

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:

Lap, G., 2015. Izdelava delavniških načrtov v programu Dietrichs in prenos podatkov na CNC. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Cerovšek, T.): 57 str.

Datum arhiviranja: 18-06-2015

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:

Lap, G., 2015. Izdelava delavniških načrtov v programu Dietrichs in prenos podatkov na CNC. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Cerovšek, T.): 57 p.

Archiving Date: 18-06-2015

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

**VISOKOŠOLSKI STROKOVNI
ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE
STOPNJE OPERATIVNO
GRADBENIŠTVO**

Kandidat:

GREGA LAP

**IZDELAVA DELAVNIŠKIH NAČRTOV V PROGRAMU
DIETRICH'S IN PRENOS PODATKOV NA CNC**

Diplomska naloga št.: 87/OG-MK

**PRODUCTION OF SHOP DRAWINGS IN
DIETRICH'S AND DATA TRANSFER TO CNC**

Graduation thesis No.: 87/OG-MK

Mentor:

doc. dr. Tomo Cerovšek

Predsednik komisije:

doc. dr. Tomo Cerovšek

Ljubljana, 05. 06. 2015

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisani Grega Lap izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom »Izdelava delavniških načrtov v programu Dietrich's in prenos podatkov na CNC«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 18.6.2015

Grega Lap

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	004.42:004.92:624.11:728(043.2)
Avtor:	Grega Lap
Mentor:	doc. dr. Tomo Cerovšek
Naslov:	Izdelava delavniških načrtov v programu Dietrich's in prenos podatkov na CNC
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – visokošolski študij
Obseg in oprema:	57 str., 3 pregl., 65 sl.
Ključne besede:	Skeletna hiša, program Dietrich's, lesena gradnja, lesni spoji, CNC Hundegger

Izvleček

Pri izdelavi delavniških načrtov za leseno skeletno konstrukcijo si pomagamo z računalniškimi programi, ki imajo tudi možnost prenosa obdelovalnih podatkov na stroj CNC (angl. »*Computer Numerical Control*«). Pomembna je prava izbira lesne zveze med posameznimi konstrukcijskimi elementi, da je konstrukcija enostavna za izdelavo, časovno hitro obdelana na stroju CNC in izpolnjuje tudi statične zahteve.

V diplomski nalogi smo prikazali postopek izdelave delavniških načrtov in prenos obdelovalnih podatkov na stroj CNC za enostavno enodružinsko hišo ter opisali nekaj največkrat uporabljenih lesnih zvez za primere povezave pozidnica – steber, steber – diagonalna prečka, steber – horizontalna prečka.

Vsak stroj CNC je izdelan po želji naročnika, ki lahko izbira med različnimi agregati. Prikazali in opisali smo nekaj osnovnih agregatov za stroj CNC Hundegger.

Analizirali smo posamezne lesne zveze po času, ki ga stroj CNC potrebuje za izdelavo, in pri tem dobili tudi celotni obdelovalni čas za obravnavani objekt.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDK:	004.42:004.92:624.11:728(043.2)
Author:	Grega Lap
Supervisor:	assist. prof. Tomo Cerovšek, Ph. D.
Title:	Production of shop drawings in Dietrich's and data transfer to CNC
Document type:	Graduation Thesis – Higher professional studies
Notes:	57 p., 3 tab., 65 fig.
Key words:	Wooden frame house, Dietrich's Software, Timber building, Wooden joints, CNC Hundegger

Abstract

To make workshop drawings for a wooden frame structure, computer programmes are used that also have a possibility to transfer data to a CNC machine. In the process of design of wood framing systems it is extremely important to choose the right type of wood joints. In order to make the design easy to manufacture; to allow for quick transfer to a CNC machine and to fulfil the structural requirements, the right joints between the individual structural elements should be selected.

This thesis presents the design development of workshop drawings and data processing for transfer to a CNC machine. The approach is demonstrated on a simple single-family house and makes use of some of the most commonly used wooden joints between elements: bottom plate – wall stud, wall stud – diagonal bracing, single stud – horizontal plate.

Each CNC machine is manufactured according to a request of a customer, who can choose between different aggregates. Some basic types of Hundegger's CNC machines are shown and described.

Wooden joints were analysed on the basis of the time needed by the CNC machine for their production, and so the total processing time for the facility was specified.

ZAHVALA

Za pomoč in podporo pri nastajanju diplomske naloge se iskreno zahvaljujem doc. dr. Tomu Cerovšku.

Rad bi se zahvalil tudi svoji družini in ostalim za pomoč in podporo pri svojem delu.

KAZALO VSEBINE

IZJAVE	II
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN.....	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION	IV
ZAHVALA.....	V
1 UVOD	1
1.1 PREDSTAVITEV PROBLEMA.....	1
1.2 METODA DELA IN STRUKTURA NALOGE	1
2 PROJEKTIRANJE SKELETNE HIŠE.....	3
2.1 DELAVNIŠKI NAČRT	3
2.2 KONSTRUKCIJSKI DELI SKELETNE HIŠE	3
3 RAČUNALNIŠKI PROGRAM DIETRICH'S	6
3.1 OSNOVNE INFORMACIJE O PROGRAMU DIETRICH'S.....	6
3.2 KONSTRUIRANJE LESENE SKELETNE HIŠE	6
3.2.1 Izdelava volumna objekta	7
3.2.2 Izdelava strešne konstrukcije	13
3.2.3 Izdelava stropne konstrukcije.....	14
3.2.4 Izdelava stenske konstrukcije	15
3.2.5 Končana nosilna konstrukcija in pregled v DICAM	19
4 RAČUNALNIŠKO VODENI STROJ – CNC	22
4.1 RAZVOJ IN MODELI STROJEV HUNDEGGER	23
4.2 VRSTE AGREGATOV	25
4.2.1 Podmizna žaga	26
4.2.2 4-osni rezkalni agregat.....	27
4.2.3 5-osni rezkalni agregat.....	27
4.2.4 6-osna robotska roka	28
4.2.5 Modul s horizontalnimi orodji.....	28
4.2.6 Modul z vertikalnimi orodji.....	29
4.3 PROGRAMSKA OPREMA.....	30

4.3.1	Prenos strojnih podatkov za stroj CNC	31
4.3.2	Pregled podatkovne datoteke za stroj CNC	32
5	LESNE ZVEZE IN ANALIZA	35
5.1	SPOJ MED POZIDNICO IN STEBROM.....	35
5.1.1	Čelni spoj.....	35
5.1.2	Lastovičji spoj	36
5.1.3	Spoj s čepom.....	36
5.2	SPOJ MED STEBROM IN DIAGONALNO PREČKO	37
5.2.1	Brada.....	37
5.2.2	Preklopni spoj.....	38
5.3	SPOJ MED STEBROM IN HORIZONTALNO PREČKO	39
5.3.1	Čelni spoj.....	39
5.3.2	Lastovičji spoj	40
5.4	ANALIZA LESNIH ZVEZ.....	40
5.4.1	Čas obdelave lesnih zvez na stroju CNC	42
6	ZAKLJUČEK.....	44
VIRI	45

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Sestavljanje stenske konstrukcije v delavnici.....	41
Preglednica 2: Sestavljanje stenske konstrukcije na terenu	41
Preglednica 3: Primerjava časa obdelave na CNC.....	43

KAZALO SLIK

Slika 1: Konstrukcijski deli skeletne stene	4
Slika 2: Konstrukcijski deli stropa	4
Slika 3: Konstrukcijski deli ostrešja	5
Slika 4: Sklopi projektiranja v programu Dietrich's	6
Slika 5: Definicija izvedbe stene	7
Slika 6: Pozicionirane stene v tlorisu pritličja	8
Slika 7: Vnos oken in vrat	8
Slika 8: Pogled modela v 3D	9
Slika 9: Vnos nove etaže	10
Slika 10: Okno za prevzem gradbenih delov spodnje etaže	10
Slika 11: Definirano polje stropa	11
Slika 12: Izvedba strehe	11
Slika 13: Pomoč pri izračunu kapne višine	12
Slika 14: Vnos podatkov za dimnik	12
Slika 15: Dokončan volumen objekta v 3D-ogledu	12
Slika 16: Vnos kapne lege	13
Slika 17: Ogled strešne konstrukcije v 3D	13
Slika 18: Izbira pogleda v meniju "Predstavitev"	14
Slika 19: Stropna konstrukcija	14
Slika 20: Ogled stropne konstrukcije v 3D	15
Slika 21: Izbira nadstropja in stene za obdelavo	15
Slika 22: Vnos pozidnice	16
Slika 23: Vnos stebra	16
Slika 24: Izbira lesnih zvez	17
Slika 25: Konstrukcija stene	18
Slika 26: Ojačeni okvir stene z uporabo lepljenih lameliranih nosilcev (BSH)	18
Slika 27: Pogled objekta v DICAM	19
Slika 28: Pozicija jeklenega profila z DICAM	20
Slika 29: Filter za gradbene dele	20
Slika 30: Izbrani konstrukcijski elementi iz KVH in BSH	21
Slika 31: Ogled v 3D s pritiskom na ikono GL	21
Slika 32: Računalniško vodeni stroj "Essetre" z izmenljivimi orodji [10].	22
Slika 33: Hundegger P8 [11].	23
Slika 34: Pozicijski voziček na modelu P10 [12].	23
Slika 35: Hundegger K2i [13].	24

Slika 36: Hundegger Robot [11].	24
Slika 37: Hundegger K2i z integrirano robotsko roko [11].	25
Slika 38: Prikaz lesnih obdelav na stroju Hundegger [13].	25
Slika 39: Prikaz različnih lastovičjih spojev [13].	26
Slika 40: Podmizna žaga [13].	26
Slika 41: 4-osni rezkalni agregat [13].	27
Slika 42: 5-osni rezkalni agregat [13].	27
Slika 43: 6-osna robotska roka z izmenjevalnikom orodij [13].	28
Slika 44: Modul s horizontalnimi orodji [13].	28
Slika 45: Primer označevanja z risalnikom [13].	28
Slika 46: Vertikalni vrtalnik [13].	29
Slika 47: Vertikalni prstni rezkalnik [13].	29
Slika 48: Uporabniški vmesnik za Hundegger [14].	30
Slika 49: Izbirno okno za prenos na stroj CNC	31
Slika 50: Podatkovna datoteka, odprta v tekstovnem programu	32
Slika 51: Obdelovalni podatki posameznega elementa	33
Slika 52: Pregledno okno za nastavitve stroja CNC	33
Slika 53: Oznake agregatov in obdelav	34
Slika 54: Grafični prikaz obdelave v uporabniškem vmesniku stroja CNC	34
Slika 55: Čelni spoj	35
Slika 56: Lastovičji rep	36
Slika 57: Spoj s čepom	36
Slika 58: Spoj med stebrom in diagonalno prečko	37
Slika 59: Bradati spoj	37
Slika 60: Preklopni spoj	38
Slika 61: Horizontalna prečka	39
Slika 62: Čelni spoj horizontalne prečke	39
Slika 63: Lastovičji spoj med horizontalno prečko in stebrom	40
Slika 64: Uporabniški vmesnik za CNC Hundegger K2	42
Slika 65: Konstrukcija za analizo	43

1 UVOD

Sodobna montažna gradnja je rezultat sožitja v zgodovini preskušanih klasičnih gradbenih tehnik z uporabo lesa in modernih postopkov industrijske izdelave, ki ob upoštevanju predpisov in standardov zagotavlja proizvod vrhunske kakovosti, narejen za več generacij [1].

Glavne prednosti gradnje lesene skeletne hiše so predvsem cenovna ugodnost in primerljivost s klasično masivno gradnjo, gradnja je prenesena iz gradbišča v proizvodno halo, oblika zgradb je odvisna od naročnikov in ne od načina gradnje ter dolga življenjska doba [1].

1.1 PREDSTAVITEV PROBLEMA

Včasih so tesarji enodružinsko hišo zgradili v 30 tednih, danes pa je zaradi sodobne industrijske opreme in tehnologije obdelave lesa na stroju CNC (angl. »*Computer Numerical Control*«) hiša lahko zgrajena v 10 tednih [2].

V diplomski nalogi smo prikazali postopek projektiranja modela BIM (angl. »*Building Information Modeling*«) in delavniških načrtov enostavne enodružinske hiše z računalniškim programom ter način izbire in prednosti najbolj pogostih lesnih zvez v skeletni konstrukciji. Izbira lesne zveze je pri gradnji z lesom pomembna predvsem zaradi statične nosilnosti konstrukcij, pri obdelavi na stroju CNC pa je pomemben obdelovalni čas. Zmogljivost računalniško vodenih strojev je vse večja, zato je tudi kompleksnost lesnih zvez vse večja.

1.2 METODA DELA IN STRUKTURA NALOGE

Diplomska naloga poleg uvoda vsebuje še štiri poglavja. V drugem poglavju *Projektiranje skeletne hiše* smo opisali potrebno projektno dokumentacijo in prikazali konstrukcijske dele skeletne hiše. V poglavju *Računalniški program Dietrich's* sta predstavljena računalniški program za izdelavo delavniških načrtov lesenih konstrukcij in postopek projektiranja. V naslednjem poglavju z naslovom *Računalniško vodeni stroj – CNC* smo opisali razvoj in modele strojev Hundegger, uporabniški vmesnik ter prikazali največkrat uporabljena obdelovalna orodja. Poleg tega smo prikazali tudi postopek prenosa podatkov na stroj CNC in pregledali podatkovno datoteko v formatu *.bvn za v Sloveniji največkrat uporabljeni stroj CNC. V zadnjem poglavju z naslovom *Lesne zveze in analiza* smo prikazali posamezne

konstrukcijske spoje in analizirali najbolj pogosto uporabljene lesne zveze. S pomočjo uporabniškega vmesnika računalniško vodenega stroja CNC smo določili čas, potreben za obdelavo, in časovno analizirali tri največkrat uporabljene lesne zveze.

2 PROJEKTIRANJE SKELETNE HIŠE

Po prejetem in potrjenem načrtu za pridobitev gradbenega dovoljenja (PGD) se le-tega izpopolni s podrobnimi načrti, na podlagi katerih se lahko objekt zgradi, in se imenuje projekt za izvedbo (PZI).

Dopolnitve projekta za pridobitev gradbenega dovoljenja za projekt za izvedbo so zlasti:

- tehnično poročilo načrtov s popisom količin materiala in opreme,
- podrobne tehnične rešitve in detajli posameznih načrtov – v tem delu se naredi tudi statični izračun,
- načrt temeljev, armaturni načrti, detajli izvedbe, itd [3].

2.1 DELAVNIŠKI NAČRT

Izdelava delavniških načrtov se začne, ko je potrjen PZI. Z računalniškim programom izdelamo informacijski model stavbe BIM, ki je hkrati tudi delavniški načrt za nosilno skeletno konstrukcijo. Pri izdelavi delavniškega načrta lesene skeletne konstrukcije potrebujemo celotno mapo PZI in tudi druge informacije, zato je sodelovanje s tehnologom, ki usklajuje zahteve arhitekture, statike, tehnologije izvedbe, strojnih in elektroinštalacij, zelo pomembno.

2.2 KONSTRUKCIJSKI DELI SKELETNE HIŠE

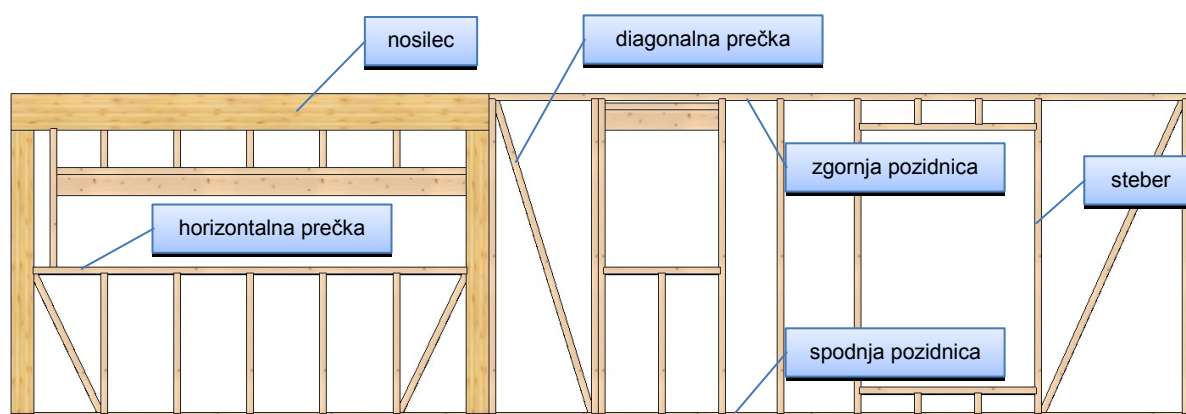
Objekt razdelimo na konstrukcijske sklope:

- konstrukcija sten,
- konstrukcija stropa,
- konstrukcija ostrešja.

V nadaljevanju so podrobneje predstavljeni konstrukcijski elementi.

