
IZDELAVA TRIDIMENZIONALNEGA MODELA OBJEKTA KULTURNE DEDIŠČINE NA OSNOVI OBSTOJEČE DOKUMENTACIJE IN TERENSKIH MERITEV

Katja Oven

Inštitut za geodezijo in fotogrametrijo FGG, Ljubljana

Prispelo za objavo: 1998-10-25

Pripravljeno za objavo: 1999-09-14

Izvleček

V članku so podani različni načini izdelave digitalnih tridimenzionalnih modelov v arhitekturni fotogrametriji. Na osnovi obstoječe dokumentacije in geodetskih meritev je predstavljen postopek izdelave digitalnega tridimenzionalnega modela gradu Gracarjev turn. Postopek je podprt z računalniškima programoma DIGIT in AutoCAD ter aplikacijo AutoCAD/ARCHOS.

Ključne besede: arhitekturna fotogrametrija, dokumentacija, transformacija, tridimenzionalni modeli

Abstract

In this paper different methods of making digital 3D object in architectural photogrammetry are given. The procedure of creating digital 3D model of "Gracarjev turn" Castle from its existential documentation is discussed. In this process the software DIGIT, AutoCAD and AutoCAD/ARCHOS are used.

Keywords: architectural photogrammetry, documentation, transformation, 3D models

1 UVOD

Virtualno podajanje oblik realnega sveta v treh dimenzijah je med nami vse pogostejše. Predvsem imam v mislih računalniško tehnologijo, ki nam omogoča izgradnjo in potovanje po novih – virtualnih svetovih. Ponovno videnje realnega sveta, ki ga ni več, ki je porušeno in uničeno, je možno le s pomočjo slik iz preteklosti, ki so upodobljene bodisi na slikarskih platnih, fotografijah ali filmu. Vendar nam le ena metoda resnično pričara nekdanji videz upodobljene stvari. To je

stereoskopija. Tridimenzionalno gledanje ni novost, ki bi si jo izmislil današnji človek. Prav tako kot ni novost fotogrametrija, ki izkorišča zakonitosti stereoskopije. Obstaja veliko različnih in preizkušenih metod, ki omogočajo tridimenzionalno zaznavanje sveta. Tridimenzionalna realnost nam je blizu, to je naš vsakdanjik. Zato je tudi težnja tehnološkega razvoja, ne le v fotogrametriji, temveč tudi v drugih sorodnih panogah, da omogoča izdelovanje, prikazovanje in uporabo tridimenzionalnih podatkov. Ta težnja je bila na področju arhitekturne fotogrametrije že dolgo prisotna. Odločili smo se, da obstoječo dokumentacijo, ki je zdaj shranjena v dvodimenzionalni in analogni obliki, oživimo v treh dimenzijah in na digitalnem mediju. To nam je uspelo ob dodatnih terenskih meritvah in nadgradnji obstoječe programske opreme. Za testni primer nam je služila analogna dokumentacija gradu Gracarjevega turna iz l. 1990 in l. 1995.

1.1 Na kratko o gradu

Grad se nahaja na porečju reke Krke. Sprva je bila le skromna in neutrjena na pravokotnem tlorisu pozidana stolpasta stavba. Valvazor omenja, da so jo pozidali gospodje Gracarji v začetku 14. stoletja. Graščino so po raznih prezidavah imenovali tudi Tolsti vrh, ki se je kot sinonim ohranil do danes. Šele v poznem 16. stoletju je dobila videz, ki se je ohranil do danes. Stavbo so namreč uredili tako, da je bila sposobna za obrambo, zato so na njeni južni strani na vogalih, pozidali dva široko raščena stolpa, ki imata na podstrešju še ohranjene stare strelnice. Graščino je na sprednji strani varoval tudi še delno ohranjen obrambni jarek, prek katerega se je nahajal lesen dvizni most. Kasneje so ga zamenjali z zidanim, ki je še vedno prisoten. Poleg obrambne funkcije pa so poskrbeli tudi za lepoto in udobnost grajske stavbe. Stanovanjske trakte so opremili z arkadami, notranjost stolpa pa okrasili s freskami, ki pa so žal propadle (Stopar, 1987).

