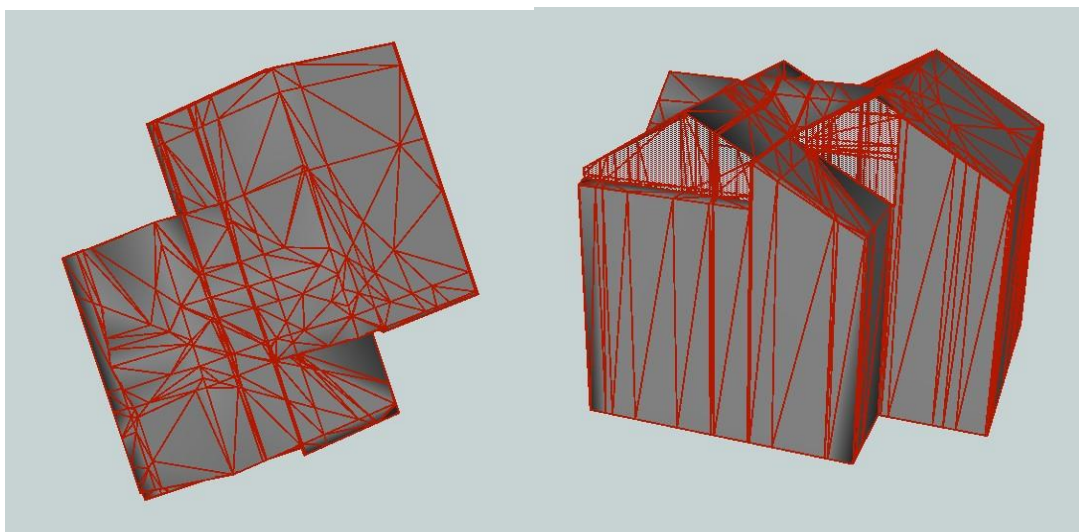
Vhodni podatki KS nimajo višine ne v atributih ne v geometriji. Obrisi so zato pri tem produktu na višini 0.

Ploskve streh iz KS so bolj členjene od tistih iz DTM (posledica podrobnejših tlorisov). Koordinate slemena ali kapi je zaradi členjenosti težko določiti. KS streha iste stavbe je predstavljena s preveč točkami. To je tudi posledica na ploskvah streh vidnih artefaktov zaradi dimnikov.

Rezultati Flai – prvi izdelek:

Datoteka z rezultati je zapisana v obliki GeoJSON in ima neustrezno obliko zapisa koordinat. Datoteko je posledično nemogoče spremeniti v druge formate kljub temu, da jo določena orodja uspejo prebrati. Datoteka vsebuje koordinate zapisane koordinatnem sistemu LL84 (longitude, latitude 84), kar pomeni zapis v fi, lambda formatu. Programska oprema, ki sicer omogoča uvoziti te datoteke, ima s tem zapisom določene težave.

Podjetje Flai, ki uporablja aplikacijo flai.ai, je izdelal tudi modele stavb v obliki zapisa OBJ. Gre za množico datotek, saj vsaka od njih vsebuje le po eno stavbo. Stavbe so v tej obliki zapisa predstavljene kot mrežna ploskev (angl. Mesh), pri čemer posamezni deli stavb (strehe, stene in tla) niso ločeni. Posamezne ploskve predstavljajo trikotniki, ki so podani s 4 točkami (prva in zadnja točka sta identični). Strehe so močno členjene, vendar je videti, da so posamezne ploskve kljub temu, da so sestavljene iz več trikotnikov del iste ravnine.



Slika 30: Prvi izdelek: mrežna ploskev, levo tlorisni pogled, desno pogled s strani.

Ploskve zidov in tal so manj členjene kot v obliki GeoJSON, še vedno pa so (kot je za mrežno ploskev značilno) sestavljene iz trikotnikov. Nekatere ploskve sten so drugače orientirane kot ostale, zato jih pregledovalniki prikazujejo kot prosojne, ker je moteče pri ogledu 3D modela.

Rezultati Flai – drugi izdelek:

FLAI je naknadno poslal nove obrise stavb v datoteki oblike shp v D96/TM. Datoteka ne vsebuje Z koordinat, zato višinska umeščenost obrisov ni bila ocenjena.

Izdelek je bil glede na prvotno varianto videti bolj točen. Odstopanja so bila opazna predvsem na območjih, kjer je zaradi oblike stavb gostota oblaka točk verjetno nižja od povprečja (atriji, drevesa, ipd.). Glede na prvi izdelek smo opazili manj manjkajočih objektov.

Spodaj v sliki so vidna odstopanja glede na obrise iz KS:



Slika 31: Odstopanja glede na obrise iz KS.

5.1.1.6 Zaključki in izzivi

Avtomatsko generiranje stavb iz podatkov zračnega laserskega skeniranja, kjer je gostota prvega odboja 10 t/m² ali več je izvedljiva, in tudi komercialno dostopna, ni pa še na nivoju rutinske izvedbe, in tudi ne dovolj kakovostna za uporabo v državnih 3D zbirkah.

5.1.1.6.1 Zaključki vezani na izdelavo 3D modelov 3DGI

Nizozemska rešitev poleg GKOT (stavbe in teren) uporablja tudi 2D podatke o obrisih stavb. Stavbe, ki tega obrisa nimajo, se v trenutni izvedbi procesa ne generirajo kot 3D modeli. Delajo pa na tem, da se bodo generirale tudi take stavbe. Pri njih so za obrise stavb (in seveda tudi atributni del) odgovorne občine, tako glede popolnosti kot tudi kakovosti podatkov. Vse občine uporabljajo državno aplikacijo z vzdrževanje obrisov stavb v zbirki o stavbah (niz. BAG – Basic Registration Addresses and Buildings, ki jo je razvila in jo vzdržuje njihova Geodetska uprava t.i. Kadaster - <https://www.kadaster.nl/zakelijik/registraties/basisregistraties/bag>.

Za Nizozemsko vlado je pomembna uporaba BAG iz naslednjih treh razlogov:

- javni red in varnost,
- boj proti goljufijam in
- pripravo novih pravilnikov.

Organizacije in institucije zbirko BAG uporabljajo za:

- energetska podjetja: za upravljanje premoženja,
- stanovanjska združenja: za upravljanje nepremičnin in razvoj politike,
- banke, podjetja za naročanje po pošti, komunalna podjetja in druge organizacije s številnimi strankami: za izboljšanje kakovosti baz podatkov o strankah,
- zavarovalnice: za izračun tveganj in reševanje škod na nepremičninah,
- ponudniki geoinformacijskih in naslovnih datotek: za združevanje z drugimi informacijami za obogatitev podatkov BAG.

Od zaposlenih na 3DGI smo dobili še informacije glede na zastavljena vprašanja. Povzetek:

- Kadaster je kopiral vse atributne podatke iz svoje 2D zbirke o stavbah v novo 3D zbirko.
- Kadaster za shranjevanje in distribucijo 3D podatkov o stavbah uporablja format GeoJSON.
- Po njihovem na Nizozemskem še ne obstaja regulativa za vključevanje notranjosti stavb (npr. etažnih načrtov) v zbirko BAG.
- Rezultate avtomatskega procesa izdelav 3D stavb kontrolirajo na način, da:
 - o izračunajo povprečno kvadratno napako med vhodnim oblakom točk in ustvarjenim, 3D modelom stavbe,
 - o preverijo geometrijsko veljavnost 3D modela z uporabo val3dity, glej <https://val3dity.readthedocs.io>,
 - o delajo tudi na dodajanju dodatnih preverjanj oblaka vhodnih točk, tj. odkrivanje večjih vrzeli brez točk (npr. zaradi okluzij ali odsevnih površin/površin, ki absorbirajo svetlobo), kar je trenutno glavni vzrok težav pri obnovi zbirke.

5.1.1.6.2 Zaključki vezani na izdelavo 3D modelov Flai

Za možnost avtomatizacijo izdelave 3D stavb s podjetjem Flai smo izvedeli kasneje, uporabljeni pa so bili isti testni podatki kot v podjetju 3DGI. Izdelava 3D stavb pri podjetju Flai sloni samo na oblaku točk (GKOT), ki se dobi v okviru projekta CLSS.