Stene skeletne hiše sestavljajo:

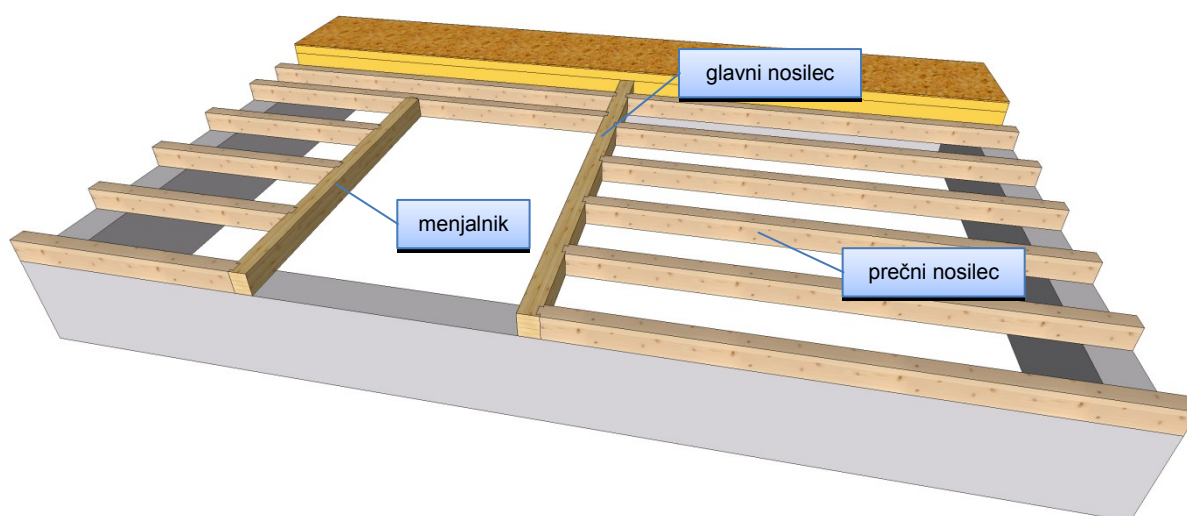
- spodnja pozidnica,
- zgornja pozidnica,
- steber,
- horizontalna prečka,
- diagonalna prečka,
- nosilec.



Slika 1: Konstrukcijski deli skeletne stene

Strop sestavljajo:

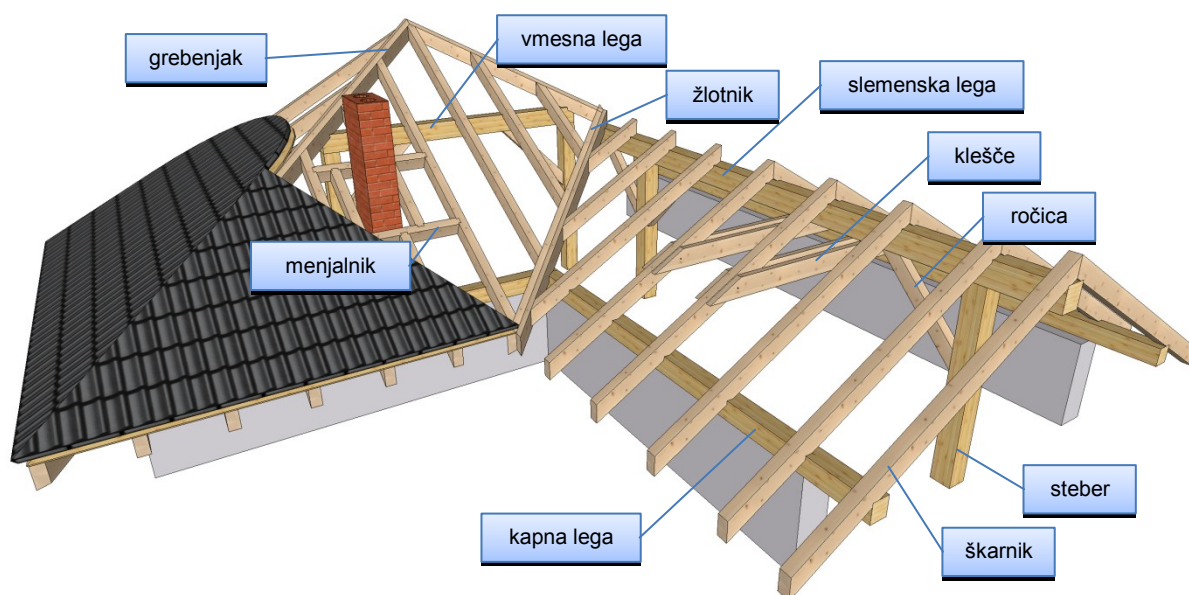
- glavni nosilec,
- prečni nosilec ali stropnik,
- menjalnik.



Slika 2: Konstrukcijski deli stropa

Ostrešje sestavljajo:

- kapna lega,
- vmesna lega,
- slemenska lega,
- škarnik ali špirovec,
- grebenjak,
- žlotnik,
- klešče,
- steber,
- ročica,
- menjalnik [4].



Slika 3: Konstruktivni deli ostrešja

3 RAČUNALNIŠKI PROGRAM DIETRICH'S

3.1 OSNOVNE INFORMACIJE O PROGRAMU DIETRICH'S

Pri izdelavi modela BIM in delavniških načrtov lesenih konstrukcij si pomagamo z računalniškimi programi. Eden najbolj dovršenih programov za lesene konstrukcije je nemški program Dietrich's. Temelji na platformi CAD/CAM (angl. »*Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing*«), kar pomeni, da se vsak element prenese na računalniško voden stroj – CNC. Omogoča izris vseh detajlov, priložena knjižnica veznih sredstev, okovja, električnih napeljav itd. pa olajša še tako zahtevno projektiranje [5]. Program, preveden v slovenski jezik, je še ena od prednosti, zaradi katerih smo se odločili za projektiranje s tem programom.

Program je razdeljen v 9 sklopov projektiranja (Slika 4):

- Tloris – izdelava volumna objekta in izbira zasnov sten,
- Stenska konstrukcija – vstavljanje nosilnih elementov v stene,
- Polje stropa – definiramo obliko, pozicijo in izvedbo stropa,
- Stropna konstrukcija – vstavljanje nosilnih elementov v stene,
- Izračun strehe – definiramo obliko in izvedbo strehe,
- Strešna konstrukcija – vstavljanje nosilnih elementov ostrešja,
- Frčada – vstavljanje frčade v streho,
- Konstrukcija palic – vstavljanje nosilne konstrukcije za ostrešje (trikotna, trapezna vešala, palični nosilci ...),
- DICAM – prosto vstavljanje elementov.



Slika 4: Sklopi projektiranja v programu Dietrich's

3.2 KONSTRUIRANJE LESENE SKELETNE HIŠE

Kot primer je v diplomski nalogi predstavljen izris delavniških načrtov za nosilno konstrukcijo enostavne enodružinske hiše podjetja Rihter d. o. o.

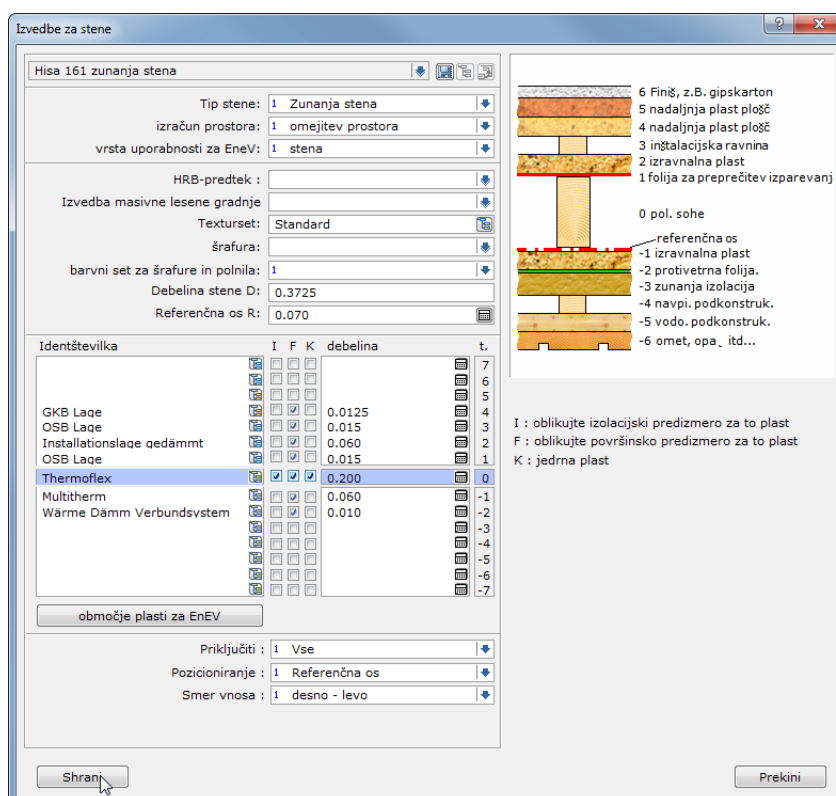
Podjetje Rihter d. o. o. je dne 28. 1. 2015 po elektronski pošti dovolilo uporabo tipskega načrta za namen diplomske naloge [6].

Hiša ima tlorisne dimenzije nosilne konstrukcije 10,61 m x 8,61 m, naklon strešine 40° ter kapno višino 2,85 m. Za lažji izris si lahko uvozimo podloge PZI v *.dwg ali *.dxf datoteki.

3.2.1 Izdelava volumna objekta

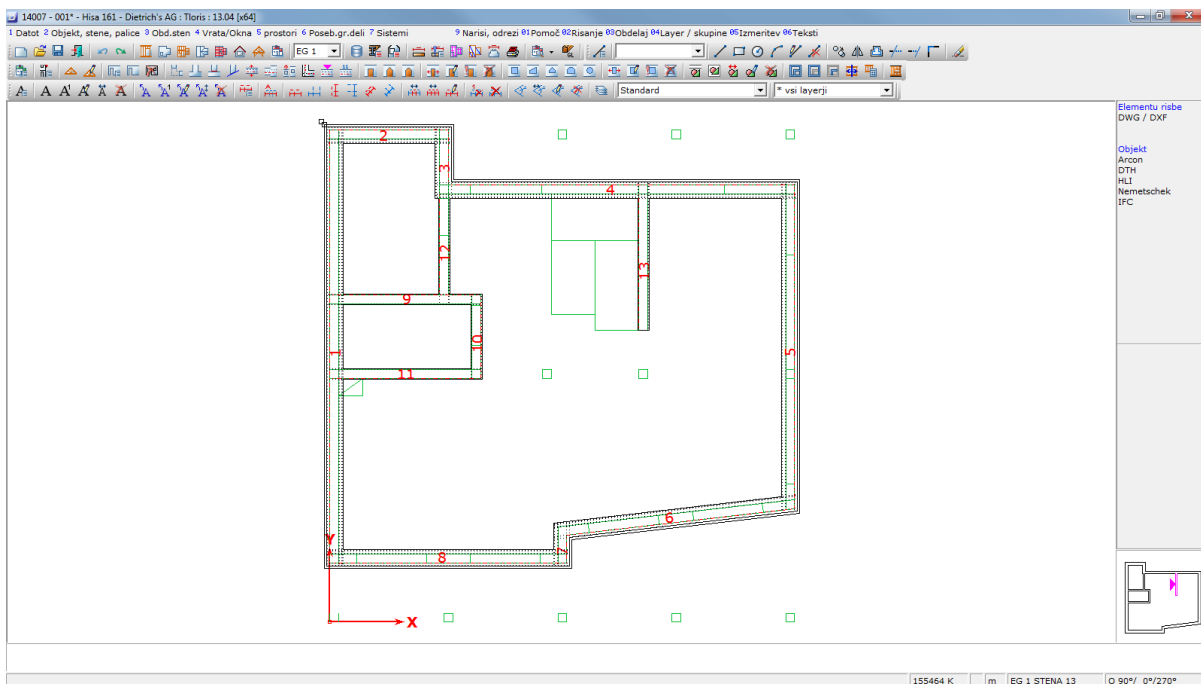
Z vnosom stene določimo višino, izvedbo, tip, debelino ter referenčno os. Z izvedbo stene opišemo plasti od notranjega dela proti zunanjemu. V knjižnici materialov so razvrščeni vsi materiali in so ločeni glede na vrsto uporabe. Materiali imajo vpisane tudi fizikalne lastnosti, zato je izbira pravega materiala še lažja. Po končanem vpisu vseh debelin posameznih plasti se samodejno izračuna debelina celotne stene.

Določitev plasti in njihove debeline nam olajšajo vstavljanje konstrukcijskih in ostalih elementov, kot so opažne in izolacijske plošče.



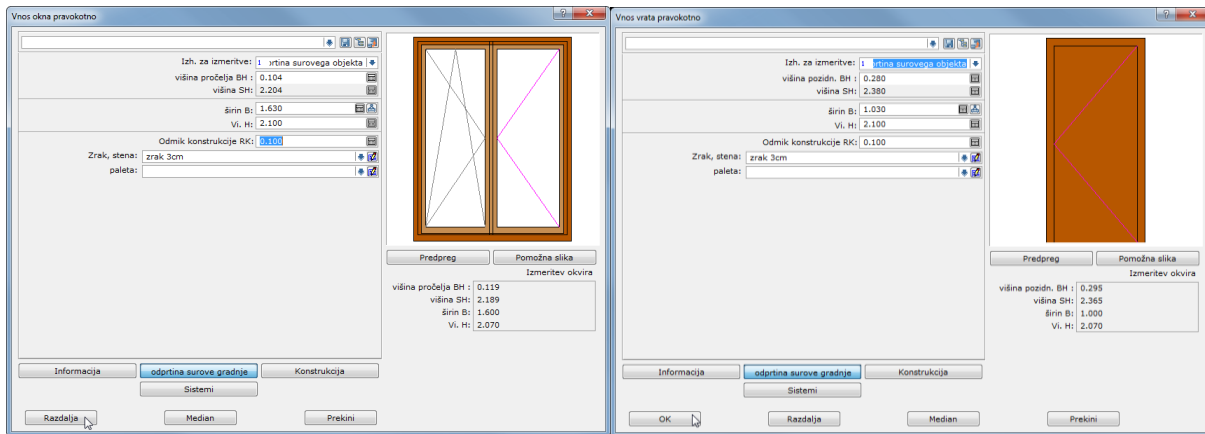
Slika 5: Definicija izvedbe stene

Referenčna os je razdalja od zunanjega dela stene (fasadni omet ipd.) do nosilne konstrukcije. Pri pozicioniranju sten v tloris podajamo linije, po katerih poteka nosilna konstrukcija.




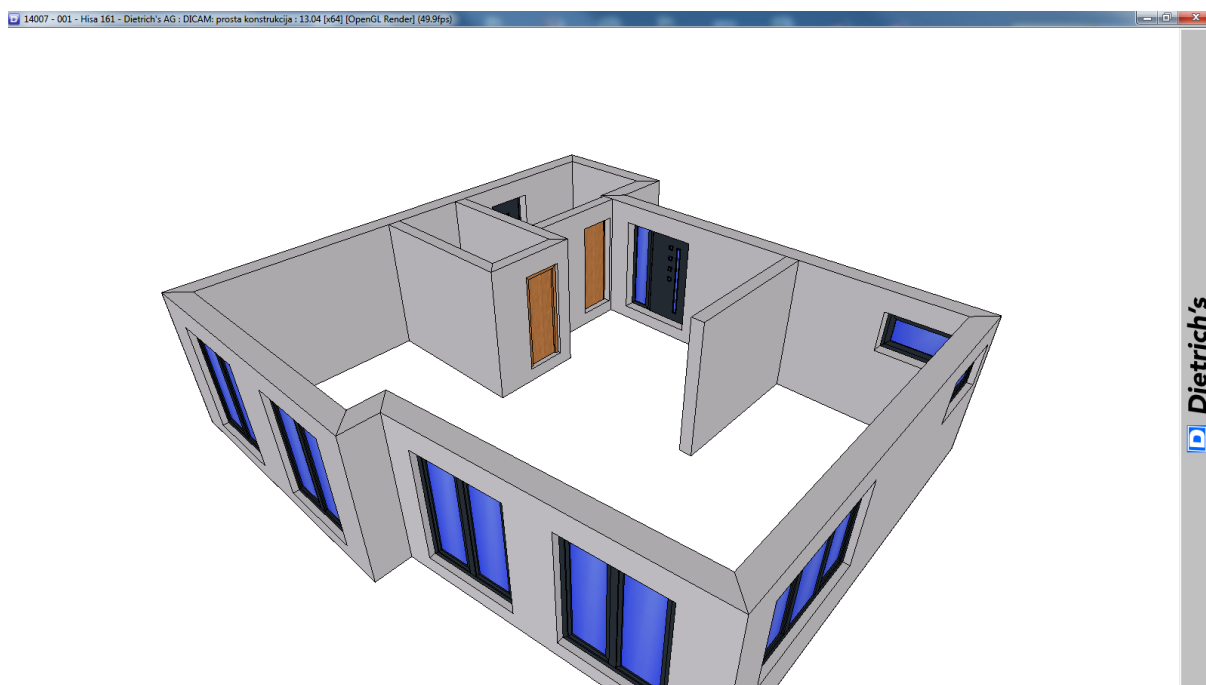
Slika 6: Pozicionirane stene v tlorisu pritličja

V stene dodamo tudi pozicije in dimenzije oken in vrat (Slika 7).



