

POVEZLJIVOST BIM-MODELA IN CNC-STROJA NA PRIMERU LESENE OKVIRNOPANELNE MONTAŽNE HIŠE

BIM-MODEL CONNECTION WITH CNC-MACHINE IN CASE OF PREFABRICATED TIMBER PANEL HOUSE

Mitja Furman, mag. inž. grad.

mitja.furman@marles.com

Ošelj 1 a, 2315 Šmartno na Pohorju

doc. dr. Milan Kuhta, univ. dipl. inž. grad.

miso.kuhta@um.si

UM Fakulteta za gradbeništvo, prometno

inženirstvo in arhitekturo

Smetanova ulica 17, 2000 Maribor

Znanstveni članek

UDK 62-112.6:674.038.5

Povzetek | Industrija 4.0 povezuje digitalni, fizični in biološki svet. V Gradbeništvu 4.0 se BIM (Building Information Modeling) navaja kot vodilni način digitalizacije in povezljivosti delovnih procesov. Gradnja lesenih montažnih okvirkopanelnih stanovanjskih hiš predstavlja trend časovno hitre gradnje. Članek predstavlja raziskavo povezljivosti digitalnega in fizičnega na področju lesenih montažnih hiš. Analizirana je možnost digitalizirane proizvodnje na primeru izdelave BIM-modela montažne hiše in njegove povezljivosti z lesnoobdelovalnimi CNC-stroji (Computer Numerical Control). Hkrati se je analiziralo tudi modeliranje v programskem orodju Archicad in njegovem vtičniku Archiframe. V okviru raziskave so bili v podjetju Marles proizvedeni leseni gradniki montažnega stenskega elementa. Ključne besede: lesene gradnje, okvirkopanelna montažna gradnja, BIM, Archicad, Archiframe, povezljivost, CNC-stroji

Summary | Industry 4.0 is the fusion of digital, physical and biological worlds. In AEC (Architecture, Engineering and Construction) industry BIM (Building Information Modelling) represents the leading process of digitalization and connectivity. Prefabricated timber panel houses are modern trend of quick construction process. This article describes how digital and physical world in timber construction can be connected. The research of CNC (Computer Numerical Control) manufacturing based on BIM modelling of prefabricated timber panel house was done. For this purpose, modelling in software Archicad and add-on Archiframe were analysed. Production and assembly of a single prefabricated element was realized in company Marles.

Key words: timber construction, prefabricated timber panel house, BIM, Archicad, Archiframe, fusion, CNC machines

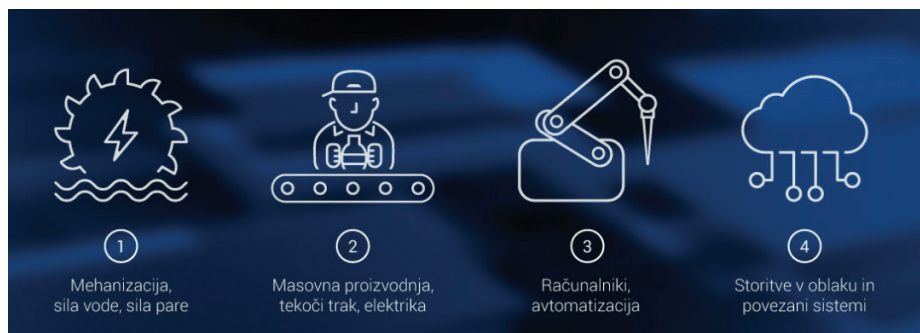
1 • UVOD

1.1 Industrija 4.0/Gradbeništvo 4.0

»Edina stalnica v življenju so spremembe« je misel starogrškega filozofa Heraklita iz obdobja 500 let pr. n. št. Veliko pred Heraklitom sta človeško savansko življenje spremenili

kognitivna in kmetijska revolucija, za njima pa znanstvena in industrijska revolucija. Slednja je v svoji evoluciji danes na četrtem nivoju, smo v času Industrije 4.0 in Gradbeništva 4.0, na obzoru je Industrija 5.0.

Prva industrijska revolucija je temeljila na pretvarjanju toplotne energije v mehansko, začeni z izumom parnega stroja in izgradnjo železnic v obdobju med letoma 1760 in 1840. Osnova druge industrijske revolucije je bila izraba električne energije v drugi polovici 19. stoletja, ki je omogočila masovno, serijsko proizvodnjo na tekočem traku. Tretjo industrijsko revolucijo je Evropa doživljala nekje



Slika 1 • Od 1. do 4. industrijske revolucije (FrodX, 2019).

