

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Jemec, L., 2016. Izdelava modela konstrukcij BIM na osnovi oblakov točk. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Cerovšek, T., somentorica Kosmatin Fras, M.): 60 str.

<http://drugg.fgg.uni-lj.si/5815/>

Datum arhiviranja: 18-10-2016

University
of Ljubljana
Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Jemec, L., 2016. Izdelava modela konstrukcij BIM na osnovi oblakov točk. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Cerovšek, T., co-supervisor Kosmatin Fras, M.): 60 pp.

<http://drugg.fgg.uni-lj.si/5815/>

Archiving Date: 18-10-2016

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*

Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si



**UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM GRADBENIŠTVO
KOMUNALNA SMER**

Kandidat:

LUKA JEMEC

**IZDELAVA MODELA KONSTRUKCIJ BIM NA OSNOVI
OBLAKOV TOČK**

Diplomska naloga št.: 3508/KMS

**THE DEVELOPMENT OF STRUCTURAL BIM MODEL
FROM POINT CLOUDS**

Graduation thesis No.: 3508/KMS

Mentor:

doc. dr. Tomo Cerovšek

Somentorica:

doc. dr. Mojca Kosmatin Fras

Ljubljana, 15. 09. 2016

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo
-----------------------	-------------------------	----------------	---------------

Ta stran je namenoma prazna.

IZJAVE

Spodaj podpisani študent Luka Jemec, vpisna številka 26103864, avtor pisnega zaključnega dela študija z naslovom: Izdelava modela konstrukcij BIM na osnovi oblakov točk.

IZJAVLJAM

1. da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;
2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;
3. da sem pridobil/-a vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil/-a;
4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal/-a v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil/-a soglasje etične komisije;
5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;
6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;
7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

Ljubljana, 2. 9. 2016

Podpis študenta:

Luka Jemec

Ta stran je namenoma prazna.

BIBLIOGRAFSKO- DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	004.2:528.8(043.2)
Avtor:	Luka Jemec
Mentor:	doc. dr. Tomo Cerovšek
Somentorica:	doc. dr. Mojca Kosmatin Fras
Naslov:	Izdelava modela konstrukcij BIM na osnovi oblakov točk
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	60 str., 1 pregl., 43 sl.
Ključne besede:	Daljinsko zaznavanje, BIM, model konstrukcij BIM, modeliranje iz oblaka točk, geometrijske in negeometrijske informacije

Izvleček

V diplomski nalogi smo obravnavali tehnološko napredne metode zajema podatkov o obstoječih zgradbah, pripravo teh podatkov za uvoz v programe BIM in izdelavo modela konstrukcij BIM. Pri zajemu informacij smo poudarili pridobivanje podatkov o geometriji zgradb z metodami daljinskega zaznavanja, ki obsegajo različne tehnologije od zračnega lidarskega snemanja do 3D-skenerjev kratkega dosega.

V nadaljevanju smo predstavili zahteve in kriterije za uporabo oblakov točk, ki je osrednji medij geometrijskih podatkov pri daljinskem zajemu podatkov za proces BIM. Predstavili smo programska orodja za izdelavo modelov BIM iz oblakov točk od najbolj enostavnega do najbolj naprednega.

Ker oblaki točk zagotavljajo samo informacije o površini konstrukcije, smo predstavili metode za preučevanje nevidnih delov konstrukcij in kot napredni možnosti predstavili georadar in termografijo.

V zadnjem delu naloge smo razložili proces od terenske izmere do izdelave modela BIM, s poudarkom na vnašanju informacij o toplotnih prevodnostih konstrukcij.

Ta stran je namenoma prazna.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	004.2:528.8(043.2)
Autor:	Luka Jemec
Supervisor:	Assist. Prof. Tomo Cerovšek, Ph.D.
Co-advisor:	Assist. Prof. Mojca Kosmatin Fras, Ph.D.
Title:	The development of structural BIM model from point clouds
Document type:	Graduation Thesis – University studies
Notes:	60 p., 1 tab., 43 fig.
Key words:	Remote sensing, BIM, structural BIM model, modelling from point clouds, geometric and non-geometric information

Abstract

This thesis provides a study of technologically advanced methods for the point data data capturing of existing buildings, point cloud data processing the use in the development of structural building information model (BIM). As surveying techniques for the remote sensing technologies are considered as a main source of information for the geometry of buildings, we explore a wide spectrum of technologies, e.g., airborne laser scanning to short range 3D scanners.

Furthermore, the requirements and criteria for the use of point clouds, which are the main medium of geometric data for remote sensing in the observed BIM process are explained. In this context the point clouds software tools for BIM modeling are presented.

As the point clouds only provide information about the surface of the structure, methods for the investigation of the invisible parts of the structure are presented, e.g., a ground penetrating radar and thermography are proposed.

The last part of the thesis explains the process from field surveying to the development of a BIM model with an emphasis on the addition of the information that would allow for the use of BIM model for energy analysis.

Ta stran je namenoma prazna.

ZAHVALA

Za strokovne nasvete pri nastajanju diplomske naloge se zahvaljujem mentorju doc. dr. Tomu Cerovšku in somentorici doc. dr. Mojci Kosmatin Fras.

Posebna zahvala gre moji družini in prijateljem, da so mi omogočili izobraževanje.

Ta stran je namenoma prazna.

KAZALO

BIBLIOGRAFSKO- DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	V
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	VII
ZAHVALA.....	IX
KAZALO	XI
KAZALO PREGLEDNIC.....	XIII
KAZALO SLIK.....	XV
1 UVOD	1
1.1 Opredelitev problema.....	1
1.2 Namen in cilj diplomske naloge.....	1
1.3 Struktura diplomske naloge.....	2
2 VRSTE OBLAKOV TOČK IN ORODJA ZA NJIHOVO PREOBLIKOVANJE.....	4
2.1 Tehnologije za izdelavo oblakov točk in njihova raba.....	4
2.1.1 Digitalna fotogrametrija	4
2.1.2 Zračno lasersko skeniranje (ALS).....	6
2.1.3 Mobilno lasersko skeniranje.....	7
2.1.4 Terestrično lasersko skeniranje (TLS) srednjega in dolgega dosega	11
2.1.5 Skenerji kratkega dosega.....	15
2.2 Oblaki točk in model BIM	16
2.2.1 Oblaki točk in stopnja podrobnosti modela BIM	18
2.2.2 Postopek preoblikovanje oblakov točk v modele BIM	22
2.2.3 Pregled uveljavljenih programov za modeliranje iz oblakov točk	22
2.2.4 Proizvodi Autodesk za delo z oblaki točk	23
2.2.5 Programi in dodatki za naprednejšo obdelavo oblaka točk	27
3 DOPOLNITEV MODELA BIM Z DRUGIMI VIRI.....	34
3.1 Zajem podatkov težko dostopnih in nevidnih delov zgradb.....	34
3.1.1 Delna rešitev je izraba različnih tehnologij 3D-skeniranja	34

3.1.2 Uporaba alternativnih tehnologij – termografija in georadar	34
3.1.2.1 Georadar ali GPR (ang. Ground Penetrating Radar)	35
3.1.2.2 Termografija	36
3.2 Uporaba obstoječe dokumentacije.....	38
4 IZDELAVA MODELA BIM S PROGRAMSKIM ORODJEM REVIT	39
4.1 Priprava podatkov.....	41
4.1.1 Terenska izmera in izračun meritev.....	41
4.1.2 Priprava oblaka točk za Revit.....	44
4.1.3 Drugi viri	46
4.2 Modeliranje predmetov in modela BIM	47
4.2.1 Uvoz podatkov Revit.....	47
4.2.2 Modeliranje knjižnice predmetov BIM	48
4.2.3 Specificiranje materialov	49
4.2.4 Modeliranje stavbe	50
4.3 Uporabnost modela BIM za nadaljnje delo	55
5 ZAKLJUČEK	56
VIRI	58

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Zveza med tehnologijo zajema in LOD	21
--	----

Ta stran je namenoma prazna.

KAZALO SLIK

Slika 1: Prostorski model Auerspergove železarne (Vir: eheritage.si, 2016, Google Earth, 2016)	5
Slika 2: Zračni laserski sistem z GNSS-IMU	6
Slika 3: Ročni sistem za mobilno lasersko skeniranje (Vir: GeoSLAM ltd 2016)	8
Slika 4: MLS uporablja GNSS-IMU za neposredno georeferenciranje podatkov lidarskega sistema	9
Slika 5: IMMS na vozičku (Vir: Applanix Corp., 2016).....	10
Slika 6: Princip terestričnega laserskega skeniranja.....	12
Slika 7: Spletni pregledovalnik panoramskih, 360-stopinjskih, fotografij za virtualne preglede zgradb (Vir: GP GEO d.o.o., 2016)	13
Slika 8: Ročni skener kratkega oz. srednjega dosega (Vir: Trimble).....	16
Slika 9: Zahteve procesa BIM v življenjskem ciklu zgradbe (Vir: Volk et al., 2013)	18
Slika 10: Level of Development Specification (Vir: BIMForum, 2016)	20
Slika 11: LOD 400, stik jeklenega stebra in nosilca (Vir: BIMForum, 2016)	21
Slika 12: Autodesk Recap	24
Slika 13: Prikaz oblaka točk v Revitu	25
Slika 14: Klasificiran oblak točk v Civil 3D	26
Slika 15: Tloris Lekarne Mirje v Ljubljani (Vir: GP GEO d.o.o., 2016)	27
Slika 16: PointCab4Revit (Vir: PointCab GmbH, 2016)	29
Slika 17: Samodejno zaznavanje osi cevovoda (Vir: SCCS Survey, 2016).....	29
Slika 18: Samodejno zaznavanje sten (Vir: IMAGINiT Technologies, 2016).....	30
Slika 19: Samodejno zaznavanje cevovodov v EdgeWise (Clear Edge 3D, 2016).....	32
Slika 20: Strukturiranje podatkov v EdgeWise (Clear Edge 3D, 2016).....	32
Slika 21: Princip delovanja georadarja (Vir: Novak, 2007)	35
Slika 22: Radargram stenskih inštalacij ter konstrukcijskih elementov (Vir: Komel, Pavlič, 2016)	36
Slika 23: Odkrivanje konstrukcij strehe, posnete z brezpilotnim plovilom (Vir: GP GEO d.o.o., 2016)	37
Slika 24: Časovno zaznavanje različno globokih anomalij (Vir:Cotič et al., 2014)	38
Slika 25: Oblak točk stavbe Auerspergove železarne	39
Slika 26: Faze izdelave modela BIM	40
Slika 27: Tloris pritličja iz treh ločenih delov	41
Slika 28: Rezultati registracije, levo "cloud to cloud", desno z referencami	42
Slika 29: Položaji stojšč; oranžna in rdeča stojšča so v drugi etaži	43
Slika 30: Panoramska fotografija, narejena s skenerjem; dodane so meritve in komentar.	44
Slika 31: Šum (ang. noise) na oblaku točk na steklu (spodaj) in na robu jeklenega profila (desno zgoraj)	45

Slika 32: Segment oblaka točk, ki prikazuje detajl stene v Recapu. Narejena je decimacija na 5mm. .	45
Slika 33: Panoramska fotografija na kateri lahko razberemo materiale konstrukcij	46
Slika 34: Diagram modeliranja modela BIM	47
Slika 35: Modeliranje okna v Revitu z vnosom parametrov	48
Slika 36: Toplotna prehodnost stene	49
Slika 37: Toplotna prehodnost betona in opeke	50
Slika 38: Iz slike je razvidno, da površina, ki jo določa oblak točk ne nalega popolnoma na model. ..	51
Slika 39: Nastavitve za prepoznavanje ploskve in prileganje ravnine.....	52
Slika 40: Prva stena: levo maksimalno odstopanje 3 mm, desno 8 mm	53
Slika 41: Druga stena: levo maksimalno odstopanje 3 mm, desno 8 mm	53
Slika 42: Levo napačno in desno pravilno spajanje sten	55
Slika 43: Levo panoramska fotografija in oblak točk, desno model BIM.....	57

1 UVOD

V gradbeništvu imamo danes, splošno opredeljeno, na voljo dve novejši tehnologiji za zajem in obdelavo inženirskih podatkov, ki sta na videz ločeni. Prva se ukvarja z zajemom podatkov za inženirje in arhitekta. Obsega tehnologije daljinskega zaznavanja. Druga inženirjem na informacijsko napreden način omogoča projektirati, graditi in upravljati zgradbe. Imenujemo jo Informacijsko modeliranje zgradb, z angleško kratico BIM (angl. Building Information Modelling). V preteklosti sta se razvijali ločeno in je morda zato še danes živa predstava o njuni ločenosti, da uporabniki ene tehnologije informacije zbirajo, nekoliko preoblikujejo, drugi pa potem te informacije in še mnoge druge, ki jih morajo sami pridobiti in oblikovati v podatke, uporabljajo za svoje delo.

Obe sta do danes neverjetno napredovali z vidika vsebin, ki jih lahko z njima produciramo, z vidika učinkovitosti dela pri izrabi tehnologij, predvsem pa z vidika funkcionalne in tehnološke povezanosti. To je tisto, kar želimo pokazati v nalogi.

1.1 Opredelitev problema

Daljinsko zaznavanje je brezkontaktni način pridobivanja vsebinsko bogatih podatkov o površju Zemlje in objektov na njem.

Za namen te diplomske naloge želimo ugotoviti, ali lahko na podatkih, ki jih dobimo na osnovi daljinskega zaznavanja, izvedemo ključne analitične procese, ki jih omogočajo orodja BIM po tehnološki in funkcionalni plati. Informacije moram prenesti v tehnološki del okolja BIM.

Za izdelavo modela BIM niso dovolj zgolj registrirani in georeferencirani podatki, ampak morajo biti strukturirani in parametrizirani.

1.2 Namen in cilj diplomske naloge

Namen naloge je predstaviti tehnološke možnosti zajemanja in preoblikovanja geometrijskih podatkov v modele BIM, ter pokazati smiselnost teh opravil.

Osredotočiti se želimo na oblak točk, ki je osrednji medij, predvsem geometrijskih pa tudi drugih podatkov, ki ga pridobimo kot rezultat meritev z različnimi tehnološkimi rešitvami daljinskega zaznavanja.

V procesu od zajema podatkov, do uporabnega modela BIM se pojavi vrsta vprašanj, ki jim moramo zadostiti, da bo model BIM po kakovosti in vsebini ustrezal potrebam. V nalogi želimo predstaviti:

- sredstva za strojni zajem velike količine geometrijskih podatkov, ki kakovostno ustrezajo namenu za katerega jih pridobivamo,
- kakovost in namen posameznega vira oblaka točk,
- kam v procesu BIM sodi izdelava modela BIM in katerim kriterijem moramo zadostiti, da bo služil svojemu namenu,
- s katerimi programskimi orodji osrednji medij geometrijskih podatkov, oblak točk, preoblikujem v uporabne informacije, ki bodo primerne za nadaljnje analitično delo,
- ali so informacije v modelu BIM zadostne,
- kako jih po potrebi lahko dopolnujemo,
- kaj je dodana vrednost tako preoblikovanih podatkov.

1.3 Struktura diplomske naloge

V prvem delu naloge smo predstavili nabor komercialno uveljavljenih tehnologij daljinskega zaznavanja. Pomembni na tem področju sta dve tehnologiji: lidar, zaradi svoje robustnosti in enostavnosti delovanja ter digitalna fotogrametrija, ki z visoko zmogljivimi računalniki in sodobnimi algoritmi za procesiranje fotografij omogoča hitro in cenovno ugodno pridobivanje podatkov.

V drugem delu poglavja smo modeliranje BIM iz oblaka točk umestili v kontekst procesa BIM. Preko kriterijev LOD (ang. Level of Development), ki opisujejo stopnje podrobnosti modelov, smo pokazali, kateri vir podatkov je primeren za posamezno rabo. To smo komentirali skozi stopnje podrobnosti modelov oz. t. i. specifikacije LOD, ki jih lahko izdelamo iz oblaka točk določenega vira.

V sledečem delu naloge smo predstavili nekaj najbolj uveljavljenih programskih orodij za pretvorbo teh podatkov v inteligentne vsebine, t. i. modele BIM. Oblak točk je danes razširjena oblika zapisa podatkov daljinskega zaznavanja. Razvijalci orodij BIM so v programe vgradili algoritme, ki omogočajo najbolj osnovno delo z oblaki točk z osnovnimi funkcijami za izdelavo modela BIM. To delo je zaradi bogatih vsebin, ki jih zagotavlja daljinsko zaznavanje, lahko veliko bolj učinkovito. Zato smo predstavili nekaj programov, ki nekatere operacije naredijo samodejno, od najbolj enostavnega do najbolj naprednega.

Ker se pri oblikovanju inteligentnih modelov takoj pojavi potreba po še več vsebinah, smo predstavili alternative. Najenostavnejša je obstoječa dokumentacija, ki smo se ji s 3D-meritvami želeli izogniti, ampak je z določenimi preverbami še vedno uporabna in najcenejše dopolnilo podatkom, ki jih z daljinskim zaznavanjem ne moremo pridobiti. Za zahtevnejše primere smo predstavili dve relativno dostopni tehnologiji podpovršinskega zaznavanja, s katerimi lahko pridobivamo podatke za model.

Na koncu smo izdelali model BIM iz oblaka točk in s tem pokazali, da je z enkratnim zajemom možno pridobiti vse potrebne informacije za inženirsko delo.

2 VRSTE OBLAKOV TOČK IN ORODJA ZA NJIHOVO PREOBLIKOVANJE

2.1 Tehnologije za izdelavo oblakov točk in njihova raba

2.1.1 Digitalna fotogrametrija

"Fotogrametrija je znanost, tehnologija in spretnost določanja prostorske lokacije in oblike objektov ter njihovo prepoznavanje iz fotografij oz. slik, ki jih na različne nosilce slike zapiše sevanje elektromagnetne energije in drugi pojavi.

Rezultati oz. izdelki fotogrametrije so lahko grafični, analitični ali semantični. Grafični so lahko vektorski: 1-D (točka), 2-D (linija) ali 3-D (telo) ali rastrski: fotografija (ortofoto). Analitični rezultati so lahko: koordinate, razdalje, koti, površine in prostornine. Semantične rezultate predstavimo kot lastnosti objektov, ki jih interpretiramo v času izvrednotenja posnetkov. Izvrednotenje posnetkov je 2D ali 3D-digitalizacija, ki jo opravimo na posnetkih. Prednost pred drugimi metodami je trajnost in množica podatkov na posnetku, ki predstavljajo objektivni in primarni vir. Zelo pomembno je, da je zajem podatkov iz posnetkov ponovljiv (Bric, Grigillo, Kosmatin Fras, 2016)."

V praksi fotogrametrija nudi postopke za zajem geometrijskih podatkov o zgradbah in naravnih strukturah s pomočjo fotografij. Zajem podatkov poteka tako, da se predmet ali območje obdelave fotografira s serijo delno prekrivajočih se fotografij.

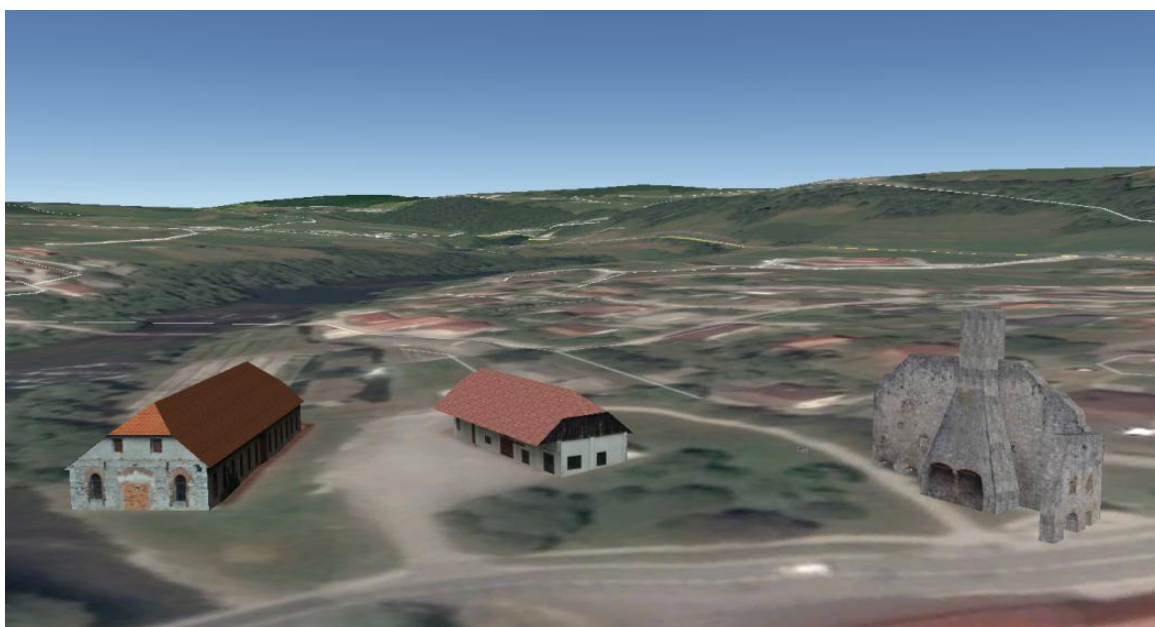
Najbolj pogosta izdelka digitalne fotogrametrije sta ortofoto in 3D-oblak točk, ki se lahko uporabita za razne namene in izpopolnjene izdelke. Področja fotogrametrije, ki se uporabljajo v gradbeništvu (Bric, Grigillo, Kosmatin Fras, 2016):

- topografska fotogrametrija,
- arhitekturna in arheološka fotogrametrija,
- industrijska fotogrametrija.

Topografska, zračna fotogrametrija z brezpilotnimi plovili. Za množični zajem podatkov, ki je komercialno uporaben v procesu BIM, so zanimive metode fotogrametrije, ki zagotavljajo natančnosti, slabše od 1 cm. Nekajcentimetske natančnosti so v kontekstu BIM uporabne za kartiranje površja in izmero volumnov pri gradnji. Za zajem podatkov je primerna aerofotogrametrija z brezpilotnimi plovili. Zaradi cenovne dostopnosti prehaja v množično uporabo. Odlikujeta jo visoka podrobnost in predstavnost detajla. Velikost slikovne točke je lahko že 0,5 cm ali več. V praksi lahko dosegamo ravninske natančnosti okrog dva do tri cm, višinske pa dva do trikratnik ravninske natančnosti. Metoda

je primerna za površine velikosti od enega do nekaj sto hektarjev. Tehničnih omejitev za večje površine ni, vendar so sistemi, pritrjeni na helikopter ali letalo, ekonomsko učinkovitejši. Druga slabost metode je ta, da površin, zakritih z zgradbami in vegetacijo, ni možno zajeti na ta način in so potrebne druge metode izmere za dopolnitev podatkov. Pokritost terena z vegetacijo je velika ovira pri doseganju homogene kakovosti meritev, zato je tehnologija primerna predvsem za očiščen teren, kakršni so odprti kopi, plazovi in gradbišča v času izvajanja zemeljskih del. Za meritve v času izvajanja zemeljskih del je fotogrametrija z zračnim zajemom z brezpilotnim plovilom odlična in kakovosten vir podatkov za kontrolo geometrijske kakovosti izvedbe in obračun količin.