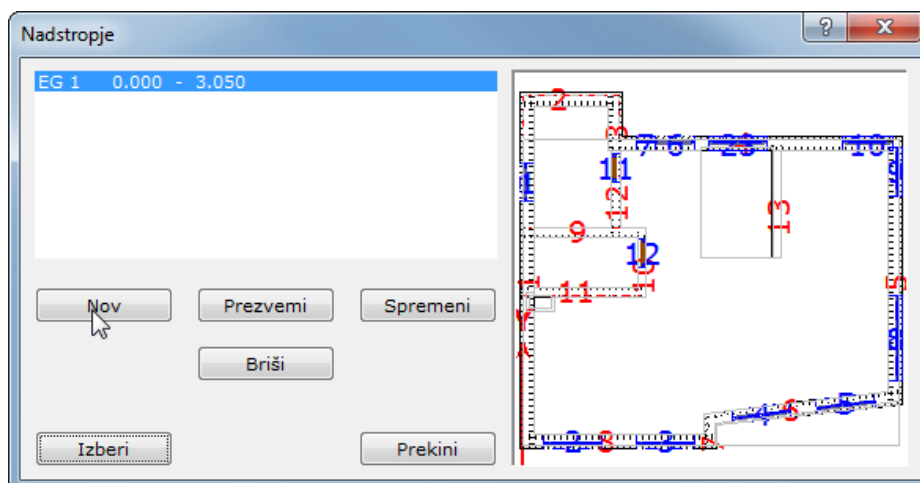
Slika 7: Vnos oken in vrat

Dietrich's program ponuja možnost, da si vsak element lahko takoj ogledamo v 3D-obliki (Slika 8). Ogled v 3D dobimo s pritiskom na ikono  GL.

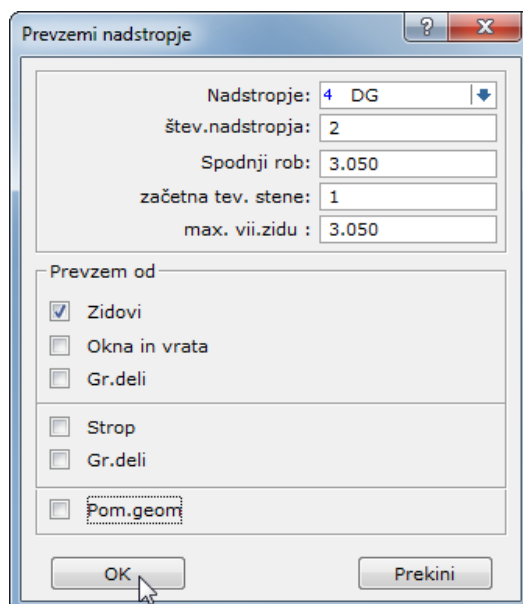


Slika 8: Pogled modela v 3D

Volumen pritličja je končan, zato določimo novo etažo (Slika 9) in postopek ponovimo. Program ponuja tudi možnost prevzema gradbenih elementov iz spodnje etaže v zgornjo (Slika 10), vendar če se etaži razlikujeta tako po poziciji sten kot tudi po poziciji odprtín, potem je lažje izrisati etažo na novo kot spreminjati in prestavljati elemente.



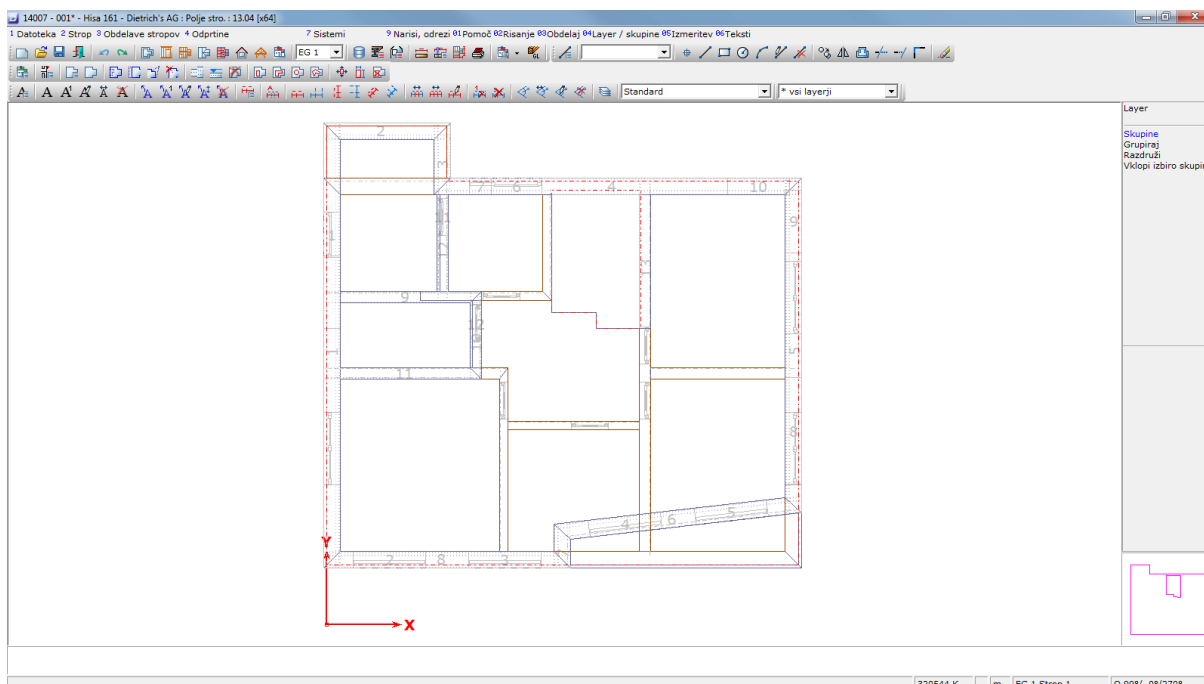
Slika 9: Vnos nove etaže




Slika 10: Okno za prevzem gradbenih delov spodnje etaže

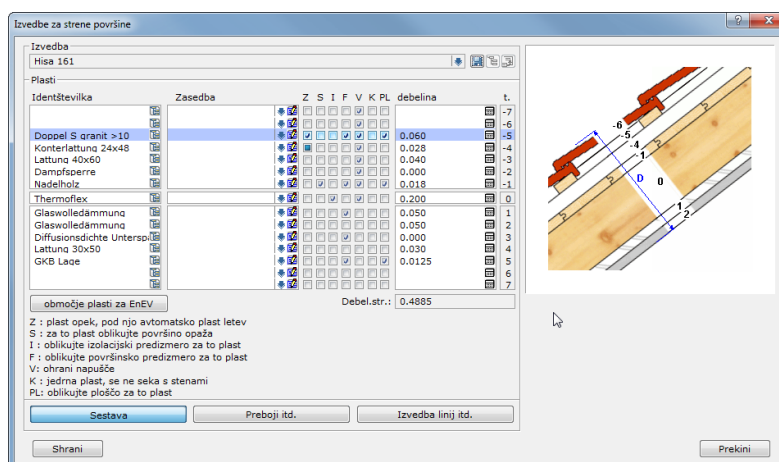
Preidemo v naslednji konstrukcijski sklop – Polje stropa – in definiramo obliko, izvedbo in višino stropa [7]. V našem primeru bo strop izveden s pomočjo nosilcev – stropnikov. Zaradi lažje gradnje na terenu in razmeroma nizke debeline stropa se uporablja tudi križno lepljena plošča – CLT (angl. »*Cross Laminated Timber*«) [8].

V polju stopnic izvedemo stropno odprtino. Odprtine za dimnik ni potrebno definirati, ker jo program po vnosu dimnika izvede samodejno.

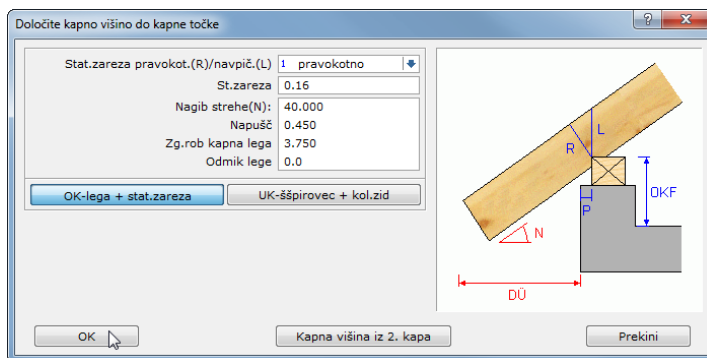


Slika 11: Definirano polje stropa


Definicija strehe poteka na podoben način, nov hišni obris vnesemo grafično – s klikom na kotne točke objekta ali preprosto uporabimo »prevzem stene«. Slednja funkcija je namenjena za objekte, pri katerih so zunanje stene tudi nosilne za ostrešje. V našem primeru je stena v pritličju izmaknjena iz pravokotne oblike, zato smo uporabili grafični vnos. Vnos strešine nato poteka prek vmesnika, v okviru katerega se definira izvedbo (Slika 12), vpiše naklon strehe v stopinjah, napušč strehe ter kapno višino. Slednji podatek se težje določi, zato je dodana ikona . S klikom nanjo se nam odpre podokno za izračun kapne višine (Slika 13).

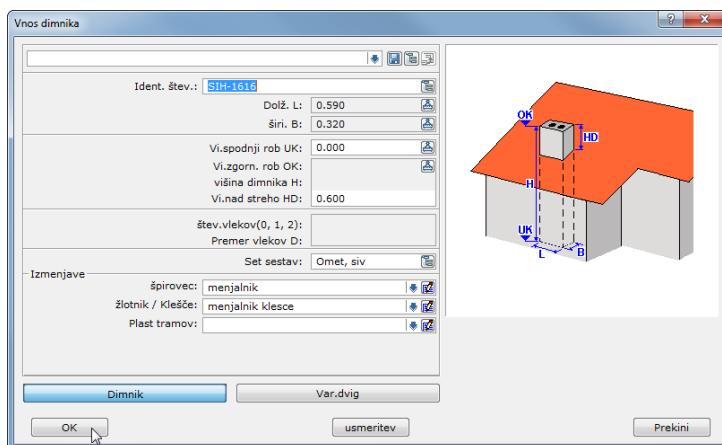


Slika 12: Izvedba strehe

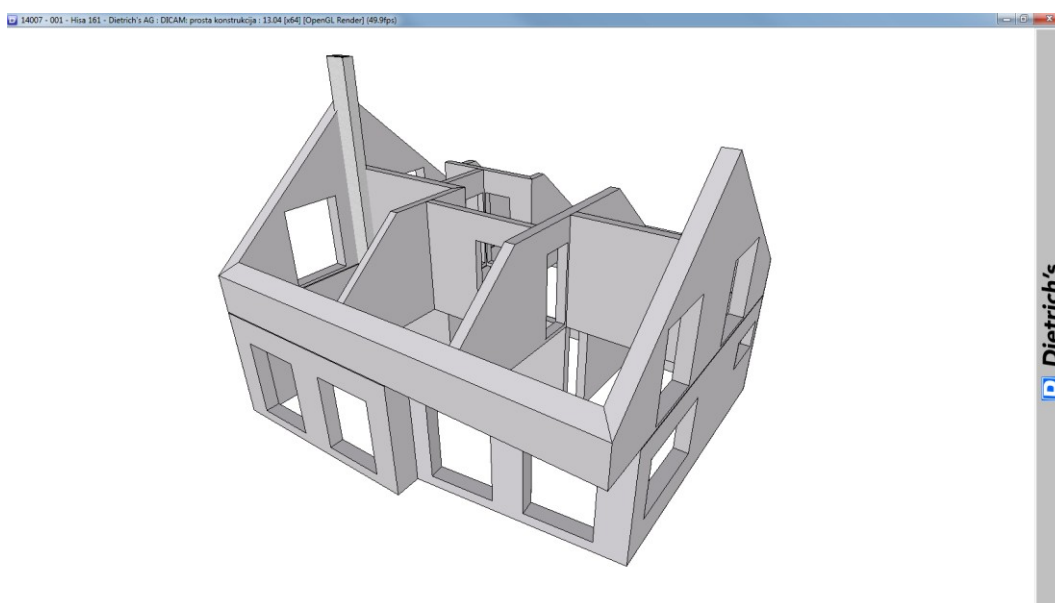


Slika 13: Pomoč pri izračunu kapne višine

Pri izračunu strehe dodam tudi dimnik. To storim s klikom na ikono  in odpre se okno, kjer se določi vse podatke o dimniku.



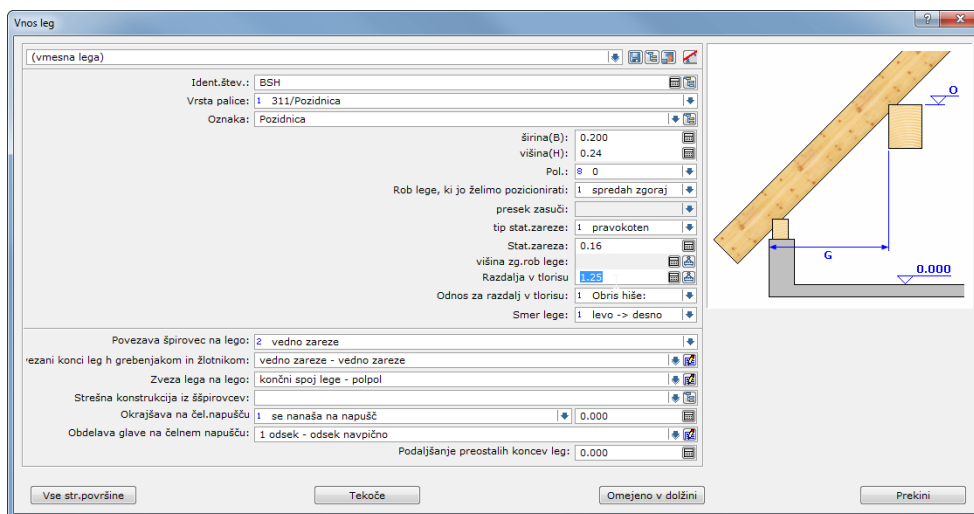
Slika 14: Vnos podatkov za dimnik



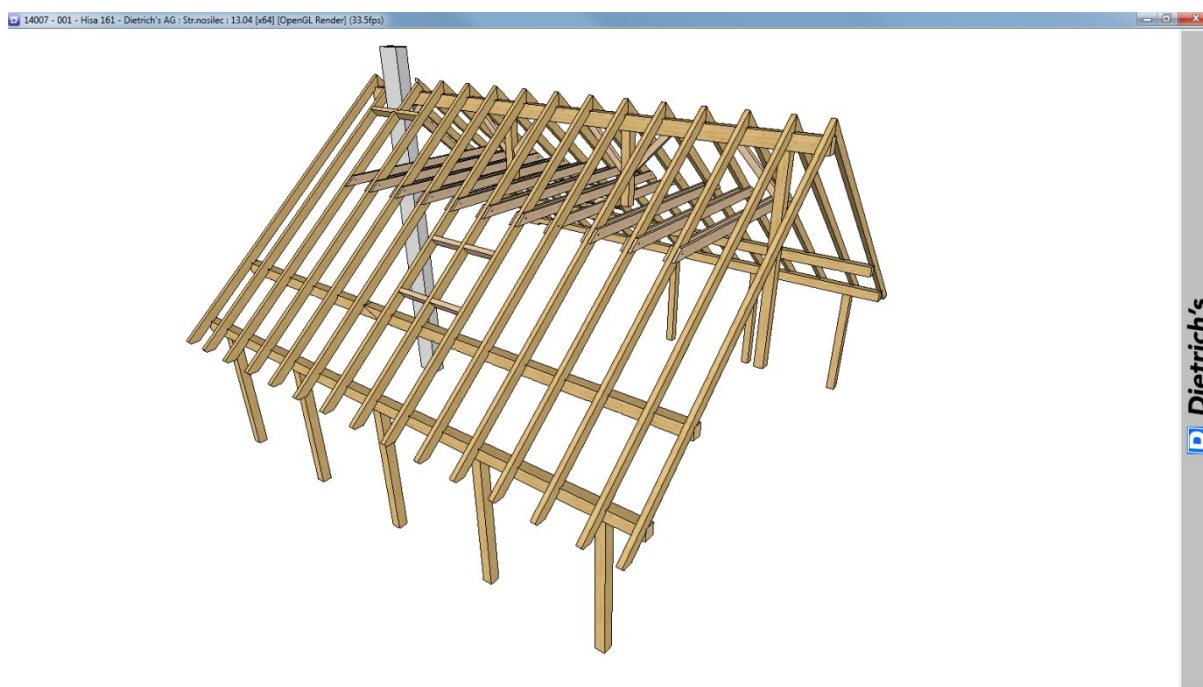
Slika 15: Dokončan volumen objekta v 3D-ogledu

3.2.2 Izdelava strešne konstrukcije

Tako kot pri statičnem izračunu objekta se tudi nosilna konstrukcija vnaša od zgoraj navzdol, ker je pomembno, da je strešna lega podprta na pravih mestih v stenski in stropni konstrukciji. Najprej vnesemo kapne lege (Slika 16), nato še vmesne in slemenske lege. Na mestih, ki so pomembna za nosilnost leg, vstavimo stebre, preostali stebri se lahko vstavijo tudi v stenski konstrukciji. Vnesemo tudi škarnike in klešče. Program omogoča izbiro različnih materialov, tako smo za škarnike, lege, stebre in nosilce izbrali lepljen lameliran les – BSH (*nem. »brettschnitholz«*), za ostale elemente pa KVH (*nem. »konstruktionsvollholz«*).