od leta 1970 naprej, Slovenija z zamikom desetih let. Pojavili so se računalniki, serijska proizvodnja se je avtomatizirala, naučili smo se računalniško podprtega načrtovanja – CAD (Computer Aided Design), pričeli uporabljati računalniško podprto proizvodnjo – CAM (Computer Aided Manufacturing) in numerično krmiljene stroje – CNC (Computer Numerical Control). V začetku 21. stoletja je nastopila četrta industrijska revolucija, za katero so značilne hitro razvijajoče se tehnologije, ki povezujejo digitalni, fizični in biološki svet (Schwab, 2016). Čas trajanja vsake industrijske revolucije je znatno krajši od trajanja njene predhodnice, spremembe v uporabljenih tehnologijah in njihovo medsebojno zlivanje se danes odvijajo hitreje kot kadarkoli prej. V Gradbeništvo 4.0 naj bi revolucijo in izboljšanje nižje produktivnosti gradbene industrije (v primerjavi z drugimi industrijskimi panogami) z digitalizacijo, s povezljivostjo in z direktno izmenjavo informacij prineslo tudi informacijsko modeliranje BIM. Poleg BIM spadajo v koncept Gradbeništva 4.0 še npr. robotika, 3D-tiskanje, virtualna resničnost (VR – Virtual Reality), razširjena resničnost (AR – Augmented Reality), uporaba dronov, umetna inteligenca idr. Če je CAD iz projektiranja izrinil tuš, paus papir in kopiranje s pomočjo amoniaka, bo BIM morda izrinil papir.

1.2 Lesena okvirnopenelna montažna gradnja

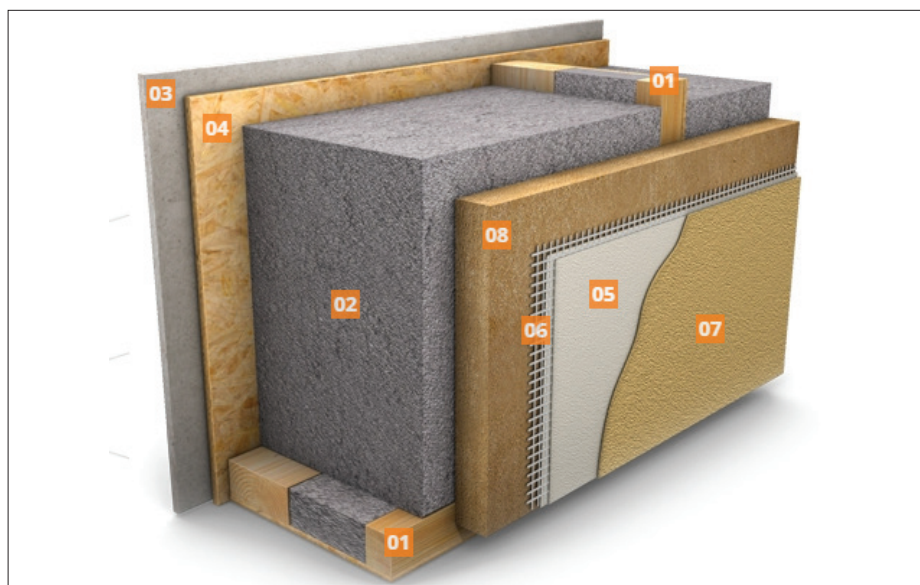
Lesena okvirnopenelna montažna gradnja spada med okvirne sisteme lesenih konstrukcij. Montažni okvirnopenelni konstrukcijski sistem je sestavljen iz ploskovnih montažnih konstrukcijskih elementov – osnovni gradnik tega je t. i. malopanelni sistem stene (dolžine 125 cm), v praksi pa precej pogosteje uporabljen velikopanelni sistem, ki je večkratnik dolžine 125 cm.

Pri obeh sistemih so osnovni gradniki stebrički in grede, oziroma kot jim pravijo v praksi, pokončniki in venci. Skupaj z obložni-

mi ploščami, ki so lahko izdelane iz lesenih (OSB) ali mavčnih vlaken (MVP), tvorijo



Slika 2 • Montaža stenskih panelov (Marles, 2019).



Slika 3 • Prerez stene Marles Pasiv Natura (Marles, 2019).

nosilni stenski element za prevzem vertikalnih in horizontalnih sil. Vrsta obložne plošče je odvisna od gradbenofizikalnih potreb ali od obtežb, ki delujejo na objekt. Pritrjevanje obložnih plošč na leseni okvir se izvede s pomočjo kovinskih sponk. Za medsebojno spajanje posameznih elementov ter sidranje elementov se uporabljajo različna kovinska vezna sredstva.

V osnovi bistvenih razlik med konstrukcijskimi sistemi različnih proizvajalcev lesenih okvirnopenelnih montažnih hiš ni. Jedro predstavlja lesena nosilna konstrukcija, ki je načeloma izdelana iz elementov pravokotnega prereza.

Izjeme nastajajo pri različicah pasivnih hiš, kjer se zaradi želje, doseči čim manjšo toplotno prehodnost, uporabljajo sestavljeni prerezi (slika 3). Namen sestavljenih prerezov je zmanjšanje deleža lesa in posledično povečanje količine toplotne izolacije v nosilni

konstrukciji. Za toplotno izolacijo v nosilni konstrukciji se načeloma uporablja mineralna volna. Zadnji trendi trajnostnih gradenj so sprožili uporabo materialov, ki so bolj ekološki in jih je možno reciklirati. Tako se v nosilno konstrukcijo vse pogosteje vpiguje celuloza

ali vgradijo lesnovlasknene plošče. Za zunanji sloj izolacije se najpogosteje uporabljata ekspandirani polistiren in mineralna volna, v zadnjem obdobju tudi lesnovlasknene plošče, izbira je odvisna od želenih gradbenofizikalnih lastnosti.