Izdelava 3D stavb samo iz podatkov GKOT ima prednost, da se izdelajo tudi 3D modeli stavb, kjer obrisov v KS ni ali niso vzdrževani. Stavbe so bolj členjene in z več napakami kot pri 3DGI. Odvečni robovi pri pregledu s pregledovalnikom »ninja« za format CityJSON so veliko manj vidni kot pri vizualizaciji v njihovi aplikaciji.

5.1.1.6.3 Zaključek po izvedbi testa

Test, ki je bil izveden pomladi 2023, je bil prvi poskus izdelave 3D modelov stavb iz prvih podatkov novega zračnega laserskega skeniranja (ZLS) in istočasnega aerofotografiranja (AF), z dvema različnima programskima rešitvama ter obrisi stavb vzeti iz zbirk KS in DTM brez popravljanja. Rezultati testa so bili le delno uspešni in so po dveh letih razvoja tehnologije izdelave 3D stavb iz podatkov ZLS že precej zastareli. Proces, izkušnje in rezultati testa so pripomogli pri definiranju izvedbe produkcijskega testa topografskega modeliranja 3D stavb, ki je opisan v nadaljevanju.

5.1.2 Test avtomatskega zajema frčad (Flai, GI)

5.1.2.1 Cilji testa

Zaradi veliko napak na frčadah izdelanih za namen 3D stavb za nivo LoD 2.2, so se odpirala vprašanja izdelave na nivoju LoD 2.1, ki frčad ne vsebuje. Prisotno je bilo izhodišče, da je 3D stavbo lažje narediti brez frčad. Preveriti smo želeli tudi ostala izhodišča:

- z razvojem boljših algoritmov za izdelavo 3D stavb, se bo izboljšalo tudi 3D modeliranje frčad,
- v naslednjih izvedbah CLSS se bo zahtevana gostota iz 10 točk/m² zagotovo povečala in s tem bodo tudi detajli na frčadah oz. same frčade bolj prepoznavne in jih bo lažje modelirati,
- informacija o volumnu stavbe brez frčad je netočna.

Cilj testa je bil torej, da se frčade odstranijo iz 3D modela stavbe in da se stavbe modelirajo na nivoju LoD2.1. Da bi se frčade lahko odstranile, jih je treba najprej prepoznati v georeferenciranem in klasificiranem oblaku točk (GKOT), kot poseben razred. Od kakovosti prepoznavanja vseh točk, ki pripadajo frčadam, je odvisno nadaljnje modeliranje 3D stavb brez frčad.

5.1.2.2 Vhodni podatki

Vhodni podatki za izdelavo 3D modela stavb, ki naj bi bili na razpolago enotno za celo državo, so podatki projekta CLSS. Ti podatki kot končni rezultati vsebujejo določene razrede klasificiranih točk, ki ne vsebujejo razreda s frčadami.

V prvi fazi testa je bilo izbranih 20 lokacij (v vsakem bloku 5 lokacij), enakomerno razporejenih na vseh 4 blokih CLSS iz leta 2023 (Ljubljana, Kamin, Novo mesto in Kočevje) z dimenzijo 150 m x 150 m.

5.1.2.3 Orodja in programska oprema

Za ročno klasifikacijo točk strehe v razred frčade je bila uporabljena aplikacija flai.ai. Prav tako je bila ta aplikacija uporabljena za učenje UI algoritma in za testno izvedbo avtomatskega prepoznavanja frčad.

5.1.2.4 Postopek (koraki, modeliranje)

Z aplikacijo Flai so bile vse frčade na vseh 20 testnih kvadratih preklasificirane iz razreda strehe v razred frčade. Sledilo je učenje UI algoritma. Ko je bil algoritem naučen, se je na testnem območju (10 km x 10 km) izvedlo testno avtomatsko klasificiranje frčad.

5.1.2.5 Kakovost rezultatov

V testu je bilo najdenih cca. 5800 frčad. Točke na frčadah so bile avtomatko obkrožene s poligoni, kot so prikazani na spodnji sliki. Velikosti poligonov je v povprečju 11 m². Minimalna velikost poligona je 0,6 m² in maksimalna 214 m².



Slika 32: Test avtomatskega zajema frčad – rezultat avtomatskega zaznavanja so frčade obkrožene s poligoni

Kakovost rezultatov ni dovolj dobra, da bi se frčade avtomatsko dovolj kvalitetno prepoznale, in bi se lahko izbrisale iz oblaka točk, ter se pri modeliranju 3D stavb ne bi uporabile.

Za izboljšanje avtomatske klasifikacije točk na strehah v razred frčade, bi bilo treba povečati učni vzorec.

5.1.2.6 Zaključki in izzivi

Glede na izhodišča in rezultate v okviru testa, se je test prekinil. Stroški izvedbe bi bili preveliki glede na sredstva v okviru tega CRP projekt. Pomisleki iz ciljev testa (5.1.2.1) so upravičeni, da odstranjanje frčad trenutno ni smiselno. Z večanjem gostote vhodnih podatkov CLSS in izboljšanimi algoritmi klasifikacije oblaka točk in 3D modeliranja stavb, bodo 3D modeli stavb vedno bolj kvalitetni.

Ostaja izziv zajema ustreznih podatkov in izdelave zunanosti 3D stavbe za nivo LoD 2.3, ki bi bil primeren za vključitev podatkov v KN.

5.1.3 Producerski test avtomatizirane izdelave 2,5D in 3D modelov stavb (GURS-GI, Flycom, 3DGI, FGG)

5.1.3.1 Cilji testa

Cilj testa je bila izvedba producerskega testa in ovrednotenje avtomatizirane izdelave 2,5D in 3D modelov stavb na izbranem območju z uporabo sistemskih podatkov CLSS. Metoda avtomatizirane izdelave je temeljila na rezultatih naloge »Test projektne skupine za razvoj področja uporabe sodobnih tehnologij pri vodenju in vzdrževanju podatkov in storitev« na GURS v letu 2023 (v nadaljevanju testni projekt GURS).

Drugi cilj testa je bila dopolnitev metode avtomatizirane izdelave glede na zahteve in potrebe treh uradov GURS, ki evidentirajo/uporabljajo podatke o stavbah: topografija (DTM), nepremičnine (KN) in množično vrednotenje nepremičnin (MVN).

Tretji cilj je bila izvedba preizkusa avtomatiziranega 2,5D izvrednotenja izbranih vrst prostorskih objektov DTM (druge zgradbe in naprave).

5.1.3.2 Vhodni podatki

V testu so bili uporabljeni naslednji vhodni podatki:

- CLSS GKOT, CLSS POF, CLSS DMR1, CLSS fotogrametrični DMPa1 (stanje iz leta 2023),
- podatki stavb, drugih zgradb in naprav DTM (stanje 2024),
- podatki stavb iz Katastra nepremičnin (KN) (stanje 2024).