2 IZDELAVA DIGITALNIH TRIDIMENZIONALNIH MODELOV V ARHITEKTURNI FOTOGRAMETRIJI

Digitalne tridimenzionalne modele je možno izdelati na tri načine, in sicer na podlagi (Oven, 1998): terenske izmere objekta, ki vključuje fotogrametrično in geodetsko izmero (Mravlje, 1981), obstoječe dokumentacije o objektu, s kombinacijo obeh načinov. Pri iskanju optimalnega postopka izdelave tridimenzionalnega modela je treba upoštevati parametre:

- ☐ obseg, popolnost in primernost vsebine obstoječe dokumentacije
- ☐ namen, kateremu bo služil tridimenzionalni model
- ☐ geometrične značilnosti objekta (dimenzije, relief fasad, simetričnost, pravokotnost in vzporednost linij...)
- ☐ izbira tehnologije (digitalna, analitična)
- ☐ obstoj razpoložljive programske in strojne opreme oz. možnost njene nadgradnje
- ☐ višino sredstev, namenjenih za izdelavo tridimenzionalnega modela.

3 DIGITALNI MODEL GRADU GRACARJEV TURN

Digitalni model gradu Gracarjev turn je bil izdelan po tretji metodi, saj je bilo treba zaradi nepopolnosti dokumentacije izvesti še dodatne geodetske meritve

(Oven, 1998). Razpoložljiva dokumentacija, potrebna za realizacijo naloge, je bila v celoti v grafični in analogni obliki (glej slike 1, 2 in 3). že na začetku se je pokazalo, da bomo uporabljali izdelke različne natančnosti:

- ☐ fasadni načrti – fotogrametrične meritve
- ☐ tlorisi – meritve z merskim trakom
- ☐ točke za transformacijo – geodetske meritve,

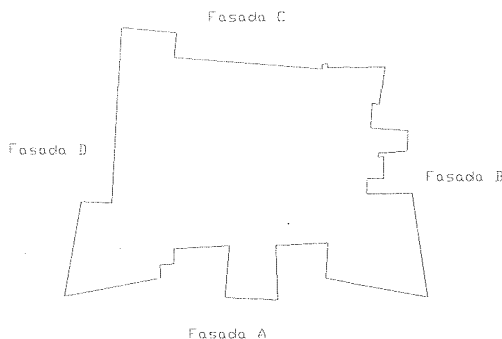
kar so kasneje potrdili tudi rezultati numeričnih analiz.

Pri določanju postopka transformacije fasadnih načrtov v tridimenzionalni model je bilo treba upoštevati postopek njihove izdelave. Fasadni načrti so bili izdelani s klasičnim fotogrametričnim postopkom na fotogrametričnih instrumentih za stereoizvrednotenje (Mravlje, 1984). Kartiranje detajla na osnovi relativno in absolutno orientiranega stereomodela je faza fotogrametričnega postopka, kjer se tretja dimenzija – globinska informacija izgublja (Oven, 1996). Za njeno evidentiranje so se v arhitekturni fotogrametriji poleg načrtov fasad ločeno izdelovali še načrti vertikalnih karakterističnih prereзов in tlorisi. Poleg tega prihaja pri kartiranju tudi do redukcij dolžin fasadnega detajla v horizontalni in vertikalni smeri fasade (Oven, 1996). Redukcija nastopi predvsem v primerih prostorsko močno razgibanih fasadnih elementov (npr. z reliefnimi okraski bogata fasadna površina) ter pri težko dostopnih ali nepomembnih delih fasad (npr. streha in strešni elementi). Obstojajo tudi primeri, ko na načrtu fasade ni upodobljen ves detajl, ker ga ostali deli fasade zakrivajo, ali pa je bil v projektu izmere izpuščen. Možno je tudi, da so od časa snemanja do izdelave tridimenzionalnega modela nastale nove spremembe na fasadah. Za ponovno vzpostavitev tridimenzionalnih odnosov obstoječega kartiranega detajla potrebujemo torej takšno transformacijo za čim boljšo vzpostavitev tridimenzionalnega stanja, ki je rezultat faze absolutne orientacije stereomodela (Oven, 1996).

3.1 Izdelava tridimenzionalnega modela na podlagi obstoječe dokumentacije in terenskih meritev

Tridimenzionalni model gradu je bil izdelan na podlagi obstoječih analognih fasadnih načrtov in tlorisov ter geodetsko izmerjenih transformacijskih točk. Obstoječa dokumentacija za izdelavo tridimenzionalnega modela je obsegala:

- ☐ štiri fasadne načrte fasad A, B, C in D (Slika 1).