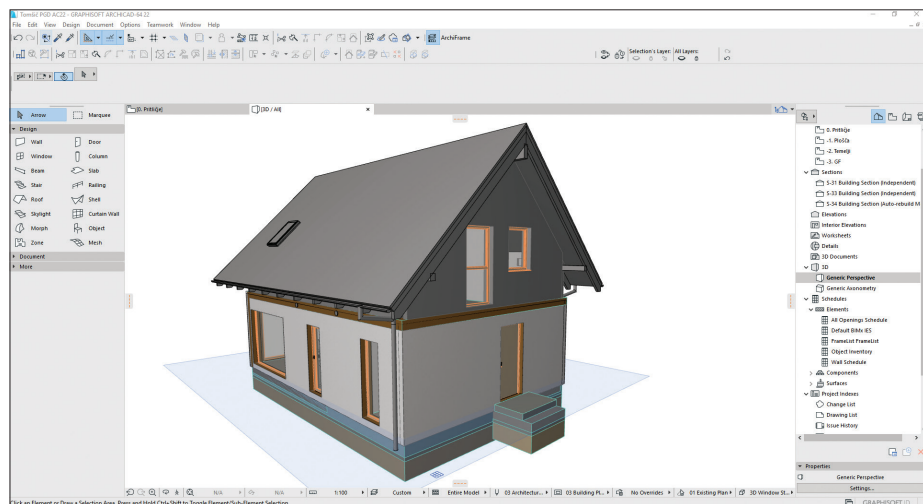
2 • UPORABLJENO BIM ORODJE – ARCHICAD, ARCHIFRAME

2.1 Archicad

Archicad je programsko orodje, primarno namenjeno arhitektom, oblikovalcem

(MEP – mechanical, electrical, and plumbing) vključni tudi projektiranje strojnih, električnih in drugih instalacij. S po-

močjo BIM-strežnika se lahko vzpostavi sočasno delo pri enem projektu, ki se ga lahko s pomočjo namenske programske opreme dodatno razširi do te mere, da je možno sodelovanje in komuniciranje s pametnimi tablicami ali mobilnimi telefoni (Graphisoft, 2019).

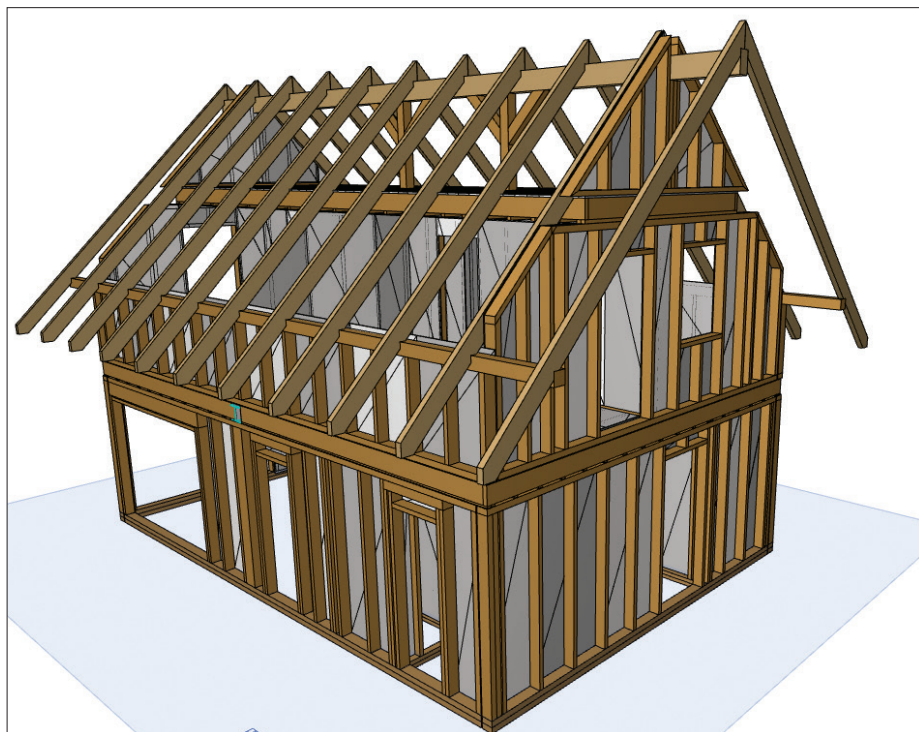


Slika 4 • Model obravnavane hiše v Archicadu.