Arhitekturna, terestrična fotogrametrija. V določenih primerih, kot je npr. podrobna izmera fasad, je uporabna metoda, ki omogoča natančnosti, boljše od 1 cm. Za izvedbo se lahko uporabita digitalni fotoaparati visoke ločljivosti in terestrična metoda zajema podatkov (Pucelj, Kosmatin Fras, Grigillo, 2005). Zaradi relativno nizke cene, v primerjavi z drugo mersko opremo, je ta tehnologija cenovno zelo dostopna. Slaba stran so zahteve, ki jim moramo zadostiti za doseganje zastavljenega rezultata. Prekrivajoče se fotografije morajo biti posnete na določeni razdalji od detajla, ki je predmet zajema, in pod primernimi svetlobnimi pogoji. Taki idealni pogoji na zgradbah niso pogosti, zato se metoda uporablja predvsem kot dopolnilna tehnika terestričnemu laserskemu skeniranju (TLS).

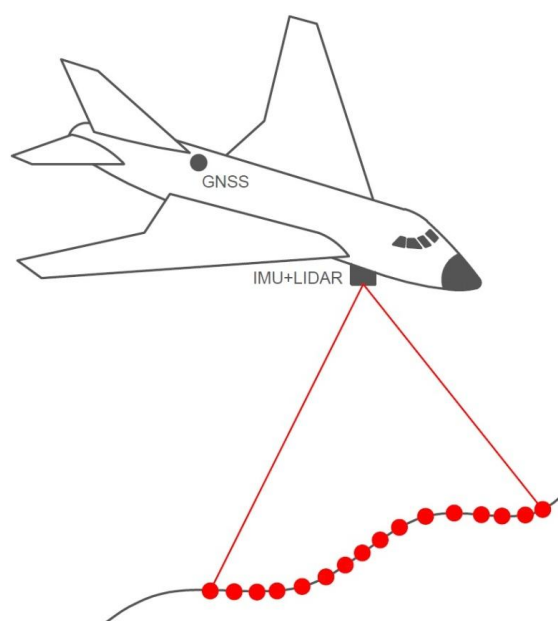


Slika 1: Prostorski model Auerspergove železarne (Vir: eheritage.si, 2016, Google Earth, 2016)

2.1.2 Zračno lasersko skeniranje (ALS)

"Za zračno lasersko skeniranje se pogosto uporablja termin lidarsko snemanje ali samo lidar (ang. light detection and ranging). Glavna prednost lidarskega snemanja pred drugimi snemalnimi tehnikami je, da omogoča neposredno izmero oddaljenosti med oddajnikom laserskega žarka in detajlom na fizičnem površju Zemlje, od katerega se laserski žarek odbije. Razdalja med oddajnikom in detajlom na tleh je izmerjena s časom, ki ga laserski žarek porabi za pot od oddajnika do detajla na tleh in nazaj. Ker ima laserski žarek neznanemarljiv premer, se del laserskega žarka odbije od različnih objektov, ki so na njegovi poti med oddajnikom in površjem, od koder se odbije še preostali del laserskega žarka. Dobimo več laserskih odbojev oziroma tako imenovanih lidarskih točk. Tako lidarsko snemanje poleg različnih klasifikacij objektov omogoča tudi analize razporejenosti vegetacije po višinah, kar veliko pove o vegetacijskem oziroma habitatnem tipu ter prirastku vegetacije, če primerjamo več nizov lidarskih podatkov istega območja. Po drugi strani pa lahko tudi neposredno izmerimo višinsko predstavo različnih topografskih (hribi, brežine vodnih teles) in antropogenih objektov (stavbe, ceste) oziroma ugotavljamo njihove spremembe.

Lidarsko snemanje lahko uporabljamo kot samostojno tehniko zajema ali pa v kombinaciji z različnimi srednje ali visokoločljivimi snemanji. Najbolj pogosto je sinhrono izvajanje lidarskega in klasičnega aerofotografiranja, dodamo pa lahko vse od hiperspektralnih do termičnih kamer. Kombiniranje lidarskega snemanja z ostalimi snemalnimi tehnikami poenostavi identifikacijo objektov v lidarskem oblaku točk ter omogoči izdelavo dodatnih izdelkov, kot so ortofotografije (Triglav Čekada, 2010)."



Slika 2: Zračni laserski sistem z GNSS-IMU

Snemanje poteka tako, da na letalo ali helikopter pritrjen lidarski sistem po predvidenem načrtu leta preleti določeno območje in ga posname. Ti podatki se z naknadno obdelavo georeferencirajo. Rezultat je oblak točk. Kadar se hkrati izvaja aerofotografiranje, dobimo dodatni izdelek: ortofotografije oz. ortofoto (Triglav Čekada, 2010).

Za razliko od zračne fotogrametrije z brezpilotnimi plovili je ALS neprimerno bolj učinkovito na površinah, ki so deloma pokrite z vegetacijo, saj del laserskega žarka prodira skozi odprtine v vegetaciji, odboji od tal pa dajo geometrijske podatke tal. Tovrstni sistemi so izredno učinkoviti na večjih projektih, saj je npr. v manj kot dveh tednih mogoče posneti tisoč kilometrov trase infrastrukturnega objekta, kar je z danes, na komercialnem trgu razpoložljivimi brezpilotnimi sistemi za fotogrametrijo, nemogoče. Pomanjkljivost, ki bi jo lahko pripisali tehnologiji, je slabša gostota oblaka točk in s tem slabša predstavnost detajla ter slabša položajna natančnost. Gostota in natančnost oblaka točk sta odvisni od kakovosti sistema, višine leta in postopka naknadne obdelave. Običajna ravninska natančnost je 30 cm, višinska pa 15 cm.

Brepilotni sistemi ALS so za komercialno rabo razviti z enako funkcionalnostjo kot ALS sistemi za letalo ali helikopter s posadko. To pomeni, da imajo integriran lidarski sistem s sistemom za pozicioniranje (IMU/GNSS) in možnost integracije drugih senzorjev, kot so fotokamere, multispektralne kamere ipd.

Bistvene pomanjkljivosti tovrstnih sistemov so manjša nosilnost (in s tem povezana manjša zmogljivost senzorjev za zajem podatkov, ker so zmogljivejši senzorji težji), nižja operativna višina leta (dobrih 150 m nad terenom), krajša avtonomija in zaradi tega manjša uporabnost na večjih površinah ter omejena uporaba zaradi prepisov o uporabi zračnega prostora.

Prednost je bolj prilagodljiva pot leta, kar omogoča boljši doseg detajla, bistveno nižji operativni stroški na manjših projektih in doseganje večje natančnosti oblaka točk, kar (navkljub slabšim senzorjem) omogoča nižji let nad terenom. Vodilni proizvajalec na tem področju, Riegl, navaja tipično položajno natančnost od 5 do 30 cm (Riegl, 2016).

2.1.3 Mobilno lasersko skeniranje

Sistem za mobilno lasersko skeniranje (MLS) je kinematični merski sistem, ki sinhrono beleži pot in podatke. (Kukko, 2013)

Generalno ločimo MLS za zajem podatkov na prostem in v zaprtih prostorih.

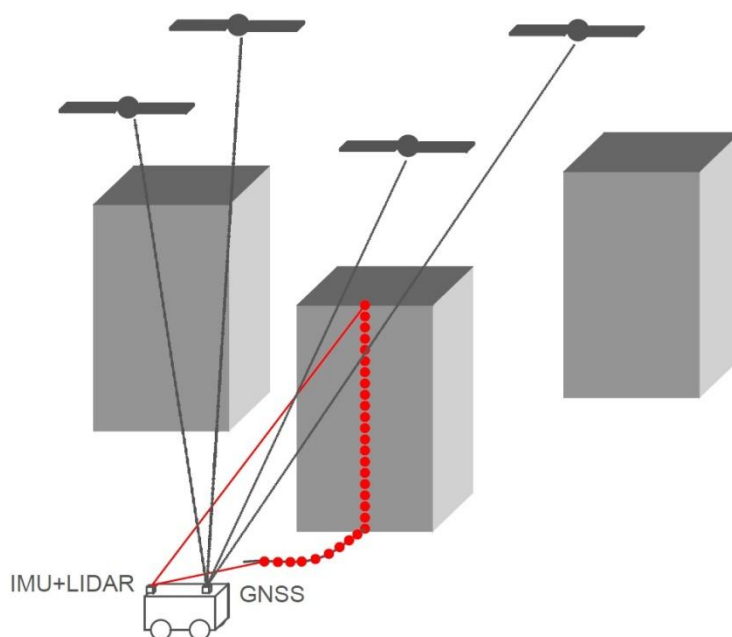
Sistemi za zajemanje podatkov na prostem za georeferenciranje uporabljajo kombinacijo GNSS sprejemnika in visokozmogljive IMU enote. Taki sistemi so glede na namen in konfiguracijo integriranih senzorjev pritrjeni na tirno ali cestno vozilo, plovilo, manjši voziček ali nahrbtnik.

Sprejemanje signala GNSS v zaprtih prostorih ni mogoče, zato je za georeferenciranje najbolj uveljavljena t. i. metoda SLAM (Thomson et al., 2013). T. i. "indoor" sistemi so pritrjeni na voziček, nahrbtnik, ali pa so v ročni izvedbi.



Slika 3: Ročni sistem za mobilno lasersko skeniranje (Vir: GeoSLAM ltd 2016)

Mobilno lasersko skeniranje na prostem. Sistem za mobilno lasersko skeniranje je kinematični merski sistem, ki sinhrono beleži pot in podatke lidarskega sistema. Za navigacijo po navadi uporablja GNSS sprejemnik in IMU enoto, kadar pa je sistem nameščen na vozilu, je za določanje natančnejšega položaja vključen še odometer, ki služi še posebej v situacijah, kjer so signali satelitov omejeni (Kukko, 2013).



Slika 4: MLS uporablja GNSS-IMU za neposredno georeferenciranje podatkov lidarskega sistema

MLS je podkategorija mobilnih merskih sistemov (MMS). MMS poleg lidarskega sistema vsebujejo še druge senzorje za zajem podatkov, kot so video in digitalne foto kamere, georadarji (GPR), multispektralni linijski skenerji, termalne kamere, sonarji itd (Kukko, 2013).

Glede na pogoje zajema podatkov in rezultatov, ki jih z MLS pridobimo, bi tehnologijo lahko funkcionalno umestili med ALS in terestrično lasersko skeniranje (TLS), ki bo predstavljeno v nadaljevanju.

Primerjalne značilnosti glede na ALS:

- nižji so operativni stroški (urna postavka) MLS, vendar manjša učinkovitost zajema kot pri ALS,
- operativno delo zajemanja podatkov ni podvrženo strogim letalskim predpisom kot pri ALS,
- zmožnost zajema vertikalnih ploskev, kar pri ALS na operativni ravni ni mogoče,
- v razširjeni konfiguraciji MMS zmožnost podrobnejšega zajema podatkov v koridorju snemanja kot pri ALS,
- zaradi večje gostote oblaka točk (npr. 5 cm v 50-metrski oddaljenosti detajla od lidarskega sistema) je mogoča avtomatizirana rekonstrukcija elementov detajla, kar je deloma mogoče tudi pri ALS, vendar je nabor elementov, ki jih je mogoče avtomatizirano rekonstruirati iz ALS, bistveno manjši (Kukko, 2013),

- neprimerljivo boljša je absolutna natančnost kot pri ALS, ki znaša od 2 do 3 cm, relativna natančnost je še boljša (Kukko, 2013).

Primerjalne lastnosti glede na TLS:

- višji so operativni stroški (urna postavka) MLS, vendar večja učinkovitost zajema kot pri TLS,
- manjša je natančnost meritev kot pri TLS,
- manjša je podrobnost meritev kot pri TLS,
- manjša je možnost izbire perspektive snemanja in s tem slabše pokrivanje detajla kot pri TLS.

MLS na prostem je torej od ALS natančnejša in podrobnejša metoda zajema oblakov točk, ki pri zadostnem obsegu naloge postane cenovno zelo učinkovita. Primerna je predvsem za meritve grajenega okolja in v kontekstu BIM služi za zajem podatkov za pripravo projektne dokumentacije za potrebe vzdrževanja, rekonstrukcije, preverjanje vmesnih faz in meritve končanih gradenj za izdelavo dokumentacije izvedenih del. Zaradi natančnosti, ki jo dosega, in ekonomske učinkovitosti pri večjih projektih je tehnologija primerna za področje nizkih gradenj.

Mobilno skeniranje v zaprtih prostorih. Sistemi za mobilno skeniranje v zaprtih prostorih (IMMS) so namenjeni za izmero zaprtih prostorov, stavb in podzemnih prostorov.

V komercialni rabi se največkrat uporabljata izvedbi na vozičku in ročna (t. i. "handheld") izvedba, kjer se senzor upravlja v roki, računalnik in baterije pa so v nahrbtniku. Izvedba na vozičku je po navadi kompleksnejša in poleg lidarskega sistema vsebuje še fotokamero.



Slika 5: IMMS na vozičku (Vir: Applanix Corp., 2016)

Zajem poteka tako, da se z napravo, ki jo bodisi držimo v roki bodisi peljemo na vozičku, gibljemo po zgradbi na način, da površine zgradbe, ki so predmet izmere, izpostavimo vidnemu polju senzorjev IMMS. Snemalne trajektorije morajo biti zvezne in se morajo med seboj križati, da je mogoč izračun po metodi SLAM.

Šibka točka tovrstnih sistemov so natančnosti, ki jih dosegajo in imajo zelo omejeno rabo. Tipična natančnost enostavnejših sistemov, kakršen je ZEB-REVO proizvajalca Geoslam Limited, je od 3 do 30 cm; naprednejši sistemi, kakršen je Trimble Indoor Mobile Mapping Solution (TIMMS), proizvajalca Trimble Applanix pa imajo relativno natančnost od 3 do 5 cm znotraj koordinatnega sistema zgradbe.

Na delovišču je mobilno skeniranje v zaprtih prostorih neposredna konkurenca terestričnemu laserskemu skeniranju. Najbolj očitno se sistema razlikujeta pri učinkovitosti in natančnosti. V nadaljevanju navajam primerjalne lastnosti glede na TLS:

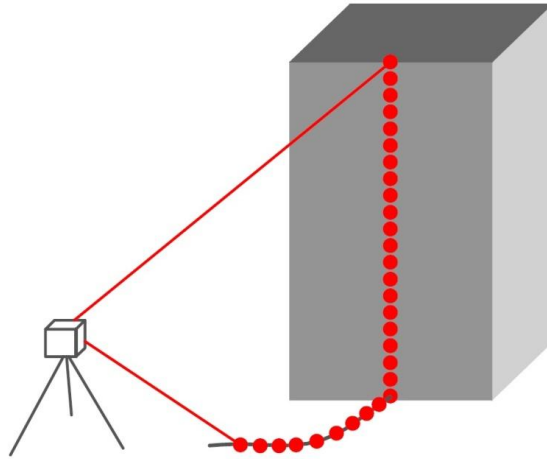
- *hardware* enostavnejših sistemov je bistveno cenejši kot TLS, zmogljivejši sistemi pa so dražji,
- višji so operativni stroški (urna postavka) IMMS, ki se po natančnosti približujejo TLS, vendar večja učinkovitost zajema,
- manjša je natančnost meritev kot TLS,
- manjša podrobnost meritev kot pri TLS je značilna za manj zmogljive sisteme, kakršen je ZEB-REVO, najzmogljivejši sistemi pa imajo lahko enako pokrivnost kot TLS ali boljše, ker meritve potekajo zvezno, pri TLS pa točkovno, na mestih snemalnih stojišč,
- manjša je možnost izbire perspektive snemanja za težko dostopen detajl, zato je določene dele treba dopolniti s terestričnim ali ročnim skenerjem.

Za podporo procesom BIM je tehnologija izredno zanimiva, saj trenutno predstavlja najučinkovitejši način meritev stavb. V enem dnevu s tovrstnimi napravami lahko izmerimo do 23.000 m². (Trimble Applanix, 2016) Do omejitev pri uporabi pridemo, ko potrebujemo natančnost, boljše od treh centimetrov, in zadostno gostoto točk, da lahko modeliramo stavbno pohištvo, inštalacije, notranjo opremo in različne vrste konstrukcij. V teh primerih so terestrični in ročni skenerji boljše izbira.

2.1.4 Terestrično lasersko skeniranje (TLS) srednjega in dolgega dosega

"Terestrični laserski skener je kompleksen merilni sistem, s katerim na brezkontakten in hiter način zajemamo 3D-koordinate objekta in pridobimo oblak točk. Položaj točke na objektu je definiran na osnovi merjenja horizontalne smeri, vertikalnega kota in dolžine med skenerjem in točko. Poleg dveh

kotov in poševne dolžine je pomembna merska vrednost tudi intenziteta, ki predstavlja jakost odboja laserskega žarka in je relevantna pri prepoznavanju objekta iz oblaka točk. Položaj posamezne točke v oblaku točk je definiran s polarnimi koordinatami, vendar je njen položaj prikazan s pravokotnimi koordinatami (Možina, 2016)."



Slika 6: Princip terestričnega laserskega skeniranja

Večina sodobnih terestričnih skenerjev, posebej tistih, ki se uporabljajo za izmero zgradb, ima poleg lidarskega sistema integrirano fotokamero, ki merjene površine fotografira po zaključku lidarskega zajema, s temi fotografijami, pa v naknadni obdelavi, oblaku točk poleg intenzitet odboja lahko pripišemo realne RGB barve.

Drugi rezultat, ki ga dobimo po naknadni obdelavi fotografij, so panoramske, 360-stopinjske fotografije, ki jih na nivoju posameznega projekta združimo v spletni aplikaciji, preko katere se uporabnik podatkov 3D-skeniranja lahko virtualno sprehaja po zgradbi, preučuje detajl, dodaja komentarje, ki so na voljo sodelujočim na projektu, in celo izvaja meritve na detajlu, saj je v ozadju fotografij oblak točk, ki predstavlja realno geometrijo, koordinate točk pa so osnova za izračun vrednosti meritev.



Slika 7: Spletni pregledovalnik panoramskih, 360-stopinjskih, fotografij za virtualne preglede zgradb

(Vir: GP GEO d.o.o., 2016)

Terestrične skenerje lahko razvrščamo po različnih kriterijih: glede na način merjenja dolžin, glede na doseg, glede na vidno polje itd. Bistvena razvrstitev, ki je zaradi lastnosti naprav pomembna pri izbiri tehnologiji za merjenje objektov, je kriterij načina merjenja dolžin, ti pa so (Možina, 2016):

- fazni način,
- impulzni način,
- triangulacijski način.

O teoretičnem ozadju naštetih načinov merjenja dolžin je leta 2016 nekaj povedal Možina, za praktično rabo pa je pomembno, da se pri skenerjih srednjega in dolgega dosega (nad 0,4 m) uporabljata impulzni in fazni način. Ta razvrstitev je pomembna, ker vpliva na zmogljivost naprave. V preteklosti je veljalo, da so fazni skenerji primerni predvsem za naloge kjer je zgradba, pri katerih je predmet meritev, oddaljena največ 70 do 80 m, kjer je potrebna velika gostota točk, saj so bili hitrejši pri delovanju, hkrati pa z večanjem razdalje od skenerja do predmeta izmere manj natančni, predvsem na površinah, oddaljenih več kot 35 m, in s slabšimi odbojnimi lastnostmi. Impulzni skenerji so veljali za natančnejše na večjih razdaljah, počasnejše in z večjim dosegom. Te meje se danes intenzivno premikajo in imamo npr. na voljo fazni skener Faro Focus 3D X330, ki ima deklariran doseg 330 m, in impulzni skener Leica P40, ki zmore zabeležiti do enega milijona točk na sekundo. V praksi se sicer izkaže, da so te vrednosti določene v laboratorijskih pogojih, na realnih nalogah pa je za doseganje rezultatov, ki so uporabni na projektih, mogoče koristiti približno 70 % teh vrednosti.

Zajem podatkov. Skeniranje s TLS je statično. Poteka tako, da skener postavljamo na stativ na mesta, ki zagotavljajo dobro vidno polje površin, ki so predmet izmere. Za povezovanje skenogramov v homogeno celoto (registracijo) lahko uporabljamo tarče, ki predstavljajo identične koordinate sosednjih skenogramov, ali pa registracijo izvedemo z ujemanjem prekrivajočih se površin, t. i. registracijo "cloud to cloud". Tarčam lahko z neodvisno geodetsko (tahimetrično) metodo izmere določimo koordinate. Te koordinate se uporabijo za doseganje večje natančnosti in homogenosti registracije pri večjih zgradbah in za georeferenciranje, če želimo meritev zgradbe umestiti v prostor, kar je v primerih, ko uporabljamo tudi druge tehnologije 3D-skeniranja, bistveno. S tahimetrično izmero tudi nadzorujemo natančnost izmere s terestričnim skenerjem.

Natančnost oblaka točk. Tipična operativna natančnost na razdalji od 30 do 50 m od skenerja oddaljenih skeniranih površin v notranjih prostorih je od 0,5 do 1 cm. Odvisna je od uporabljene opreme, metode izmere in načina izračuna meritev. Za doseganje te vrednosti natančnosti je pri zgradbah, večjih od manjše enodružinske hiše, treba souporabljati geodetsko izmero skeniranih tarč.

Doseganje boljše natančnosti od 3 mm je mogoče pod določenimi pogoji in ni pogosta praksa. Pri tem je treba poudariti, da se nabor TLS naprav za doseganje tega reda natančnosti močno zoži. Za določitev koordinat povezovalnih tarč so potrebni najnatančnejši tahimetri in metode izmere, ki se sicer uporabljajo za geodetski monitoring, ali celo laserski trekerji, ki omogočajo meritve z natančnostjo, boljšo od milimetra. Na prostem in na večjih razdaljah od 50 m so natančnosti slabše od 1 cm.