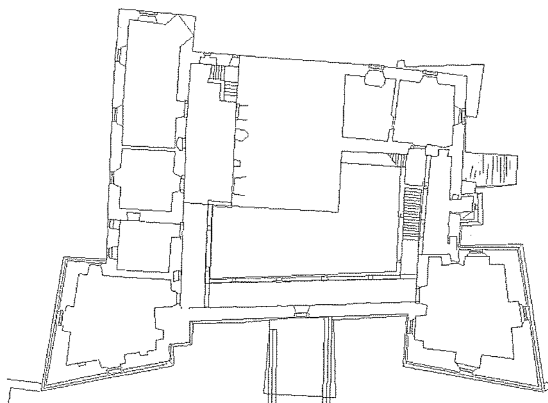
Slika 1: Prikaz razporeditve fasadnih načrtov v tlorisu

Zunanjo podobo fasadnega načrta fasade C prikazuje naslednja slika (Slika 2):



Slika 2: Fasada C

- štiri načrte tlorisov: klet, pritličje, 1. nadstropje in 2. nadstropje. Primer tlorisa 1. nadstropja prikazuje naslednja slika (Slika 3):



Slika 3: Tloris 1. nadstropja

- fotografske plošče in kontakt kopije stereoparov

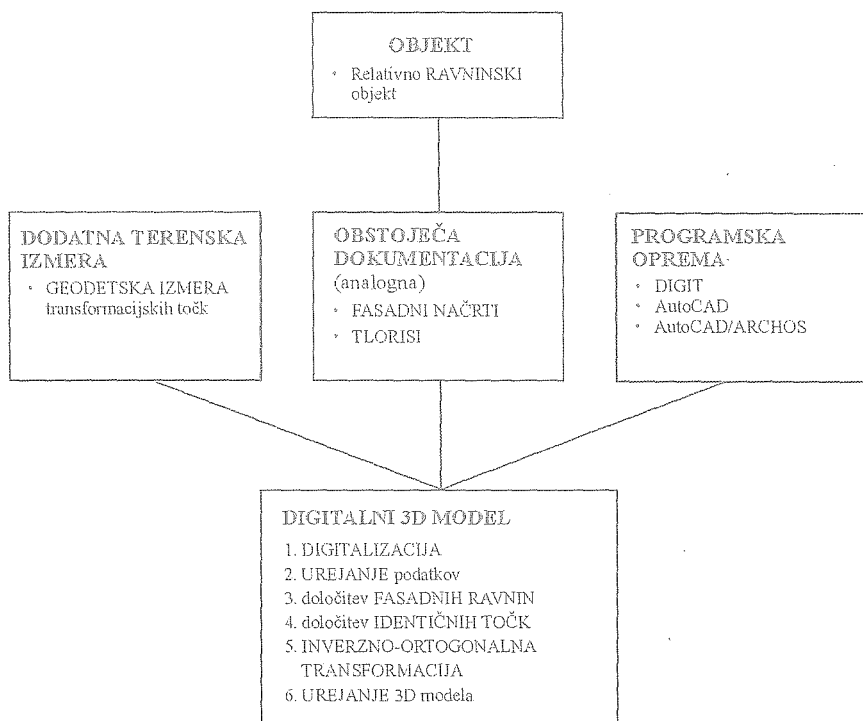
Postopek pretvorbe analognih fasadnih načrtov relativno ravninskega objekta v digitalni tridimenzionalni model na podlagi dodatne geodetske izmere, obstoječe dokumentacije in razpoložljive programske opreme je shematično prikazan v naslednjem diagramu (Slika 4):

3.1.1 Opis postopka izdelave tridimenzionalnega modela

1) Digitalizacija

Sočasno z digitalizacijo fasadnih načrtov in tlorisov z uporabo afine transformacije odpravimo pogoje zaradi skrčkov in raztezov nosilne folije. Fasadni načrti in tlorisi so izdelani v lokalnem koordinatnem sistemu v merilu 1 : 50. Po digitalizaciji je vsebina načrtov prikazana v lokalnem koordinatnem sistemu v merilu 1 : 1. Z

digitalizacijo je bila zajeta celotna vsebina načrtov, in sicer: osnovne linije fasad in tlorisov, vidne poškodbe na objektu, struktura kamnov, okna, vrata, stopnice, streha in strešni elementi itd. Srednji pogreški so se po končani afini transformaciji nahajali v intervalu med $\pm 0,06$ in $\pm 0,09$ mm, kar potrjuje zadovoljivo stabilnost folije kot nosilca informacij.