Slika 16: Vnos kapne lege

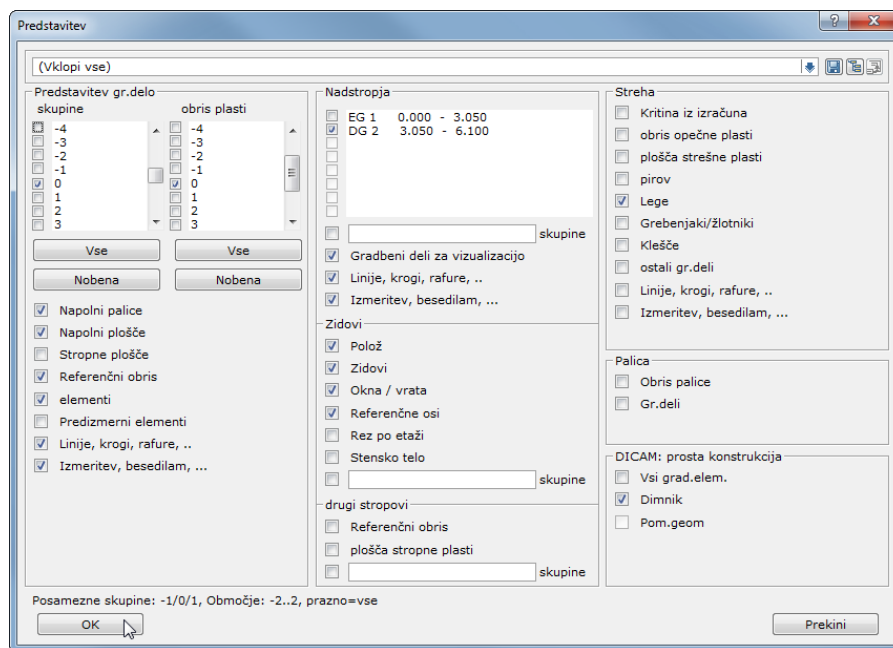


Slika 17: Ogled strešne konstrukcije v 3D

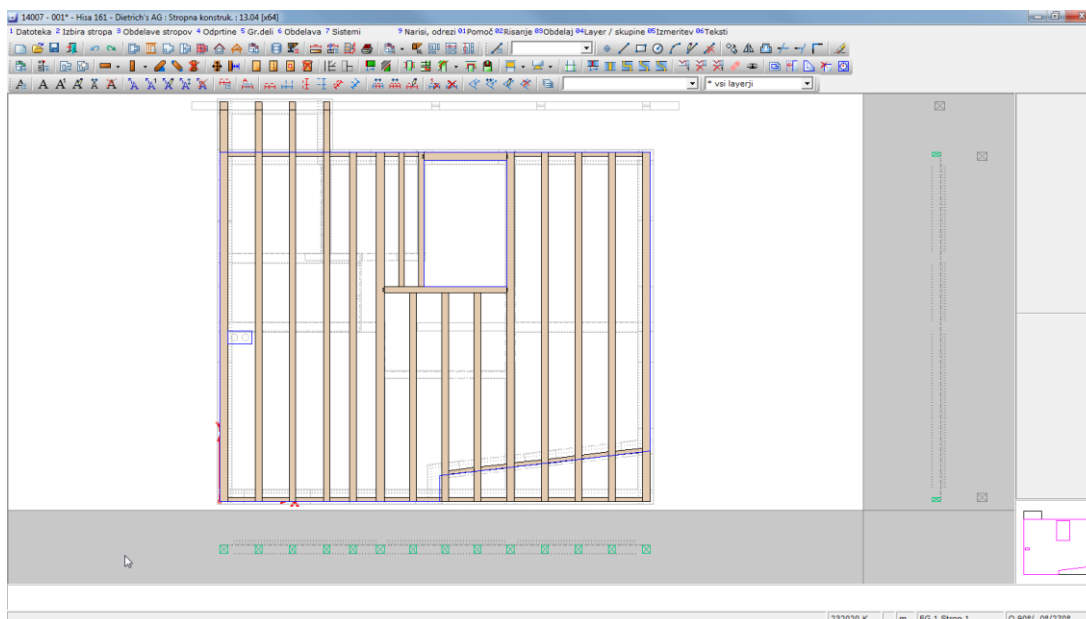
3.2.3 Izdelava stropne konstrukcije

Konstruiranje stropne konstrukcije zahteva veliko pozornosti, saj je pomembno, kje in kako se bo obtežba strehe in obtežba mansarde prenesla na spodnjo stensko konstrukcijo.

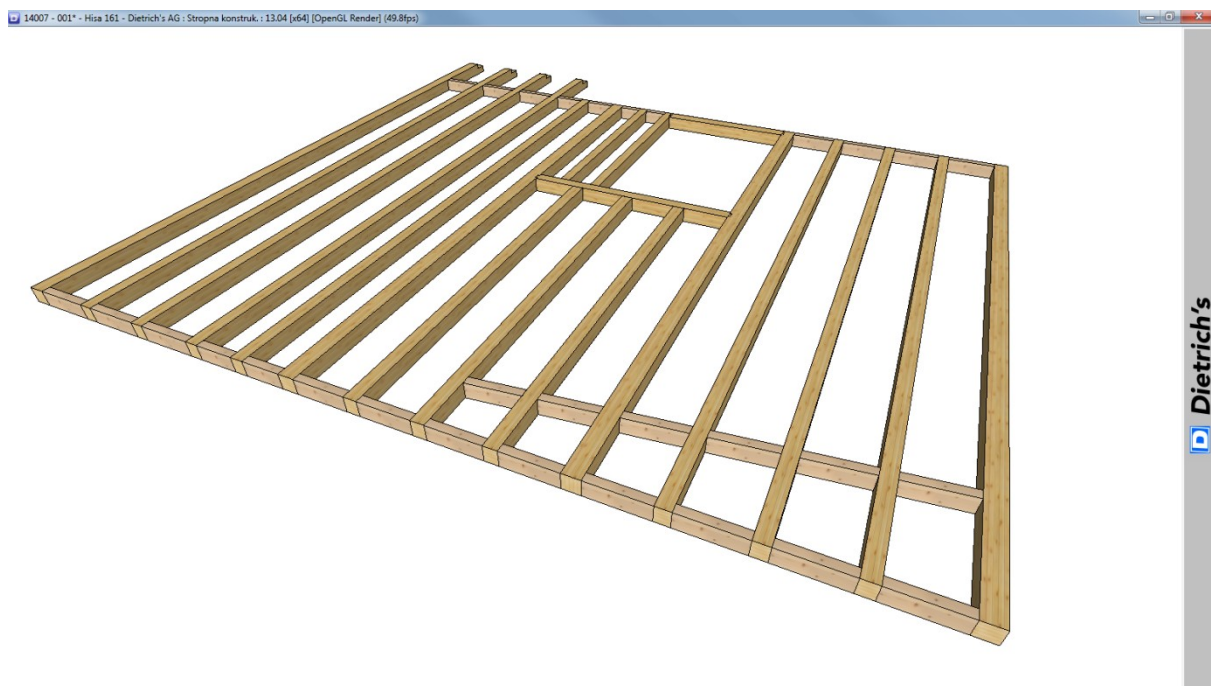
V programu si v meniju »Predstavitev« izberem prikaz leg v strešni konstrukciji ter pozicijo sten v mansardi (Slika 18). S tem si pomagam pri vstavitvi stropnih nosilcev v stropno polje (Slika 19). Končano stropno konstrukcijo si ogledam v 3D (Slika 20).



Slika 18: Izbira pogleda v meniju "Predstavitev"



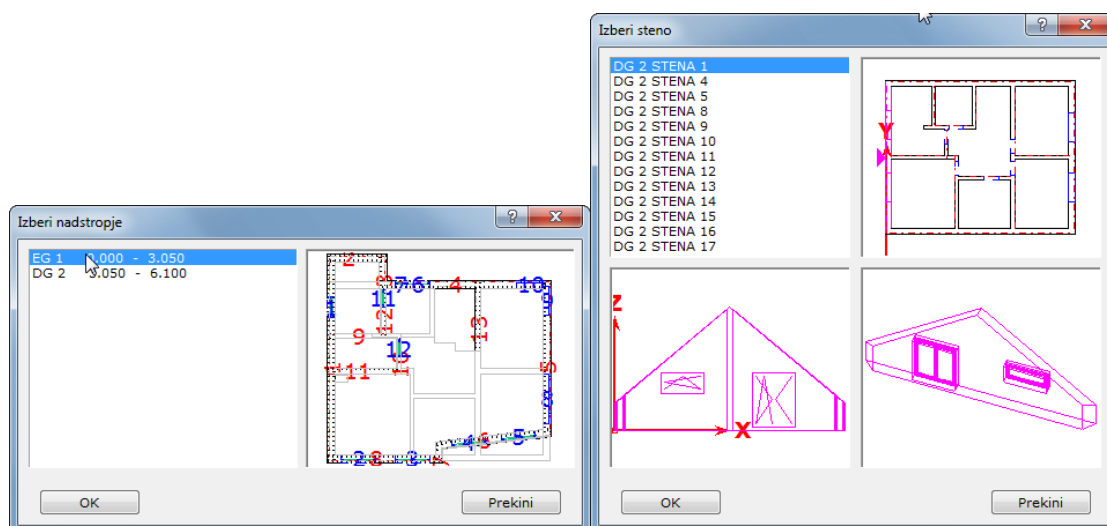
Slika 1919: Stropna konstrukcija



Slika 20: Ogled stropne konstrukcije v 3D

3.2.4 Izdelava stenske konstrukcije

S preklopom programa v konstrukcije sten najprej izberem nadstropje in nato številko stene, v katero želim vstavljati konstrukcijske elemente.

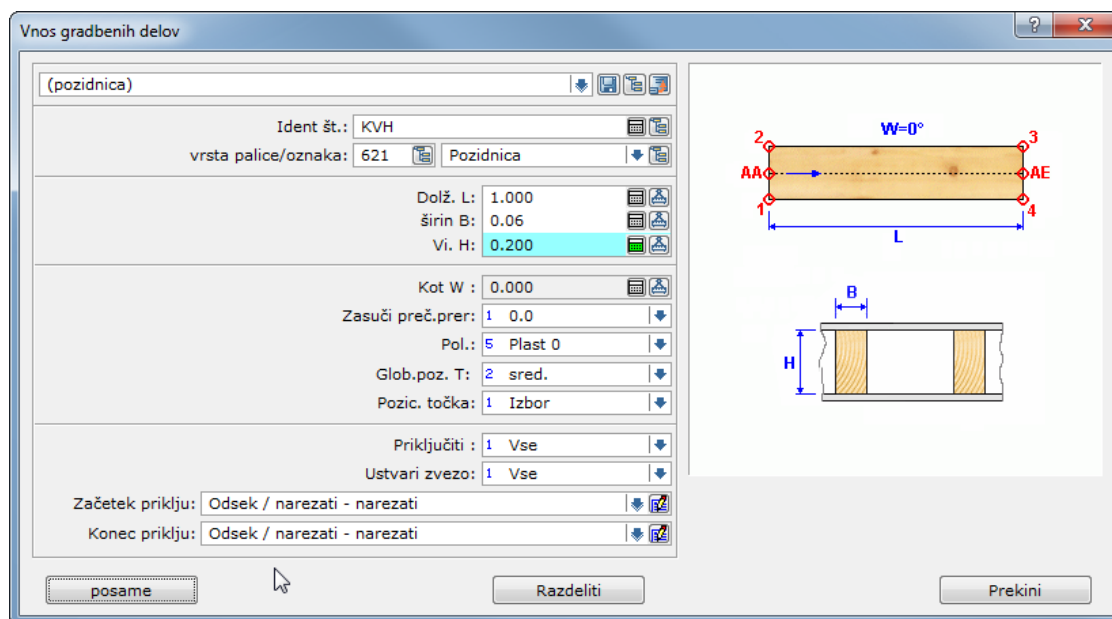


Slika 21: Izbira nadstropja in stene za obdelavo

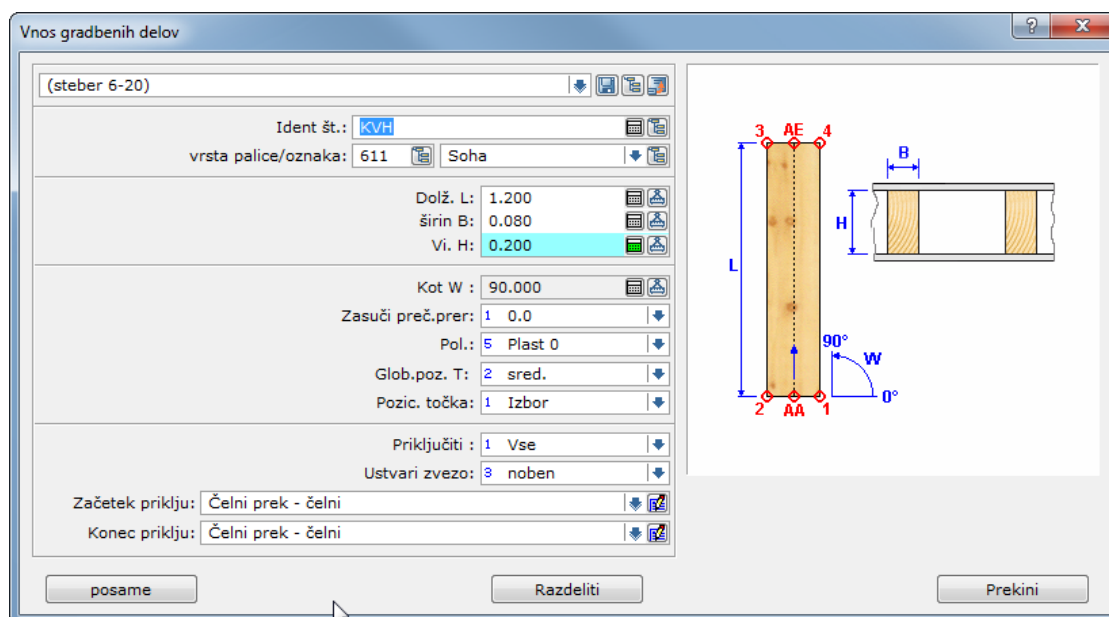
Najprej vstavim pozidnice zgoraj in spodaj (Slika 22), nato še stranske stebre (Slika 23), da se naredi okvir stene. Povezavo med stebrom in pozidnico izberem v zadnjih dveh izbirnih

poljih – »Začetek priključka« in »Konec priključka«. Na izbiro je več različnih lesnih spojev (Slika 24). Izbira lesne zveze je odvisna od več dejavnikov in so opisani v poglavju 5.1.

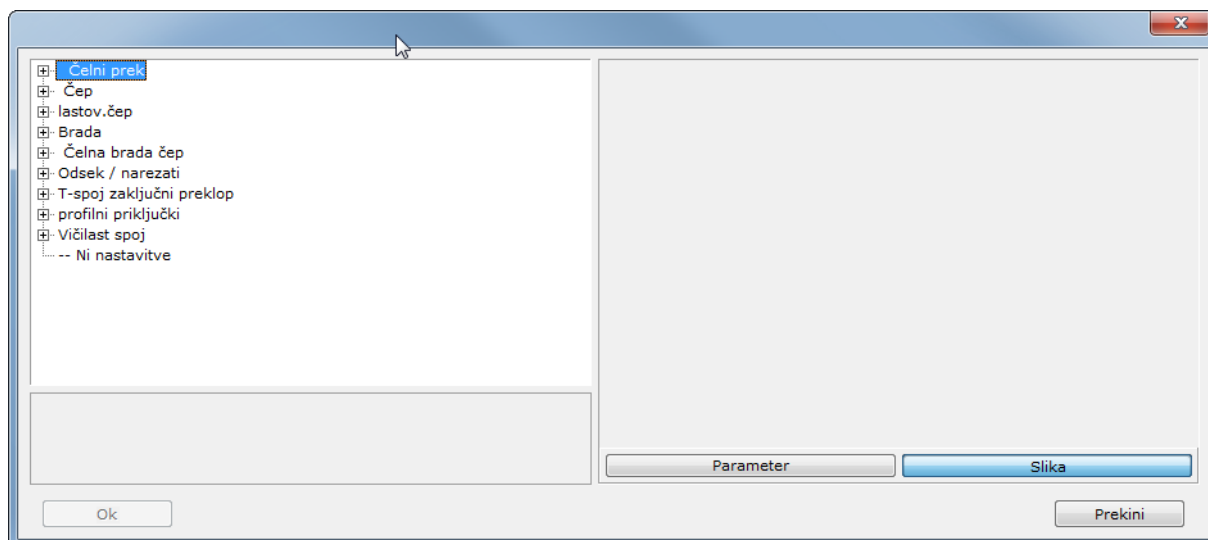
Program je dovršen do te mere, da avtomatično odreže oziroma podaljša vstavljeni konstrukcijski element na mestu, kjer je to potrebno, zato ni potrebe po izračunu dolžine elementa (vpišemo poljubno dolžino).