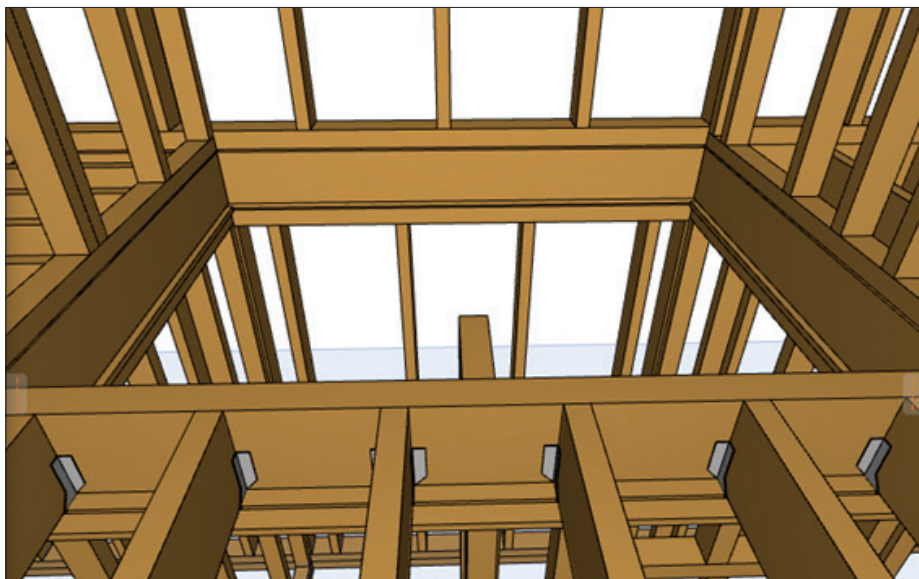
in gradbeni industriji. Na voljo je v 17 jezikih in 27 lokaliziranih različicah, ki upoštevajo lokalne standarde in načine projektiranja. Archicad je začetnik pristopa »open BIM« za skupno oblikovanje, gradnjo in vzdrževanje zgradbe, ki temelji na odprtih standardih ter postopkih IFC (Industry Foundation Classes) in BCF (BIM Collaboration Format). Je eno izmed redkih programskih orodij, ki ga neposredno podpirata operacijska sistema Microsoft Windows in Apple macOS. Archicad je programsko BIM-orodje madžarskega podjetja Graphisoft. Razvoj se je začel leta 1982, trenutna in analizirana verzija je 22. Velja za programsko orodje s prvo implementacijo BIM in prvi program, ki je bil zmožen ustvarjati tako 2D- kot 3D-geometrijo. Z možnostjo vključevanja grafičnega programiranja se lahko izdelajo poljubne oblike, ki se lahko parametrično obdelujejo. Dodatno se lahko prek vtičnika MEP-Modeler

2.2 Archiframe

Archiframe je dodatek (vtičnik) za programsko orodje Archicad, namenjen projektiranju lesenih konstrukcij. Ponuja nam orodja za izdelavo posameznih elementov objekta, od stebrov in nosilcev do okvirnih stenskih elementov, stropnih elementov in ostrešij. Prav tako lahko projektiramo masivne skladovne sisteme. Archiframe omogoča tudi detajliranje v leseni gradnji, kot je prikazano na sliki 6. Z Archiframe lahko natančno izdelamo delavniške risbe, popise materialov in informacije za lesnoobdelovalne stroje (Archiframe, 2019).



Slika 5 • Model obravnavane hiše, obdelan v Archiframe.



Slika 6 • Menjalnik stopnišča in jekleni čevlji na končnem modelu v Archiframe.

Po kriteriju razvitosti BIM-modela smo model obravnavane hiše izdelali na nivoju LOD 400 (LOD – Level of Development), primernem za izdelavo delavniških risb (natančna geometrija, oblika, količina, lokacija, orientacija), in druge dokumentacije, potrebne za izdelavo montažnih elementov, vključno z vsemi potrebnimi informacijami za nadaljnje delo na CNC-strojih (Borrmann, 2018).

3 • MODELIRANJE ELEMENTOV HIŠE Z ARCHICAD IN ARCHIFRAME

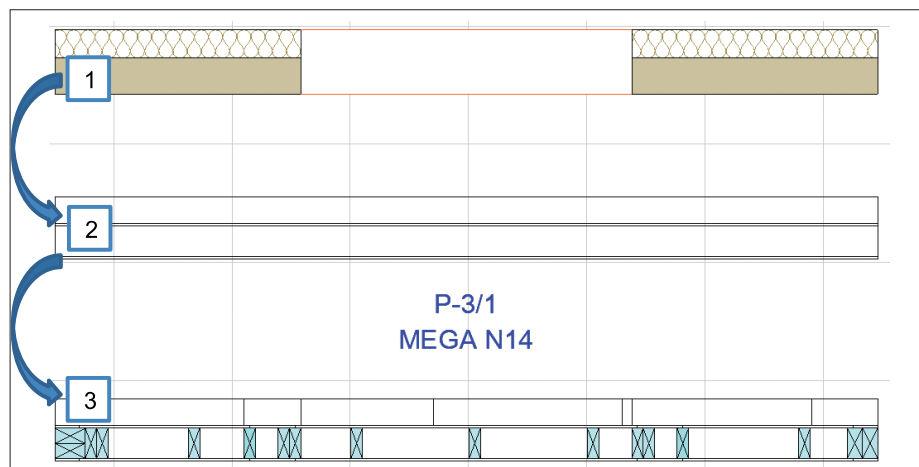
3.1 Modeliranje okvirnih stenskih in stropnih elementov