5.1.3.3 Zahteve

Izhodiščne zahteve so bile povzete iz Navodil za zajem in vzdrževanje topografskih podatkov (GURS, različica 1.6). Končne zahteve so bile določene na podlagi doseženih rezultatov v testu in usklajevanj z naročnikom. V nadaljevanju so povzete.

a) Avtomatizirano izvrednotenje 2,5D tlorisov streh stavb

Izvede se avtomatizirano izvrednotenje 2,5D tlorisov streh stavb in njihovih karakterističnih linij ter osnovnih atributov vezanih na metriko posameznega objekta iz podatkov CLSS. 2,5D poligon strehe stavbe se izvrednoti kot poligon, lomne točke poligona so na višini kapi posamezne stavbe oz. njenega dela glede na podatke CLSS. Za vsak poligon se vključijo izbrani vsebinski in sistemski atributi.

b) Avtomatizirano modeliranje 3D stavb

Izvede se avtomatizirano izvrednotenje 2,5D tlorisov streh stavb in njihovih karakterističnih linij ter osnovnih atributov vezanih na metriko posameznega objekta iz podatkov CLSS. 2,5D poligon strehe stavbe se izvrednoti kot poligon, lomne točke poligona so na višini kapi posamezne stavbe oz. njenega dela glede na podatke CLSS. Za vsak poligon se vključijo izbrani vsebinski in sistemski atributi.

c) Tehnične zahteve

- *min. dimenzije stavbe:*
 - minimalna površina stavbe (pov): 4 m²
 - minimalna višina stavbe (vis): 2 m
- *opredelitev osnovne enote zajema in delitev posamezne stavbe*
 - Člen (BuildingPart) je podrobnejši del stavbe, ki bi ga lahko samostojno obravnavali z vidika homogenosti po fizičnih, funkcionalnih ali časovnih vidikih. Osnovni kriterij za delitev stavbe na posamezne člene (BuildingPart) so fizične lastnosti – samostojna streha.
- *minimalne dimenzije detajla tlorisa stavbe: 0,5 m*
- *minimalne dimenzije detajla strehe stavbe: 1 m²*
- *položajna in višinska točnost: ± 1 m (RMSE)*
- *topološka urejenost*
 - dovoljeno 6° odstopanje od pravokotnosti
 - 3D ujemanje koordinat (3D snap), 2D ujemanje pri različnih višinah
 - poligoni ne smejo biti podvojeni, ne smejo se prekrivati in med njimi ne sme biti vrzeli
 - poligoni ne smejo tvoriti majhnih »klinov«
 - vrstni red zajema vogalnih točk mora biti opravljen v smeri urinega kazalca. Luknje v poligonih stavb (npr. atrij) zajemamo v obratni smeri urinega kazalca

d) Vsebinske zahteve

- *vsebinski atributi posamezne stavbe*
 - enolični identifikator stavbe iz DTM (DTM_EID)
 - enolični identifikator stavbe iz KN (KN_EID)
 - karakteristične nadmorske višine stavbe oz. njenega člena: Z_TEM, Z_KAP, Z_SLEM, Z_MAX.
- *raven podrobnosti (LoD)*
 - modeliranje v LoD 2.2 (v model so vključene manjše konstrukcijske značilnosti strehe (frčade))
 - kjer podatki CLSS tega ne omogočajo, modeliranje v LoD 1.2
- *Enolični identifikator stavbe v 3D modelu*

V 3D model stavbe se vključi

 - enolični identifikator stavbe iz DTM (DTM_EID)
 - enolični identifikator stavbe iz KN (KN_EID)
- *semantična členitev 3D modela posamezne stavbe v elemente*

V skladu s podatkovnim modelom CityGML 2.0 mora 3D model stavb vključevati 3D volumnsko geometrijo (angl. Solid) in mejne ploskve (angl. BoundarySurface), vsaj strešno ploskev (RoofSurface), zidno ploskev (WallSurface) in talno ploskev (GroundSurface).
- *3D modeliranje stavbe (členov stavbe)*

V skladu s podatkovnim modelom CityGML 2.0 mora biti v 3D modelu stavbe, ki je razdeljena na več členov (BuildingPartI), vsak člen stavbe (BuildingPart) modeliran kot 3D volumnski objekt in mejne ploskve, stavba pa je definirana s hierarhičnim združevanjem v višje enote (Building), ki jim je mogoče pripisati skupne lastnosti in s tem določiti obseg stavbe kot celote.
- *preseki stavbe s terenom*

Talna ploskev (GroundSurface) se modelira na višini terena (izračun iz CLSS DMR na območju tlorisa (Z_TEM minimalna nadmorska višina). Pri členjenih stavbah se GroundSurface modelira na enako nadmorsko višino, če so razlike nadmorskih višin posameznih delov do 1m. Uporabi se najmanjša Z_TEM med členi (BuildingPart).

- *posebnosti - enojni kozolci*
Na osnovi posredovanega vira za kozolce (stavbe in druge zgradbe v DTM) se ročno izloči enojne kozolce (latvenike), ki jih avtomatizirane procedure izvednotijo kot poligon stavbe.
- *poligoni KN/DTM brez poligona CLSS*
Poligone stavb DTM/KN, ki jih avtomatizirane procedure ne zaznajo kot stavbe (ruševine, vkopani objekti, porušeni objekti, manjši objekti (lahko pod vegetacijo)) in so po ročnem pregledu potrjeni, kot relevantni in še vedno prisotni v prostoru, se vključi v sloj poligonov stavb CLSS.

e) Metodološke zahteve

Izvajalec mora v svoji produkcijski liniji zagotoviti kombinirano analizo klasificiranega oblaka točk in popolnega ortofota, pri čemer uporabi metode geometrijske analize in strojnega učenja vključno z:

- filtriranjem in dodatno klasifikacijo lidarskega oblaka točk (na podlagi strojnega učenja), kjer se identificira točke, ki pripadajo strešnim ploskvam,
- višinsko analizo oblaka točk za segmentacijo strešnih ploskev, pri čemer se upoštevajo skoki v višini, ki kažejo na spremembe v strešni strukturi,
- prepoznavanjem obrisov streh in členitvijo kompleksnih struktur na podlagi barvnih, teksturnih in spektralnih značilnosti z uporabo strojnega učenja na popolnem ortofotu.

5.1.3.4 Postopek

Na podlagi izkušenj in rezultatov testa so bili določeni naslednji procesni koraki za izvedbo.

1. Določitev enoličnega identifikatorja stavbe v DTM
2. Predelava vhodnih podatkov
3. Avtomatizirana izdelava 2D poligonov stavb CLSS
4. Preverba atrijev
5. Avtomatizirano uparjanje atributov DTM/KN na poligone stavb CLSS
6. Prostorska analitika za identifikacijo ročnih popravkov in kontrolo
7. Ročni pregled in izvedba posamičnih popravkov
8. Masovni ročni popravki
9. Dopolnitev uparjanja atributov DTM/KN tlorisov stavb CLSS
10. Generiranje karakterističnih linij streh stavb in izračun karakterističnih višin
11. Ocena kakovosti 2,5D podatkov
12. 3D modeliranje in izračun atributov 3D modelov
13. Modeliranje cerkvenih zvonikov
14. Ocena kakovosti 3D modelov

Za masovno izdelavo 2,5D poligonov in 3D modelov stavb so bile določene naslednje vloge:

- naročnik (GURS)
- zunanji kontrolor (GI)
- izvajalec izvednotenja (eden ali več komercialnih ponudnikov)

5.1.3.5 Rezultati

Produksijski test je bil izveden na testnem območju velikosti 3 x 1 km², ki je vključevalo različne tipe poselitve: mestno središče, stanovanjsko sosesko, območje enodružinskih hiš, podeželsko naselje.

Za izdelavo 3D modelov, sta bili v testu preizkušeni dve neodvisni tehnološki liniji 3D modeliranja stavb iz vhodnih podatkov, ki sta jih izvedla dva različna izvajalca.

V sklopu testa sta bili izdelani vzorčni datoteki 3D modelov v CityGML formatu. Določen je bil končni nabor vsebinskih in tehničnih atributov, ki jih je potrebno zagotoviti za 2,5D poligone in 3D modele stavb ter načela za izračun oziroma določitev teh atributov.

Na podlagi rezultatov je bil pripravljen predlog tehnične dokumentacije za masovno avtomatizirano izrednotenje 2,5D poligonov stavb in 3D modelov stavb iz podatkov CLSS.

Ovrednoteni so bili rezultati testa (2,5D poligoni in 3D modeli stavb). Na podlagi ovrednotenja so bile dopolnjene in spremenjene zahteve ter uvedena ocena kakovosti rezultatov.