Z rezultati meritev in drugimi podatki, ki nam omogočajo predstavnost zgradb, s ceno tehnologije in učinkovitostjo izmere terestrični skenerji pokrivajo najširši nabor zgradb, ki jih lahko merimo s katerokoli 3D-tehnologijo izmere.

Po natančnosti in učinkovitosti se TLS umeščajo med MLS in 3D-skenerje kratkega dosega, s katerimi imajo naslednje primerjalne lastnosti:

- TLS so neprimerljivo hitrejši na večjih površinah,
- TLS so manj natančni pri manjših zgradbah volumna do 10 m³, izmera večjih zgradb pa s skenerji kratkega dosega ni mogoča,
- TLS naprave za isti namen (npr. meritve stavb) so bistveno dražje kot skenerji kratkega dosega,

- gostota točk je po navadi večja kakor pri TLS in je zato s samim oblakom točk moč doseči boljšo predstavnost, po drugi strani pa lahko s pomočjo fotografij TLS sistemov izdelamo kakovostna virtualna okolja, ki služijo pri procesih BIM.

2.1.5 Skenerji kratkega dosega

Do pred nekaj let so se 3D-skenerji kratkega dosega in visoke natančnosti (boljše od 0,5 mm) največ uporabljali za obratno inženirstvo v strojništvu. Na področju gradbeništva je bila raba obratnega inženirstva redka. V arhitekturi se je tehnologija uporabljala za izmero manjših detajlov kulturne dediščine, kjer je bila potrebna visoka natančnost in podrobnost izmere. Na področju BIM, kjer se grafični del dokumentacije generalizira (čeprav obstajajo različne stopnje podrobnosti modelov LOD), tovrstni 3D-skenerji zaradi cene in tudi tehničnih lastnosti (doseg nekaj dm, izjemoma do 3 m, nezmožnost zajema večjih volumnov v kratkem času, integracija z oblakom točk TLS) niso bili v rabi.

Rast uporabe 3D-skeniranja v gradbeništvu je narekovala potrebo po napravah, s katerimi bi lahko izmerili težko dostopne manjše detajle ali manjši del zgradbe v kratkem času brez obsežnih priprav na izvedbo meritev. Na osnovi triangulacijskega načina merjenja dolžin, z dodano lastnostjo, da laserska dioda oddaja strukturirano svetlobo, ki omogoča razpoznavanje odbojev svetlobe od površine skeniranega objekta, so razvili ročne skenerje, ki imajo doseg od 0,5 do 5 m. Relativna natančnost na razdalji 1 m je od 0,5 mm do 4 mm, odvisno od modela skenerja. Z večanjem oddaljenosti skenirane površine od začetne točke skeniranja natančnost eksponentno pada in lahko na 3 m med začetno in končno točko znaša 1,2% razdalje (Trimble, 2016). Naenkrat te vrste 3D-skenerji lahko izmerijo objekt, ki zavzema do 10 m³ prostora. Več manjših skenogramov lahko preko veznih koordinat združimo v večji oblak točk ali pa podatke s programom za registracijo skenogramov združimo s podatki TLS. Slaba stran teh naprav je, da za delovanje potrebujejo specifične svetlobne pogoje. Pri močni dnevni svetlobi je zaradi interference s sončno svetlobo delovanje oteženo. Skenerji, ki nimajo bliskavice, v temi potrebujejo umetni vir svetlobe. Idealni pogoji za izmero so pri enakomerni umetni svetlobi.



Slika 8: Ročni skener kratkega oz. srednjega dosega (Vir: Trimble)

Rezultat skeniranja je oblak točk s pripisanimi intenzitetami odboja svetlobe od površine, lahko tudi z realnimi RGB barvami, ni pa možno panoramsko fotografiranje za izdelavo virtualnih pregledovalnikov.

Tipični predstavniki tega razreda 3D-skenerjev so DPI-8 (DotProduct LLC), Freestyle3D (FARO Technologies) in F5 Handheld 3D Imager (Mantis Vision Ltd). Navedeni so po vrstnem redu od najmanj do najbolj natančnega.

2.2 Oblaki točk in model BIM

"Model BIM (*angl. Building Information Modelling*) je digitalni zapis in predstavitev informacij o konkretni stavbi za komunikacijo med udeleženi v gradbenem projektu. Model BIM vsebuje geometrijske in negeometrijske informacije, ki jih potrebujejo in izdelajo arhitekti in inženirji za načrtovanje, analizo, simulacije, vizualizacije in dokumentacijo v fazah pred, med in po gradnji. Geometrijske informacije določajo digitalni 3D-model stavbe, sestavljen iz elementov, ki so digitalni ekvivalent "pravih" elementov stavb (od temeljev do strehe). Negeometrijski del določa dodatne informacije o stavbi in njenih elementih ter lastnosti, ki se nanašajo na funkcijo, obliko in materiale (Cerovšek, 2010)."

Oblak točk, ki smo ga zajeli z metodami daljinskega zaznavanja, želimo s pomožnimi in orodji BIM, ki so predstavljena v nadaljevanju, pretvoriti v model BIM z namenom, da povečamo uporabnost informacij. Pri tem moramo zadostiti določenim zahtevam.

V članku BIM za obstoječe stavbe – pregled literature in prihodnjih potreb (*angl. Building Information Modeling (BIM) for existing buildings – Literature review and future needs*) je BIM obravnavan kot proces, ki traja cel življenjski cikel zgradbe.

V najširšem pomenu je proces BIM razdeljen na (Jernigan, 2007, Liebich, Schweer, Wernik, 2011 cit. po Volk et al., 2013):

- funkcionalne,
- informacijske,
- tehnične in
- organizacijsko pravne-zahteve.

Funkcionalne zahteve. Funkcionalne zahteve določajo narava samega gradbenega projekta in potrebe sodelujočih na projektu. V modelu BIM jih realiziramo s "stopnjo razvoja komponent modelov" (*angl. Level of Development – LOD*) tako, da predmetom z ustreznim LOD določimo potrebne geometrijske in negeometrijske informacije.

Informacijske zahteve. Informacijske zahteve nam preko sistema tehničnih standardov in protokolov omogočajo izmenjavo informacij z ustrežno definicijo potrebnih informacij in pogledov na model v odvisnosti od uporabe informacij, brez izgub in napak podatkov.

Tehnične zahteve. Tehnične zahteve nam na izhodiščih funkcionalnih in informacijskih zahtev določajo način izdelave modela BIM. Za obstoječe zgradbe nam preko s funkcionalnimi zahtevami določene LOD določa tudi način izmere in obdelave podatkov meritev.

Organizacijsko pravne zahteve. Organizacijsko-pravne zahteve določajo vlogo udeležencev v procesu BIM, njihove pravice do uporabe podatkov in obveznosti.

Zahteve so v medsebojni odvisnosti. Da bomo zadostili informacijskim zahtevam in nadalje tehničnim ter organizacijsko-pravnim zahtevam moramo najprej zadostiti funkcionalnim zahtevam.



Slika 9: Zahteve procesa BIM v življenjskem ciklu zgradbe (Vir: Volk et al., 2013)

Naštete zahteve predstavljajo širši kontekst procesa BIM. Ožje področje BIM-a predstavlja zgolj tehnične zahteve, torej digitalni model zgradbe, in kriterije izdelave modela. Ta model BIM je informacijsko središče in prostor za shranjevanje podatkov (Jernigan, 2007 cit. po Volk et al., 2013).

V primeru izdelave modela BIM obstoječe stavbe za potrebe energetske analize stavbe so funkcionalne zahteve, da morajo biti v model BIM vnesene fizikalne lastnosti stavbe in sistemi ogrevanja, če jih ima. Podatki morajo biti ustrezno strukturirani in zapisani v ustreznem datotečnem formatu za brezhibno izmenjavo (brez izgube in napake podatkov) med različnimi računalniškimi programi ter uporabni za nadaljnje analize, kar določajo informacijske zahteve. Tehnične zahteve izhajajo iz funkcionalnih in informacijskih in narekujejo način izmere, priprave podatkov in izdelave predmetov in modela BIM. LOD, ki izhaja iz funkcionalnih zahtev, nam pri tem služi za definiranje natančnosti in podrobnosti informacij v modelu (npr. kateri deli stavbe morajo biti modelirani v modelu in kako podrobno). Organizacijsko-pravne zahteve nam bodo določale, kdo in do kakšne mere lahko uporabi podatke modela in katere operacije lahko na njih izvede (npr. statik naredi statično preverbo in predpiše ukrepe, arhitekt naredi energetske analizo in naredi projekt za izvedbo sanacije) (Volk et al., 2013).

Izdelava modela BIM iz oblaka točk je torej eden od procesov v širši shemi BIM-a. Izvajamo ga takrat, ko želimo preveriti in aktualizirati novogradnjo, ali po kriterijih BIM-a zajeti podatke o obstoječi zgradbi za potrebe vzdrževanja, rekonstrukcije ali rušenja.

2.2.1 Oblaki točk in stopnja podrobnosti modela BIM

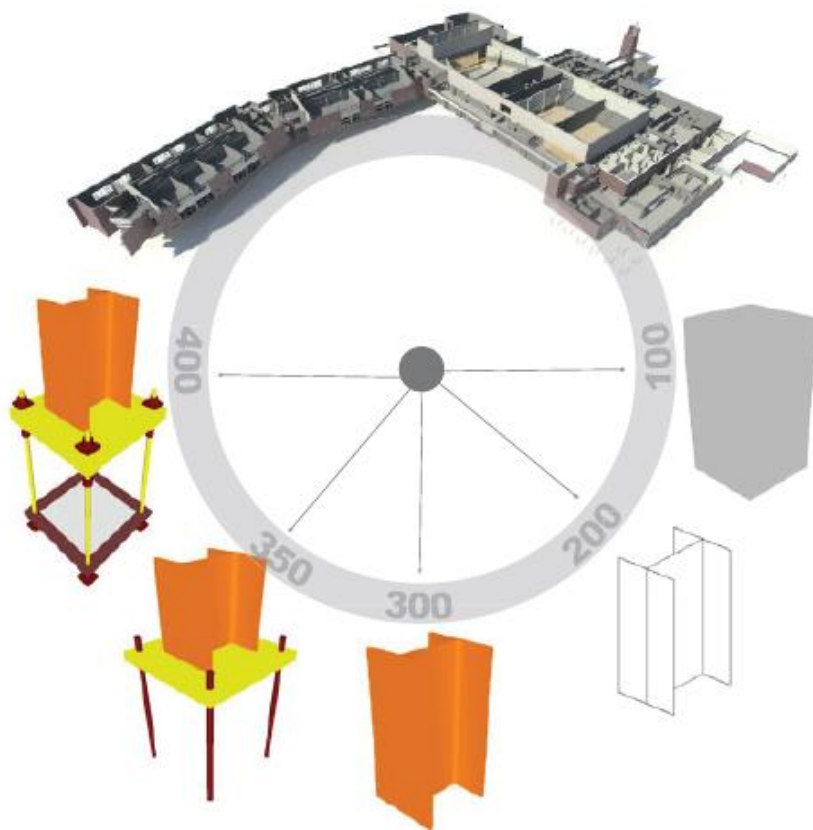
Oblak točk je v prvi vrsti podatek o geometriji. Iz njega želimo napraviti model BIM, ki bo odražal lego in obliko ter orientacijo zgradbe v naravi. Modele BIM tvorimo tudi iz drugih informacij, kar je predstavljeno v nadaljevanju.

Kriterija za uporabnost oblakov točk sta prostorska natančnost in gostota točk na enoto izmerjene površine. Model BIM, ki ga oblikujemo izključno iz oblaka točk, lahko stanje na terenu predstavi kvečjemu toliko natančno, kolikor je natančen oblak točk. Posamezne stopnje geometrijske podrobnosti modela BIM je možno narediti le, če imamo z oblakom točk zadosti podrobno določeno obliko zgradbe.

Standarda, ki bi določal, kaj mora model BIM določene stopnje podrobnosti predstavljati, pri nas nimamo, v tujini, kjer se BIM intenzivno uvaja v komercialnih projektih, pa stanovske organizacije že nekaj let intenzivno delajo na standardizaciji stopnje podrobnosti modelov. Aprila 2013 je organizacija BIMForum izdala specifikacije LOD (Level of Development Specification), v katerih je povzela LOD, ki jih je že konec leta 2008 definirala American Institute of Architects (AIA) v dokumentu AIA E202-2008: Building Information Modeling Protocol Exhibit in določila vmesni LOD 350, ki predstavlja večjo stopnjo razvoja od LOD 300 in manjšo od LOD 400 (Todorović, 2013).

Specifikacije so poimenovali kot Stopnje razvoja komponent modelov (angl. Level of Development – LOD) in so razvrščene v kategorije od 100 (najmanj podrobni modeli) do 500 (najbolj podrobni modeli), na kratko pa jih povzemajo naslednji opisi in risba (AIA, 2008 cit. po Todorović, 2013):

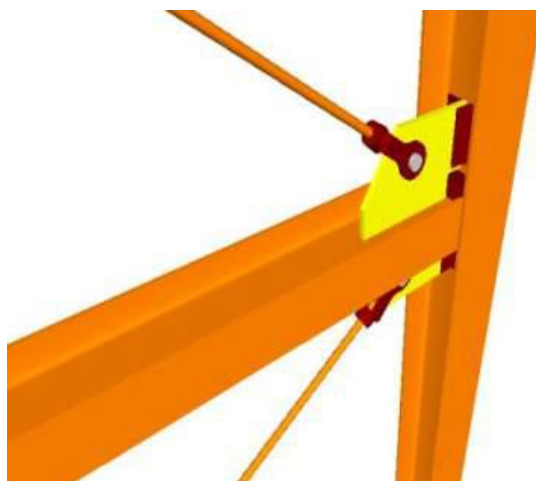
- LOD 100: masne študije celotne zgradbe, ki okvirno podajajo površine, višine, volumne, lokacijo in orientacijo;
- LOD 200: generaliziran sistem ali sklopi z okvirnimi količinami, velikostmi, oblikami, lokacijo in orientacijo;
- LOD 300: specifični sklopi z natančnimi količinami, velikostmi, oblikami, lokacijo in orientacijo;
- LOD 400: specifični sklopi z natančnimi količinami, velikostmi, oblikami, lokacijo in orientacijo, vključno z informacijami celotne izvedbe, sestave in detajlov;
- LOD 500: dejansko zgrajeni sklopi z natančnimi količinami, velikostmi, oblikami, lokacijo in orientacijo.



Slika 10: Level of Development Specification (Vir: BIMForum, 2016)

Specifikacija LOD, ki jo je pripravil BIMForum, pokriva široko področje od zemeljskih del do predmetov notranje opreme in inštalacij, zato je mogoče vsaki vrsti laserskega skeniranja ali digitalne fotogrametrije pripisati ustrezen LOD, ki ga lahko oblikujemo na modelu. Posebej poudarjamo, da gre pri uporabi oblakov točk predvsem za modeliranje geometrije, druge negeometrijske informacije, ki jih moramo modelirati, pa moramo pridobiti iz drugih virov. Meja med uporabo enega ali drugega vira oblaka točk za modeliranje določenega LOD tudi ni tako ostra, kakor bo videti v spodnji tabeli. Gre za predlog uporabe podatkov, ki ima svoje izhodišče v natančnosti in gostoti oblaka točk iz posameznega vira, pri konkretnem primeru pa je treba presoditi, kakšen model lahko napravimo iz razpoložljivega vira.

Primer: Oblak točk terestričnega skeniranja nam omogoča geometrijsko modeliranje jeklenega okvirja za LOD 300 neposredno iz oblaka točk. Ob prevzeti geometriji iz oblaka točk še vedno nimamo podatkov o vrsti jekla, ki jo moramo pripisati modelu za LOD 300. Kljub temu lahko rečemo, da je terestrično skeniranje najoptimalnejša metoda izmere jeklenih konstrukcij za LOD 300. Če bi zagotovili še nekaj dodatnih informacij (izmere s kljunastim merilom, obstoječe dokumentacije ...), bi iz istih podatkov naredili model LOD 400 na popolnoma zadovoljivi ravni, ki omogoča kakovostno projektiranje in izvedbo.



Slika 11: LOD 400, stik jeklenega stebra in nosilca (Vir: BIMForum, 2016)

V Preglednici 1 podajam smernice za uporabo posamezne vrste izmere za doseganje določenega LOD. Izhodišče za podana priporočila so natančnosti in gostote oblakov točk posameznega vira. Ločnica ni ostra, kakor je videti v tabeli v nekaterih zvezah. Treba je upoštevati, s katero opremo in na kakšen način so bile meritve opravljene ter po kakšnem postopku so bili rezultati meritev obdelani.

Preglednica 1: Zveza med tehnologijo zajema in LOD

	LOD 100	LOD 200	LOD 300	LOD 350	LOD 400	LOD 500
Topografska, zračna fotogrametrija z brezpilotnimi plovili	X	X				
Arhitekturna, terestrična fotogrametrija	X	X	X	X	X	X
Zračno lasersko skeniranje	X					
Mobilno lasersko skeniranje na prostem	X	X	X			
Mobilno skeniranje v zaprtih prostorih	X	X	X			
Terestrično lasersko skeniranje	X	X	X	X	X*	
Skenerji kratkega dosega				X	X**	X**
*ob uporabi drugih virov podatkov						
**skenerji, ki omogočajo natančnost boljšo od 0,5 mm						

2.2.2 Postopek preoblikovanje oblakov točk v modele BIM

Skenograme ali fotografije, če gre za fotogrametrijo, je po zajemu na terenu treba preoblikovati v homogen oblak točk, ki odraža obliko terena ali zgradbe v naravi. To je največkrat delo geodetov, saj obvladajo (geodetske) metode izmere, ki so pri večjih zgradbah obvezen vzporeden (ter ob izračunu in registraciji skupen) postopek za zagotavljanje kakovosti izmere.

Registriran oblak točk je nabor podatkov, iz katerega začnemo "graditi" model BIM ali izvajati poizvedovanja na oblaku točk, lahko pa (po potrebi) izvedemo še celo vrsto operacij, s katerimi ga preoblikujemo tako, da bo nadaljnje delo lažje, v nekaterih primerih pa sploh mogoče.

Te operacije so:

- klasifikacija,
- filtracija,
- decimiranje,
- segmentacija in
- urejanje.

Prve štiri faze obdelave oblakov točk so po navadi strojne, s posebnimi algoritmi, urejanje pa je ročno. Navedene postopke je treba izvesti za nadaljnje delo z oblakom točk takrat, ko želimo narediti (pol)avtomatizirane poizvedbe ali 3D-modeliranje. Registriran oblak točk lahko mimo teh postopkov neposredno uvozimo v programe za modeliranje BIM ter ročno prerisujemo geometrijo in ji dodajamo informacije, ki jih razberemo iz oblaka točk ali drugih virov.

2.2.3 Pregled uveljavljenih programov za modeliranje iz oblakov točk

Osnovna funkcionalnost nekega programa za obdelavo podatkov je zmogljiv algoritem, ki omogoča hitre operacije na oblaku točk, pri čemer se izkoriščajo vse zmogljivosti komponent računalnika. Če je tak algoritem vgrajen v računalniški program za modeliranje BIM, zraven pa še osnovna orodja za segmentacijo, ima tak program sposobnost uporabe oblaka točk, saj nam omogoča učinkovito obdelavo, pa čeprav ročno, pri kateri oblak točk uporabljamo kot metrično podlogo, ki jo prerisujemo.

V naslednji stopnji so orodja za:

- različne prikaze oblakov točk (RGB, glede na intenziteto odboja, razred, glede na višino znotraj koordinatnega sistema ...),
- decimiranje,
- zapis različnih datotečnih formatov in

- enostavno segmentiranje.

Te funkcionalnosti so integrirane v najnovejših verzijah programov, ki podpirajo uvoz oblakov točk.

Najnaprednejša orodja omogočajo avtomatizirano preoblikovanje oblakov točk v vektorske datotečne formate.

V nadaljevanju smo predstavili Autodeskovo skupino programov za visokogradnjo in nizkogradnjo, ki omogoča delo z oblakom točk, hkrati pa imajo programi funkcionalnosti, ki omogočajo izdelavo tehnične dokumentacije v procesih BIM. Treba je poudariti, da se tudi drugi vodilni proizvajalci orodij BIM za gradbeništvo zavedajo pomena kakovosti tovrstnih informacij in v svoje rešitve vgrajujejo zmogljivosti za modeliranje iz oblaka točk.

Bentley. Enako napreden ali pa v nekaterih ozirih še bolj napreden kot Autodesk je proizvajalec Bentley. Njihova paradna konja za delo z oblaki točk sta Bentley Pointools in Bentley Descartes, enostavna orodja za nezahtevne operacije na oblakih točk pa so vgrajena v vse njihove produkte za arhitekturo in gradbeništvo.

Nemetschek. Proizvajalec Nemetschek je na tem področju nekoliko zaostal. Zaenkrat je delo z oblakom točk na osnovnem nivoju mogoče v programih Vectorworks in Archicad.

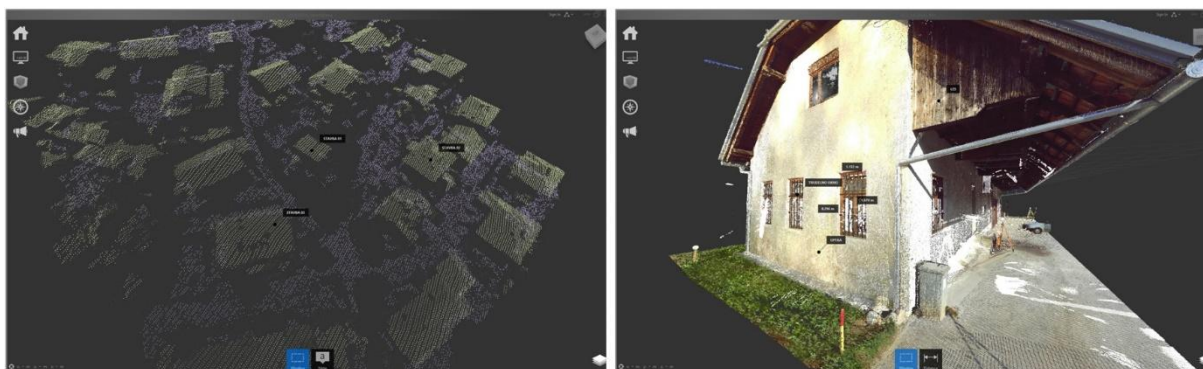
2.2.4 Proizvodi Autodesk za delo z oblaki točk

Autodesk, Inc. je razvijalec programske opreme za arhitekturo, različne discipline inženirstva, operativno gradbeništvo, proizvodnjo, medijsko in zabavno industrijo. V tem poglavju smo predstavili osrednje orodje za obdelavo podatkov daljinskega zaznavanja, predvsem laserskega skeniranja, Recap 360 Pro, in funkcionalnosti za delo z oblakom točk dveh osrednjih programskih orodij s področja BIM-a, to je Revit-a in Civil 3D-ja.