Z namenom testiranja interoperabilnosti Archicada smo vanj uspešno uvozili IFC-model hiše, ki je prikazan na sliki 4. Po uvozu se lahko prične modeliranje okvirnih elementov hiše s pomočjo vtičnika Archiframe. Za lažje in hitrejše delo je priporočljiv natančno pripravljen arhitekturni model, to pomeni, da so zmodelirane natančne debeline oz. sestave elementov (stena, strop, streha), višine posameznih elementov in medsebojno stikanje (stena pritličja–strop pritličja–stena mansarde). Če ni tako, so potrebni popravki arhitekturnega modela. Za delo z vtičnikom Archiframe je treba vsakemu okvirnemu elementu (kompozitu) predhodno definirati sloje, ki ga sestavljajo, in njihove lastnosti.

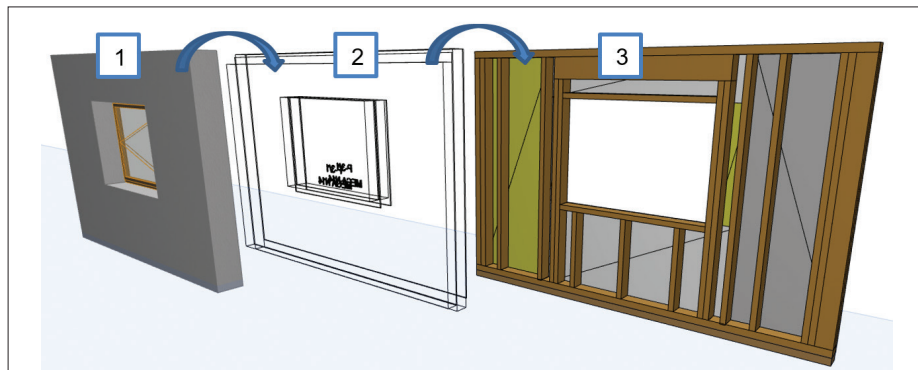
Okvirne elemente (stene, stropi) so lahko pripravljeni za različne konstrukcijske sisteme (okvirnpanelni ali masivni), poleg tega tudi za različne tipe kompozitov, kot je na primer stenski element z instalacijsko ravnino ali strop pritličja oziroma strop mansarde. Vsi ti elementi, ki jih moramo definirati, so shranjeni v bazi in jih lahko uporabimo za nadaljnje projekte. Sistem modeliranja okvirnega elementa je prikazan na sliki 7:

- »1« stenski element, uvožen v program Archicad (arhitekturni model),
- »2« stenski element, izdelan z vtičnikom »Archiframe okvirni elementi«,

- »3« končni stenski element z generiranimi vsemi sloji elementa.

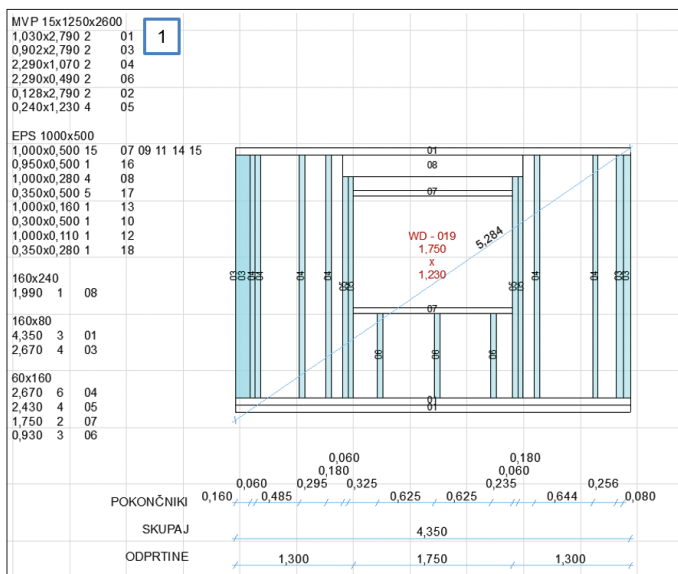


Slika 7 • Postopek izdelave obravnavane stene.



Slika 8 • Postopek izdelave obravnavane stene v 3D-pogledu.

Generiranje posameznih slojev elementa se izvede avtomatsko s pravili generiranja, ki so določena v sklopu definiranja posameznih slojev okvirnega elementa. Programska oprema dopušča izbiro med številnimi vnaprej definiranimi možnostmi samodejnega gene-



Slika 9 • Delavniška risba – pogled iz notranje strani.

riranja tako za osnovno nosilno konstrukcijo kot za obložne plošče. Postopek izdelave stene s pomočjo programske opreme je na sliki 8 prikazan še v 3D-pogledu. Pri fazi 3 smo za lažji pregled zakrili zunanji sloj izolacije in zunanjo obložno ploščo.