Slika 4: Diagram pretvorbe dvodimenzionalnih načrtov v tridimenzionalni model

2) Urejanje digitaliziranega detajla

Detajl je na fasadnih načrtih sestavljen iz črt, ki se stikajo. Po digitalizaciji se to spremeni, zato je treba ponovno določiti stičišča. To ni pomembno samo z estetskega vidika, temveč tudi zaradi kasnejše obdelave digitalne grafike pri izgradnji žičnega in ploskovnega tridimenzionalnega modela objekta. Ponovno vzpostavimo tudi pravokotnost in vzporednost linij (npr. okna, vrata, itd.).

3) Določanje fasadnih ravnin

Z vidika urejanja digitalnih tridimenzionalnih podatkov v CAD orodju je matematična ravnina ključnega pomena. Zato je treba predhodno na celem objektu določiti dele fasad, ki jih lahko približno določimo z neko prostorsko ravnino. Takšno fasadno ravnino je najbolje določiti na podlagi matematičnega algoritma. Pri tem potrebujemo prostorske točke, ki so bodisi obstoječe oslonilne točke ali na novo izmerjene geodetske točke. Fasadna ravnina predstavlja neko območje fasade, ki ga je treba na podlagi transformacijskih točk transformirati v tridimenzionalni prostor.

4) Določitev transformacijskih točk

Za izvedbo transformacije potrebujemo identične točke v obeh koordinatnih sistemih. Izbrane so bile na skrajnih predelih fasadnih ravnin. Točke je treba označiti na ozalidnih kopijah fasadnih načrtov in na kontaktnih kopijah posnetkov. Ti predstavljajo skico za geodetsko izmero. Okrog gradu je bil razvit poligon, ki je omogočal nadaljnjo izmero transformacijskih točk na fasadah objekta. Izmerjenih je bilo 180 geodetskih točk.

5) Transformacija fasadnih načrtov v prostor

Postopek transformacije je bil izveden v programskem okolju AutoCAD in aplikacijo AutoCAD/ARCHOS. Vhodni podatki za transformacijo so: digitalizirani načrti fasad z vsebino v merilu 1 : 1 in v ravnini $z = 0$

Gauss-Kruegerjevega koordinatnega sistema, geodetsko izmerjene transformacijske točke, ki se nahajajo v Gauss-Kruegerjevem koordinatnem sistemu. Postopek transformacije je takle:

- ☐ izbira treh geodetskih fasadnih točk, ki določajo fasadno ravnino
- ☐ izbira referenčne geodetske točke za vklop fasadnega načrta v prostor
- ☐ določitev preseka fasadne ravnine s horizontalno ravnino v referenčni točki
- ☐ določitev vertikalne linije v referenčni točki
- ☐ prenos fasadne ravnine iz lokalnega koordinatnega sistema v prostor prek referenčne točke, kjer sledi zasuk fasadnega načrta v smeri horizontalne linije
- ☐ rotiranje fasadnega načrta v vertikalno ravnino, ki je izhodiščni položaj za morebitno inverzno-ortogonalno transformacijo
- ☐ izvedba numerične analize odstopanj med geodetsko izmerjenimi fasadnimi točkami in digitaliziranim detajlom.

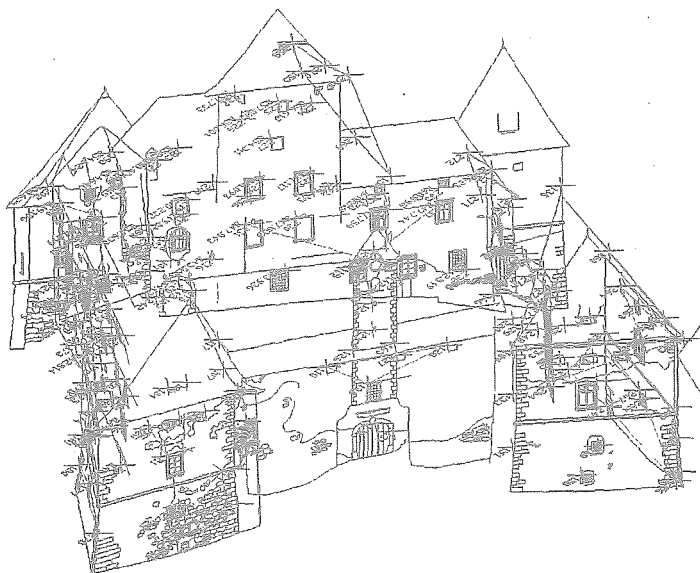
Če so odstopanja minimalna in v dopustnih mejah, je transformacija dokončna. V nasprotnem primeru izvedemo inverzno-ortogonalno transformacijo, ki izbrano fasadno ravnino z vsem svojim detajlom avtomatizirano postavi v novo prostorsko ravnino.