Slika 22: Vnos pozidnice



Slika 23: Vnos stebra



Slika 24: Izbira lesnih zvez

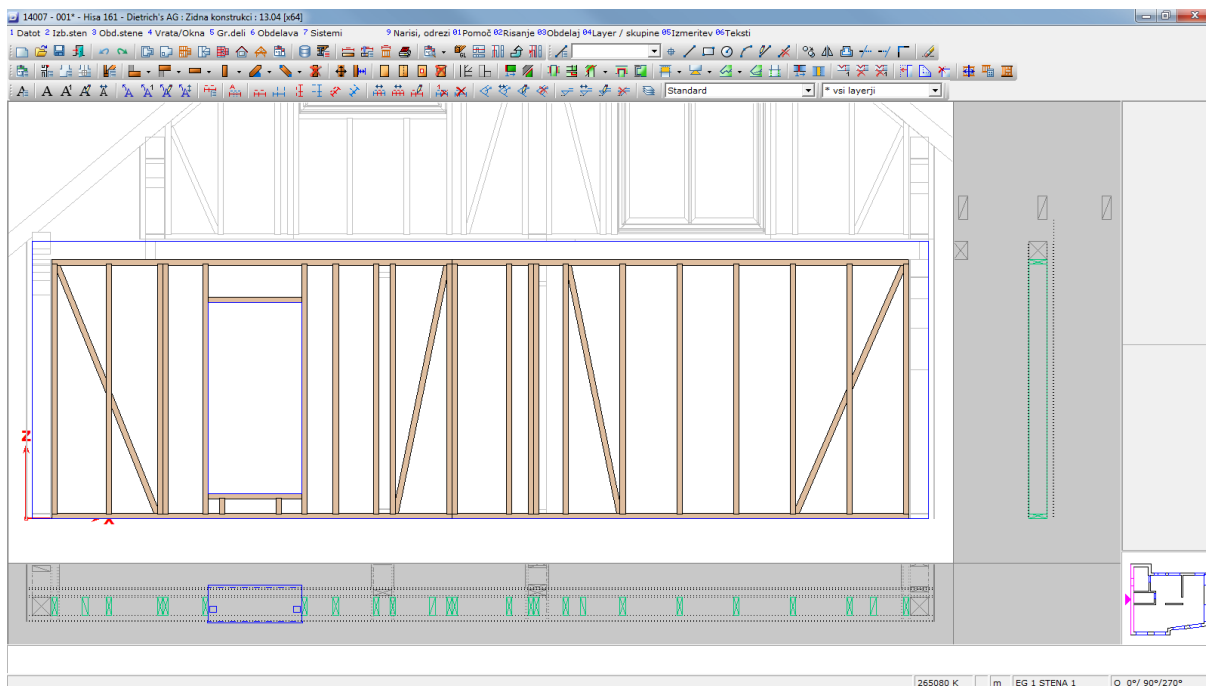
Ročno dodam tudi stebre ob odprtinah (okna in vrata), nato pa uporabim funkcijo »Razdeliti«, pri kateri določim raster ali število razdelilnih stebrov, ki se umestijo v okvir stene.

Raster razdelilnih stebrov je odvisen od statičnih zahtev, izbire toplotne izolacije in izbire obložnih plošč.

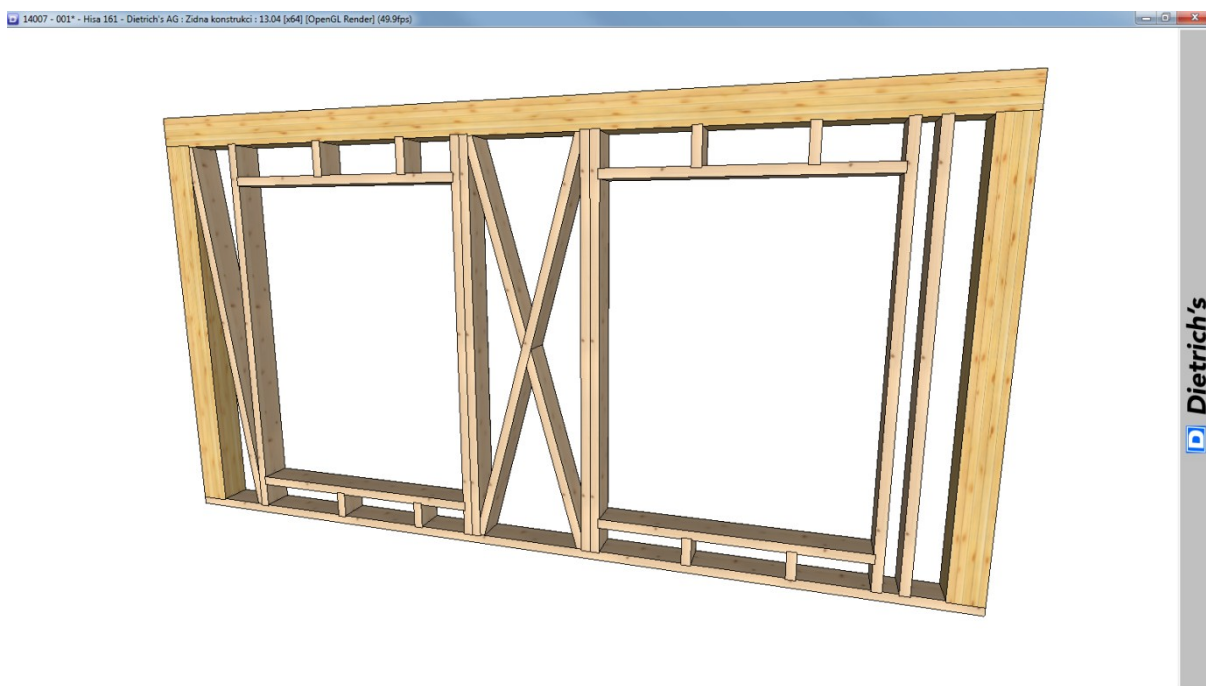
Glede na debelino zgornje pozidnice je pri stropni konstrukciji iz stropnikov priporočeno, da so stebri približno pod pozicijo stropnikov. Kjer so odprtine širše od rastra stebrov, se namesti horizontalno prečko nad in pod odprtino ter po potrebi doda tudi vmesne stebre.

Preklada nad odprtinami je lahko potrebna tudi iz statičnih razlogov in se zato namesti lepljen lameliran les (BSH) pravokotnega prereza (Slika 26).

Na mestih, kjer je to potrebno in/ali je določeno v statičnem izračunu, se namesti tudi diagonalne prečke kot zavetrovanje. Izbira lesne zveze med diagonalno prečko in stebrom je opisana v poglavju 5.2.



Slika 25: Konstrukcija stene



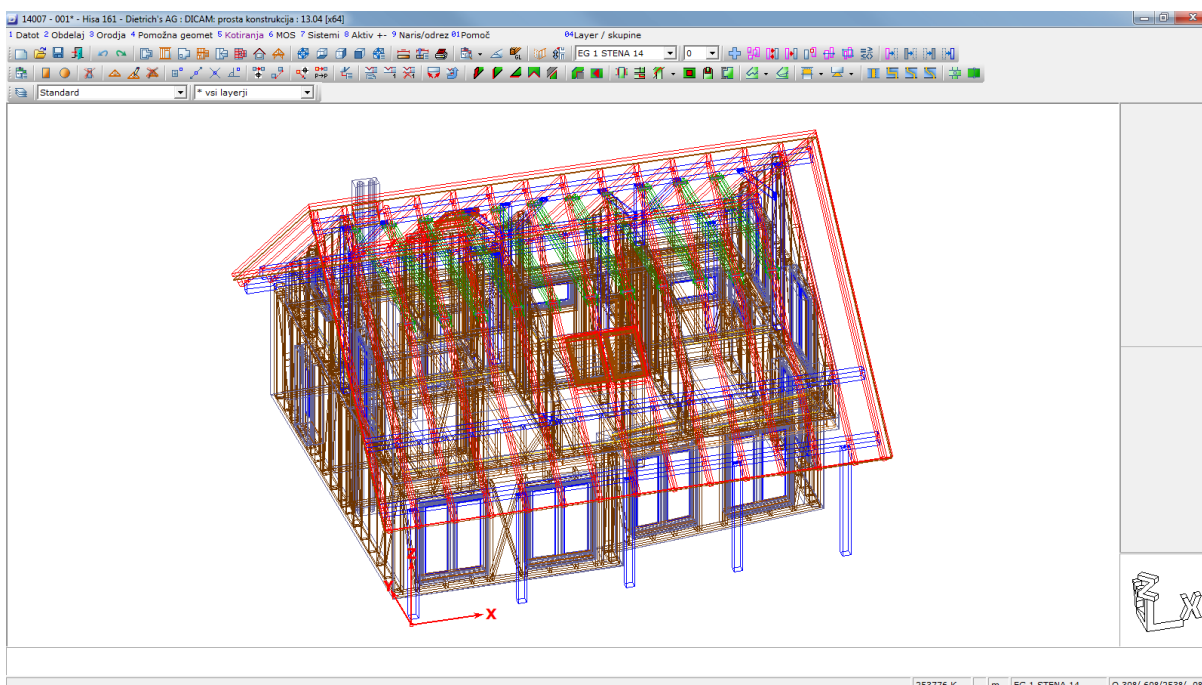
Slika 26: Ojačeni okvir stene z uporabo lepljenih lameliranih nosilcev (BSH)

Vogalni stebri so ojačeni, lahko sta dvojna razdelilna stebra skupaj ali pa se namesti en steber večjih dimenzij. Za vogalne stebre smo uporabili BSH 20/20 cm.

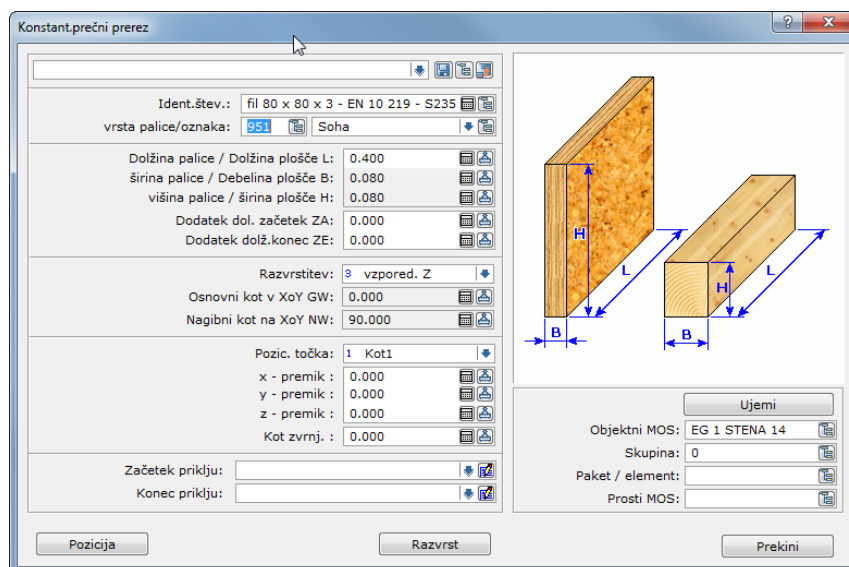
3.2.5 Končana nosilna konstrukcija in pregled v DICAM

Vsak sklop objekta (ostrešje, strop, stene ...) se lahko pregleduje posebej v izbranem modulu. V programu DICAM je prikazana celotna konstrukcija (Slika 27), možno je tudi vstaviti konstrukcijske in druge elemente, ki jih v drugih modulih ni možno oziroma je to zelo težavno.


V projektu smo uporabili DICAM za pozicijo jeklenega škatlastega profila (Slika 28) kot ojačitev pri vogalni odprtini. V polju »Ident. števil.« smo v knjižnici materialov in profilov izbrali želeni jekleni profil, zato v oknu za vstavljanje elementa ni možno vpisati dimenzij prečnega prereza, vpiše se lahko le dolžino.

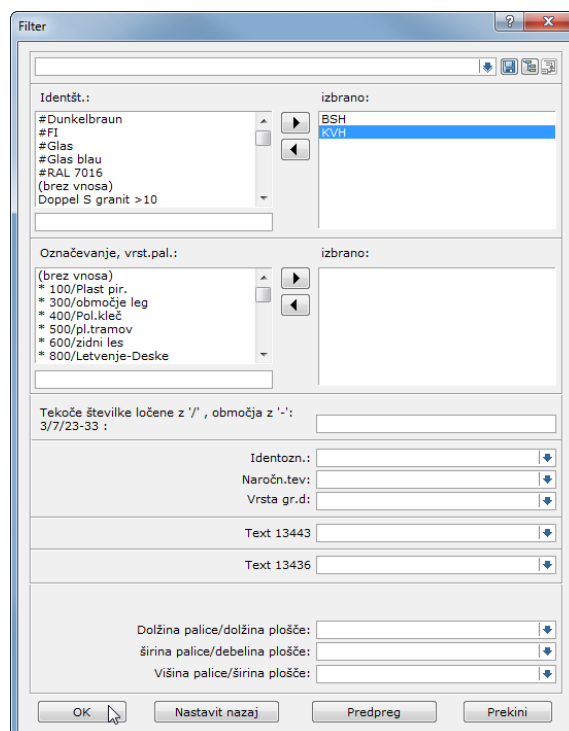


Slika 27: Pogled objekta v DICAM



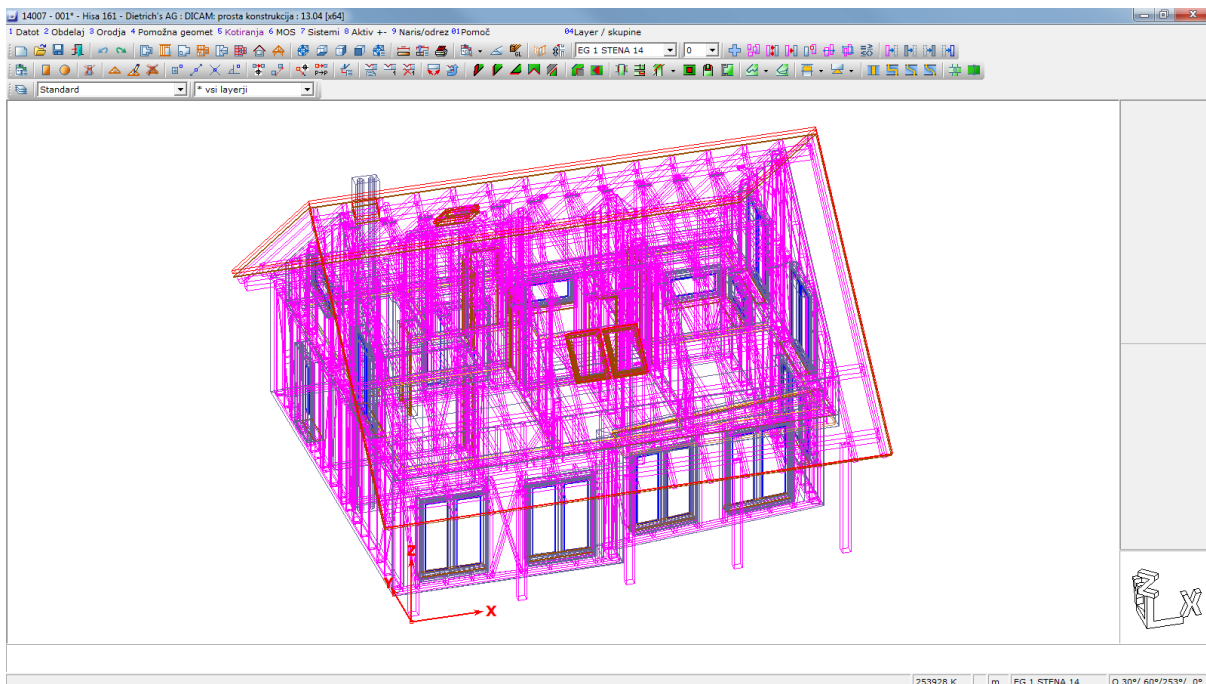
Slika 28: Pozicija jeklenega profila z DICAM

Ker je pogled v programu DICAM zelo nejasen glede konstrukcijskih elementov, se uporabi »Filter« (Slika 29), v katerem izberemo in določimo elemente, ki jih želimo trenutno prikazati. Elementi so po potrditvi označeni z roza barvo in se jih od ostalih elementov loči z ikono, ki skrije neaktivirane elemente – .