Po končanem generiranju posameznih slojev elementov lahko pripravimo delavniške risbe in naredimo popis materiala. Tega lahko izvozimo v tekstovni datoteki ali v datoteki .xls (Excel). Slika 9 prikazuje samodejno izdelano delavniško risbo za steno na slikah 7 in 8 z vključenim prikazom lesene nosilne konstrukcije. S številko »1« je označen del risbe, ki predstavlja popis materiala. Prva številka predstavlja velikost ali dolžino elementa (MVP, velikost 15 x 1,250 x 2,600 mm), druga številka število kosov (2) in tretja številka oznako elementa (01).

Postopek modeliranja stenskih elementov je treba ponoviti za stropne elemente, kot je prikazano na sliki 10. Pri tem je pod točko »1« prikazano predhodno definiranje slojev in nji-

hovih lastnosti za celoten kompozit, pod točko »2« je prikazan stropni element, izdelan z »Archiframe okvirni elementi«, in pod točko »3« je prikazan celoten kompozit z generiranimi vsemi sloji.

V sklopu vtičnika Archiframe imamo možnost izvoza informacij v različne CNC-stroje. V osnovi je izvoz prilagojen strojem proizvajalca Hundegger, poleg teh pa še strojem proizvajalca Weinmann.

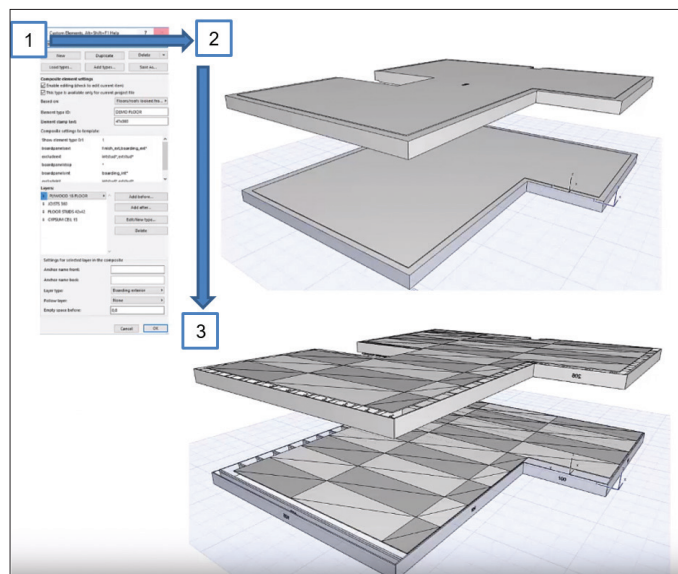
3.2 Možnosti detajliranja

Programska oprema omogoča modeliranje številnih standardnih spojev in priključkov med elementi. Primer priključevanja z lastovičjim repom je prikazan na sliki 11.

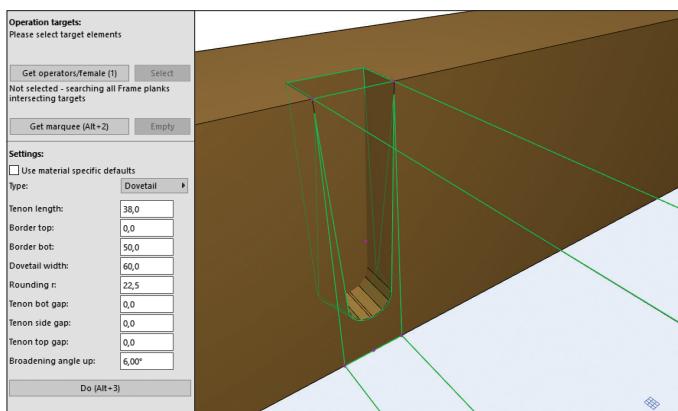
Če imamo pripravljene strojne in elektroinštalacije, jih lahko uvozimo prek dokumenta v formatu IFC v program Archicad in nato s pomočjo vtičnika Archiframe prilagodimo konstrukcijske elemente in po potrebi izvedemo preboje, katerih informacije se prav tako pre-

nesejo v CNC-stroje. Primer preboja je prikazan na sliki 12.