Recap 360 Pro je osrednje Autodeskovo orodje za procesiranje podatkov daljinskega zaznavanja. Sestavljen je iz treh sklopov funkcionalnosti:

- za delo z oblaki točk (Laser Scan Features),
- za digitalno fotogrametrijo (Fly in ReCap 360 Pro – UAS/drone Photo Processing),
- za storitve v oblaku (Sharing and Collaboration).

Z Recapom podatke obdelamo do te mere, da jih lahko prezentiramo ali uporabimo v CAD oz. orodjih BIM.



Slika 12: Autodesk Recap

Sklop orodij za delo z oblaki točk (Laser Scan Features) omogoča izvajanje naslednjih operacij (Autodesk, 2016):

- uvoz in izvoz različnih datotečnih formatov, tudi oblakov točk, ki jih generiramo po metodah digitalne fotogrametrije,
- izdelavo panoramskih, 360-stopinjskih, fotografij in pregledovalnika za virtualne preglede zgradbe,
- segmentiranje, čiščenje in urejanje oblakov točk,
- fotorealistično vizualizacijo oblakov točk,
- registracijo in združevanje z oblaki točk digitalne fotogrametrije ter izdelavo poročil registracije,
- izdelavo videov iz oblakov točk,
- izvajanje meritev na oblaku točk, dodajanje opomb, ki jih preko storitve v oblaku lahko poiščejo in vidijo ter urejajo sodelujoči na projektu.

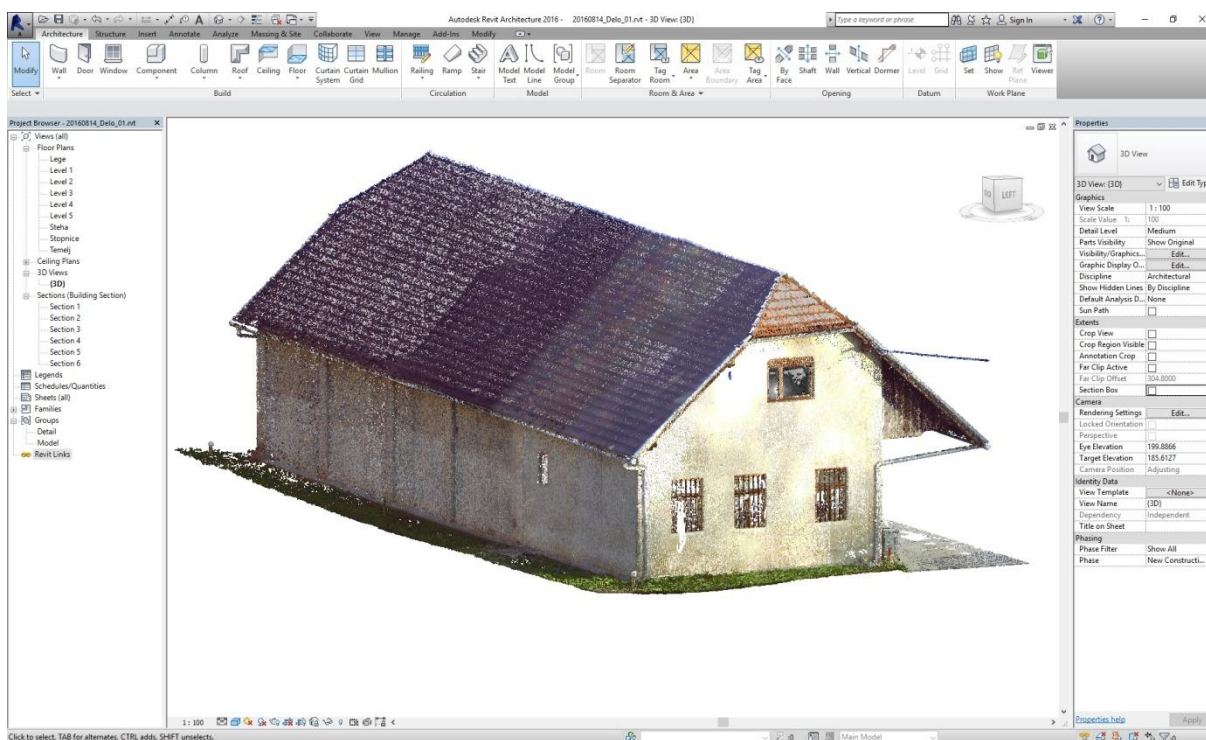
Sklop orodij za digitalno fotogrametrijo (Fly in ReCap 360 Pro – UAS/drone Photo Processing) omogoča izvajanje naslednjih operacij:

- uvoz podatkov za fotogrametrične procedure (fotografij, koordinat kontrolnih točk ...),
- izvedbo fotogrametričnih procesov, izdelavo ortofota in fotogrametričnega oblaka točk,
- triangulacijo poligonov iz oblaka točk,
- dodajanje fotografij iz zunanje serije in ročno "šivanje" v obstoječi mozaik.
- Sklop orodij za storitve v oblaku (*Sharing and Collaboration*) omogoča izvajanje naslednjih operacij:
 - objavljanje in upravljanje podatkov v oblaku ter
 - poizvedbe, označevanje in sinhronizacijo z lokalno delovno postajo.

Autodesk Revit. Revit je osrednje Autodeskovo programsko orodje za izdelavo grafičnega (in tudi pisnega) dela tehnične dokumentacije. Z njim naredimo t. i. model BIM, ki je parametrični 3D-model z meta podatki. Sodi med najzmogljivejša orodja za modeliranje BIM in omogoča delo z oblaki točk. Čeprav nima vgrajenih najnaprednejših orodij za avtomatsko identifikacijo oblike elementov zgradbe, lahko z njim zaradi dobrega prikaza oblaka točk iz njih dokaj učinkovito naredimo model BIM.

Vgrajene ima naslednje funkcionalnosti za delo z oblakom točk (Autodesk, 2016):

- omogoča uvoz podatkov in učinkovito osveževanje, kar je bistveno za delo;
- omogoča prikazovanje oblaka točk po različnih kriterijih: enobarvno, barve RGB, obarvan po višinski skali, po intenziteti odboja in glede na orientacijo normal;
- omogoča osnovno segmentacijo v risalni ravnini in nastavitve merila v primeru, da je oblak točk zapisan z drugimi enotami, kakor se uporabljajo v tehnični dokumentaciji;
- omogoča izris modela BIM na osnovi oblaka točk;
- omogoča slikovno in video prezentacijo modela BIM skupaj z oblakom točk.

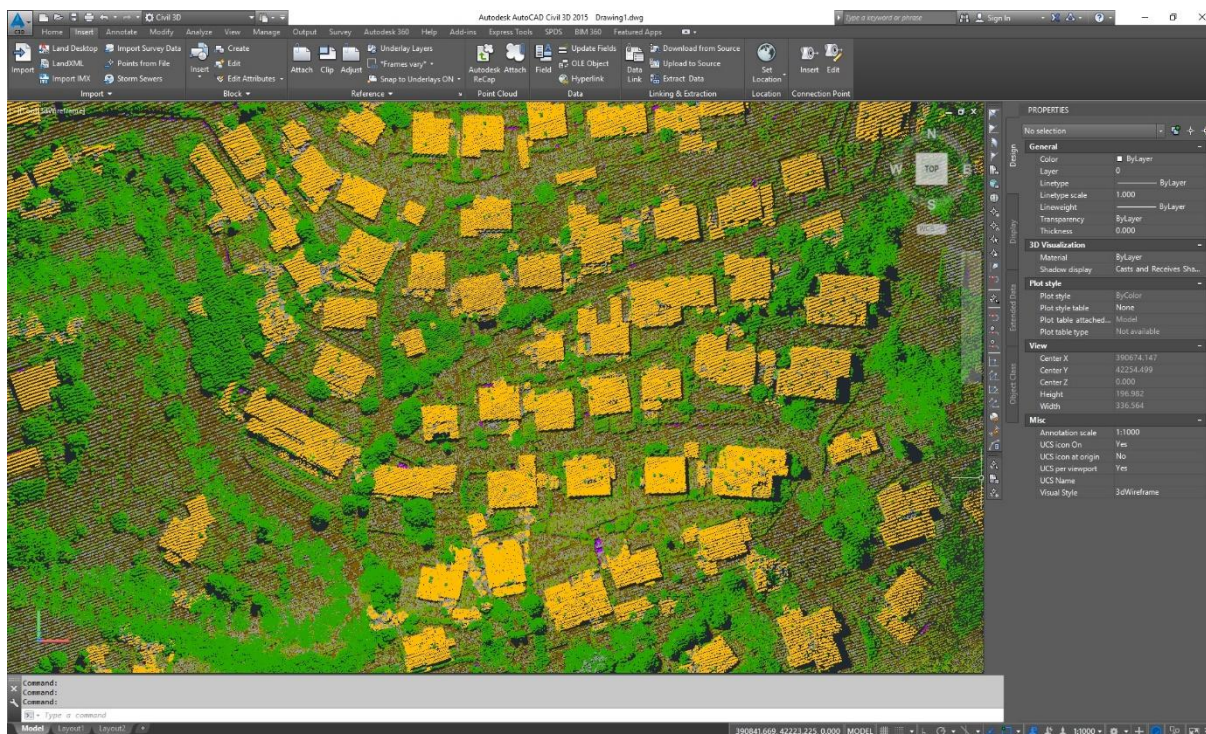


Slika 13: Prikaz oblaka točk v Revitu

AutoCAD Civil 3D. Civil 3D je podobno kakor Revit za visokogradnjo osrednje Autodeskovo orodje BIM za nizkogradnjo. To se mu pozna tudi pri orodjih za delo z oblakom točk. Nekatera orodja so prilagojena za prikazovanje in delo s topografskimi podatki.

Vgrajene ima naslednje funkcionalnosti za delo z oblakom točk (Autodesk, 2016):

- omogoča uvoz podatkov in hitro osveževanje;
- omogoča prikazovanje oblaka točk po različnih kriterijih: enobarvno, RGB barve, obarvan po višinski skali, po intenziteti odboja in glede na orientacijo normal;
- omogoča osnovno segmentacijo, nastavev prikaza gostote oblaka točk (v ozadju ostane gostota točk, iz datoteke uvoza) in nastavev merila v primeru, da je oblak točk zapisan z drugimi enotami, kakor se uporabljajo v tehnični dokumentaciji;
- omogoča ločevanje po razredih oblaka točk, ki mora biti klasificiran pred uvozom v Civil 3D. Na ta način lahko ločimo tla od drugih struktur površja;
- omogoča generiranje 2,5D-površin (ang. Surface), ki odražajo obliko terena. To je osnova za 3D-poizvedbe ali modeliranje;
- omogoča izris 3D-modela na osnovi oblaka točk;
- omogoča slikovno in video prezentacijo 3D-modela skupaj z oblakom točk.

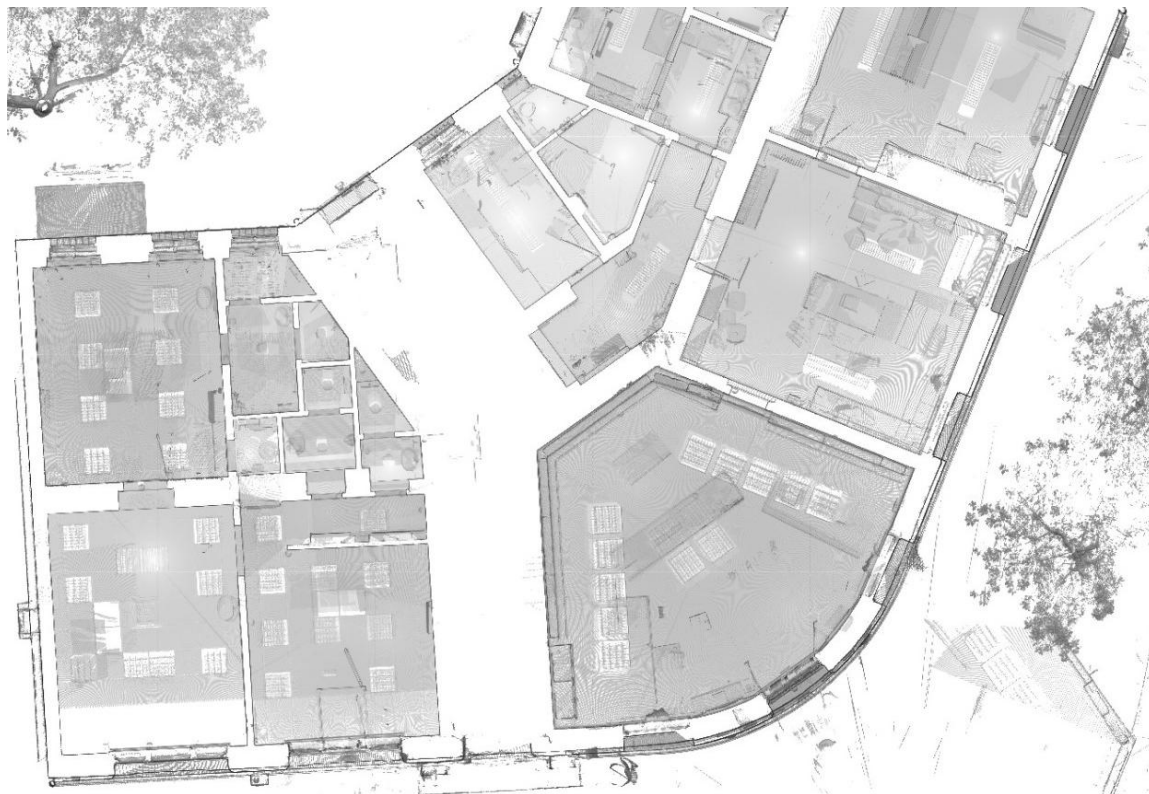


Slika 14: Klasificiran oblak točk v Civil 3D

2.2.5 Programi in dodatki za naprednejšo obdelavo oblaka točk

Samostojni programi in programski dodatki (*angl. add-ons*) za delo z oblaki točk so bili v osnovi razviti, da je bilo delo s tovrstnimi podatki v orodjih CAD in BIM sploh mogoče, saj na začetku razvoja 3D-skeniranja programi za projektante in arhitekte niso imeli razvitih algoritmov, ki bi omogočali uvoz oblakov točk, kaj šele delo z njimi. Samostojni programi, kakršen je PointCab Software, so podatke preoblikovali tako, da jih je bilo moč uvoziti v različne programe CAD in BIM ter na osnovi zmanjšanega obsega in spremenjenega datotečnega formata podatkov generirati model BIM. Programski dodatki so imeli razvit zmogljiv algoritem, ki je omogočal uvoz in prikazovanje oblakov točk v obstoječih programih za načrtovanje, poleg tega pa še mnoga orodja, s katerimi je bila mogoča manipulacija podatkov in (pol)avtomatizirano modeliranje. Zadnji navedeni funkcionalnosti sta še danes razlog, da se programski dodatki uporabljajo in razvijajo naprej. Omogočajo naprednejše in hitrejše delo.

PointCab Software. Je samostojen program nemškega razvijalca PointCab GmbH, ki je bil prvotno razvit za pretvorbo oblaka točk v "ortofoto", ki ni bil pravi ortofoto, saj je bil generiran iz izbranega segmenta oblaka točk.



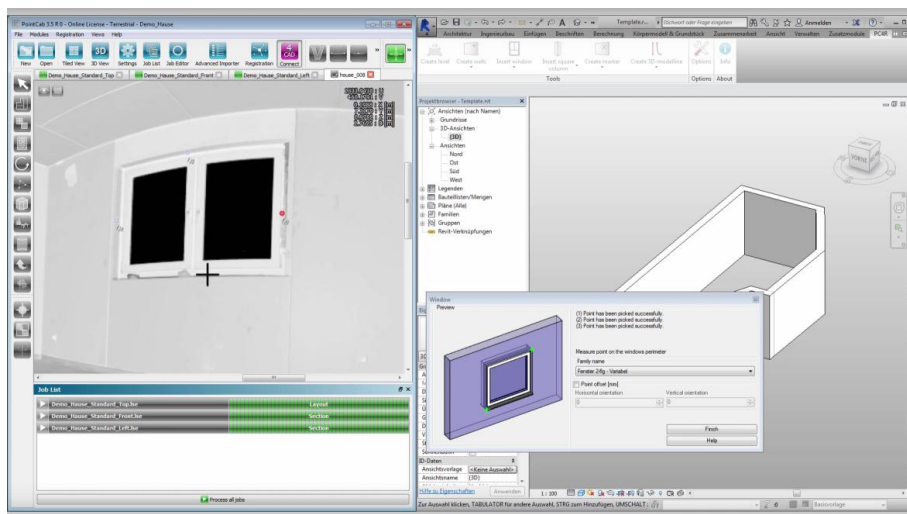
Slika 15: Tloris Lekarne Mirje v Ljubljani (Vir: GP GEO d.o.o., 2016)

Na ta način generiramo tlorise, prereze in poglede, ki jih uporabimo za izris modela BIM. To orodje je še danes najbolj priljubljeno, program pa je v teh letih doživel obsežen razvoj v dve smeri. Prvo področje obsega orodja, ki omogočajo obdelavo točk na način, da hitro in enostavno pridemo do robustnih rezultatov, ki so uporabni v začetnih fazah projektiranja in med gradnjo. Funkcije omogočajo naslednje operacije:

- uvoz in izvoz različnih datotečnih formatov,
- registracijo oblakov točk,
- decimiranje podatkov,
- izdelavo panoramskih fotografij in spletne dokumentacije zgradbe,
- izdelavo "ortofoto" tlorisov, prerezov in pogledov ter metrično umeščanje digitalne fotografije na izbrani pogled,
- (pol)samodejno vektorizacijo tlorisov, prerezov in pogledov,
- samodejni izris prečnih profilov terena,
- izpis koordinat iz prerezov in pogledov,
- triangulacijo poligonov iz oblaka točk in izračun volumnov,
- izračun odstopanj oblaka točk od izbrane ravnine – analizo ukrivljenosti ploskev,
- analizo cilindričnih objektov.

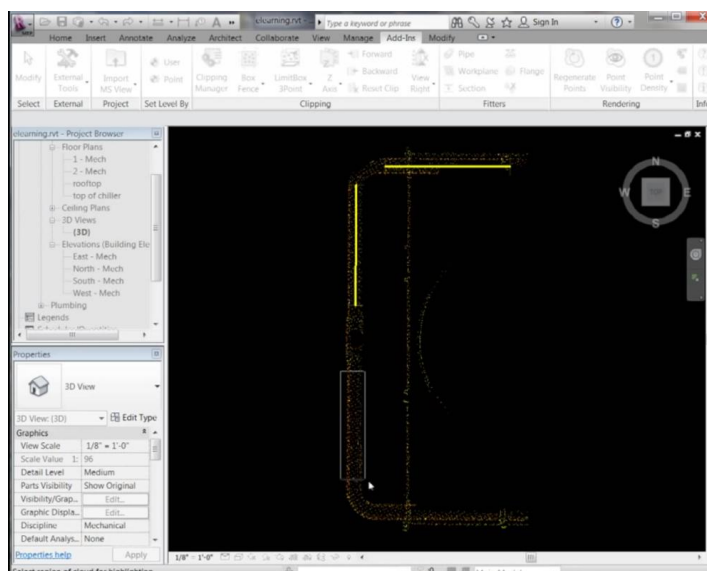
Funkcije so zelo različne, razpršene po različnih področjih uporabe v gradbeništvu in so za proces BIM uporabne kot pomožno orodje za hitro prezentiranje rezultatov meritev.

Vse množičnejši rabi orodij BIM so se pri PointCab GmbH prilagodili z nadgradnjo njihovega programa na povezljivost z Revitom in Archicadom. Razvili so dodatke (*angl. plug-ins*), ki jih namestimo v Revit ali Archicad in ju na ta način povežemo s PointCabom. Ta dodatek deluje tako, da podatke o geometriji zgradbe prenaša iz PointCaba. V modelirniku BIM (Revitu ali Archicadu) izberemo tip predmeta, ki bi ga želeli modelirati, v tlorisu ali na panoramski fotografiji pa odčitavamo koordinate, ki določajo položaj predmeta. Dejansko se geometrija zgradbe odčitava v PointCabu, modeliranje pa se izvaja v Revitu ali Archicadu. Zadeva je enostavna in intuitivna in omogoča dokaj hitro delo. Seveda je do informacijsko dobro opremljenega modela še kar nekaj korakov (PointCab GmbH, 2016).



Slika 16: PointCab4Revit (Vir: PointCab GmbH, 2016)

Leica CloudWorx za Revit. Leica CloudWorx je program, ki se kot dodatek namesti v Revit. Omogoča neposredno izdelavo modela BIM na oblaku točk v Revitu, in to skozi dva pristopa; prerasuje se segmentirane podatke (za kar ima program zelo dovršene funkcije) ali z naprednejšimi funkcijami za samodejno identifikacijo geometrijskih oblik na izbranem vzorcu oblaka točk. Delo pri drugem, polsamodejnem pristopu poteka tako, da izbiramo dele oblaka točk, ki mu želimo pripisati določeno geometrijsko obliko, program pa samodejno prilagodi velikost in lego elementa. V primeru na spodnji sliki je to del cevovoda.