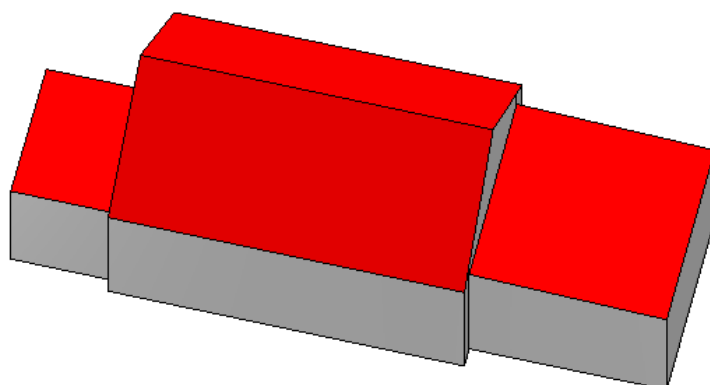
Ločena ocena kakovosti 2,5D poligonov in 3D modelov stavb je bila podrobno opredeljena v skladu s priporočili mednarodnega standarda ISO 19157.

Na osnovi preizkusa avtomatiziranega izrednotenja 2,5D geometrije izbranih vrst prostorskih objektov DTM je bilo ugotovljeno, katere vrste objektov (druge zgradbe in naprave) je mogoče identificirati in izrednotiti njihovo geometrijo v skladu z zahtevami DTM.

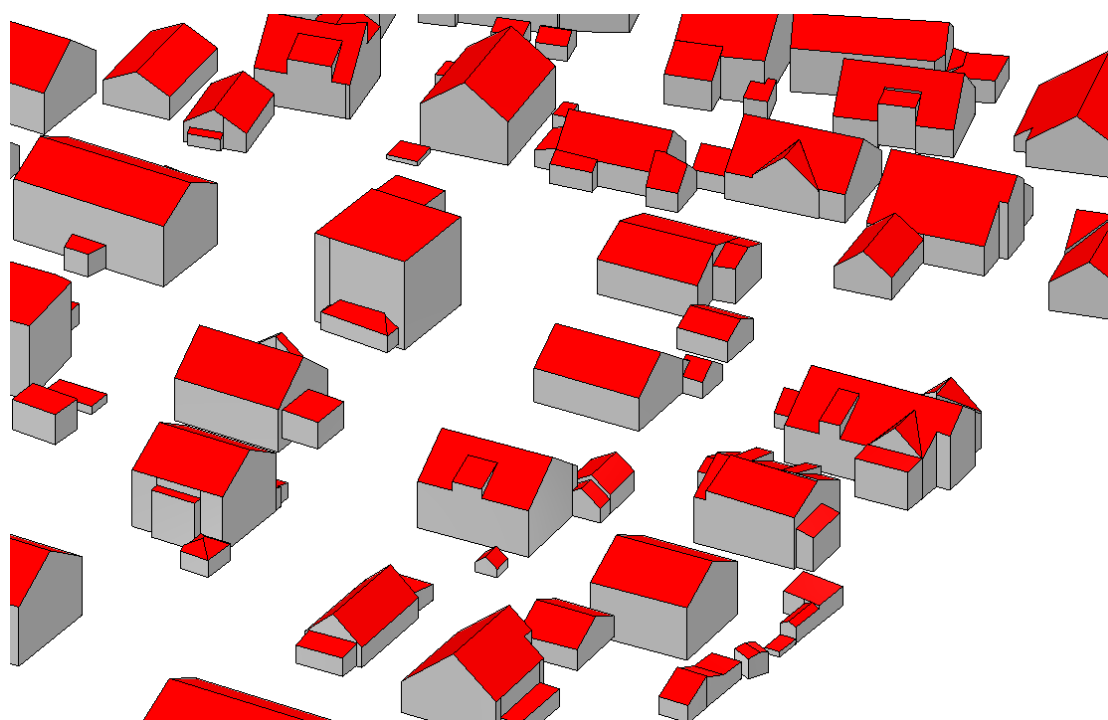
V nadaljevanju je prikazan primer 2,5D poligonov in 3D modelov stavb na testnem območju.



Slika 33: Avtomatizirano izrednoteni 2,5D poligoni tlorisa stavbe v tem testu.



Slika 34: Avtomatizirano izvedenoten 3D model iste stavbe v tem testu.



Slika 35: Avtomatizirano izvedenoten 3D modeli stavb v tem testu.

5.1.3.6 Zaključki in izzivi

Zaključke in izzive podajamo ločeno za avtomatizirano izvedenotenje 2,5D poligonov streh stavb in 3D modelov stavb.

2,5D poligoni streh stavb

Rezultati avtomatizirane metode (še) ne uspejo izpolniti vseh postavljenih zahtev, zato je potrebno določen del poligonov stavb urediti ročno (identifikacija in ureditev atrijev, členitev za ustrezno uparjanje z DTM/KN, izločitev enojnih kozolcev, odprava poligonov delov stavb, ki ne ustrezajo minimalnim površinskim in višinskim kriterijem).

Nekaterih stavb na osnovi podatkov CLSS z avtomatizirano metodo ni mogoče izvedenotiti (vkopani objekti, objekti ali njihovi deli pod vegetacijo, manjši objekti). Posledično bodo vključeni na osnovi evidenc stavb DTM in KN oz. ne bodo evidentirani, če jih v evidencah še ni.

Celovita ročna kontrola avtomatizirano izrednotenih objektov se ne izvaja. Ročna kontrola in popravki se izvajajo usmerjeno za del objektov, določenih na podlagi zaznanih sistematičnih odstopanj in dodatne podatkovne analitike.

Za zagotavljanje kakovosti (pretežno) avtomatizirano izrednotenih poligonov stavb se uvede ocena kakovosti. Ocena kakovosti služi za potrjevanje/zavračanje rezultatov med samo izvedbo. Glede na element kakovosti, se ocena izvaja bodisi na celotnem sloju bodisi na reprezentativnem vzorcu.

Za bodoče vzdrževanje podatkov stavb na osnovi teh virov in metode, se uporabi identifikacija sprememb, njihova obdelava ter vključitev v zvezni podatkovni sloj. Zaradi potrebnega ročnega urejanja zamenjava celotnega sloja ob vsakokratni posodobitvi ni smiselna.

3D modeli stavb

Avtomatizirana izdelava 3D modelov pri obeh izvajalcih ne uspe zagotoviti vsebinsko ustreznega detajla strešnih ploskev pri bolj kompleksnih strehah. Prav tako ni zagotovljena višinska ustreznost in ujemanje lomnih točk strehe stavbe po višini. Te vrste odstopanja bodo ostala.

Zagotavljanje topološke ustreznosti 3D modelov v skladu z zahtevami mednarodnih standardov je izziv. 100 % ustreznost 3D geometričnih gradnikov v skladu z ISO 19107 je zgolj teoretično mogoča, v praksi se dopušča do 1% napak te vrste.

Ročna kontrola in popravki avtomatizirano izrednotenih 3D modelov se ne izvaja.

Za zagotavljanje kakovosti avtomatizirano izrednotenih 3D modelov stavb se uvede ocena kakovosti. Ocena kakovosti (izbrane cenilke) služi za potrjevanje/zavračanje rezultatov med samo izvedbo. Glede na element kakovosti, se ocena izvaja bodisi na celotnem sloju bodisi na reprezentativnem vzorcu.

Za bodoče vzdrževanje podatkov stavb na osnovi teh virov in metode, se uporabi identifikacija sprememb, njihova obdelava ter vključitev v zvezni podatkovni sloj. Zaradi potrebnega ročnega urejanja zamenjava celotnega sloja ob vsakokratni posodobitvi ni smiselna.

Tehnično in semantično ustrezni 3D modeli stavb, ki so povezani z 2,5D tlorisi stavb, imajo določene relevantne vsebinske atribute, izvedeno in objavljeno oceno kakovosti ter so izdelani z avtomatizirano metodo za večje območje. Imajo manjšo višinsko in vsebinsko ustreznost detajla strešnih ploskev. Ocenjujemo, da so 3D modeli kot novi produkt naročnika primerni za javno objavo in distribucijo. Njihova dostopnost bo omogočila širšo uporabo, spodbujala nadaljnji razvoj metod in podpirala izobraževanje uporabnikov.