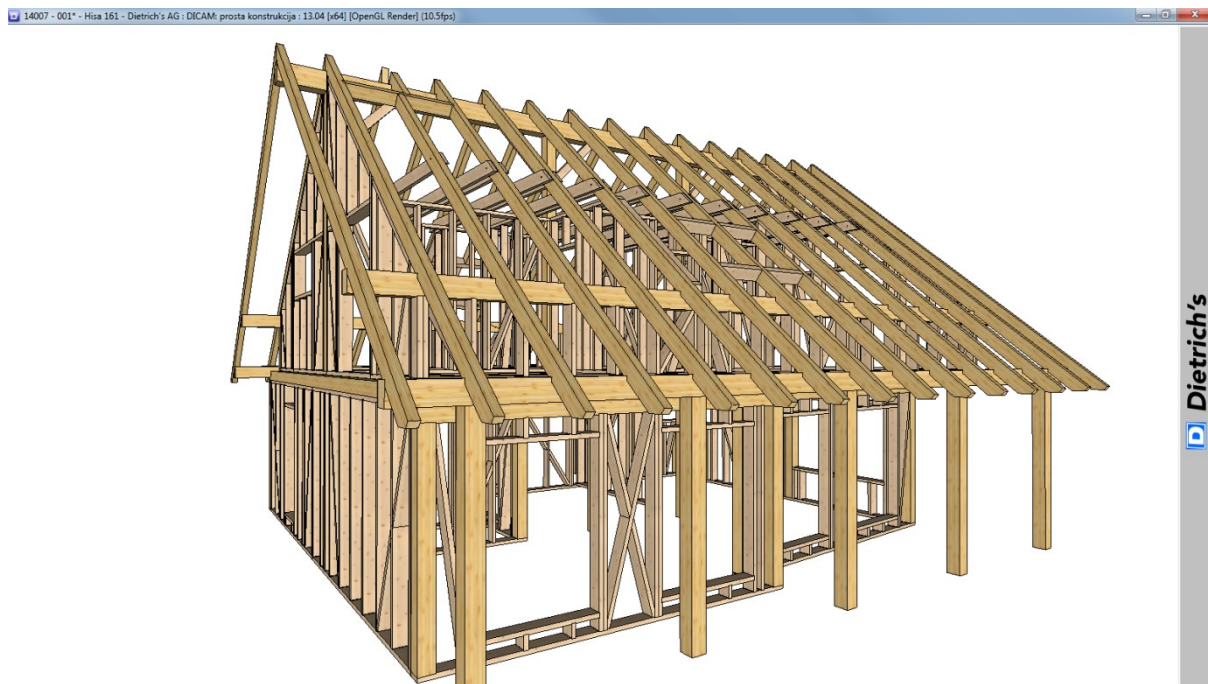


Slika 29: Filter za gradbene dele

Izbrali smo le konstrukcijske elemente, za katere je uporabljen les KVH in BSH (Slika 30) in vklopili 3D-pogled (Slika 31) [9].



Slika 30: Izbrani konstrukcijski elementi iz KVH in BSH



Slika 31: Ogled v 3D s pritiskom na ikono GL

4 RAČUNALNIŠKO VODENI STROJ – CNC

Na trgu obstaja več podjetij, ki izdelujejo računalniško vodene stroje za obdelavo lesa.

Najbolj znana so podjetja:

- Hundegger,
- Schmidler,
- Krüsi,
- Weinmann,
- Essetre.

Med seboj se razlikujejo po funkcijah, številu agregatov in možnih lesnih obdelavah. Navadno imajo ti stroji eno mehanično roko z možnostjo menjavanja orodja (Slika 32). Stroji podjetja Hundegger in Schmidler uporabljajo več agregatov z več različnimi orodji, da je obdelava posameznih lesnih obdelav hitrejša. V Sloveniji se največ uporablja obdelovalni stroj podjetja Hundegger za konstrukcije ostrešij in ostalih večjih lesenih konstrukcij.



Slika 32: Računalniško vodeni stroj "Essetre" z izmenljivimi orodji [10].

4.1 RAZVOJ IN MODELI STROJEV HUNDEGGER

Prvi stroj podjetja Hundegger je bil izdelan leta 1985, in sicer z oznako »P8« (Slika 33). Poudarek stroja je bil na lažji izdelavi ostrešij.



Slika 33: Hundegger P8 [11].

Nato so sledili modeli »P10«, »K1«, »K2« in »K3«. Model »K1« je bil prvi s 4-osno tehnologijo, vendar je za premik do agregatov še vedno uporabljal trn, zapičen v obdelovanec (po končani obdelavi so ostale vidne luknjice od trna).



Slika 34: Pozicijski voziček na modelu P10 [12].

Model »K2« je bil revolucionarnega pomena, saj je bil prvi, ki je uporabljal dvoročno tehniko za premik obdelovanca skozi stroj, kar pomeni, da po končani obdelavi ni bilo poškodb v lesu.



Slika 35: Hundegger K2i [13].

Razvoj modela »K2« se je nadaljeval v 5-osno tehnologijo in nazadnje je za industrijske potrebe bil izdelan tudi model s tremi rokami za premik »K3«, kar je skrajšalo čas obdelave.

Tudi podjetje Hundegger je izdelalo stroj z eno mehanično roko in izmenljivimi orodji z oznako »Robot«, vendar je bil že naslednje leto (leta 2011) izdelan posodobljeni model »K2i« z integrirano robotsko roko, ki je s tem nudil funkcijo 6-osnega obdelovanja.



Slika 36: Hundegger Robot [11].

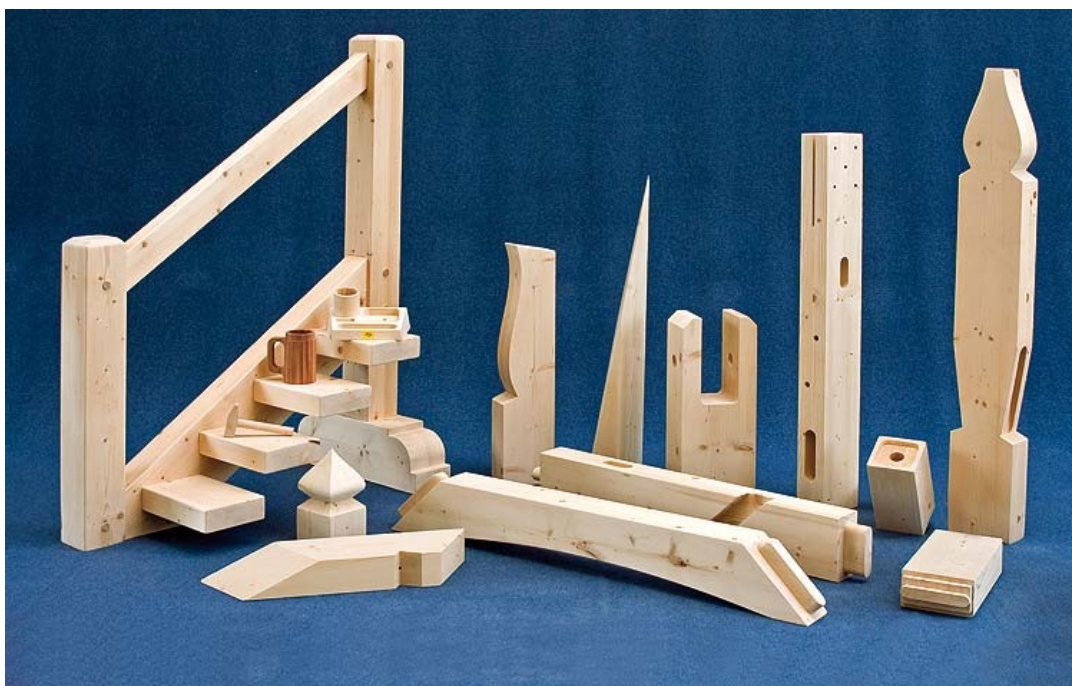


Slika 37: Hundegger K2i z integrirano robotsko roko [11].

Do leta 2015 je bilo izdelanih že več kot 4700 strojev podjetja Hundegger, uporablja pa se jih po vsem svetu [11].

4.2 VRSTE AGREGATOV

Za izdelavo kompleksnih lesnih obdelav je na voljo več vrst agregatov. Spodaj je naštetih le nekaj najbolj pogosto uporabljenih [13].



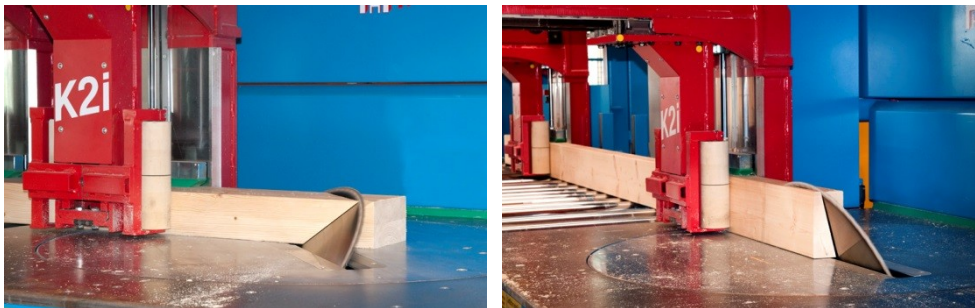
Slika 38: Prikaz lesnih obdelav na stroju Hundegger [13].



Slika 39: Prikaz različnih lastovičjih spojev [13].

4.2.1 Podmizna žaga

Žaga je locirana pod mizo in se dviguje na potrebne višine. Ima možnost naklona v vertikalni smeri in vrtljivo mizo od 0° do 360° [13].



Slika 40: Podmizna žaga [13].

4.2.2 4-osni rezkalni agregat

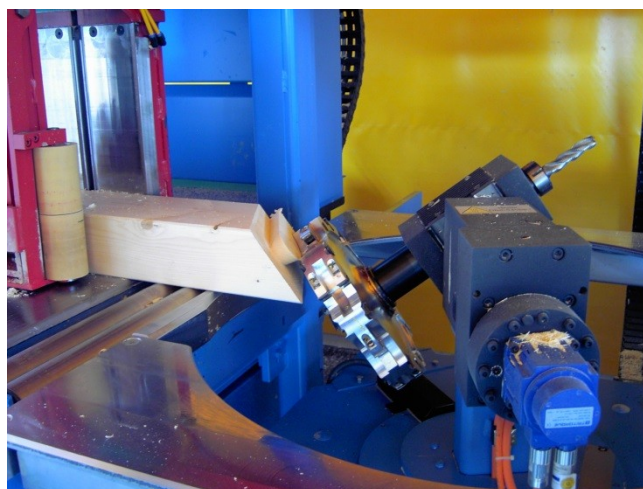
Posebnost rezkalnega agregata je, da ima lahko hkrati nameščena 3 različna orodja – rezkalnik, prstni rezkalnik in orodje za lastovični spoj [13].



Slika 41: 4-osni rezkalni agregat [13].

4.2.3 5-osni rezkalni agregat

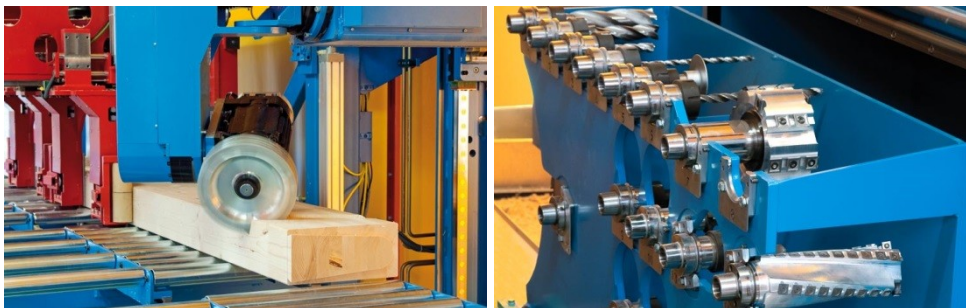
Nadgradnja 4-osnega rezkalnega agregata je dodatna rotacija. S tem agregatom je možno narediti poševni lastovični spoj [13].



Slika 42: 5-osni rezkalni agregat [13].

4.2.4 6-osna robotska roka

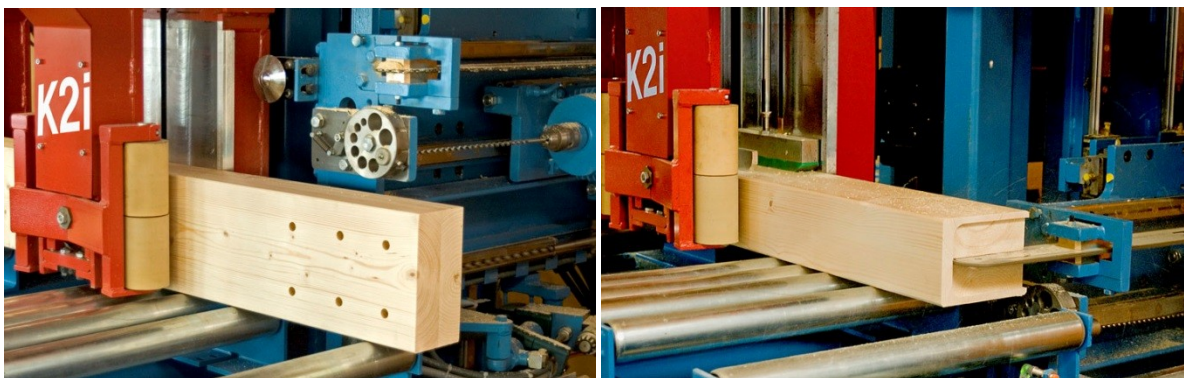
Prednost 6-osnega agregata je, da ni potrebno obračati obdelovanca okoli svoje osi, saj je zaradi konstrukcije robotske roke možna obdelava iz vseh strani. Poleg tega agregata je tudi izmenjevalna naprava, ki hrani različna orodja za obdelave [13].



Slika 43: 6-osna robotska roka z izmenjevalnikom orodij [13].

4.2.5 Modul s horizontalnimi orodji

Ta modul vključuje več različnih vrtalnikov, risalnik in verižno žago. Vrtalnik lahko vrta tudi pod kotom vse do 45°. Z risalnikom lahko označimo pozicije škarnikov na legah in tudi označimo številko elementa [13].



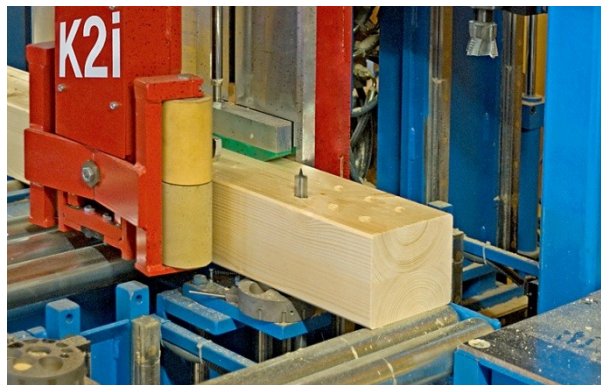
Slika 44: Modul s horizontalnimi orodji [13].



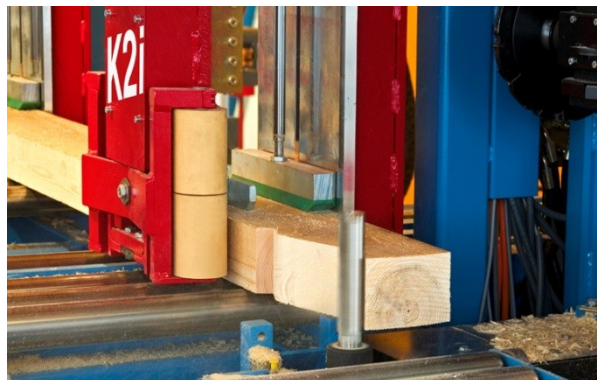
Slika 45: Primer označevanja z risalnikom [13].

4.2.6 Modul z vertikalnimi orodji

Ta modul lahko sprejme do 5 orodij, ki so lahko vrtalniki, verižna žaga ali prstni rezkalnik [13].