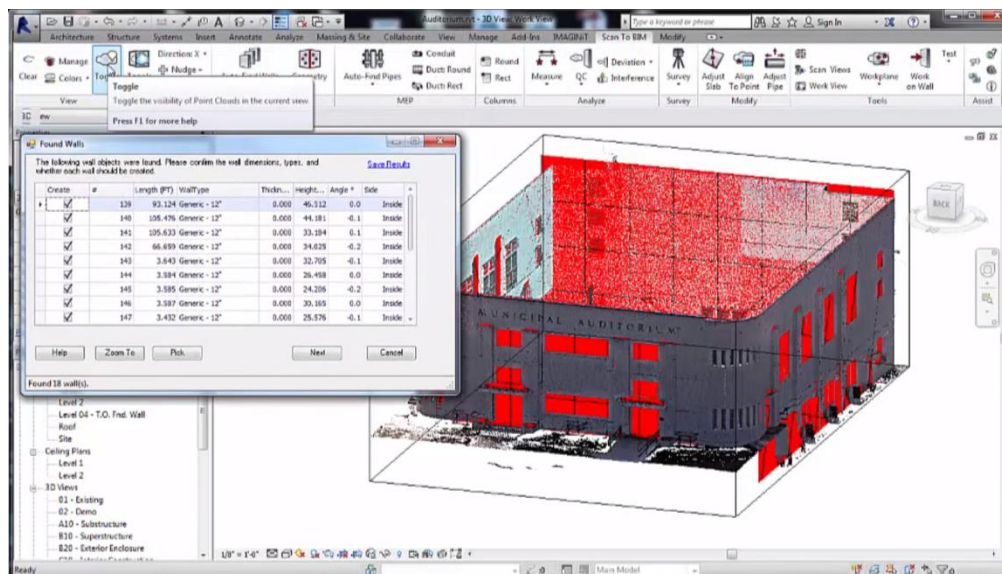


Slika 17: Samodejno zaznavanje osi cevovoda (Vir: SCCS Survey, 2016)

Funkcije Leica CloudWorx za Revit (Leica Geosystems, 2016):

- uvoz različnih datotečnih formatov, tudi neposredno iz Leica Cyclone,
- omogoča prikazovanje oblaka točk po različnih kriterijih: enobarvno, RGB barve, obarvan po višinski skali in po intenziteti odboja,
- omogoča nastavitve prikaza gostote oblaka točk (v ozadju ostane gostota točk, iz datoteke uvoza in jo lahko pozneje ponastavimo),
- orodje za segmentacijo oblaka točk na zelo napreden način; po oseh koordinatnega sistema, po slojih, po poljubno izbranih volumnih,
- določanje etaž neposredno iz oblaka točk,
- polsamodejno zaznavanje ravnih ploskev, cevovodov, prezračevalnih kanalov in jeklenih profilov na izbranem vzorcu podatkov,
- topološko urejanje cevovodov,
- polsamodejno prilagajanje risalne ravnine na izbrani vzorec podatkov (npr. na steno),
- polsamodejno prilagajanje linije izbranemu vzorcu podatkov.

Scan to BIM™ add-on for Autodesk Revit. Scan to BIM™ je eden najstarejših programov za izdelavo modelov BIM iz oblaka točk, kar se mu pri zmogljivostih pozna. Od Cloudworxa se razlikuje po tem, da ima sposobnost zaznavanja in (pol)samodejnega modeliranja sten nepravilnih oblik (ki niso ravne, pravokotne ena na drugo in niso vertikalne), iskanje izbranega tipa sten v oblaku točk, triangulacijo poligonov in izdelavo predmetov iz le-tega, samodejno iskanje cevovodov in robov ploskev. Napreden je v tem, da omogoča določeno stopnjo avtomatizacije.



Slika 18: Samodejno zaznavanje sten (Vir: IMAGINiT Technologies, 2016)

Funkcije Scan to BIM™ (IMAGINiT Technologies, 2016):

- uvoz različnih datotečnih formatov,
- omogoča prikazovanje oblaka točk po različnih kriterijih: RGB barve, obarvan po višinski skali in po intenziteti odboja,
- decimiranje podatkov,
- segmentacija oblaka točk na zelo napreden način; po oseh koordinatnega sistema, po slojih, po poljubno izbranih volumnih, po prečnih prerezih ...,
- polsamodejno in samodejno zaznavanje sten, cevovodov, prezračevalnih kanalov in stebrov na izbranem vzorcu podatkov,
- modeliranje prostih oblik s triangulacijo poligonov iz oblaka točk in formiranje predmetov iz poligonov,
- analiza odstopanj modela BIM od oblaka točk, se pravi primerjava med projektiranim in izvedenim stanjem. Funkcija se lahko uporabi za preverjanje kakovosti samega modeliranja.

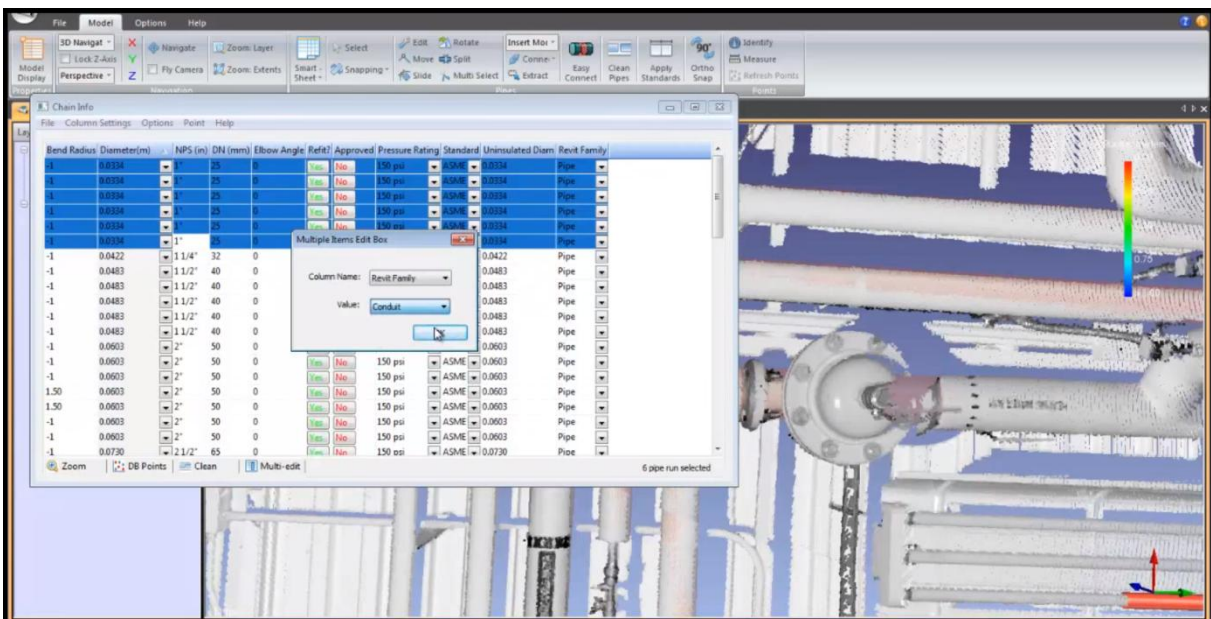
EdgeWise BIM Suite. EdgeWise je vodilni program za avtomatizirano prepoznavanje elementov zgradb. Pokriva široko področje različnih programov CAD in BIM, od arhitekture do industrije. Predstavili smo modul, s katerim se modelirajo elementi za Revit. Revit je edini program BIM za arhitekturo in gradbeništvo, ki ga trenutno pokriva Clear Edge 3D s svojimi rešitvami.

Je samostojen program in v polni zmogljivosti dela z vsemi datotečnimi formati vodilnih proizvajalcev terestričnih skenerjev. Princip delovanja programa je tak, da v program, ki deluje popolnoma neodvisno od Revita, uvozimo registrirane skenograme. Zaradi delovanja programa je najbolje, da so oblaki točk v originalnih formatih tovarniških programov za registracijo in ločeni po stojiščih.



Slika 19: Samodejno zaznavanje cevodovov v EdgeWise (Clear Edge 3D, 2016)

V prvi fazi analize program poišče izbrani tip elementov v stavbi; vse cevi ali vse ravnine sten (pri nepravilnih stenah ni tako napreden kot Scan to BIM™, kar je pri tej stopnji avtomatizacije in hkratnem zagotavljanju kakovosti modeliranja razumljivo) ali vse jeklene profile. Pri dobri pokritosti detajla in kakovostnem oblaku točk (položajno natančnem, z malo šuma) EdgeWise generira večino osno ali ploskovno ravnih delov elementov.



Slika 20: Strukturiranje podatkov v EdgeWise (Clear Edge 3D, 2016)

V drugi fazi moramo te podatke preveriti, urediti stike med njimi, polsamodejno ali ročno modelirati elemente, ki jih program ne modelira samodejno, jim pripisati tip in standardne materiale, jih združiti v sisteme, kot so podatki strukturirani v Revitu. Urejene in strukturirane podatke izvozimo v prehodno datoteko *.c3rvt, ki jo uvozimo v Revit.

Tretja faza modeliranja z EdgeWise se izvaja v Revitu. Pri Clear Edge 3D so za uvoz in preverjanje kakovosti ter dopolnjevanje modela razvili dodatek, ki ga inštaliramo v Revit. Vsebuje orodja za analizo napak modeliranja s primerjavo odstopanja oblaka točk od modela. Po izboljšanju uvoženega modela moramo model dopolniti z elementi, ki jih EdgeWise ne zazna, in jih modeliramo znotraj Revita ročno ali s katerim od programov za delo z oblaki točk v Revitu.

EdgeWise je napreden in v situacijah, kjer je veliko tipskih ter ponavljajočih se elementov, zelo učinkovit program. Primeren je predvsem za modeliranje cevovodov, prezračevalnih kanalov in jeklenih profilov. Za modeliranje arhitekturnih elementov je njegova uporabnost zelo omejena in je potrebno veliko dodatnega modeliranja znotraj Revita, posebej pri višjih LOD, celo pri cevovodih, ki so EdgeWise-vo najmočnejše področje. Elemente kot so podpore, senzorji, ventili moramo dodati naknadno.

3 DOPOLNITEV MODELA BIM Z DRUGIMI VIRI

3.1 Zajem podatkov težko dostopnih in nevidnih delov zgradb

3.1.1 Delna rešitev je izraba različnih tehnologij 3D-skeniranja

Za bolj oddaljene dele (npr. fasada stolpnice) lahko uporabimo drug tip terestričnega skenerja, ki zaradi počasnosti zajemanja podatkov ni primeren za notranje prostore, je pa bolj natančen na večje razdalje. Prostorsko zelo omejene detajle, niše in goste detajle inštalacij, lahko zajamemo z ročnim skenerjem.

Podatke moramo postaviti na isti imenovalec, predvsem z vidika geometrije in pa tudi z informacijskega vidika, to je, da so pripravljene tako, da jih bo moč uporabiti skupaj s podatki drugih načinov zajema. Za izdelavo modela BIM želimo imeti homogen oblak točk v eni ali več datotekah, zapisan v istem datotečnem formatu.

Popolna homogenost ni možna, ker različne tehnologije skeniranja dajo različno kakovostne rezultate, lahko pa oblake točk različnih skenerjev registriramo v skupni koordinatni sistem. To naredimo s skupno registracijo skenogramov iz različnih naprav. Če se pri izmeri in registraciji poslužimo geodetske izmere kontrolnih točk dobimo kakovostnejši rezultat in neodvisno kontrolo natančnosti podatkov.

Datotečni formati različnih proizvajalcev skenerjev so relativno dobro konvertibilni v drug format. Nekaj več pozornosti je treba posvetiti pretvorbi, saj se v določenih programih pri uvozu podatki (koordinate, RGB barve, intenziteta odboja, normale na ploskve) spremenijo.

Po uspešnem uvozu v skupni program za registracijo in registraciji podatke izvozimo v enotni datotečni format.

3.1.2 Uporaba alternativnih tehnologij – termografija in georadar

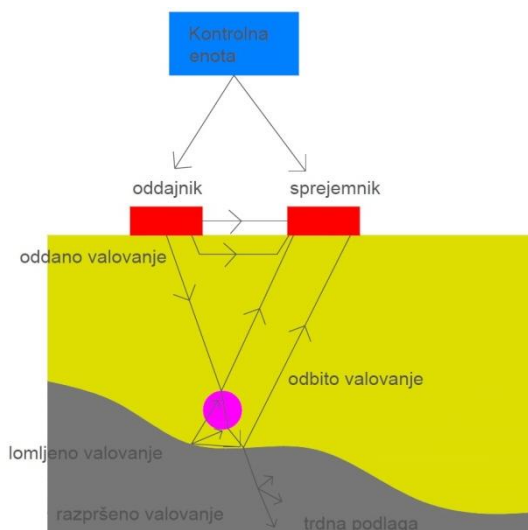
3D-skeniranje je odlična tehnologija za zajem podatkov na površju, na osnovi daljinskega zaznavanja pa ne pridobimo nikakršnih informacij o strukturi snovi pod površino, kar nas v gradbeništvu zanima pri posegih v zgradbe.

V tem poglavju smo predstavili dve tehnologiji za nedestruktivno zaznavanje pod površjem snovi: georadar in termografijo.

Za predstavitev teh dveh tehnologij smo se odločili zaradi cenovne dostopnosti (v cenovnem območju do 10.000 € dobimo že zelo kakovostne naprave) in kompleksnosti rezultatov, ki jih lahko z njima pridobimo.

3.1.2.1 Georadar ali GPR (ang. Ground Penetrating Radar)

"Georadar je elektromagnetna naprava, ki omogoča raziskovanje različnih naravnih in tudi umetnih objektov. Za raziskovanje podpovršinskih slojev uporablja georadar pulze visokofrekvenčnih elektromagnetnih valov (od 10 do 1600 MHz). Elektromagnetno valovanje prodira v snov in ko naleti na mejo dveh snovi, se del odbije nazaj na površino, del pa nadaljuje pot navzdol. Jakost odbitega valovanja je odvisna od sestave meje dveh snovi (Novak, 2007)."



Slika 21: Princip delovanja georadarja (Vir: Novak, 2007)

Na ta način lahko izrišemo zvezni profil preiskovane snovi. Gostota merskih profilov mora biti kompromis med želeno natančnostjo meritev in najhitrejšo možno izvedbo meritev (Komel, Pavlič, 2016). Ko več profilov v različnih (najbolje pravokotnih) smereh orientiramo v koordinatni sistem zgradbe, lahko tridimenzionalno izrišemo strukturo elementov. "Snovi, ki jih preiskujemo, so lahko naravnega ali umetnega izvora, debele od nekaj centimetrov do nekaj deset metrov, kar še povečuje uporabnost georadarja (Komel, Pavlič, 2016)."

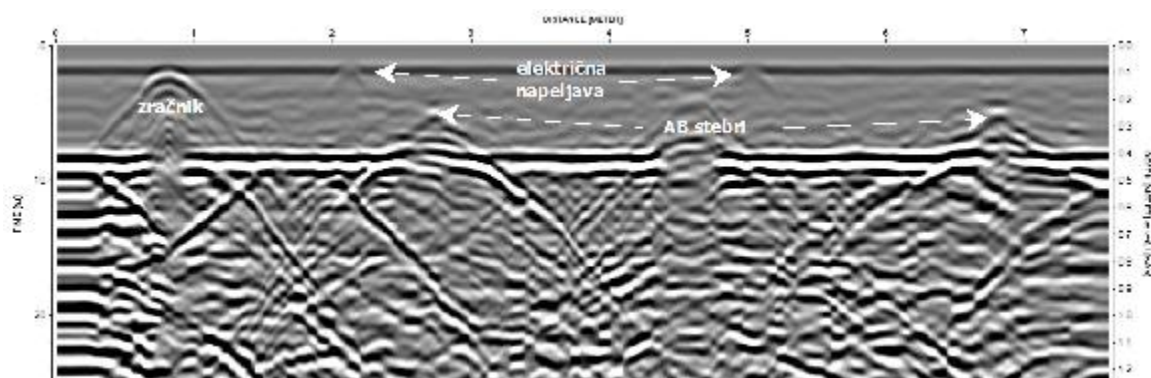
Značilno za to tehnologijo je, da na nedestruktiven način zagotovi izredno podrobne in natančne rezultate pod vidnim površjem snovi. Natančnost meritev z GPR je do enega centimetra (Novak, 2007).

"Edina omejitev, ki jo georadar ima, so fizikalne oz. elektromagnetne lastnosti preiskovanega medija. Metoda georadarskih preiskav odpove v primerih, ko sestavljajo površinski sloj, po katerem potuje antena dobro prevodni materiali, kot so zelo vlažne gline ali melji, slana voda ter različne snovi (žlindre) z visoko vsebnostjo železa (Komel, Pavlič, 2016)."

GPR ima širok spekter uporabe: v gradbeništvu, geotehniko, geologiji, hidrologiji, umetnostni zgodovini, varstvu okolja, forenziki in arheologiji. Z vidika zbiranja informacij o zgradbah so zanimive predvsem aplikacije v gradbeništvu.

Z georadarjem:

- odkrivamo inštalacije v stenah, tleh in stropovih,
- preiskujemo strukturo armiranobetonskih konstrukcij, zaznavamo položaj armature,
- ugotavljamo kakovost injektiranja konstrukcijskih elementov,
- analiziramo konstrukcijske elemente – natančno lahko določimo debeline slojev sten, plošč in streh (Komel, Pavlič, 2016).



Slika 22: Radargram stenskih inštalacij ter konstrukcijskih elementov (Vir: Komel, Pavlič, 2016)

3.1.2.2 Termografija

"Infrardeča termografija ali krajše termografija je prikaz toplotne slike na osnovi nekontaktnega merjenja toplotnega sevanja, ki leži v infrardečem delu elektromagnetnega spektra. Za merjenje se uporablja posebna termografska kamera, ki omogoča, da vidimo objekte na osnovi njihove izsevane in reflektirane toplote (Težak, 2005)."

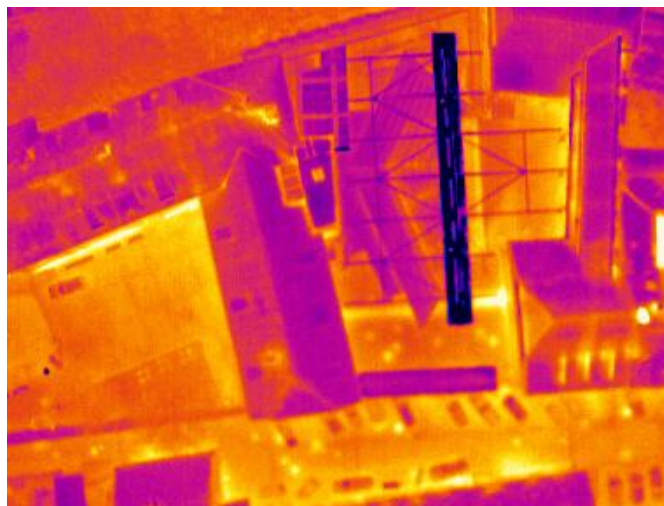
"Slikanje z infrardečo kamero (termokamero) ali na kratko termografija nam da podatke o površinski temperaturi telesa. Pri uporabi termokamere v gradbeništvu po navadi najprej pomislimo na slikanje objektov pri iskanju toplotnih mostov. Vendar pa lahko termokamero uporabimo tudi za neporušne

preiskave, kjer nam izmerjena temperaturna slika površine merjenca in njena časovna odvisnost odkrijeta, kaj se skriva pod površino. V primerjavi z drugimi neporušnimi metodami, kot so na primer ultrazvok, radar ali meritev električne upornosti, imajo termografske preiskave nekaj prednosti: metoda je hitrejša od drugih naštetih, relativno poceni in med merjencem in kamero ni potreben fizični stik. Zaradi tega ni potrebna površinska obdelava merjenca pred meritvijo in preiskujemo lahko tudi površine, kjer je fizični stik težko zagotoviti (Cotič et al., 2014)."

Pri zajemanju podatkov s termokamero poznamo dva pristopa: prvi je enkratni posnetek in mu pravimo pasivna termografija, pri drugem opazovano telo opazujemo dalj časa in ga imenujemo aktivna termografija.

Pasivna termografija. "Pri pasivni termografiji opazujemo objekte v kvazistacionarnem stanju. Sem sodi na primer slikanje stavb pozimi za določanje toplotnih mostov ali slikanje delujočih naprav za iskanje mest, kjer se pregrevajo (Cotič et al., 2014)."

Za pridobivanje podatkov modelov BIM je ta metoda uporabna za grobo, pregledno analizo strukture konstrukcij starejših zgradb. Neprimerljivo boljše rezultate nam daje aktivna termografija.

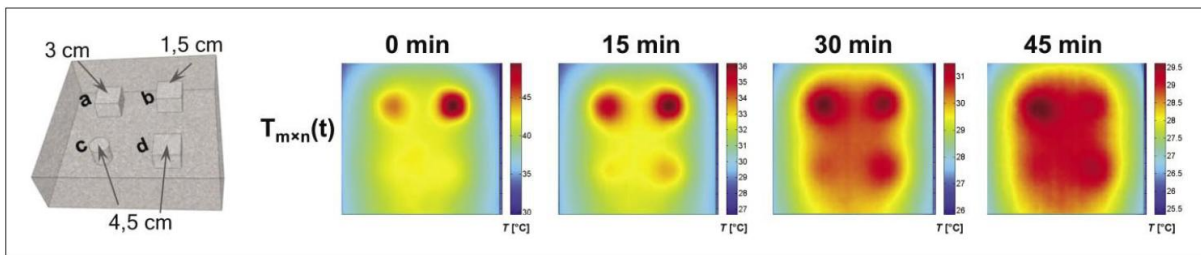


Slika 23: Odkrivanje konstrukcij strehe, posnete z brezpilotnim plovilom (Vir: GP GEO d.o.o., 2016)

Aktivna termografija. "Iz izmerjene časovne odvisnosti površinske temperature in poznavanja procesov prenosa toplote v snovi lahko sklepamo o notranji strukturi preizkušanca (Cotič et al., 2014).

"Pri aktivni termografiji objekt, ki ga preiskujemo, na eni strani opazovanega telesa grejemo z grelniki in opazujemo, kako se površinska temperatura spreminja s časom. Če je na primer pod površino preizkušanca kovina, ki odlično prevaja toploto, se bo tam po izključitvi gretja temperatura hitreje zmanjševala kot na mestu, kjer je pod površino toplotnoizolacijski material (Cotič et al., 2014)."

Z opazovanjem temperaturnega kontrasta ob različnih časih odčitavamo anomalije v opazovanem telesu. Iz anomalij lahko sklepamo o strukturah v konstrukcijah, ki so različne od tistih v njeni okolici.



Slika 24: Časovno zaznavanje različno globokih anomalij (Vir:Cotič et al., 2014)

S povezavo podatkov GPR-ja, ki nam izriše globinski profil, in termografije, ki nam da ploskovno sliko o strukturi dobimo bogate podatke o strukturi in tudi termičnih lastnostih konstrukcije.

Obe metodi zajemanja podatkov navajam kot alternativo za izjemne situacije, kjer drugi viri niso na voljo, podatki pa so za inženirsko delo neizogibno potrebni. Kljub relativno nizki ceni tehnike za izvedbo GPR in termografskih meritev je cena storitve zaradi zamudnega zajema in obdelave podatkov visoka in je investitorji niso pripravljeni plačati.