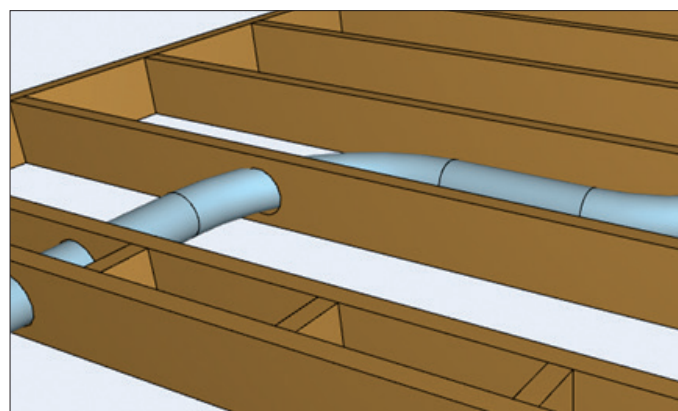
Za arhitekturni model, prikazan na sliki 4, smo s pomočjo orodja za okvirne elemente generirali vse plasti, ki so v posameznem okvirnem elementu. Na sliki 5 je prikazan končni BIM-model obravnavane hiše, pri katerem so zaradi lepšega pregleda v celoti zakrite fasadne plošče in zunanje obložne plošče. V končnem modelu so vključeni tudi vsi dodatni elementi, potrebni z vidika mehanske odpornosti in stabilnosti, vključno z vsemi jeklenimi elementi. Prav tako so vključeni vsi drugi elementi, kot so menjalniki, čevlji, preboji in drugi detajli. V tej fazi imamo pripravljene samodejno generirane delavniške risbe in lahko glede na risbe izdelamo popise materiala in datoteke za CNC-stroj. Končni model lahko shranimo kot datoteko Archicad ali v formatu IFC. V primeru hrambe v IFC-formatu lahko model uporabimo tudi v drugih programskih orodjih BIM.



Slika 10 • Postopek izdelave stropnih elementov (Archiframe, 2019).



Slika 11 • Priključek z lastovičjim repom.



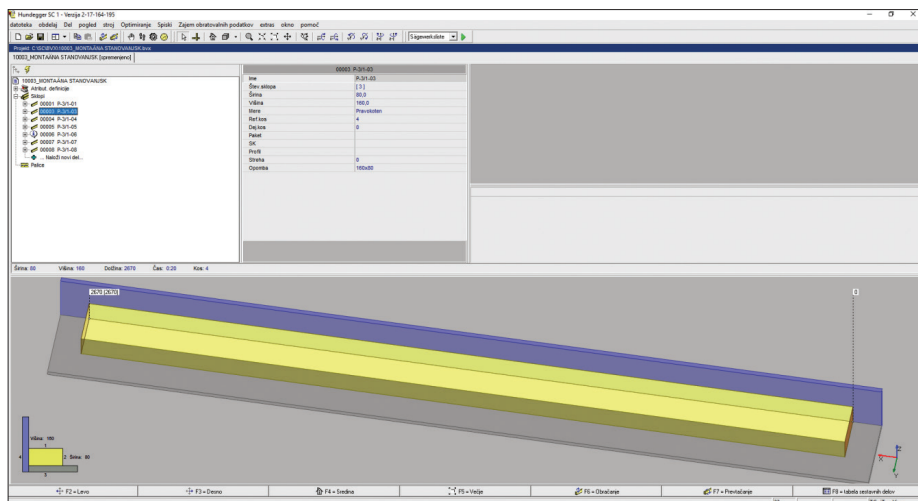
Slika 12 • Preboj.

4 • POVEZLJIVOST BIM-CNC

Povezljivosti BIM-modela stenskega elementa z lesnoobdelovalnim CNC-strojem smo preverili s prenosom podatkov iz Archicad BIM-modela v CNC-stroj in uspešnost prenosa potrdili z izdelavo lesenih elementov stenskega elementa, obravnavanega v poglavju 3. S pomočjo Archiframe smo za obravnavano steno ustvarili datoteko s končnico .bvn, ki jo uporabljajo stroji proizvajalca Hundegger. Uporabniški vmesnik stroja Hundegger Speed-Cut, v katerega smo uvozili datoteko .bvn za obravnavani stenski element, je prikazan na sliki 13. Z vmesnikom lahko lesene elemente BIM-modela pred končnim razrezom po potrebi še dodatno obdelujemo.

S strojem Hundegger Speed-Cut (slika 14) so bili za obravnavani stenski element razrezani vsi leseni elementi (pokončniki, venci in preklade). Stroj Hundegger Speed-Cut SC2 omogoča natančen in hiter razrez lesa dimenzij od 20 mm x 40 mm do 160 mm x 450 mm poljubne dolžine (Hundegger, 2019).

Po razrezu vseh lesenih elementov se ti položijo na delovno mizo, kjer se s pomočjo delavniške risbe sestavijo in medsebojno spojujejo. Na sliki 15 je prikazana dokončana lesena nosilna konstrukcija, sestavljena iz pokončnikov, vencev in preklade. Na konstrukcijo se položi parna zapora, pritrdijo notranje obložne mavčno-vlaknene plošče, izvede se zatesnitev stikov med ploščami, vgradi izolacijska mineralna volna in na koncu se pritrdijo še zunanje obložne plošče. Po vgradnji stavbnega pohištva in fasadnega sloja je stenski element pripravljen za montažo na gradbišču.



Slika 13 • Uporabniški vmesnik Hundegger Speed-Cut.



Slika 14 • Uvoz podatkov na stroj Hundegger Speed-Cut in razrez lesa.