5.2 Kontrola in vrednotenje rezultatov testa (Akt. 3.3)

Rezultati testa so vrednoteni glede na predlagano metodologijo ter stanje katastra nepremičnin. Izdelana je analiza ujemanja in povezljivosti 3D modelov stavb iz testa „Produksijski test avtomatizirane izdelave 2,5D in 3D modelov stavb“ in 3D modelov iz etažnih načrtov KN.

5.2.1 Analiza ujemanja in povezljivosti 3D modelov stavb iz testa „Produksijski test avtomatizirane izdelave 2,5D in 3D modelov stavb“ in 3D modelov iz etažnih načrtov KN

5.2.1.1 Cilji testa

Cilj testa je bila primerjava 3D modelov stavb iz naloge „Produksijski test avtomatizirane izdelave 2,5D in 3D modelov stavb“ in 3D modelov iz etažnih načrtov KN. Primerjava je bila izvedena po več dejavnikih za nekaj primerov tipskih stavb. Na osnovi rezultatov primerjave se lahko izvede ocena kakovosti atributov (višine) in geometrije (tloris) evidentiranih podatkov o stavbah v KN, opredeli možnost popravkov geometrije registrskih podatkov v KN, opozori na razlike v konceptualnih izhodiščih za 3D modeliranje in preuči možnosti uporabe rezultatov produkcijskega testa za KN.

5.2.1.2 Vhodni podatki

V testu so bili uporabljeni naslednji vhodni podatki:

- 3D modeli stavb iz produkcijskega testa v formatu CityGML,
- 2D tlorisi in 3D modeli stavb, ki so bili za potrebe tega testa izdelani v formatu CityGML.

5.2.1.3 Postopek

Za izvedbo testa je bilo izbranih 12 stavb na območju, kjer so na voljo tudi podatki produkcijskega testa (območje Straže pri Novem mestu).

Stavbe so bile izbrane po naslednjih kriterijih:

- obstoj podatkov za 3D model v KN,
- stavba, ki ima en del stavbe, eno etažo in ima vsoto površin delov stavb manjšo kot 30 m², višina največ 5m (enostavni objekt),
- stavba z ravno streho, prva etaža stavbe je pritličje,
- stavba, ki je v topografskem modelu zajeta v več členih (Building Part),
- stavba, ki je v topografskem modelu zajeta v enem členu (Building Part).



Slika 36: Izbrane stavbe, pomen barv: Status podatkov: katastrski vpis (modro), registrski vpis (rumeno), ni v KN (sivo)

Primerjava podatkov obsega primerjavo atributnih podatkov, višin stavb ter izračun deleža ujemanja volumnov.

Za izbrane tipske stavbe je bila izvedena analiza v naslednjih sklopih:

- podatkovni model,
- semantične razlike,
- ujemanje geometrij,
- primerjava tehničnih atributov (volumen, višina, površina),
- povezljivost,
- posebnosti pri modeliranju.

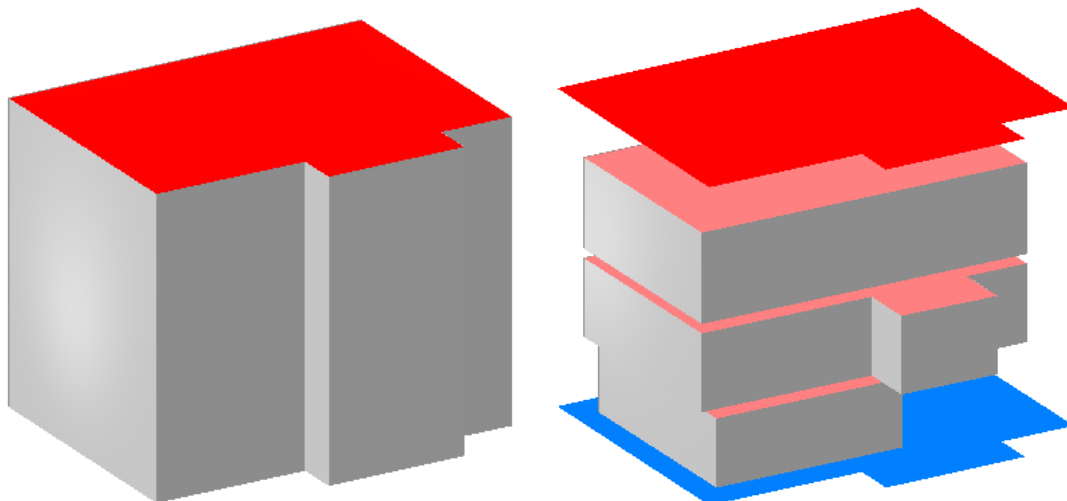
5.2.1.4 Rezultati analize

5.2.1.4.1 Analiza podatkovnih modelov

V nadaljevanju so povzete osnovne značilnosti geometrije podatkovnih modelov (podatkovnega modela katastra nepremičnin, poskusnega podatkovnega modela iz podatkov katastra nepremičnin ter podatkovnega modela iz produkcijskega testa):

Kataster nepremičnin (KN)

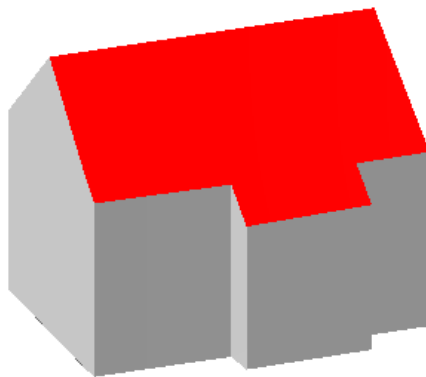
- *obstoječi:*
 - vodi se ploskovna geometrija etaže in dela stavbe ter povezava na atributno tabelo,
 - za volumen (Solid) in ostale semantične ploskve (npr. stene) se geometrija ne vodi,
 - raven podrobnosti je primerljiva z LoD 0.2.
- *poskusni:*
 - format CityGML 3.0,
 - raven podrobnosti LoD 1.2,
 - modelirana zunanost in notranost stavbe,
 - modelirana geometrija za volumen (Solid) in sematične ploskve
zunanost: Building, GroundSurface, RoofSurface, WallSurface, Solid
notranost: BuildingRoom, BuildingUnit, Storey, FloorSurface, CeilingSurface, InteriorWallSurface, Solid



Slika 37: Prikaz 3D modela stavbe iz podatkov KN, zunanosti stavbe (levo), notranosti (desno)

Produkcijski test

- format CityGML 2.0,
- raven podrobnosti LoD 2.1 do 2.2,
- modelirana samo zunanost stavbe,
- modelirana geometrija za volumen (Solid) in semantične ploskve
zunanost: Building, BuildingPart, GroundSurface, RoofSurface, WallSurface, Solid



Slika 38: Prikaz 3D modela stavbe (zunanosti) iz produkcijskega testa

Podatkovni model CityGML 2.0 je strojno prevedljiv v in različico 3.0.

5.2.1.4.2 Analiza semantičnih razlik

Zaradi različnih pravil in kriterijev za evidentiranje stavb v KN in produkcijskem testu so prisotne naslednje semantične razlike, ki jih je potrebno upoštevati pri skupni uporabi teh podatkov:

Geometrija

V KN je geometrija zunanosti stavbe evidentirana z enovitim poligonom. Dodatno je evidentirana tudi geometrija notranosti stavbe (etaž, delov stavbe).

3D geometrija se modelira na osnovi evidentiranega tlorisa in (nadmorskih) višin.

V produkcijskem testu je geometrija stavbe členjena v več členov (BuildingPart), če so izpolnjeni postavljeni kriteriji (npr. višinska razlika med členi stavbe). Geometrija notranosti ni evidentirana.

3D geometrija se modelira na osnovi pretežno avtomatizirano izvedenega 2D poligona tlorisa strehe stavbe in lidarskega oblaka točk (CLSS).

Nadmorske višine

V KN se vodijo tri karakteristične nadmorske višine za zunanost posamezne stavbe ter nadmorska višina in višina posamezne etaže, ki so bile tudi uporabljene za 3D modeliranje:

- H1 - najnižja nadmorska višina stavbe,
- H2 - najvišja nadmorska višina stavbe,
- H3 – karakteristična nadmorska višina stavbe,
- nadmorska višina tal posamezne etaže,
- višina posamezne etaže.