3.2 Uporaba obstoječe dokumentacije

Eden od možnih virov podatkov je obstoječa dokumentacija. Ta vir je najcenejši in manj zanesljiv od zajema na zgradbi. Uporabimo ga takrat, ko ni na voljo drugih podatkov.

Če predpostavimo, da imamo na voljo oblak točk in nobenih drugih virov, je smiselno iz arhivske tehnične dokumentacije prevzemati izključno podatke, ki jih ne moremo odčitati na oblaku točk.

4 IZDELAVA MODELA BIM S PROGRAMSKIM ORODJEM REVIT

V praktičnem delu naloge je postopek priprave podatkov in izgradnje modela iz oblaka točk pokazan na primeru gospodarske stavbe Auerspergove železarne v Dvoru pri Žužemberku. Stavba je spomenik državnega pomena (evidenčna številka enote: 8120) in se zanjo načrtuje prenova. Trenutno se v njej nahajajo manjši muzej, dvorana za letne prireditve in garaža za gasilsko vozilo.

Za te potrebe je bil po naročilu investitorja, Ministrstva za kulturo, leta 2014 izdelan arhitekturni posnetek obstoječega stanja. Posnetek je bil narejen v vektorskih dvodimenzionalnih risbah.



Slika 25: Oblak točk stavbe Auerspergove železarne

Za potrebe te naloge smo izdelali model BIM, s katerim želimo na kratko predstaviti:

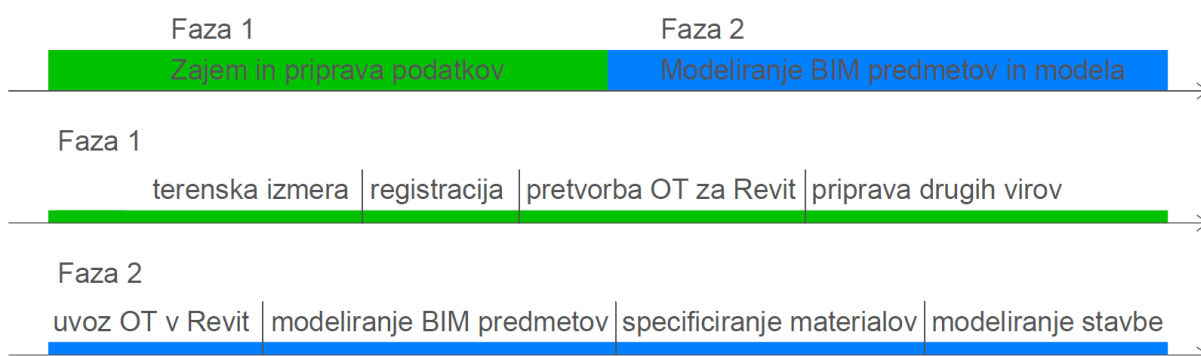
- izmero z laserskim skenerjem, ker je od tega odvisno nadaljnje delo, in končni izdelek,
- postopek priprave podatkov, združevanje podatkov v predmete ter
- izdelavo modela BIM.

Nekaj več poudarka je na vnašanju informacij o fizikalnih lastnostih materialov in elementov stavbe, ki se nanašajo na gradbeno fiziko.

Izdelava modela BIM iz oblaka točk je potekala v dveh fazah:

- Faza 1: V prvi fazi smo podatke zajeli na terenu, izvedli izračune ter registracijo, potem pa podatke oblikovali tako, da jih lahko uvozimo v Revit.
- Faza 2: V drugi fazi smo podatke uvozili v Revit in iz njih najprej modelirali predmete, potem pa celotno zgradbo.

Spodnji diagram prikazuje glavne korake procesa, podrobneje pa so predstavljeni in komentirani v nadaljevanju.



Slika 26: Faze izdelave modela BIM

Uporabljena oprema za skeniranje in izdelavo modela BIM:

- stavbo smo posneli s terestričnim laserskim skenerjem Faro Focus 3D S 120;
- osnovno filtriranje, registracijo skenogramov in pripravo panoramskih fotografij smo naredili s programom Faro Scene;
- za predpripravo oblaka točk za uvoz v Revit smo uporabili Autodesk Recap in PointCab Software;
- model smo modelirali z Autodesk Revitom.

Uporabljena oprema za geodetsko izmero:

- 2" tahimeter Trimble M3,
- za izračun geodetskih meritev smo uporabili programa Leica GeoOffice in GeoPro.

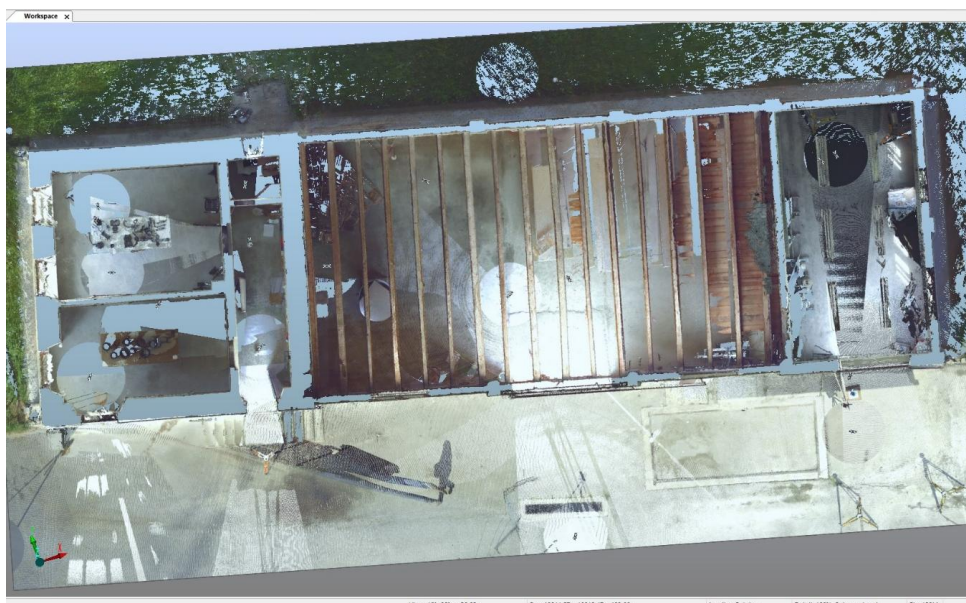
4.1 Priprava podatkov

4.1.1 Terenska izmera in izračun meritev

Kakovost podatkov s terena smo dosegli:

- z načinom izmere in registracije;
- z uporabo programov skeniranja, ki na določeni razdalji pokrijejo detajl s točkami na razdalji 5 mm ali manj;
- z delom ob svetlobnih pogojih, v katerih lahko naredimo tako kakovostne panoramske fotografije, da iz njih beremo vrste vgrajenih materialov.

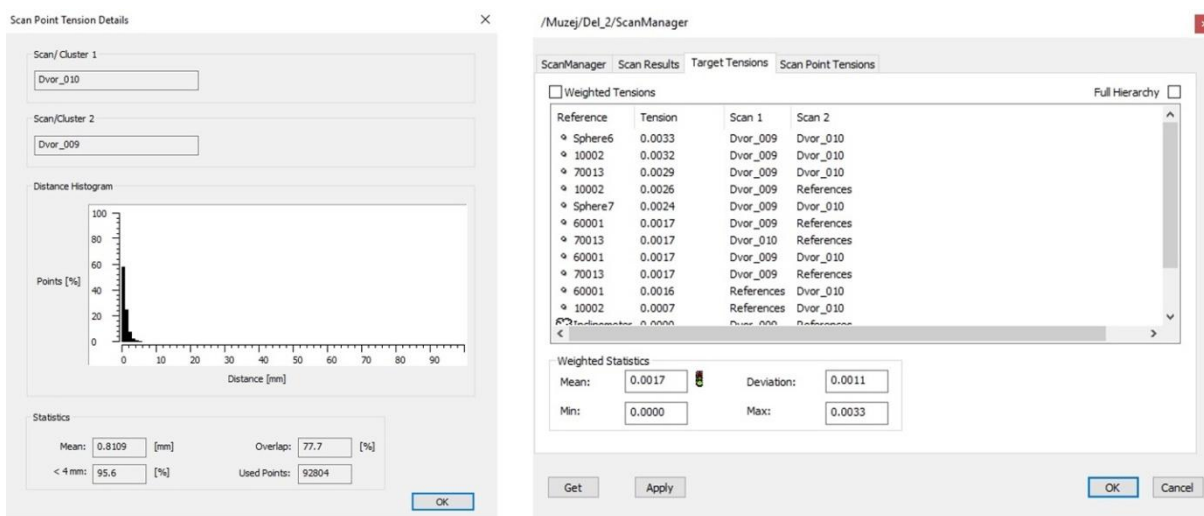
Skeniranje na terenu. Način izmere – samo s skenerjem ali z vzporedno geodetsko metodo – določimo glede na velikost in obliko zgradbe. Če gre za manjše stanovanje ali manjšo enodružinsko hišo, pri kateri so prostori s prehodi dobro povezani, se odločimo za način skeniranja in registracijo brez kontrolnih (oslonilnih) točk. Stavbo železarne v Dvoru bi glede na zunanje dimenzije in velikosti prostorov lahko izmerili na ta način, če bi imela prehode med notranjimi prostori in zadosti zunanjih odprtin v obeh etažah. V pritličju ima tri ločene in enostranske vhode v tri različne dele etaže, zgornja etaža pa je z okolico povezana skozi eno nišo v sredini tlorisa in enim z oknom, ki se ne odpira. Edini način za registracijo z natančnostjo (izmerjenih površin) boljšo od 1 cm, je s pomočjo referenčnih točk.



Slika 27: Tloris pritličja iz treh ločenih delov

Koordinate referenc je izmeril geodet z geodetsko metodo izmere in izračuna koordinat. Orientacija proti severu, kar je za energetska analizo pomembno, je bila narejena iz podatkov notranjega kompasa inštrumenta.

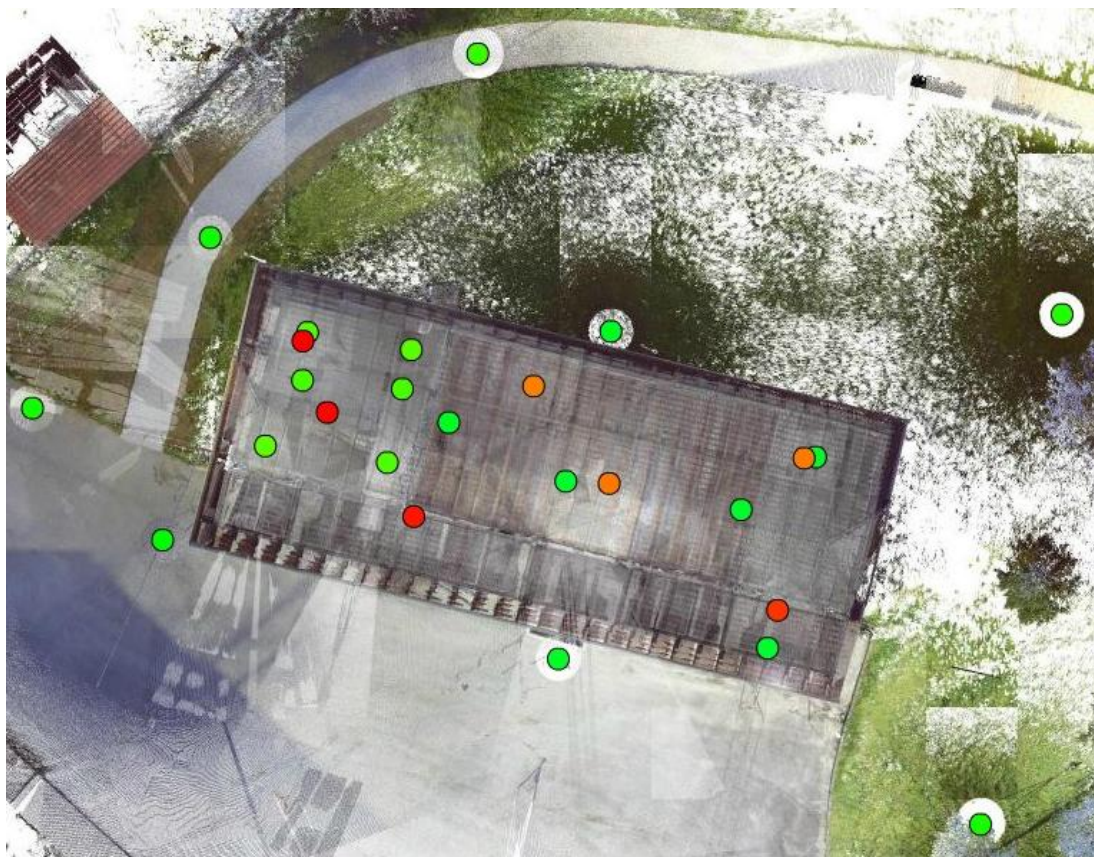
Registracijo smo naredili s programom Faro Scene. Notranji prostori so bili delno registrirani s t. i. metodo "cloud to cloud", pri kateri program poišče identične površine in s približevanjem ploskev določi medsebojni položaj skenogramov, deloma pa z navezovanjem meritev na kontrolne točke, ki so bile najprej poskenirane, potem pa geodetsko izmerjene. Skenograme zunaj stavbe smo registrirali s pomočjo oslonilnih točk. Kakovost rezultatov meritev in izračuna smo ocenili iz poročil, ki jih ponuja Scene in prikazujejo delež prekrivajočih se točk in njihovega položajnega ujemanja, ter na osnovi tenzij (razlik med določitvijo koordinat s skenerjem in s tahimetrom) na koordinatah referenc. Ocenjujemo, da je natančnost boljša od 1 cm. Dodatno smo znotraj posameznih sklopov skenogramov, ki so bili registrirani skupaj in med različnimi sklopi, vizualno pregledali ujemanje površin. Pregled je potrdil, da smo z oceno natančnosti močno na varni strani.



Slika 28: Rezultati registracije, levo "cloud to cloud", desno z referencami

Pokrivanje površin detajla. Stavba smo skenirali z osemindvajsetimi stojišči; z devetnajstimi stojišči znotraj in devetimi stojišči zunaj. V konkretnem primeru to zadošča za izgradnjo modela BIM LOD 300, brez dodatnih izmer, ampak z uporabo drugih virov za vnos informacij v model. Na oblaku točk so razvidni vsi elementi nosilnih konstrukcij in njihova oblika ter vse stavbno pohištvo. Notranji opremljenosti se iz tega oblaka točk da določiti lego v stavbi. Deli stavbe so bili za snemanje relativno enostavno dosegljivi, še največ težav je povzročala labilna konstrukcija v nadstropju, ki jo je bilo treba

med vsakim programom skeniranja zapuščati v izogib pomikom in vibracijam skenerja med delovanjem. Na tem delu je bila nekoliko zahtevnejša tudi geodetska izmera.



Slika 29: Položaji stojišč; oranžna in rdeča stojišča so v drugi etaži

Priprava panoramskih fotografij in spletne aplikacije za posredovanje fotografij

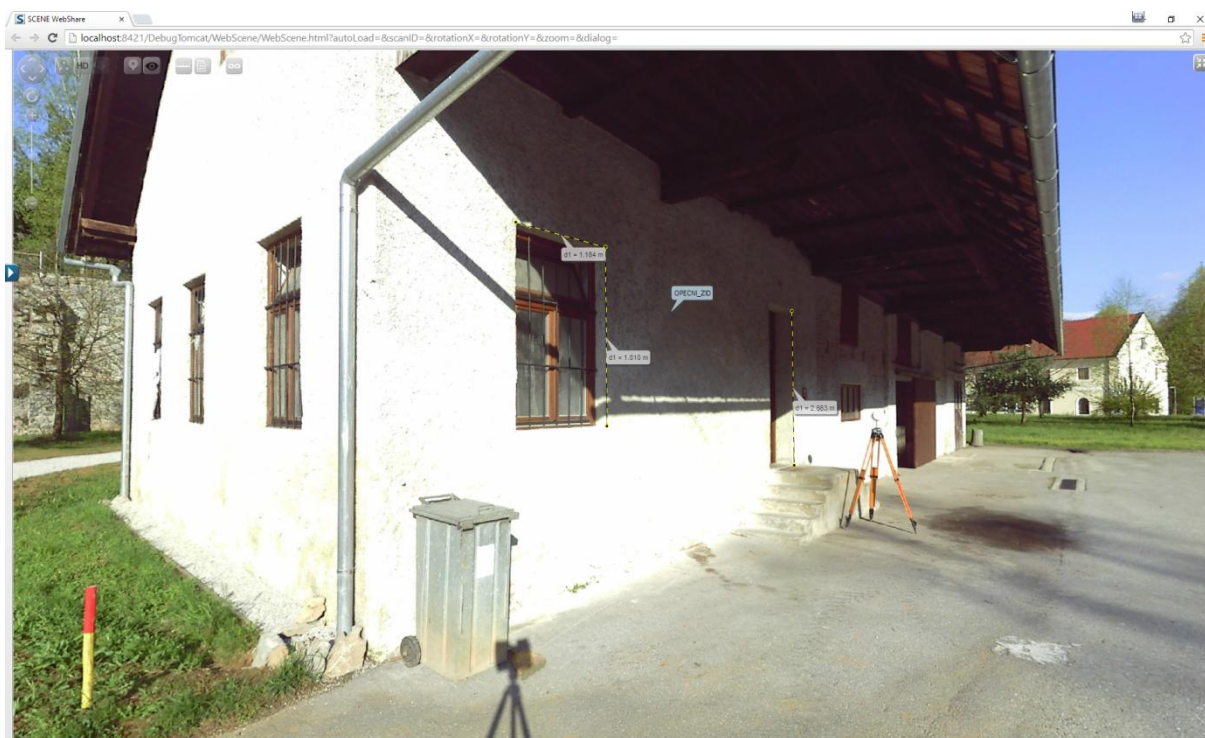
V pritličju in v okolici stavbe smo hkrati s skeniranjem zajeli panoramske, 360-stopinjske fotografije, ki so zadostne kakovosti, da iz njih lahko prepoznamo podrobnosti detajla. Nekaj fotografij smo naredili z navadnim digitalnim fotoaparatom – bolj za rezervo kakor iz potrebe, saj se je pri modeliranju izkazalo, da so vse potrebne informacije berljive iz fotografij skenerja in dodatne fotografije niso bile uporabljene. V nadstropju fotografij zaradi slabih svetlobnih pogojev nismo naredili.

Svetlobni pogoji za samo skeniranje niso zelo bistveni. V pogojih šibke svetlobe je delovanje skenerja celo boljše kakor pri močni izpostavljenosti sončne svetlobe. Če govorimo o 3D-skeniranju kot zagotavljanju informacij za delo inženirjev in arhitektov po principih BIM-a ter za komunikacijo z investitorji, pa so panoramske fotografije eden od pomembnih virov informacij. Zato so svetlobni

pogoji med delom pomemben dejavnik izvedbe in kakovosti rezultatov. Slabi pogoji pri meritvah v večjih novogradnjah, zapuščenih zgradbah in podzemnih prostorih predstavljajo dodatno delo. Prostore moramo provizorično osvetljevati.

V programu Faro Scene, kjer smo registrirali meritve, smo iz fotografij skenerja izdelali panoramske fotografije, iz panoramskih fotografij in registriranega oblaka točk pa smo pripravili t. i. aplikacijo Webshare, s katero lahko te fotografije posredujemo uporabnikom na lokalnem omrežju ali preko interneta. Za potrebe te naloge smo podatke zaganjali z delovne postaje, na kateri smo izvajali projekt.

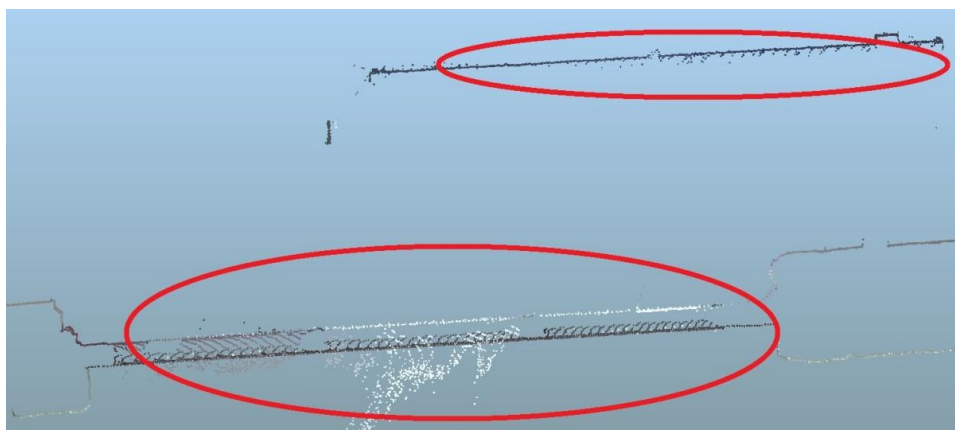
V aplikaciji Webshare sta poleg ogleda fotografij na voljo tudi orodje za izmero detajla in funkcija za pripenjanje komentarjev na dele zgradbe. Meritve in komentarji se lahko shranijo v oblak in so preko aplikacije na voljo sodelujočim na projektu.



Slika 30: Panoramska fotografija, narejena s skenerjem; dodane so meritve in komentar.

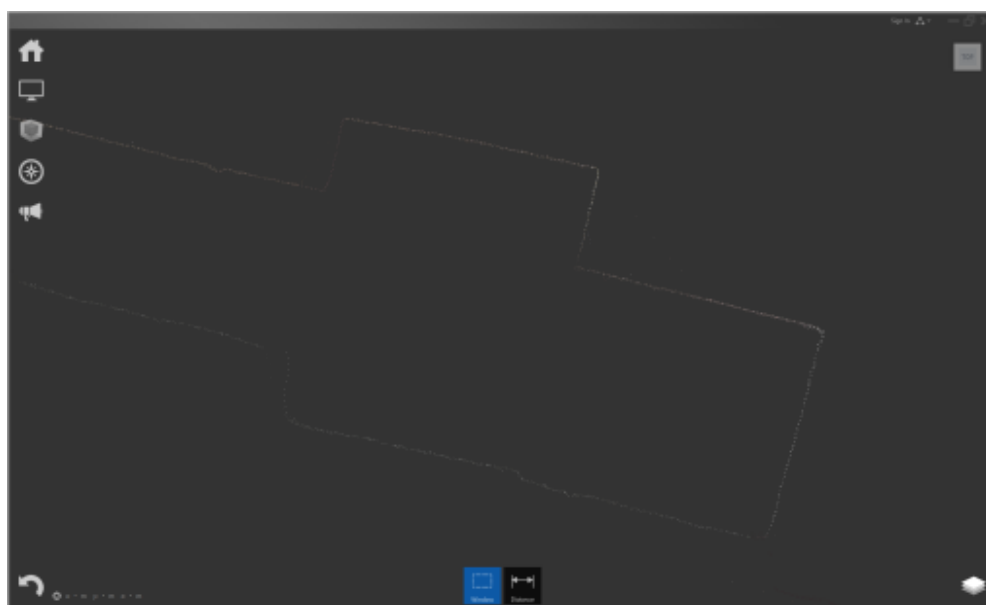
4.1.2 Priprava oblaka točk za Revit

Po registraciji je oblak točk pogojno pripravljen za izdelavo modela BIM. Pogojno zato, ker smo izvedli zgolj osnovne procedure filtriranja, ki odstranijo napake v oblaku točk. Kadar uporabljamo analitične programe, ki samodejno zaznavajo standardne oblike elementov (cefovodi, jekleni profili ...), je temu delu postopka treba posvetiti več pozornosti.