Slika 15 • **Dokončana lesena nosilna konstrukcija stenskega elementa.**

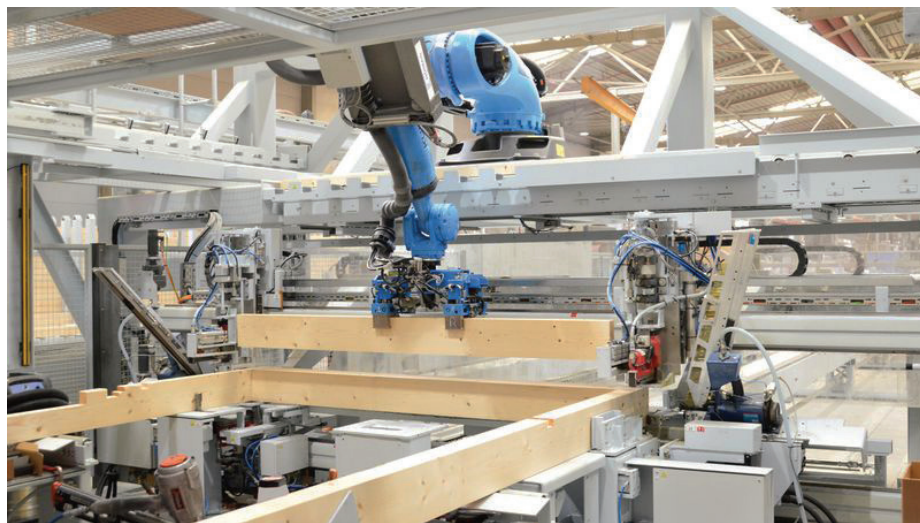
5 • SKLEP

Archicad in vtičnik Archiframe sta se v obravnavanem primeru izkazala za uspešno orodje. Z izdelanim BIM-modelom se lahko izdelajo kvalitetne delavniške risbe, ki se jih lahko uporabi v primeru nedigitalizirane proizvodnje. S programskim orodjem se lahko uspešno izvede tudi detajliranje, z vključitvijo strojnih in elektroinstalacij pa lahko izvajamo tudi teste kolizij. S programskim orodjem Archicad in vtičnikom Archiframe smo izdelali BIM-model lesene okvirnopanelne montažne hiše, ki smo ga uspešno prenesli v CNC-stroj Hundegger Speed-Cut in z njim izdelali osnovne gradnike lesenega okvirja. Takšen razrez s CNC-strojem je hiter in natančen, pod poljubnim kotom in nagibom, ročno merjenje, označevanje in dodajanje posameznih kosov lesa niso potrebni.

Pokazali smo, čeprav v manjšem obsegu in na specifičnem področju, da Industrija 4.0 in Gradbeništvo 4.0 nista le moden termin, da je iz digitalnega sveta možno priti neposredno v fizičnega. Način proizvodnje v gradbeništvu se lahko spremeni in se (lahko) spreminja tudi pri nas. Podjetje Marles še v letošnjem letu načrtuje uporabo prikazanega načina

modeliranja in izdelavo stenskih in stropnih elementov za celotno hišo.

V Sloveniji se vrednost opravljenih gradbenih del od leta 2016 neprestano povečuje (SURS, 2019). Priložnosti za Gradbeništvo 4.0 je in bo v slovenskem gradbeništvu veliko, problem ni znanje, problem sta volja in doslednost.



Slika 16 • Robot v lesni okvirni gradnji (Homag, 2019).

Naslednji korak v leseni okvirnopanelni montažni gradnji je vpeljava robotov za sestavo celotnega stenskega panela. Robotika v gradbeništvu namreč ni več vizija, postaja realnost. Robot na sliki 16 sestavlja leseni okvir s šestimi takti na minuto. V Južni Koreji in Singapurju, ki sta vodilni državi po uporabi robotov v industriji, število industrijskih robotov znaša že okoli 700 robotov na 10.000 zaposlenih (IFR, 2019).

6 • LITERATURA

- Archiframe, <https://www.archiframe.fi/en/in-brief>, 2019.
- Borrmann, A., König, M., Koch, C., Beetz, J., Building Information Modeling, Springer International Publishing, 2018.
- FrodX, Četrta industrijska revolucija, <https://frodX.com/cetrta-industrijska-revolucija/>, 2019.
- Furman, M., Izdelava BIM-modela lesene montažne hiše in povezljivost s CNC-stroji, Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo, 2019.
- Graphisoft, Archicad 22, <https://www.graphisoft.com/archicad/> in <http://archicad.com/si/all-about-archicad/>, 2019.
- Homag, Roboter im Holzbau, <https://www.homag.com/news-events/news/artikel/robooter-im-holzbau/>, 2019.
- Hundegger, Innovationen für den Holzbau, <https://www.hundegger.de/de/maschinenbau/unternehmen.html>, 2019.
- IFR, International Federation of Robotics, <https://ifr.org/>, 2019.
- Marles d.d., Marles, <https://www.marles.com/hise/>, 2019.
- Schwab, K., Četrta industrijska revolucija, World Economic Forum, FrodX, d. o. o., 2016.
- SURS, Statistični urad, Republika Slovenija, <https://www.stat.si/StatWeb/Field/Index/6>, 2019.