3D geometrija stavbe je modelirana na osnovi teh nadmorskih višin:

- GroundSurface: H1 oz. H3, če H1 ni evidentirana
- RoofSurface: H2
- FloorSurface: nadmorska višina etaže
- CeilingSurface: nadmorska višina + višina etaže

V produkcijskem testu se evidentirajo štiri karakteristične nadmorske višine:

- Z_MAX - najvišja nadmorska višina stavbe,
- Z_SLEM - nadmorska višina najvišjega slemena stavbe,
- Z_KAP - nadmorska višina najnižje kapi stavbe,
- Z_TEM - nadmorska višina najnižjega dela terena ob stavbi.

Nadmorske višine 3D geometrije stavbe so izračunane po postavljenih pravilih iz lidarskega oblaka točk (CLSS) in uporabljene za modeliranje geometrije. Z_MAX ni uporabljena za geometrijo in se vodi samo kot atribut.

Z_MAX je pomensko enaka H2 (obe upoštevata najvišjo nadmorsko višino konstrukcije stavbe). Kadar je v tej višini (H2) upoštevan npr. dimnik, ki sega čez sleme stavbe, bo posledično 3D model iz KN višji, kot 3D model iz produkcijskega testa, ki je modeliran na višino slemena.

Kadar ima stavba podzemno/e etaže (H1 je manjša od H3) bo 3D model iz KN segal v teren, 3D model iz produkcijskega testa pa bo »stal« na terenu.

Višina

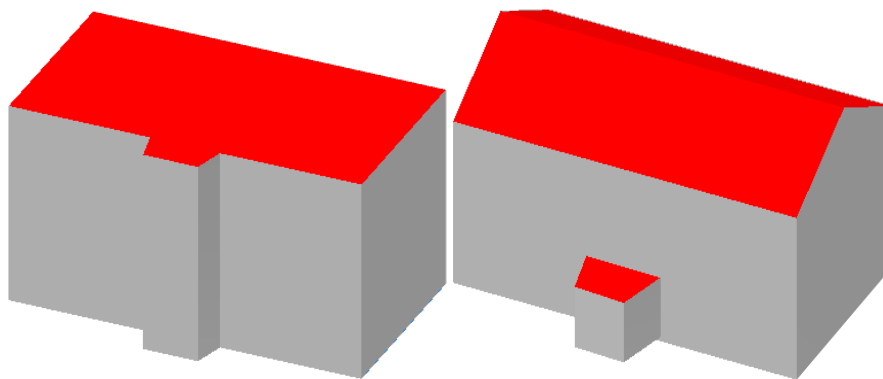
V 3D modelu iz KN se višina stavbe izračuna kot razlika $H2 - H1$. Ta višina predstavlja višino celotne konstrukcije stavbe (vključno z podzemnim delom, če obstaja).

V 3D modelu iz produkcijskega testa se višina stavbe izračuna kot razlika $Z_SLEM - Z_TEM$. Ta višina predstavlja višino konstrukcije stavbe nad terenom.

Volumen

V 3D modelu iz KN se volumen izračuna kot produkt površine tlorisa stavbe in izračunane višine stavbe. Ta volumen vključuje tudi podzemne dele stavbe (če obstajajo), presežke na strehi (ni upoštevana poševnina strehe) in presežke na obodu stavbe.

V 3D modelu iz produkcijskega testa se volumen izračuna iz geometrije volumna (Solid). Upoštewane so evidentirane poševnine strehe in nižji deli oboda stavbe. Niso pa vključeni podzemni deli stavbe (če obstajajo).








Slika 39: Primerjava 3D modela zunanosti stavbe po podatkih KN (levo) in iz produkcijskega testa (desno).

5.2.1.4.3 Analiza ujemanja geometrije

Zaradi različnih pravil in kriterijev za evidentiranje stavb, virov in tehnologije zajema ter ažurnosti, so prisotne razlike geometrije tlorisa strehe stavbe v KN in produkcijskem testu.

Prikaz primerjave tlorisov stavbe iz katastra nepremičnin in tlorisov stavbe iz produkcijskega testa:

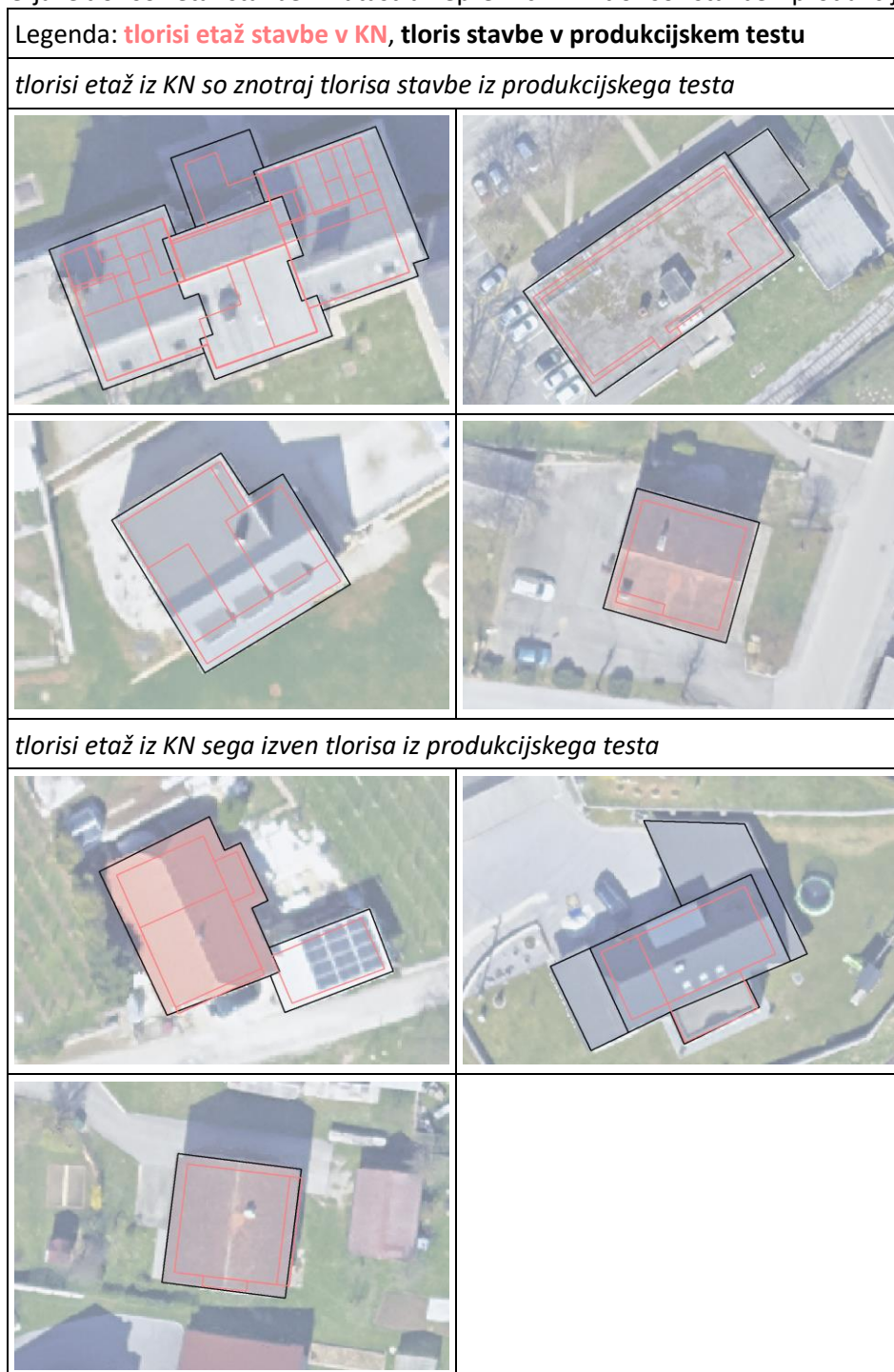
| Legenda: tloris stavbe v KN , tloris stavbe v produkcijskem testu | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <ul style="list-style-type: none">• zamik tlorisov• razlika v detajlu tlorisa• širše zajeta geometrija v produkcijskem testu• v produkcijskem testu tloris zajet v več kosih (PART) |
|  | <ul style="list-style-type: none">• zamik tlorisov• širše zajeta geometrija v KN |
|  | <ul style="list-style-type: none">• v KN nadzemni tloris stavbe zajet po stiku stavbe s tlemi• v produkcijskem testu tloris zajet v več členih (BuildingPart) |
|  | <ul style="list-style-type: none">• v produkcijskem testu zajeti dodatni tlorisi (npr. nadstrešek)• v produkcijskem testu tloris zajet v več členih (BuildingPart) |
|  | <ul style="list-style-type: none">• zamik tlorisov• razlika v detajlu tlorisa (desna stran stavbe) |

Geometrije tlorisov etaž stavb v KN (kjer so evidentirane) so v splošnem znotraj tlorisa strehe stavbe iz produkcijskega testa.