Vmesni rezultat izvedbe pretvorbe iz dvodimenzionalnega v tridimenzionalno ob pomoči dodatnih geodetskih meritev (Slika 5).

Poseben problem pri transformaciji predstavljajo streha in njeni elementi (dimniki, nadstreški, ...), saj so močno obremenjeni z redukcijo dolžin. Brez naknadno izmerjenih slemenskih točk strehe skorajda ne moremo locirati v prostor. Za vključitev določenih fasadnih delov je bilo treba poleg geodetskih točk uporabiti tudi obstoječe tlorise in jih pravilno locirati v delno izgrajeni tridimenzionalni model. že v fazi digitalizacije je bil detajl tlorisov zajet tako, da je omogočal istočasno lociranje vseh štirih tlorisov hkrati. Z določitvijo položaja enega – referenčnega tlorisa so bili položajno določeni tudi ostali trije tlorisi. Za referenčni tloris je bil izbran tloris prvega nadstropja. Ima namreč veliko detajla – oken, na katerih je bilo izmerjenih tudi veliko geodetskih točk. Te točke se nahajajo na približno enakih nadmorskih višinah. Poleg tega so fasade v prvem nadstropju približno vertikalne, tako da lociranje tlorisa na nadmorsko višino v obsegu prvega nadstropja ni imelo bistvenih negativnih vplivov. S sprotno numerično analizo med vklopom referenčnega tlorisa je bila kontrolirana pravilnost izbranega postopka.

Postopek lociranja tlorisov v prostor je bil naslednji:

- lociranje tlorisa v prostor na podlagi referenčne geodetske točke – vogal okna,
- identificiranje geodetskih točk na tlorisu, ki so se nahajale približno paroma diametralno. Izbranih je bilo šest takšnih parov točk,
- projiciranje povezovalnih linij med geodetskimi točkami na ravnino tlorisa. S tem sta bili omogočena primerjava in pravilnost položaja detajla med pomikanjem in vrtenjem tlorisa, kar je bilo izvedeno večkrat, saj je bil dokončen položaj tlorisa določen v iterativnem procesu. Za končen položaj je bila izbrana tista, kjer so bila odstopanja v ravnini tlorisa najmanjša.



Slika 5: Stanje po pretvorbi iz dvodimenzionalnega v tridimenzionalno

6) Izdelava žičnega in ploskovnega modela

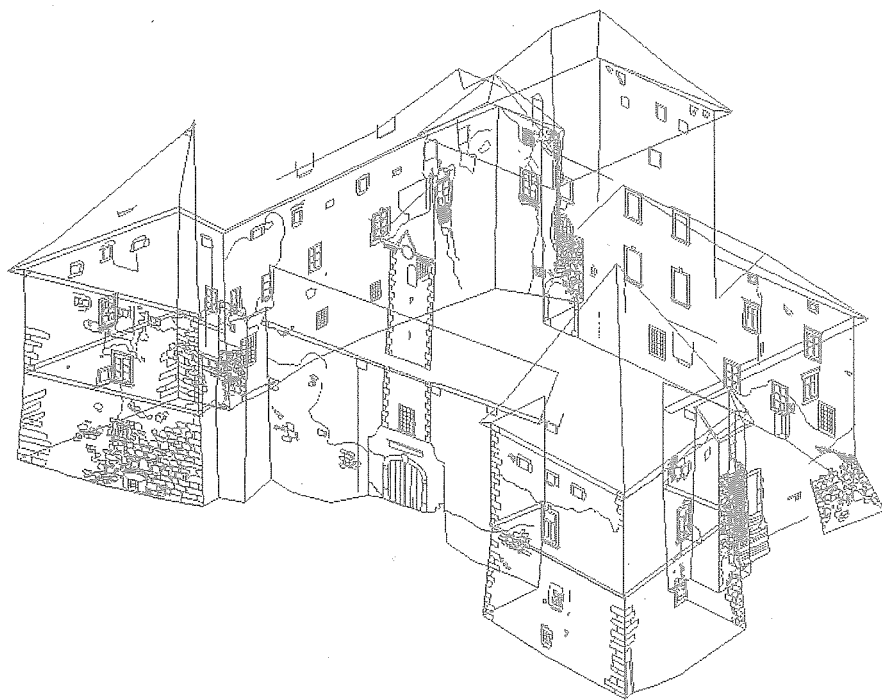
Izdelava žičnega (Slika 6) in ploskovnega digitalnega tridimenzionalnega modela je potekala po že znanih postopkih, izdelanih pri projektih spomeniškega varstva, ki smo jih na Inštitutu za geodezijo in fotogrametrijo FGG v Ljubljani izvajali v zadnjih letih. Žični model predstavlja prikaz objekta z linijami in krivuljami (AutoCAD RG, 1997), ki predstavljajo mejne elemente objekta, kot npr. rob fasade, okvirje oken, vrat itd. Ploskovni model se uporablja za prikaz objekta, ki ga določajo ploskve (AutoCAD RG, 1997).