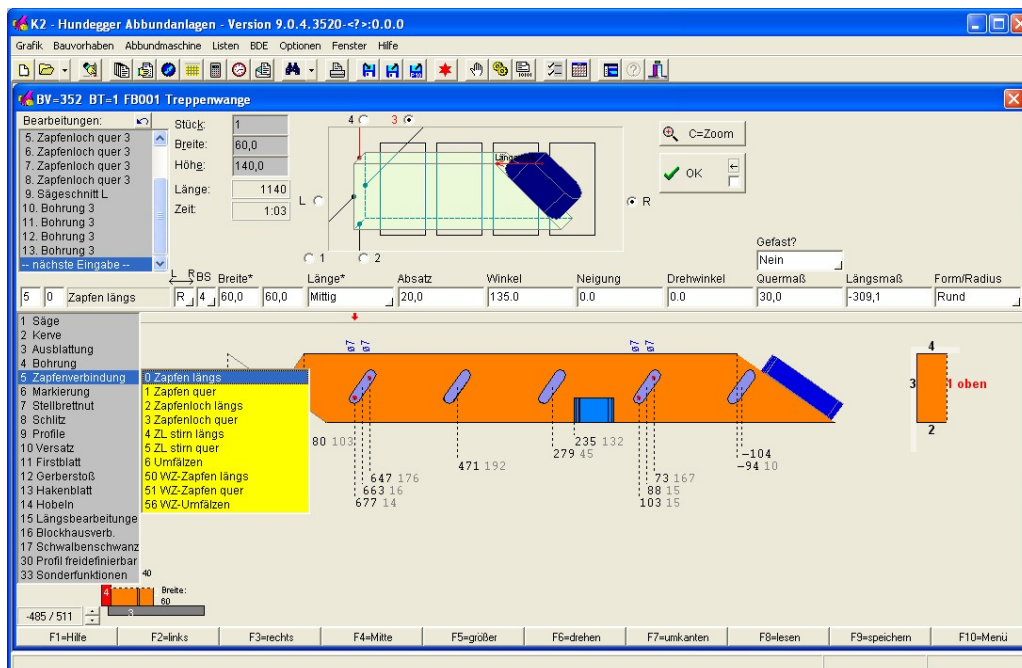
Slika 46: Vertikalni vrtalnik [13].



Slika 47: Vertikalni prstni rezkalnik [13].


4.3 PROGRAMSKA OPREMA

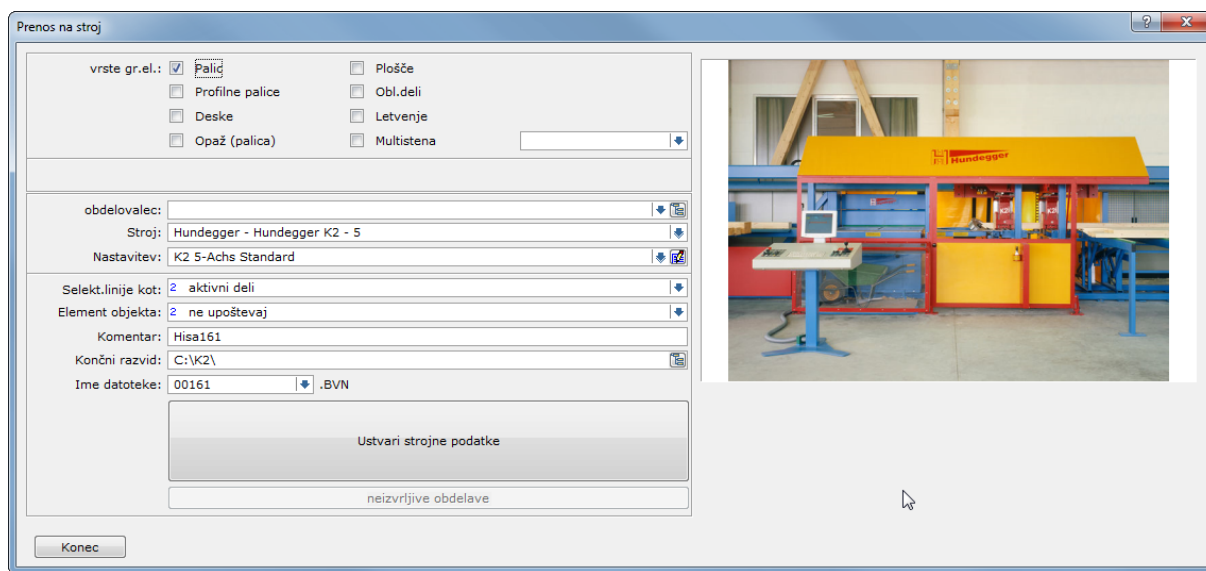
Uporabniški vmesnik stroja je preveden tudi v slovenski jezik. Je enostaven za uporabo in pregleden. Podpira prenos podatkov iz vseh programov CAD-CAM, omogoča pa tudi ročni vnos podatkov. Program omogoča avtomatsko ustvarjanje seznamov za obdelavo, samodejno optimizacijo razreza in možnost spremembe uporabe orodja za določeno obdelavo ter zbira ostale obdelovalne podatke [14].



Slika 48: Uporabniški vmesnik za Hundegger [14].

4.3.1 Prenos strojnih podatkov za stroj CNC

Za prenos podatkov na računalniško voden stroj – CNC, v programu Dietrich's kliknemo »Datoteka«, nato »02-Stroj« in »Prenos na predizmerni sistem«, lahko pa uporabimo bližnjico in kliknemo na ikono - . Odpre se nam izbirno okno (Slika 49).



Slika 49: Izbirno okno za prenos na stroj CNC

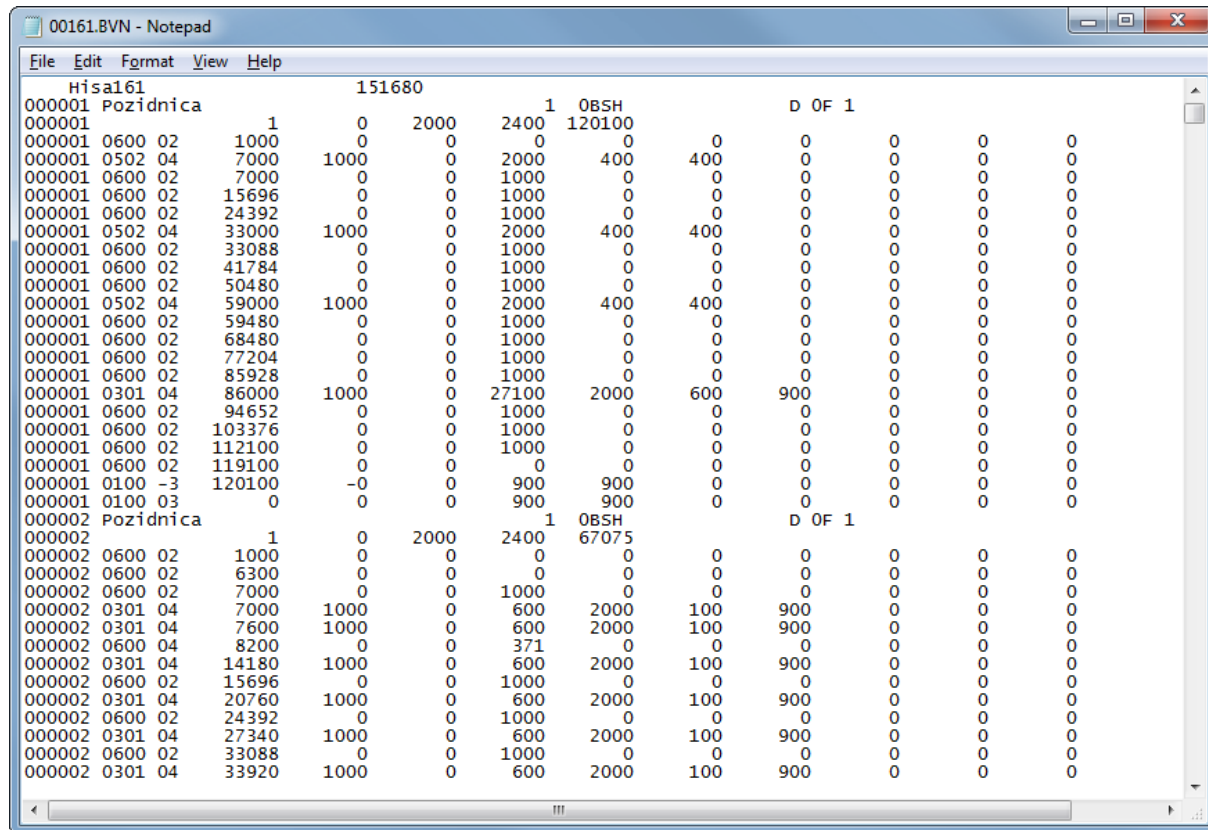
V prvem predelu izberemo vrsto gradbenih elementov, ki jih želimo prenesti na CNC. V našem primeru so to »Palice«, saj izdelujemo skeletno konstrukcijo. Drugi predel je namenjen izbiri stroja in modela stroja ter njihovim nastavitvam. Program Dietrich's podpira vse znamke strojev in njihove modele. V tretjem predelu imamo možnost izbrati, kateri elementi naj se prenesejo na stroj. Izbiramo med »Vsi« ali »Aktivni deli«, slednji so primerni, če smo v predhodnem koraku v DICAM-modulu izbrali posebne elemente in so ostali aktivni – v roza barvi. Izberemo mesto, kamor shranimo datoteko, in ime datoteke.

V našem primeru smo izbrali stroj znamke Hundegger, model K2i ter aktivne dele, ki smo jih določili v filtru (Slika 29).

Izvoz podatkov za stroj zaženemo s klikom na gumb »Ustvari strojne podatke«. V izbrano mapo se izvozi datoteka s končnico *.bv za modela P8 in P10 ali *.bvn, kadar prenašamo na modele K1, K2 in K2i.

4.3.2 Pregled podatkovne datoteke za stroj CNC

Podatkovni datoteki s končnico *.bv in *.bvn lahko ročno odpremo v klasičnih tekstovnih programih (Notepad, WordPad, Word).



Slika 50: Podatkovna datoteka, odprta v tekstovnem programu

V prvi vrstici podatkovne datoteke so osnovne informacije objekta, ki smo jih vpisali v polje »Komentar« v izbirnem oknu za prenos na stroj CNC. V vseh nadaljnjih vrsticah so podatki za obdelovalne elemente.

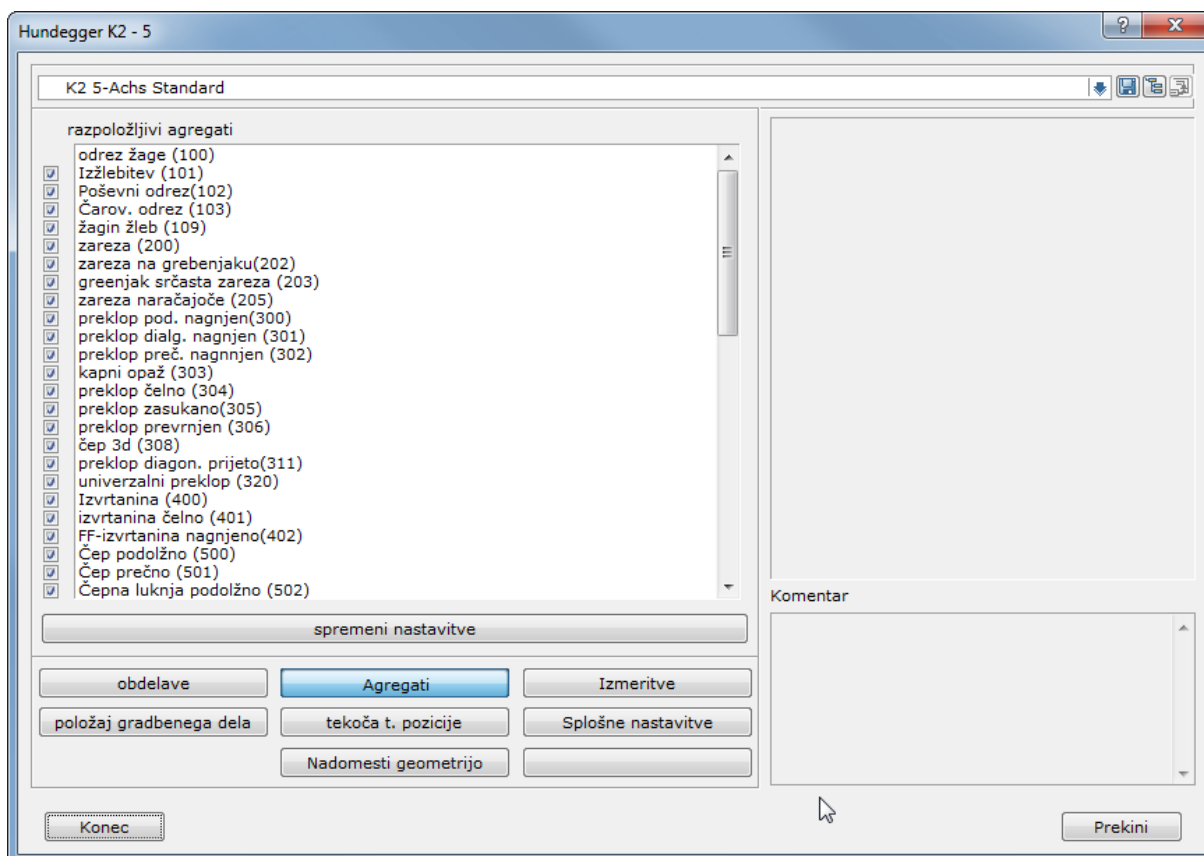
Za lažje razumevanje obdelovalnih podatkov smo iz podatkovne datoteke izločili element s pozicijsko številko »8« (Slika 51). Osnovni podatki elementa so v prvi in drugi vrstici, v preostalih vrsticah pa so podatki za obdelavo.

Pozicijska številka	Ime elementa	Količina	Dimenzije - širina / višina / dolžina	Vrsta lesa
000008	soha Tege	3	2000 2000 28500	OBSH
000008	0500 -1	28100	0 900 400	400
000008	0100 03	0	0 900 900	0

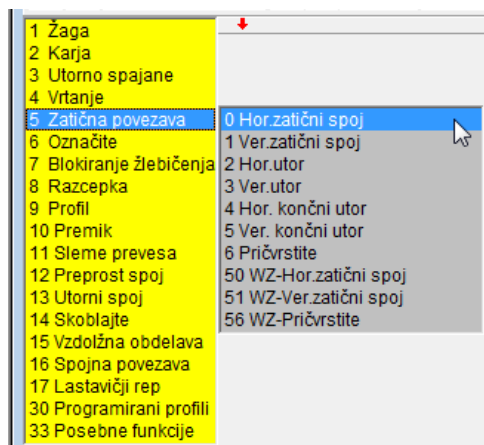
Oznaka agregata: 0 0 2000 0 00000

Slika 51: Obdelovalni podatki posameznega elementa

Oznake agregatov so določene po vrstnem redu in so predstavljene tudi v Dietrich's programu pri konfiguraciji stroja CNC (Slika 52). Vsak agregat je označen s stotisko številko (npr. 100, 200 ...), enice teh števil (npr. 101, 102 ...) pa predstavljajo vrsto obdelave na izbranem agregatu.

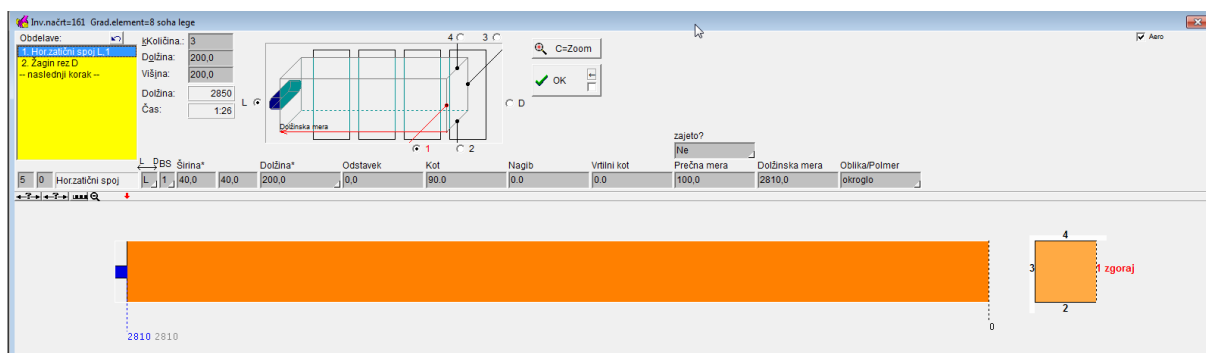


Slika 52: Pregledno okno za nastavitve stroja CNC



Slika 53: Oznake agregatov in obdelav

V tretji vrstici je podana prva obdelava, ki je označena s številko »500«, kar pomeni, da gre za agregat »Zatična povezava« in obdelavo »Horizontalni zatični spoj« (Slika 53). V uporabniškem vmesniku stroja CNC je grafično prikazana vsaka vrstica podatkovne datoteke (Slika 54).