Kjer je geometrija stavbe iz produkcijskega testa členjena v več členov (BuildingPart), se ta členitev ne ujema z razdelitvijo v etažah, kar ne predstavlja težave, saj gre za semantično drugačno členitev stavbe v podatkovnem modelu CityGML (BuildingPart in BuildingUnit/Storey), ki ima ločeno geometrijo.

Višinsko sega 3D geometrija etaž iz KN izven 3D modela iz produkcijskega testa pri podzemnih delih stavbe, poševnih strehah in nižji delih obodov stavbe.

Prikaz primerjave tlorisov etaž stavbe iz katastra nepremičnin in tlorisov stavbe v produkcijskem testu:



5.2.1.4.4 Primerjava tehničnih atributov (volumen, višina, površina)

Primerjava tehničnih atributov vsebuje:

- prikaz 3D modelov stavb,
- analizo ujemanja podatkov in volumnov 3D modelov stavb iz produkcijskega testa in katastra nepremičnin.

Rezultati primerjave so v Prilogi 2.

5.2.1.4.5 Analiza povezljivosti

Povezljivost med 3D modeli iz KN in produkcijskega testa je zagotovljena preko enoličnega identifikatorja stavbe v KN, ki se vodi tudi v 3D modelih iz produkcijskega testa. Kadar je 3D model členjen v več členov (BuildingPart) imajo vsi členi pripisan relevantni identifikator iz KN.

V sklopu izdelave 3D modelov stavb za produkcijski test se izvede verifikacija stavb, ki so evidentirane v KN, nimajo pa para v produkcijskem testu. Tako lahko preko identifikatorjev, ki niso prisotni v 3D modelih iz produkcijskega testa, identificiramo stavbe, ki na terenu ne obstajajo več in so predmet izbrisa v KN.

Podatki iz produkcijskega testa na osnovi omenjene atributne povezave in z dodatnimi prostorskimi analizami lahko uporabni za

- posodobitev registrsko vpisanih stavb v KN (geometrija in/ali atribut),
- vir za opozorila za spremembe v KN (nova/spremenjena/brisana stavba),
- evidentiranje enostavnih objektov po uradni dolžnosti.

5.2.1.4.6 Posebnosti pri modeliranju

1. Način evidentiranja stavb v katastru nepremičnin omogoča prekrivanja nadzemnih tlorisov stavb (seganje stavb čez). V CLSS se v takih primerih tlorisi na prekrivajo. Pri trenutni ravni podrobnosti modeliranja zunanosti 3D modelov stavb v KN (LoD 1.2), bo v takih primerih prisotno prekrivanje 3D modelov stavb.
2. V KN deli stavb (BuildingUnit) nimajo evidentirane merjene geometrije, gre za shematske prikaze (geometrija je vektorizirana, merjen podatek je atribut površine).

5.2.1.5 Zaključki in predlogi

Analiza podatkov 3D modelov stavb, izvedena na izbranem vzorcu stavb, je pokazala pričakovana odstopanja med modelom iz produkcijskega testa in modelom iz katastra nepremičnin. Vključen je bil pregled skladnosti podatkov karakterističnih nadmorskih višin stavb, površin tlorisov stavb in volumnov. Izvedena je bila tudi primerjava pomensko bolj podobnih volumnov – volumen nadzemnega dela stavbe, ki je bil dobljen z simulacijo obstoječih podatkov.

Primerjava volumnov je pokazala, da lahko pri večini stavb dosežemo delež odstopanja znotraj 10%, če upoštevamo izločitev podzemnih etaž in presežka zaradi poševnin strehe. To nakazuje na smiselnost ločenega podajanja volumna nadzemnega in podzemnega dela stavbe.

Določena večja odstopanja volumnov bodo ostala, saj so posledica napak v evidentiranih višinah in geometriji tlorisa stavbe, višinski razgibanosti zunanosti stavbe in pomensko drugačni interpretaciji relevantnih karakterističnih nadmorskih višin.

V evidenco katastra nepremičnin je smiselno sistematično vključiti označbo podzemne/ih etaž. To bi omogočilo boljše ločevanje nadzemnih in podzemnih volumnov ter omogočilo bolj relevantno analizo odstopanj, zlasti pri primerjavah s podatki, zajetimi iz masovnih virov (npr. CLSS).

Za nadaljnji dolgoročni razvoj podatkovnega 3D modela stavb v katastru nepremičnin (notranjost in zunanost) je smiselno slediti konceptualnemu modelu CityGML 3.0. Ta pozna fizično/funkcionalno delitev zunanosti posamezne stavbe v člene (BuildingPart) in logično delitev notranjosti v etaže (Storey) in/ali dele stavb po lastništvu (stavbne enote – BuildingUnit). Pri tem je osnovna enota modeliranja notranjosti stavbe prostor (BuildingRoom), ki jih povezujemo v etaže in dele stavbe.

6 DISEMINACIJA (DP 4)

6.1 Diseminacija za strokovno in znanstveno javnost (Akt. 4.1)

Najpomembnejši znanstveni dosežki projektne skupine:

- Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci

RADOVAN, D., OVEN, K., TEKAVEC, J., MESNER, A., ŠRAJ, A., POGORELČNIK, E. (2023). 3D kataster. V: 51. geodetski dan : Večrazsežno modeliranje prostora : Brdo pri Kranju 15.–16. november 2023. Ljubljana; Brdo pri Kranju: Zveza geodetov Slovenije: Društvo geodetov Gorenjske. 2023, 1-2 str. https://app.gis.si/01_POVZETKI/GD2023_Povzetek_Radovan.pdf, http://www.geodetskidan.si/assets/files/3_2.pdf [COBISS.SI-ID 182604803]

Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine

- Samostojni znanstveni sestavek ali poglavje v monografski publikaciji

ČERNE, T. (2023). 11. člen : (Poslovanje in eGraditev). V: KOVAČ, Polonca (ur.), et al. Komentar Gradbenega zakona (GZ-1). 1. natis. Ljubljana: Uradni list Republike Slovenije, str. 116-122. Zbirka predpisov. ISBN 978-961-204-701-6. [COBISS.SI-ID 160418563]

Objavljeni povzetek strokovnega prispevka na konferenci

BREZEC, J., STROPNIK, K., TEKAVEC, J. (2024). Implementing a digital building permit system in Slovenia – current status and aspirations for the future. V: NOARDO, Francesca (ur.), FAUTH, Judith (ur.). DBP' 24 : Digital Building Permit Conference 2024 : proceedings : 18-19 April 2024 Barcelona COAC. [Barcelona]: EUnet4DBP, 2024. Str. 256-257. EUnet4DBP Publication Series. https://www.bim-events.de/wp-content/uploads/2024/07/DBPconf24_Proceedings.pdf, DOI: 10.5281/zenodo.12760552. [COBISS.SI-ID 213967363]

- Lisec je bila mentorica pri magistrskem delu

ČRNIGOJ, N. (2024). Študija katastrskega urejanja in evidentiranja nepremičnin cestne infrastrukture za primere mostov in predorov : magistrsko delo = Study of the cadastral arrangements and registration of road infrastructure's real properties for the cases of bridges and tunnels : master thesis. <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=162782> [COBISS.SI-ID 209787651]

Lisec in Tekavec sta bila mentorja pri magistrskem delu

ŠTIMAC, J. (2025). Izdelava etažnih načrtov in 3D modela stanovanjskega objekta na podlagi zajema z različnimi metodami : magistrsko delo = Creation of floor plans and a 3D model of a residential building based on capture using various methods : master thesis., <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=167517> [COBISS.SI-ID 227415299]

- Objava v poporčilu EUROSDR

<https://www.eurosd.net/news/eurosd-annual-report-2024>, str. 44.