4 ZAKLJUČEK

Režultati naloge kažejo, da je na podlagi obstoječe dokumentacije objekta ob podpori dodatnih geodetskih meritev možno izdelati digitalni tridimenzionalni model objekta. Izdelava takega modela iz obstoječe dokumentacije ob podpori dodatnih geodetskih meritev je izvedljiva v programskem okolju AutoCAD z uporabo standardnih funkcij in z nadgrajenimi funkcijami aplikacije AutoCAD/ARCHOS. Na

področju izdelave in vizualizacije digitalnih tridimenzionalnih modelov je čutiti pozitivne tendence razvoja. Tridimenzionalni podatki arhitekturne fotogrametrije v obliki digitalnega tridimenzionalnega modela nudijo izvorno in celotno metrično informacijo o objektu, hkrati pa omogočajo nadgradnjo v smislu fotorealistične vizualizacije, poljubnih animacij in tridimenzionalnih informacijskih sistemov.

Kljub temu da področje varovanja kulturne dediščine predstavlja interdisciplinaren splet različnih strok (arhitekture, umetnostne zgodovine, arheologije, konzervatorstva, restavratorstva, fotogrametrije, geodezije in podobno), ima fotogrametrična dokumentacija značilno mesto v celotnem mozaiku dokumentacije objektov spomeniškega varstva. Primer, opisan v prispevku, predstavlja po našem vedenju v slovenskem prostoru prvo izvedbo pretvorbe dvodimenzionalnih analognih načrtov v digitalni tridimenzionalni model ob dodatnih terenskih meritvah.



Slika 6: Žični model gradu zunanjih fasad

Literatura:

- Janežič, M. et al., *Cerkev Sv. Barbare na Okrogu – fotogrametrična izmera in izdelava 3D modela*. Ljubljana, IGF, 1996a
- Janežič, M. et al., *Izdelava žičnega 3D modela objekta, Stara mestna elektrarna v Ljubljani*. Ljubljana, IGF, 1995
- Mravlje, D., *Netopografska fotogrametrija – aplikacije. Raziskovalna naloga*. Ljubljana, IGF, 1984
- Mravlje, D., *Prostoska izmera spomeniških zgradb. Geodetski vestnik*, Ljubljana, 1981

- Oven, K., *Analogno-digitalna pretvorba fasadnih načrtov iz 2D v 3D na primeru gradu Gracarjev turn. Raziskovalna naloga študija ob nalogi podiplomskega študija. Ljubljana, IGF, 1998*
- Oven, K., *Pretvorba obstoječih načrtov fasad v 3D model objekta. Vestnik – Fotogrametrija kot metoda dokumentiranja kulturne dediščine – sodobne tehnologije. Ljubljana, 1996, št. XV, str. 9-108*
- Oven, K., Fegic J., *Grad Socerb, izdelava foto-realističnega 3D modela. Ljubljana, IGF, 1997-1998*
- Oven, K. et al., *Rotunda Carmine v Kopru – izdelava 3D modela in ortofota lizen. Ljubljana, IGF, 1996*
- Priročnik AutoCAD RG, 1997*
- Stopar, I., *Gradovi na Slovenskem. Ljubljana, Cankarjeva založba, druga izdaja, 1987, str. 281-284*

*Recenzija: mag. Vasja Bric
Franci Vrhovec*