Slika 31: Šum (ang. noise) na oblaku točk na steklu (spodaj) in na robu jeklenega profila (desno zgoraj)

Modelirali smo povsem ročno. Konkretno to pomeni, da smo prerisovali segmente oblaka točk in nas šumi (napake), ki so ostali, niso motili, saj je bila geometrija jasno berljiva.



Slika 32: Segment oblaka točk, ki prikazuje detajl stene v Recapu. Narejena je decimacija na 5mm.

Edini spremembi, ki smo ju izvedel na podatkih, sta bili omejitev oblaka točk na 30 m od stojišča in decimiranje gostote na 5 mm. Razlog za oboje je zmanjšanje količine točk za boljše delovanje Revita, pri nalaganju podatkov in osveževanju zaslona.

Omejitev na 30 m ne povzroči praznih lis na detajlu, točke, decimirane na 5 mm, pa ne zmanjšajo natančnosti modeliranja. Ti dve operaciji smo naredili med uvozom podatkov v Recap, t. i. indeksaciji

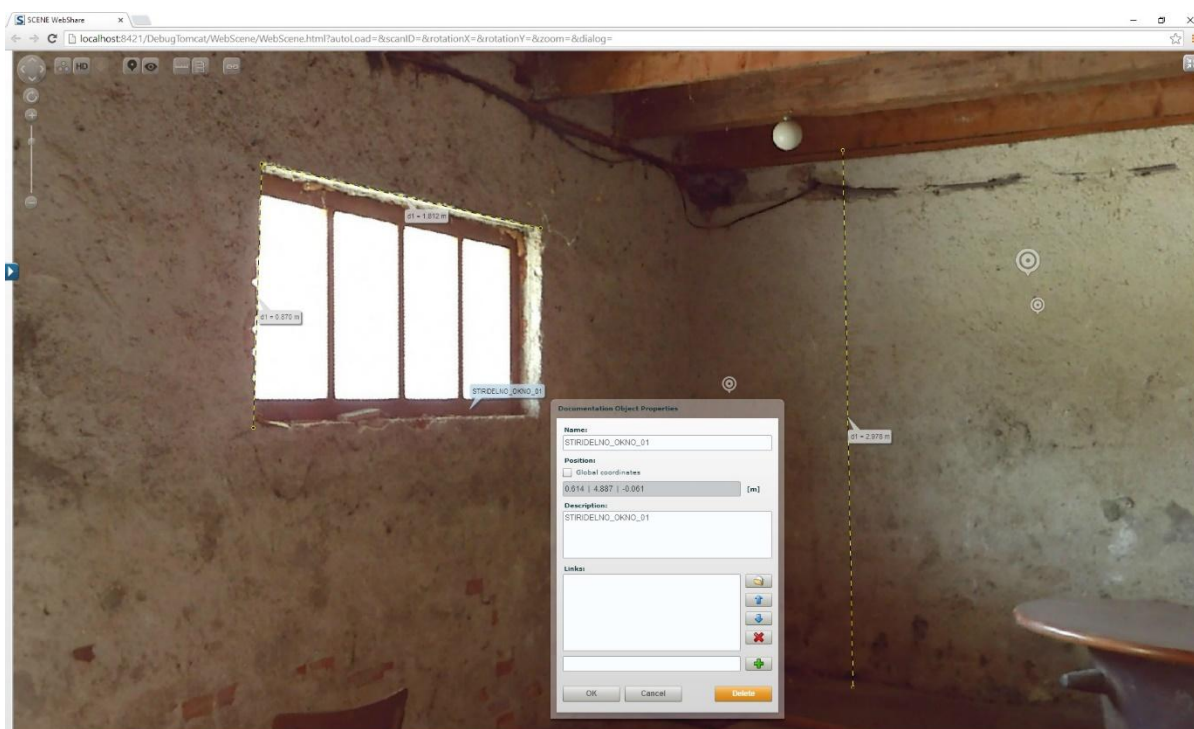
skenogramov. Z indeksacijo oblake točk pretvorimo v *.rcp in *. rcs datotečna formata, ki ju bere Revit.

4.1.3 Drugi viri

Za predmetno stavbo PID dokumentacija ne obstaja. Stavba je stara in se je spreminjala, sprememb pa ni nihče beležil, zato so na voljo le podatki, ki jih lahko pridobimo na terenu.

Najprimernejši način za ugotavljanje sestave materialov za konkretno stavbo je sondiranje. Naloga je bila relativno enostavna, saj gre za masivno gradnjo z enostavno sestavo konstrukcij in stavbnega pohištva. Invazivni poseg ni bil potreben in se vsi materiali razen temelja in sloja pod talno ploščo lahko opišejo na stavbi in iz fotografij.

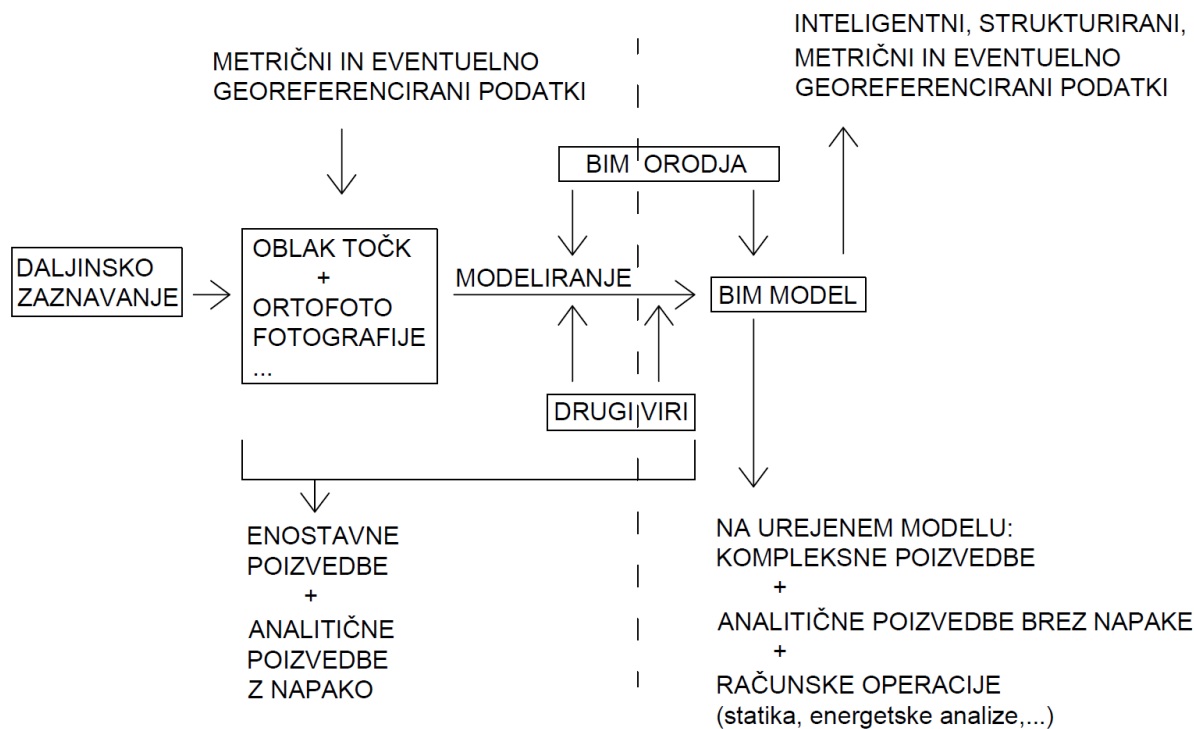
Kako pomemben vir dodatnih informacij so fotografije s skenerja, priča dejstvo, da smo za vnos materialov v model kot vir uporabili večinoma le-te. Malo nam je bilo v pomoč dejstvo, da je stavba v nekoliko slabšem stanju in se da sestava sten razbrati na mestih okrušenega ometa, kjer se vidi material nosilne konstrukcije.



Slika 33: Panoramska fotografija na kateri lahko razberemo materiale konstrukcij

4.2 Modeliranje predmetov in modela BIM

Modeliranje iz oblakov točk je proces, pri katerem iz podatkov daljinskega zaznavanja in drugih virov z programi BIM in specializiranimi programi za delo z oblaki točk izdelamo model BIM po shemi, prikazani na spodnji sliki.



Slika 34: Diagram modeliranja modela BIM

4.2.1 Uvoz podatkov Revit

Preden razložimo način uvoza oblaka točk v Revit, naj predstavimo manjšo, a zelo pomembno podrobnost. Meritve so bile opravljene v lokalnem koordinatnem sistemu s stabilizirano (zavarovano) geodetsko mrežo v okolici stavbe. Še boljše bi bilo (kar se sicer običajno dela), da bi imela ta geodetska mreža znano zvezo (transformacijske parametre) z državnim položajnim in višinskim sistemom.

Razlog za tako postopanje je zelo praktičen: kadarkoli se lahko vrnemo na stavbo in naredimo dodatne meritve, ki bodo v pravilnem odnosu s predhodnimi. Kadar gre za meritve med gradnjo, je to še posebej pomembno, saj le tako lahko objektivno spremljamo faze izvedbe.

Enako logiko smo prenesli v Revit. Pri uvozu datoteke *.rcp smo izmed več ponujenih možnosti izbrali tisto, ki ponuja ohranjanje originalnih koordinat oblaka točk. Če bi modelirali zgradbo v gradnji, bi vsako dodatno fazo zmodelirali položajno pravilno glede na prejšnje faze. Oblak točk po

uvozu zaklenemo, da ga po pomoti ne premaknemo. Med modeliranjem si lahko ravnine, v katerih rišemo, potem nastavljamo tako, da nam olajšajo delo.

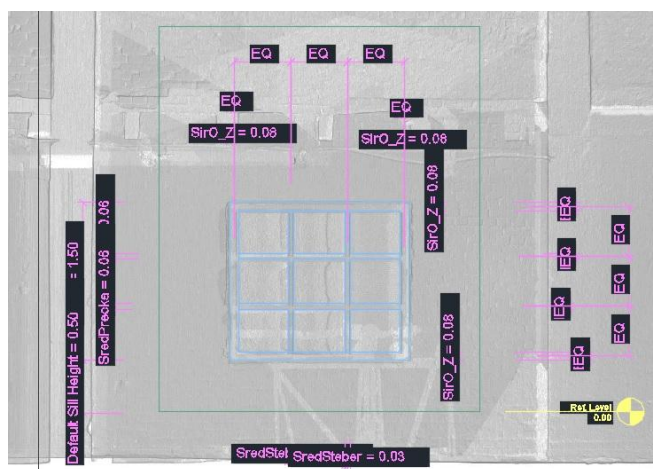
Podatki se ob gostoti 5 mm dobro prikazujejo in lahko začnemo z delom.

4.2.2 Modeliranje knjižnice predmetov BIM

Model, ki smo ga napravili, je stopnje podrobnosti LOD 200 s pripisanimi fizikalnimi lastnostmi materialov. Za projektiranje energetske sanacije je to dovolj; analiza energetske učinkovitosti je na takem modelu mogoča, hkrati pa so predmeti, ki bi se v primeru sanacije ohranjali (stene in zdravi deli lesene konstrukcije), modelirani zadosti podrobno in natančno, da se lahko na teh podatkih izdelata PZI dokumentacija.

Priporočljivo je, če nekaj predmetov BIM pripravimo v naprej, saj se pri pregledovanju podatkov in iskanju elementov stavbe, iz katerih bi naredil predmete, razjasni slika, kako te povezati v model BIM.

Okna, vrata, nosilce in druge elemente z gostim detajlom smo modelirali s prerisovanjem oblaka točk, stenam smo v tlorisu izmerili debelino in iz drugih virov vnesli sestavo.



Slika 35: Modeliranje okna v Revitu z vnosom parametrov

Modeli BIM so parametrični in po tem konceptu smo modelirali tudi predmete. Navsezadnje mi to omogoča večjo univerzalnost knjižnic in prilagodljivost pri izrisu modela, saj obstoječe zgradbe niso geometrijsko popolne in je za prikaz dejanskega stanja potrebno veliko prilagajanja prikaza detajlov.

Za boljšo predstavbo o samem postopku modeliranja predmetov po alinejah prikazujemo zaporedje procesa:

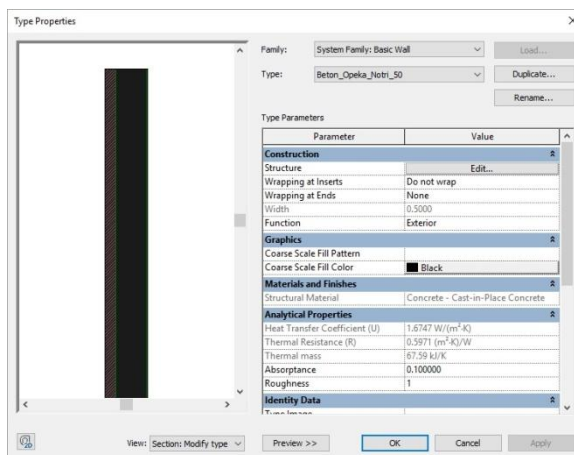
- uporaba Revitove predloge za posamezni tip predmeta (okno, vrata, nosilec ...),

- uvoz podatkov oblaka točk preko datoteke *.dwg v Revit, saj neposreden uvoz datoteke *.rcp ali *.res v uporabniški vmesnik za modeliranje predmetov ni možen,
- izris geometrije in hkratno dodajanje parametrov predmeta,
- pripis materialov (les, steklo, jeklo ...) posameznim delom geometrije predmeta in hkratno dodajanje fizikalnih lastnosti tem materialom.

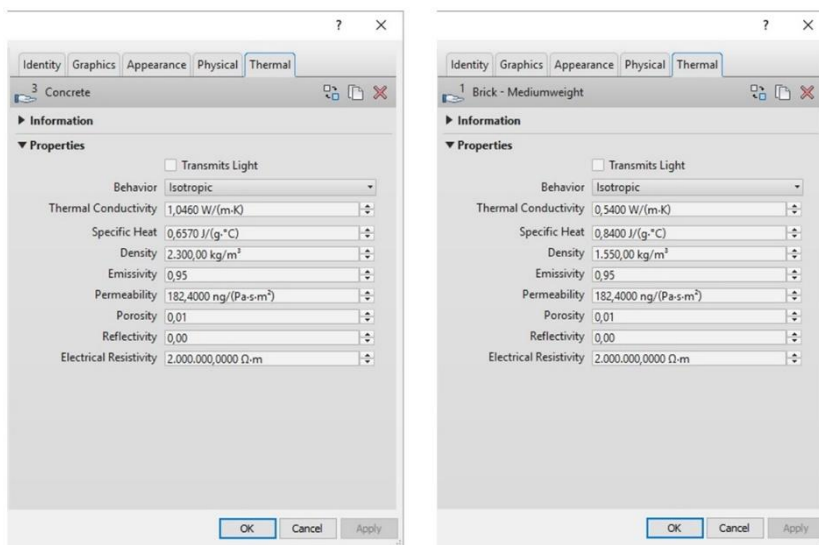
Predmete smo v fazi modeliranja modela BIM ob prilagajanju dimenzij s spremembo parametrov (npr. okna) shranjevali kot posamezne primerke istega tipa predmeta. To operacijo smo delali med izdelavo modela, ampak jo navajamo na tem mestu, da pojasnimo vse faze oblikovanja predmetov.

4.2.3 Specificiranje materialov

Predmetom BIM smo tekom geometrijskega oblikovanja dodajali informacije o vrsti materiala. Bistveno pri tem je, da smo materiale v predmetih strukturirali kakor so v naravi. Beton v stebru je tudi beton v modelu in pri opečni steni in drugih delih stavbe enako. Lastnosti materialov lahko pozneje spremenimo, če denimo ugotovimo, da ima nek star material vgrajen v stavbo drugačne lastnosti, kakor so bile vpisane v model. Podali smo tudi specifikacije toplotne prevodnosti za posamezni material. Program sklopu materialov v predmetu, kot je večslojna stena, izračuna skupne lastnosti.



Slika 36: Toplotna prehodnost stene



Slika 37: Toplotna prehodnost betona in opeke

4.2.4 Modeliranje stavbe

Na začetku smo se odločili, koliko bomo model generalizirali in kakšen obseg informacij bomo vnesli v model. Izdelali smo model LOD 200 (po specifikacijah BIMForum-a), ki bo uporaben za analizo energetske učinkovitosti in izdelavo projekta prenove stavbe.

Fizikalne lastnosti v model vgrajenih materialov in komponent smo podali že z modeliranjem predmetov. Če bi kakšen predmet modelirali neposredno v modelu (po terminologiji Revita "*model in place*"), bi materiale s pripisanimi lastnostmi morali določiti takrat. Predmete smo, razen zunanjih stopnic naredili v naprej, zato je bilo večino tega dela narejenega že v pripravljalni fazi.

Glede natančnosti in podrobnosti modeliranja je v kontekstu izmere z laserskim skenerjem pomembno poudariti, da na praktičnem nivoju obstaja zgornja meja, do katere je smiselno in možno model podrobno modelirati glede na stavbo in detajle v naravi. Mejo je treba določiti glede na potrebe projekta.

Omejitev predstavlja zmogljivost programov, ki se uporabljajo za modeliranje v BIM-u. Poznamo 3D-programe (Rhino 3D, Geomagic, Solidworks, idr.), ki so za modeliranje zahtevnih in prostih oblik primernejši. Poleg tega je delovanje Revita (in verjetno tudi drugih programov BIM) toliko počasnejše, kolikor bolj podrobno modeliramo, oziroma s koliko poligoni model prikazujemo. Moje mnenje je, da mora biti natančnost modela tolikšna, da je na osnovi tega modela, ki predstavlja posnetek obstoječega stanja, možna izvedba gradbenih del in vgradnja inštalacij brez popravljanja projekta ali prilagajanja dimenzij na terenu. Za izdelavo unikatnih prefabriciranih elementov

(konstrukcije, inštalacij ali opreme), ki imajo majhne dimenzijske tolerance pri vgradnji, moramo oblak točk lokalno natančneje modelirati ali po potrebi uporabimo natančnejšo metodo izmere, če obstoječi podatki ne ustrezajo potrebam.



Slika 38: Iz slike je razvidno, da površina, ki jo določa oblak točk ne nalega popolnoma na model.

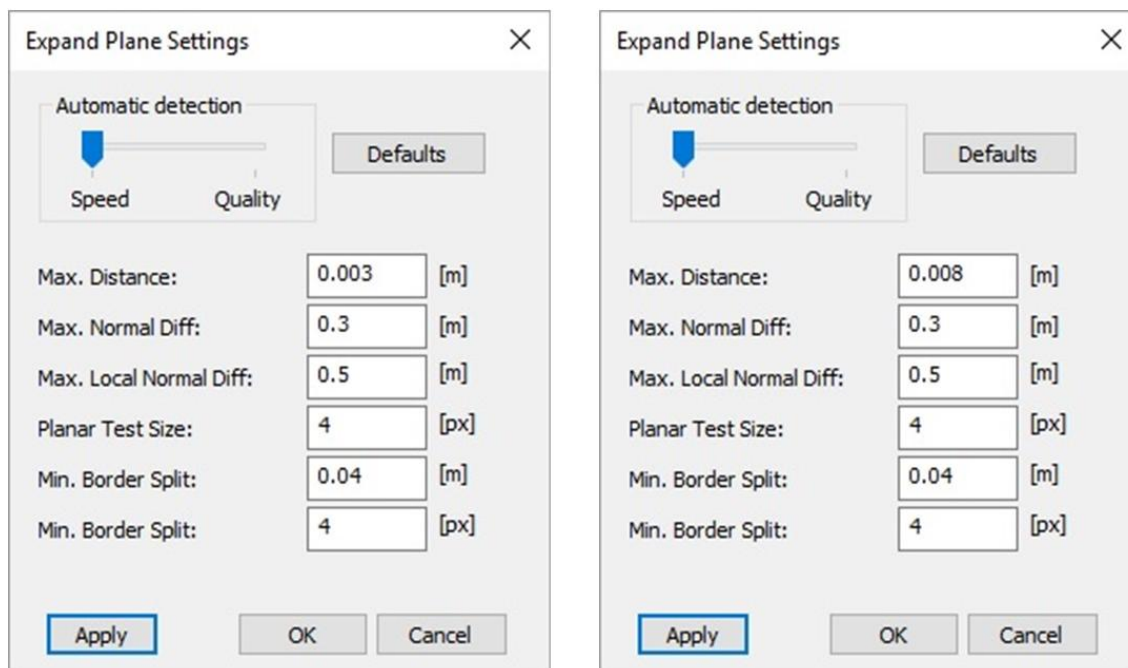
Modelirati ročno ali (pol)samodejno

V kontekstu uravnoteženja hitrosti in natančnosti modeliranja se moramo ozreti še na (pol)avtomatizirane procese modeliranja. Polavtomatizirane zato, ker proces nikoli ni popolnoma avtomatiziran. Vedno ga moramo nadzirati s parametri, po katerih sistem prepoznava elemente detajla, in s kontrolo kakovosti samodejnega določanja oblike in lege elementov, predvsem pa je treba s presojo osebe, ki modelira, dodajati negeometrijske informacije.

Knjižnice in model smo naredili z ročnim preresovanjem oblaka točk. Ker v nalogi obravnavamo različne stopnje naprednosti pretvorbe oblaka točk v model BIM, smo naredili test prepoznavanja ravnine površine stene.