Naknadne objave bomo po zaključku projekta dodal na spletno stran projekta.

6.2 Poročanje naročnikoma in zaključna priporočila projekta (Akt. 4.2)

Z naročnikom smo izvedli več delovnih sestankov in predstavitev:

- 30. 11. 2023
- 12. 12. 2023
- 24. 4. 2024
- 4. 7. 2024
- 14. 11. 2024
- 16. 4. 2025
- 19. 5. 2025

Priporočila so sestavni del zaključnega poročila.

7 PRILOGE

Priloga 1: Razvrstitev objektov glede na zahtevnost ter CCSI klasifikacijo

Priloga 2: Analiza podatkov ujemanja podatkov 3D modelov produkcijskega testa in podatkov 3D modelov iz katastra nepremičnin

8 LITERATURA

3Dfier, 2024. https://tudelft3d.github.io/3dfier/lod_buildings.html (Pridobljeno 3. 4. 2024.)

4th Questionnaire on 3D Land Administration: status, Australia NSW (2022)

4th Questionnaire on 3D Land Administration: status, Australia Victoria (2022)

4th Questionnaire on 3D Land Administration: status, Australia Queensland (2022)

Atazadeh, B., Kalantari, M., Rajabifard, A., Ho, S., Ngo, T. 2017. Building Information Modelling for High-rise Land Administration. *Transactions in GIS*, 21(1), 91–113.

<https://doi.org/10.1111/tgis.12199>

Atazadeh, B., Rajabifard, A., & Olfat, H. 2023. Proposing a multi-jurisdictional framework for 3D digital cadastre in Australia and New Zealand. *Land Use Policy*, 131(March), 106714.

<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2023.106714>

Biljecki, F., Ledoux, H., Stoter, J. 2016. An improved LOD specification for 3D building models. *Computers, Environment and Urban Systems* 59: 25–37.

<https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2016.04.005>

Biljecki, F., Ledoux, H., Stoter, J., Vosselman, G. 2016. The variants of an LOD of a 3D building model and their influence on spatial analyses. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 116: 42–54.

<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.03.003>

Biljecki, F., Stoter, J., Ledoux, H., Zlatanova, S., Çöltekin, A. 2015. Applications of 3D city models: state of the art review. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 4, 4: 2842–2889.

<https://doi.org/10.3390/ijgi4042842>

DigSam. 2024. <https://www.smartbuilt.se/projekt/informationsinfrastruktur/digsam/> (Pridobljeno 3. 4. 2024.)

Eriksson, H., Johansson, T., Olsson, P. O., Andersson, M., Engvall, J., Hast, I., Harrie, L. 2020.

Requirements, development, and evaluation of a national building standard—a Swedish case study.

ISPRS International Journal of Geo-Information, 9(2). <https://doi.org/10.3390/ijgi9020078>

Geodata-BIM, 2024.

<https://www.smartbuilt.se/projekt/informationsinfrastruktur/leveransspecifikationer/> (Pridobljeno 3. 4. 2024.)

Haanen, A., Needham, J., Fraser, R., & Dolling, M. 2023. No More Survey Plans! Towards Fully Digital Cadastral Survey Datasets. *FIG Working Week 2023; 28 May–1 June 2023; Orlando, Florida, USA.*

https://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig2023/papers/ts08j/TS08j_haanen_needham_et_al_11989_abs.pdf (Pridobljeno 3. 4. 2024.)

Kresse, W., Danko, D. M. 2012. *Handbook of Geographic Information*. Berlin, Heidelberg, Springer

Berlin Heidelberg: 1120 str. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-72680-7>

Kutzner, T., Chaturvedi, K., Kolbe, T. H. 2020. CityGML 3.0: New Functions Open Up New Applications. PFG – Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science 88: 43–61. <https://doi.org/10.1007/s41064-020-00095-z>

Larsson, K., Paasch, J. M., Paulsson, J. 2018. Conversion of 2D Analogue Cadastral Boundary Plans into 3D Digital Information : problems and challenges illustrated by a Swedish case. 6th International FIG 3D Cadastre Workshop; 2-4 October 2018; Delft, The Netherlands, October, 75–94.

Larsson, K., Paasch, J. M., Paulsson, J. 2020. Representation of 3D cadastral boundaries - From analogue to digital. Land Use Policy, 98 (April 2019), 104178. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104178>

Löwner, M.-O., Gröger, G., Benner, J., Biljecki, F., Nagel, C., 2016: **Proposal for a new LOD and multi-representation concept for CityGML**. In: Proceedings of the 11th 3D Geoinfo Conference 2016, ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. IV-2/W1, 3–12. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-2-W1-3-2016>

OGC, 2024. <https://docs.ogc.org/guides/20-066.html#overview-section-levelsofdetail> (Pridobljeno 26. 3. 2024).

OGC. 2021. OGC City Geography Markup Language (CityGML) Part 1: Conceptual Model Standard, ver. 3.0: 429 str. <https://docs.ogc.org/is/20-010/20-010.html#toc0> (Pridobljeno 28. 3. 2024).

Ohuri, K. A., Ledoux, H., Peters, R. 2024. 3D modelling of the built environment. 143 str. <https://github.com/tudelft3d/3dbook/releases/tag/v0.8> (Pridobljeno 28. 3. 2024.)

Oldfield, J., Van Oosterom, P., Beetz, J., Krijnen, T. F. 2017. Working with open BIM standards to source legal spaces for a 3D cadastre. ISPRS International Journal of Geo-Information, 6(11). <https://doi.org/10.3390/ijgi6110351>

SBE. 2024. Smart Built Environment. <https://www.smartbuilt.se/in-english/> (Pridobljeno 3. 4. 2024.)

Stoter, J., Ho, S., Biljecki, F. 2019. Considerations for a contemporary 3D cadastre for our times. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 42(4/W15), 81–88. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W15-81-2019>

Stoter, J., Ploeger, H., Roes, R., Riet, E. Van Der, Biljecki, F., Ledoux, H., Kok, D., Kim, S. 2017. Registration of Multi-Level Property Rights in 3D in The Netherlands: Two Cases and Next Steps in Further Implementation. ISPRS International Journal of Geo-Information, 6(6), 158. <https://doi.org/10.3390/ijgi6060158>

Stoter, J., Salzmann, M. 2001. Towards a 3D cadastre: where do cadastral needs and technical possibilities meet? 1st International Workshop on 3D Cadastres, 28-30 November 2001, Delft, the Netherlands, 115–135.

Tarsha-Kurdi, F., Landes, T., Grussenmeyer, P., Koehl, M. 2007. Model-driven and data-driven approaches using LIDAR data: Analysis and comparison. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science XXXVI-3/W4, W49A: 87–92.

Uggla, M., Olsson, P., Abdi, B., Axelsson, B., Calvert, M., Christensen, U., Gardevärn, D., Hirsch, G., Jeansson, E., Kadric, Z., Lord, J., Loreman, A., Persson, A., Setterby, O., Sjöberger, M., Stewart, P.,

Rudenå, A., Ahlström, A., Bauner, M., ... Harrie, L. 2023. Future Swedish 3D City Models— Specifications, Test Data, and Evaluation. ISPRS International Journal of Geo-Information, 12(2), 47. <https://doi.org/10.3390/ijgi12020047>