Uporabili smo program Faro Scene, ki nam omogoča prepoznavanje primitivnih geometrijskih oblik. Algoritem, ki določi prilegajočo se ravnino, lahko preko uporabniškega vmesnika spreminjamo tako, da mu spremenimo kriterije, po katerih vzorči oblak točk in prilega ravnino. Od parametrov (maksimalno položajno odstopanje ploskve vzorca, odstopanje normal vzorca od ravnine, gladkost roba vzorčnega seta podatkov ...) smo spreminjali samo kriterij, ki določa, koliko lahko vzorčni set podatkov maksimalno odstopa od idealno prilegajoče se ravnine. Drobna hrapavost stene nas ne zanima, ugotoviti želimo, če računalniški program učinkovito prepoznava površinske ploskve sten in

jim optimalno prilagodi ravnino. Za test smo spreminjali en kriterij: enkrat 3 mm in drugič 8 mm odstopanja vzorčne ploskve od prilegajoče se ravnine.



Slika 39: Nastavitve za prepoznavanje ploskve in prileganje ravnine.

Za vzorec smo vzeli dve različni steni, ki se razlikujeta po hrapavosti, ukrivljenosti in poglobljenih ploskvah, kjer je omet odpadel.

Prva vzorčna stena je bolj ravna in ima cel omet. Na steno je pritrjeno nekaj opreme. Na drugi steni je pritrjena tabla, stena je bolj ukrivljena in na spodnjem delu manjka omet. Z geometrijskega vidika ploskev brez ometa predstavlja navidezno, približno vzporedno ploskev.

Test na prvi steni nam pokaže, da oba kriterija izbereta po celotni steni razporejen vzorec točk, da bi se stena, ki bi jo pripisali samodejno identificirani ravnini, solidno prilegala dejanskemu položaju stene v stavbi. Z rumeno barvo je obarvan vzorec, iz katerega program določi ravnino.



Slika 40: Prva stena: levo maksimalno odstopanje 3 mm, desno 8 mm

Rezultat na drugi steni, ki ima bistveno večja lokalna odstopanja ploskev, in je bolj ukrivljena, je manj ugoden. Po kriteriju, da lahko del modelirane ravnine od dejanske površine odstopa največ 3 mm, je rezultat neprimeren za uporabo, saj nam na spodnji levi tretjini stene ne pokaže, koliko modelirana ploskev lahko največ odstopa od dejanske ploskve stene. Drugo vzorčenje (rumeno obarvana površina) ustreza, saj nam pove, da prilegajoča se ravnina v območju vzorca odstopa največ 8 mm, kar je za potrebe modela BIM dovolj. Neznano odstopanje je spodaj, kjer manjka omet. Z nastavitvijo ohlapnejših kriterijev bi lahko vzorčili tudi neometan del stene.



Slika 41: Druga stena: levo maksimalno odstopanje 3 mm, desno 8 mm

Kaj lahko rečemo o uporabnosti (pol)samodejnega zaznavanja elementov. Preizkus nam pove, da so orodja za prepoznavanje enostavnih oblik uporabna tudi na zgradbah z veliko geometrijskimi izjemami elementov. Potrebno je večje prilagajanje kriterijev za razpoznavanje in obsežnejši nadzor nad kakovostjo samodejnega modeliranja.

Tu se ponuja tudi odgovor, zakaj se na manjših zgradbah z manj ponavljajočimi se elementi po navadi modelira ročno ali pa z manj naprednimi (samodejnimi) orodji. Če je izjem več, je nastavljanje parametrov (kriterijev) in preverjanje rezultatov obsežnejše, hkrati pa ostaja več elementov, ki jih je treba obdelati ročno. Na koncu moramo samodejno zaznanim elementom sami pripisati

negeometrijske informacije. Vsi programi za samodejno prepoznavanje oblik prepoznavajo zgolj geometrijo. Gre za vprašanje rentabilnosti. Prihranek na času modeliranja mora biti pri uporabi orodij za (pol)samodejno razpoznavanje elementov vsaj tolikšen kot je strošek nakupa takega programa.

Zato se programi za (pol)samodejno modeliranje v večjem obsegu uporabljajo na večjih zgradbah s tipskimi elementi, kjer se lahko koristijo vgrajene knjižnice in je prihranek časa velik.

Na mojem primeru bi bila poraba časa za nastavitve in dodelavo geometrije večja, kot je povsem ročno modeliranje.

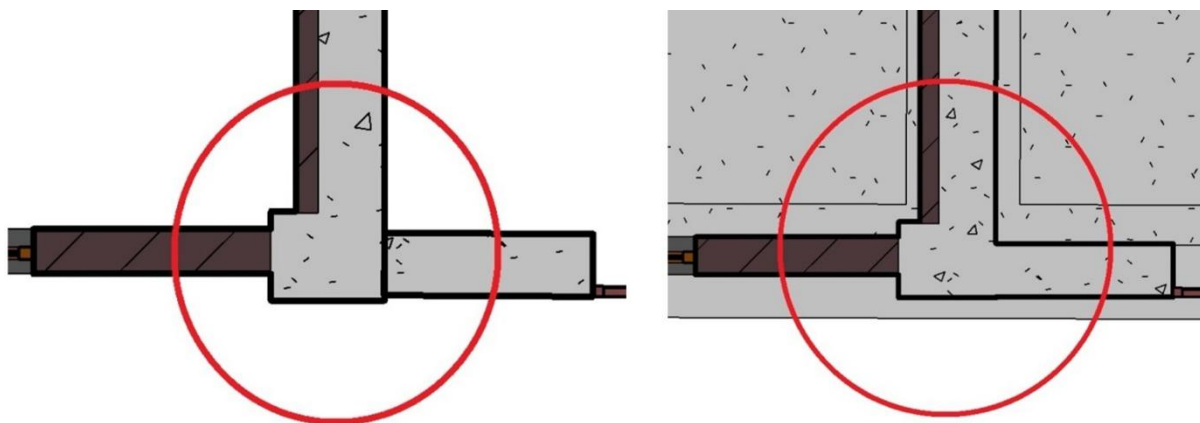
Postopek modeliranja

Modeliranje je potekalo od spodnjega dela stavbe navzgor po naslednjih korakih:

- modeliranje temeljev,
- modeliranje pritličja s tlaki,
- modeliranje medetažne konstrukcije in zidov na podstrehi,
- modeliranje oken in vrat,
- modeliranje strehe.

Dodatna zadeva, ki jo moramo izpostaviti v zvezi z izdelavo modela stavbe, je topologija. Deli stavbe morajo biti pravilno spojeni skupaj. To je posebno pomembno z vidika analiz, ki jih želimo pozneje izvajati na tem modelu.

Naj navedemo primer detajla, ki zadeva konkretni primer, s katerim smo pripravili model za energetska analizo: pri izrisu sten smo na enem mestu neprevidno izrisali betonsko steno, ki se drži druge, nanjo pravokotne betonske stene. Steni se nista, recimo temu informacijsko, spojili. Čeprav na pogled ni videti, lahko program pri analizi to vzame kot režo v zidu, in dobimo popolnoma napačen rezultat. Seveda obstajajo programi za preverjanje takih pomanjkljivosti, ampak napake je lažje ne delati kot odpravljati.



Slika 42: Levo napačno in desno pravilno spajanje sten

4.3 Uporabnost modela BIM za nadaljnje delo

Model BIM je namenjen ugotavljanju energetske učinkovitosti stavbe in projektiranju sanacije. Podali smo zgolj del informacij, ki jih projektanti in investitor potrebujejo za naslednje korake dela. Hkrati z vpisom fizikalnih lastnosti bi lahko materialom pripisali še mehanske lastnosti in bi te podatke prevzel statik za statično analizo stavbe.

Postavi se vprašanje, koliko informacij je smiselno vnesti v model BIM v fazi modeliranja iz oblaka točk in koliko tega dela je smiselno prepustiti uporabnikom modela. Univerzalnega odgovora ni, ker obseg informacij najboljše narekujejo potrebe.

3D-lasersko skeniranje je v osnovi izmera, se pravi zagotavljanje geometrijskih podatkov, to so šele tri dimenzije od mnogih, ki jih zajema pojem BIM. Pri modeliranju BIM pa gre za zbiranje informacij in preoblikovanje v uporabne podatke. Podatki so uporabni toliko bolj, kolikor bolj so urejeni, zato je ta pristop smiselno začeti na začetku. Ključno je, da je model strukturiran tako, kot je stavba izvedena v naravi. Dodajanje informacij je nato relativno enostavno. Če se na začetku meritev ve, kakšne bodo potrebe temu prilagodimo obseg zbiranja podatkov, sicer to prepustimo uporabnikom modela.

Model, ki smo ga naredili, je zelo enostaven, narejen za en namen, možne pa so nadgradnje. Za obravnavano stavbo teh vsebin ni dosti, ker je stavba preprosta. Če bi bila stavba kompleksnejša, bi bili zelo uporabni podatki o inštalacijah in opremi stavbe.

5 ZAKLJUČEK

Na začetno vprašanje, kako vsebinsko bogate in geometrijsko kakovostne informacije daljinskega zaznavanja pretvoriti v model BIM, smo do neke mere odgovorili s predstavitvijo kriterijev za uporabo oblakov točk različnih vrst, s predstavitvijo ene linije uveljavljenih orodij, od najenostavnejših do najbolj naprednih, s predstavitvijo alternativnih virov in s praktičnim primerom, s katerim smo preizkusili postopek dela.

Ugotovilo smo, da je oblak točk, ki smo ga vzeli v osrednjo obravnavo naloge, bogat in kakovosten vir informacij, če pravilno izberemo sredstvo za zajem podatkov oz. izmero, ni pa popoln. Če nam izbrana tehnologija izmere omogoča hkratno zajemanje dodatnih informacij, kot so na primer digitalne fotografije, je to že prva nadgradnja podatkov.

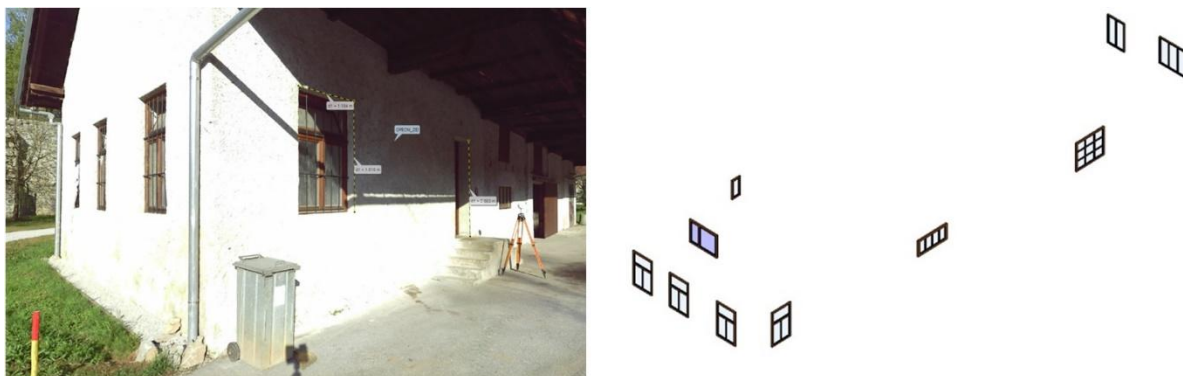
Če bi se omejili samo na geometrijo zgradbe, bi oblak točk zadoščal, ker pa proces BIM za potrebe svojih operacij potrebuje mnogo več vsebinskih informacij o zgradbi od same geometrije, moramo za izdelavo kakovostnega modela BIM pridobiti zanesljive alternativne vire. Predlagali smo georadar in termografijo, ker sta z vidika nakupa opreme relativno dostopna in omogočata nedestruktiven zajem informacij. Obstoječa dokumentacija, če obstaja v ažurni obliki, je tradicionalen vir podatkov, pri uporabi pa moramo biti previdni in vsebino preverjati.

Orodja za geometrijsko modeliranje in modeliranje BIM iz oblaka točk so dosegla stopnjo razvoja, ki omogoča učinkovito delo, ne pa popolnoma samodejno. Ugotovili smo, da je mogoče z modelirniki BIM modelirati neposredno iz oblaka točk, na voljo pa imamo tudi različna orodja za razpoznavanje tipskih geometrijskih oblik, vendar moramo hkrati z geometrijskim modeliranjem, ali pa naknadno, dodati negeometrijske informacije, ki jih ta orodja ne razberejo iz samega oblaka točk, ker nimajo te zmogljivosti ali pa hkrati te informacije niso na voljo v oblaku točk. Ugotovili smo še, da orodja za samodejno zaznavanje, ob predpostavki, da je oblak točk primerno pripravljen, zagotavljajo vsaj enako kakovostno geometrijsko modeliranje kot ročni izris. Nekatera orodja nam namreč omogočajo analitično ugotavljanje odstopanja geometrije modela od oblaka točk.

Do sedaj smo večinoma pisali o tem, kako iz oblaka točk narediti model BIM. Da pride do realizacije teh del, pa je treba odgovoriti na vprašanje, zakaj oblak točk pretvoriti v model BIM. Informacije v modelu BIM so sistematično urejene, parametrizirane, inteligentne (Cerovšek, 2010) in je na njih mogoče izvajati natančne operacije.

Preprost primer: elemente neke stavbe (npr. okna) lahko v oblaku točk preštejemo samo tako, da oblak točk ali panoramske fotografije pregledamo in jih ročno preštejemo (slika na levi). V modelu BIM

lahko okna preštejemo z izvedbo enega ukaza (slika na desni), lahko jih razvrstimo po vrsti, dimenzijah, ceni, letu vgradnje itd.



Slika 43: Levo panoramska fotografija in oblak točk, desno model BIM

Če je izvedba tovrstne operacije na tem majhnem primeru nezadosten motiv za izvedbo relativno obsežnega procesa modeliranja, je pri večjih zgradbah ravno obratno. Več kot je informacij, lažje so obvladljive, če so urejene.

Ni pa urejenost podatkov edini motiv za izdelavo modela BIM, ampak je to parametriziranost in inteligenca digitalnih elementov, ki nam omogoča, da lahko model BIM neposredno uporabimo za inženirske izračune. Na izdelanem primeru lahko inženir izračuna energetske učinkovitosti stavbe, z nadgradnjo elementov z mehanskimi lastnostmi pa lahko statik naredi statično analizo.

Skoraj neizkoriščen potencial BIM-a je vzdrževanje objektov. Model BIM, kot centralni prostor shranjevanja podatkov o zgradbi, omogoča zelo pregledno načrtovanje vzdrževanja in sledenja stroškom.

Kdaj se odločiti za tak napreden pristop pri obravnavi obstoječih ali novozgrajenih stavb, narekuje ekonomska učinkovitost – ko so koristi večje od stroškov.

Z razvojem učinkovitosti merskih sistemov in orodij za obdelavo podatkov daljinskega zaznavanja se bo meja pomikala v smeri vse pogostejše uporabe.

VIRI

- Autodesk Inc, 2016. Recap 360 Pro.
<http://www.autodesk.com/products/ Recap-360/features/all> (Pridobljeno 3. 7. 2016.)
- Autodesk Inc, 2016. Revit.
<https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products> (Pridobljeno 4. 7. 2016.)
- Autodesk Inc, 2016. AutoCAD Civil 3D.
<http://help.autodesk.com/view/CIV3D/2017/ENU/> (Pridobljeno 5. 7. 2016.)
- BIMForum, 2016. Level of Development Specification, Version 2015
<http://bimforum.org/lod/> (Pridobljeno 15. 7. 2016.)
- Bentley Systems, Incorporated, 2016. Multi-discipline Building Design and Analysis Solution.
<https://www.bentley.com/en/solutions/multi-discipline-building-design-and-analysis> (Pridobljeno 18. 8. 2016.)
- Bric, V., Grigillo, D., Kosmatin Fras, M. 2016. Programska zasnova in priprava gradiv za izvedbo strokovnega dela izpita iz geodetske stroke. Ljubljana, Geodetski inštitut Slovenije, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo: 4 str.
http://dev.tend.si/izs/fileadmin/dokumenti/strokovni_izpiti/msgeo/Fotogrametrija.pdf (Pridobljeno 20. 7. 2016.)
- Cerovšek, T. 2010. Informacijsko modeliranje zgradb (BIM). Gradbeni vestnik 59, 3: 71-72
<http://www.dlib.si/details/URN:NBN:SI:DOC-TWLUOQBO/> (Pridobljeno 17. 8. 2016.)
- Clear Edge 3D, 2016. Scan to EdgeWise BIM Suite
<http://www.clearedge3d.com/products/edgewise-bim-suite/> (Pridobljeno 15. 6. 2016.)
- Cotič, P., Murn, P. Kolarič, D. Jagličič, Z., Bosiljkov V. 2014. Uporaba pulzne termografije za neporušne preiskave v gradbeništvu. Gradbeni vestnik 63, 5: 120-128
<http://www.dlib.si/stream/URN:NBN:SI:DOC-SJO64J0Q/cc76fa82-3f52-4fd5-8961-1255a6a3c67b/PDF> (Pridobljeno 27. 6. 2016.)
- Geoslam Limited. 2016. ZEB-REVO Specification_v.1.0.1.
<http://www.3dlasermapping.com/wp-content/uploads/2016/02/ZEB-REVO-Specification-v1-0-1.pdf> (Pridobljeno 1. 8. 2016.)
- GP GEO d.o.o.. 2016. Terestrično lasersko skeniranje Lekarne Mirje. Arhiv podjetja. (15. 7. 2016.)
- GP GEO d.o.o.. 2016. Terestrično lasersko skeniranje Modne hiše. Arhiv podjetja. (15. 7. 2016.)

GP GEO d.o.o.. 2016. Termografija starega centra Kranja. Arhiv podjetja. (25. 8. 2016.)

Graphisoft Se, 2016. Archicad 19 New Features – Point Cloud – Importing Point Cloud Data.
<http://helpcenter.graphisoft.com/videos/archicad/import-export/point-cloud/archicad-19-new-features-point-cloud-importing-point-cloud-data/> (Pridobljeno 18. 8. 2016.)

IMAGINiT Technologies, 2016. Scan to BIM™ add-on for Autodesk Revit
<http://www.imaginit.com/software/imaginit-utilities-other-products/scan-to-bim> (Pridobljeno 28. 6. 2016.)

Komel, P., Pavlič, M. U. 2016. Uporaba georadarja v geotehniki, geologiji in gradbeništvu ob praktičnih primerih, Gradbeni inštitut ZRMK d.o.o. Ljubljana: str. 1-12
http://www.gi-zrmk.si/media/uploads/public/document/42-georadar_sl.pdf (Pridobljeno 27. 6. 2016.)

Kukko, A. 2013. Mobile Laser Scanning – System development, performance and applications. Doctoral dissertation. Finnish Geodetic Institute. Department of Real Estate, Planning and Geoinformatics: p. 1 - 114.
<https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/12100/isbn9789517113076.pdf?sequence=1>
(Pridobljeno 31. 7. 2016.)

Leica Geosystems, 2016. Leica CloudWorx for Revit
http://hds.leica-geosystems.com/en/Leica-CloudWorx-for-Revit_97854.htm (Pridobljeno 28. 6. 2016.)

Možina, J., 2016. Kontrolne meritve žerjavne proge s terestričnim laserskim skeniranjem. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Ambrožič, T., somentor Kregar, K.): 105 str.

Novak, D. 2007. Georadar. Seminar. Maribor, Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Oddelek za fiziko. (mentor Zidanšek, A.): 12 str.
<http://fizika.fnm.uni-mb.si/files/seminarji/06/Georadar.pdf> (Pridobljeno 27. 6. 2016.)

PointCab GmbH, 2016. PointCab Software.
<http://www.pointcab-software.com/> (Pridobljeno 4. 7. 2016.)

Pucelj, B., Kosmatin Fras, M., Grigillo, D., 2005. Primerjava metrične natančnosti analognega in digitalnega fotoaparata visoke ločljivosti. Geodetski vestnik 49, 2: 218.
<http://www.dlib.si/details/URN:NBN:SI:DOC-GFQP1XDH/> (Pridobljeno 11. 7. 2016.)

Riegl, 2016. RIEGL RiCOPTER with RIEGL VUX-SYS integrated.
http://www.riegl.com/fileadmin/user_upload/Datasheets/ULS/RiCOPTER_at_a_glance_2015-03-31.pdf (Pridobljeno 29. 7. 2016.)

Težak, B. 2005. Uporaba IR-termografije v fluidni tehniki. Ventil 11, 3: 160

http://ss1.spletnik.si/4_4/000/000/460/e9c/Clanek-IR-fluidna-1.pdf (Pridobljeno 27. 6. 2016.)

Thomson, C., Apostolopoulos, G., Backes, D., Boehm, J. 2013. Mobile laser scanning for indoor modelling. V: ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume II-5/W2, 2013 ISPRS Workshop Laser Scanning 2013, 11 – 13 November 2013, Antalya, Turkey: p. 289-293

<http://www.isprs-ann-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/II-5-W2/289/2013/isprsannals-II-5-W2-289-2013.pdf> (Pridobljeno 30. 7. 2016.)

Todorović, M. 2013. BIM-implementacija v delovno prakso. Priročnik. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: str. 12, 28.

http://www.bim.si/blog/Slike/BIM_splosno/Todorovic-TIGR-FGG%20-%20BIMimplementacija%20v%20delovno%20prakso.pdf (Pridobljeno 19. 9. 2013.)

Triglav Čekada, M. 2010. Zračno lasersko skeniranje in nepremičninske evidence. Geodetski vestnik 54, 2: 181- 182.

http://www.geodetski-vestnik.com/54/2/gv54-2_181-194.pdf (Pridobljeno 28. 7. 2016.)

Trimble Applanix. 2016. TIMMS Datasheet.

http://www.applanix.com/media/TIMMS_2_spec_sheet.pdf (Pridobljeno 1. 8. 2016.)

Trimble Navigation Limited, 2016. DPI-8 Handheld Scanner

<http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-748341/> (Pridobljeno 7. 8. 2016.)

Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije, 2016. Portal eheritage.si.

http://www.eheritage.si/apl/Digital.aspx?id=3DM_096_Obmocje_Auerspergove_zelezarne_SLRCEYTEHTBMFUTBIESNIGPKEHCPVR (Pridobljeno 10. 7. 2016.)

Vectorworks, Inc., 2016. From Point Cloud to Documentation

<http://www.vectorworks.net/inspiration/industry-webinars/from-point-cloud-to-documentation> (Pridobljeno 18. 8. 2016.)

Volk, R., Stengel, J., Schultmann, F. 2013. Building Information Modeling (BIM) for existing buildings — Literature review and future needs. Automation in Construction 38: 109–127

<http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.023>