Slika 54: Grafični prikaz obdelave v uporabniškem vmesniku stroja CNC

5 LESNE ZVEZE IN ANALIZA

V izbranem poglavju bodo opisane največkrat uporabljene lesne zveze med različnimi konstrukcijskimi deli skeletne gradnje [15, 16, 17]. Pred izrisom delavniških načrtov je dobro vedeti, na katerem stroju se bo izvedel izrez konstrukcijskih elemenov, saj nekateri stroji nimajo funkcije izreza vseh spojev. V diplomski nalogi je delavniški izris prilagojen za stroj »Hundegger« od modela »K2« naprej. Izbira lesne zveze je odvisna od načina gradnje in časa obdelave.

5.1 SPOJ MED POZIDNICO IN STEBROM

V praksi se uporablja več različnih zvez med pozidnico in stebrom. Nekaj osnovnih zvez je naštetih spodaj.

5.1.1 Čelni spoj

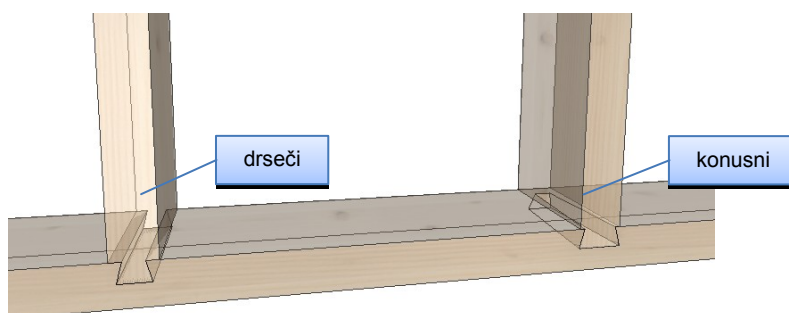
Čelni spoj, v programu Dietrich's je poimenovan »Čelni preklop«, je enostavna zveza (Slika 55), saj se v pozidnico vreže utor v širini stebra in globini 1 cm ali več. S povezavo dosežemo, da se napake lesa (zvijanje) v stebru tekom uporabe ne morejo izvršiti.



Slika 55: Čelni spoj

5.1.2 Lastovičji spoj

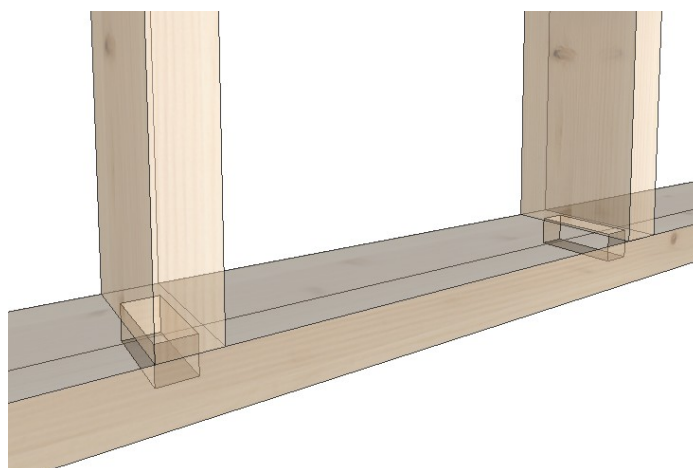
Lastovičji spoj (angl. »*dovetail*«) je zveza, ki je najbolj enostavna za montažo, vendar zamudna za obdelavo na CNC. Lahko je zaprti (konusni) ali po celotni širini (drseči – angl. »*sliding*«) – Slika 56.



Slika 56: Lastovičji rep

5.1.3 Spoj s čepom

Steber ima na koncu čep višine in širine 4 cm, v globini pa se reducira na širino pozidnice. Največkrat se uporabi na koncu pozidnice, ker drugi spoji zaradi možnosti, da se les odlomi, niso možni.



Slika 57: Spoj s čepom

5.2 SPOJ MED STEBROM IN DIAGONALNO PREČKO

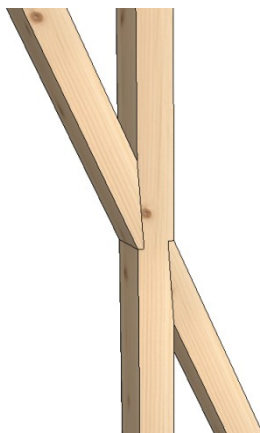
Spoj diagonalne prečke s stebrom (Slika 58) je pomemben za statično nosilnost konstrukcije v horizontalni smeri.



Slika 58: Spoj med stebrom in diagonalno prečko

5.2.1 Brada

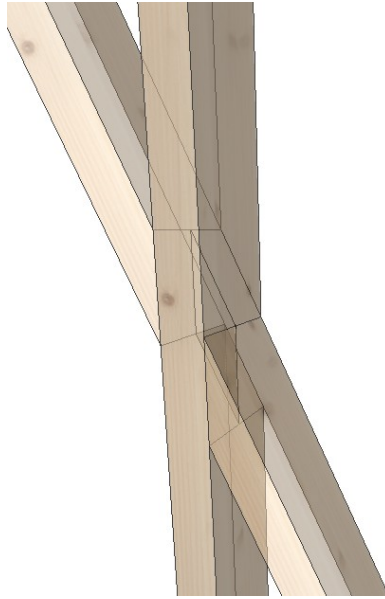
Pri bradatem spoju se v steber naredi kotno zarezo, diagonalna prečka se vključi v kotno zarezo. Globina kotne zareze je odvisna od širine stebra.



Slika 59: Bradati spoj

5.2.2 Preklopni spoj

Spoj je izveden s polovičnim presekom stebra in diagonalne prečke. Obdelava na CNC je časovno zamudna, vendar je prednost zveze ta, da sta steber in diagonalna prečka kontinuirna po svoji dolžini.



Slika 60: Preklopni spoj

5.3 SPOJ MED STEBROM IN HORIZONTALNO PREČKO

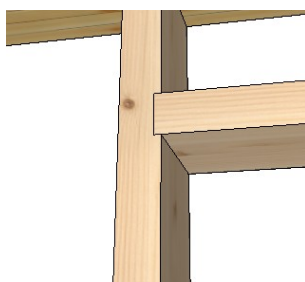
Horizontalna prečka se uporabi za pozicijo odprtin v steni na določeni višini. Prečka je obremenjena vertikalno s težo stavbnega pohištva, zato mora biti povezava s krajnima stebroma temu primerna.



Slika 61: Horizontalna prečka

5.3.1 Čelni spoj

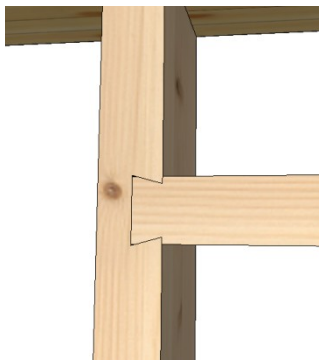
Na enak način kot v poglavju 5.1.1 se uporabi čelni spoj globine 1 cm. Odprtine morajo biti odporne na zvijanje lesa, zato je ta lesna zveza najbolj primerna.



Slika 62: Čelni spoj horizontalne prečke

5.3.2 Lastovičji spoj

Za lažje sestavljanje stenske konstrukcije za povezavo med horizontalno prečko in stebrom se uporabi konusni lastovičji spoj.



Slika 63: Lastovičji spoj med horizontalno prečko in stebrom

5.4 ANALIZA LESNIH ZVEZ

Stenska konstrukcija se lahko sestavlja v delavnici ali na objektu samem. Prednosti sestavljanja v delavnici so:

- neodvisnost od vremenskih pogojev,
- hitrejše in lažje sestavljanje na mizi za sestavljanje in
- takojšna kontrola izrezanih konstrukcijskih delov.

Prednosti sestavljanja na terenu pa so:

- transport elementov do lokacije – elementi so zloženi,
- ni potrebe po izrednem transportu in
- ne nujna uporaba dvigala [15, 17].

Čas obdelovanja na CNC je odvisen od izbire lesnih zvez. V spodnji preglednici so podane največkrat uporabljene lesne zveze v odvisnosti od lokacije montaže, vrste nosilnosti in časa obdelave na CNC (Preglednica 1 in Preglednica 2).

MONTAŽA NOSILNOST ČAS OBDELAVE	DELAVNICA			
	NIZKA		VISOKA	
	HITRO	NI POMEMBNO	HITRO	NI POMEMBNO
Steber - pozidnica	Čelni spoj	Čelni spoj	Čelni spoj + čep	Lastovičji spoj + čep
Steber - diagonalna prečka	Brez	Brada	Brada	Preklopni spoj
Steber - horizontalna prečka	Čelni spoj	Čelni spoj	Čelni spoj	Lastovičji spoj

Preglednica 1: Sestavljanje stenske konstrukcije v delavnici

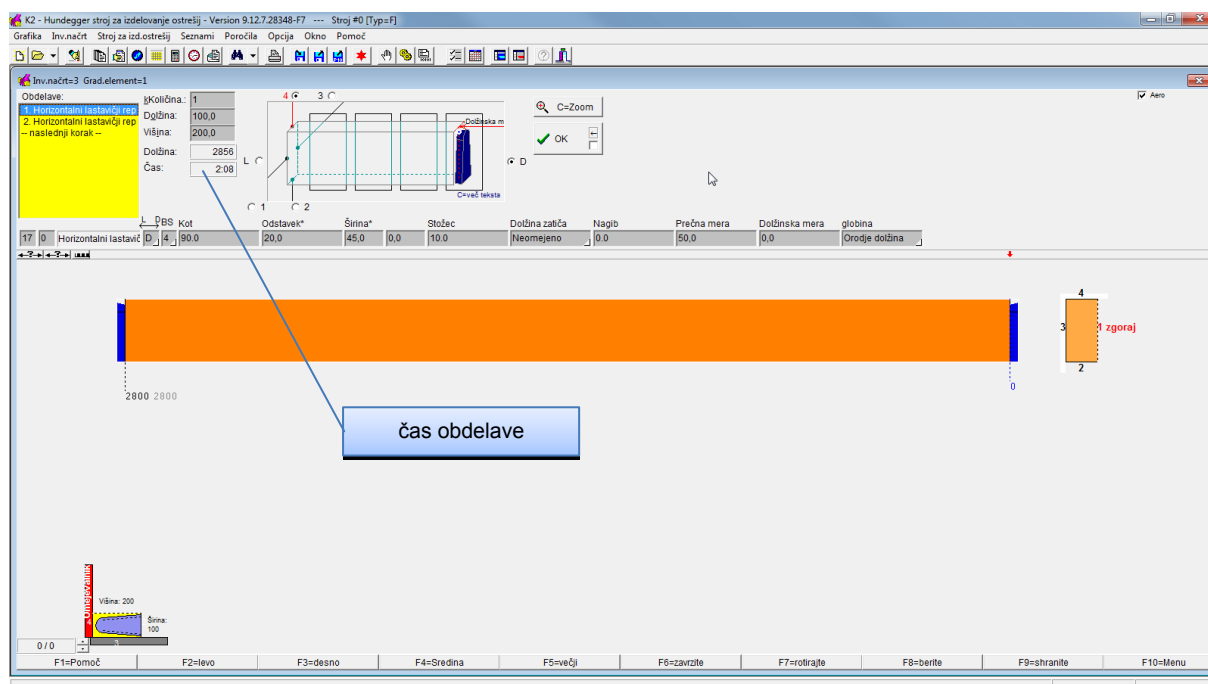
MONTAŽA NOSILNOST ČAS OBDELAVE	NA TERENU	
	VISOKA	NIZKA
	NI POMEMBNO - LAŽJA MONTAŽA	HITRO - TEŽJA MONTAŽA
Steber - pozidnica	Lastovičji spoj + čep	Čelni spoj
Steber - diagonalna prečka	Preklopni spoj	Brada
Steber - horizontalna prečka	Lastovičji spoj	Čelni spoj

Preglednica 2: Sestavljanje stenske konstrukcije na terenu

5.4.1 Čas obdelave lesnih zvez na stroju CNC

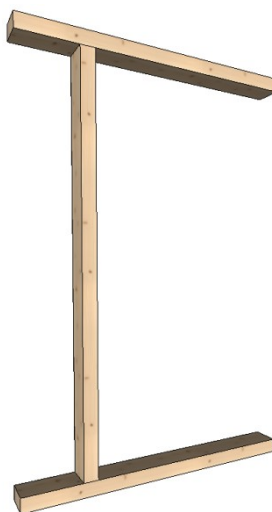
Končno izdelano konstrukcijo v programu Dietrich's prenesemo na stroj CNC (v našem primeru Hundegger K2i).

V strojnem uporabniškem vmesniku se nam prikažejo vsi konstrukcijski elementi obravnavanega objekta. Za informacijo glede časa obdelave posameznega elementa z dvoklikom odpremo želeni element in v predelu osnovnih podatkov obdelovanca odčitamo čas obdelave (Slika 64).



Slika 64: Uporabniški vmesnik za CNC Hundegger K2

Za lažje določevanje časa obdelave različnih lesnih zvez smo izrisali poenostavljeno konstrukcijo s spodnjo in zgornjo pozidnico dolžine 2,00 m ter stebrom višine 2,80 m.



Slika 65: Konstrukcija za analizo

Dobljeni časi obdelave posamezne lesne zveze so predstavljeni v spodnji preglednici (Preglednica 3). Čas, v katerem stroj izreže izbrano konstrukcijo, je podan v minutah.

Vrsta lesne zveze:	Element	Čas [min]	Skupaj čas [min]
Lastovičji spoj	Steber	2:08	5,43
	Pozidnica	1:39	
Čelni spoj	Steber	0:30	2,37
	Pozidnica	0:56	
Spoj s čepom	Steber	1:28	3,3
	Pozidnica	0:55	

Preglednica 3: Primerjava časa obdelave na CNC

S pridobljenimi rezultati dobimo dokaz, da je lesna zveza med stebrom in pozidnico najhitreje narejena pri izbiri »Čelnega spoja«.

6 ZAKLJUČEK

V okviru diplomske naloge smo izdelali računalniški model BIM za delavniški načrt enostavne enodružinske hiše za prenos na stroj CNC. Predstavili smo potrebno dokumentacijo za izris delavniških načrtov. Za izris modela BIM smo uporabili računalniški program Dietrich's in izvozili obdelovalne podatke na stroj CNC. Predstavili smo stroj CNC Hundegger ter njihove osnovne agregate. Upoštevali smo različne možnosti lesnih zvez za tri osnovne konstrukcijske spoje skeletne stene in jih časovno analizirali.

Čas, potreben za obdelavo izbrane nosilne konstrukcije enodružinske hiše pri upoštevanju najhitrejših možnih obdelav na stroj CNC Hundegger K2i, je 15 ur in 32 min.

Ugotovili smo, da je izbira lesnih zvez pomembna pri obdelovalnem času, saj je najhitrejša lesna zveza hitrejša za faktor 2, kar veliko pripomore k času, v katerem se zgradi objekt. Izbira je odvisna od več dejavnikov, zato smo izdelali preglednico za lažjo izbiro primerne lesne zveze. Glede na to, da je lesna zveza »Lastovičji spoj« najbolj ugodna za sestavljanje elementov in ponuja možnost sestavljanja na terenu in s tem manjše potne stroške, bi bilo zanimivo izboljšati agregat, ki bi pripomogel k lažji in hitrejši obdelavi lastovičjega spoja.

Program Dietrich's poleg svoje osnovne različice ponuja tudi več naprednih modulov in bi lahko izvedli tudi statični izračun posameznih konstrukcijskih elementov, izračunali energijsko učinkovitost stavbnega ovoja ali pa bi celotno konstrukcijo prenesli v program AutoCad.

Za obravnavani objekt bi lahko izvedli izris tudi po sistemu lesenih masivnih sten iz križno lepljenih plošč – CLT in tudi predstavili posebni obdelovalni center CNC za takšno vrsto gradnje.

Pri izdelavi diplomske naloge smo se naučili uporabljati računalniški program za izdelavo lesenih konstrukcij. Analizirane lesne zveze bodo v pomoč pri projektiranju nadaljnjih projektov in tudi za optimizacijo obdelave na stroju CNC. Proučili smo agregate in module strojev Hundegger, ki nam bodo koristili pri projektiranju lesnih obdelav. Znanje bomo uporabili pri nadaljnjem projektiranju lesenih konstrukcij.

VIRI

[1] Kitek Kuzman, M. 2012. Prednosti in značilnosti lesene gradnje.

[http://www.lesena-gradnja.si/html/img/pool/Prednosti in značilnosti lesene gradnje.pdf](http://www.lesena-gradnja.si/html/img/pool/Prednosti_in_značilnosti_lesene_gradnje.pdf) (Pridobljeno 15. 4. 2015.)

[2] Bauta skeletne hiše. 2015.

<http://bauta.si/si/vsebina/skeletna-gradnja-5.html> (Pridobljeno 15. 4. 2015.)

[3] Postopek za pridobitev gradbenega dovoljenja. 2012.

<http://www.rihter.si/rihter-svetuje/postopek-za-pridobitev-gradbenega-dovoljenja.aspx>
(Pridobljeno 15. 4. 2015.)

[4] Milutinović, A. 1949. Tesarstvo. Veze drveta. Beograd, Ministarstvo železnica
odeljenje za štampu: 53–79 str.

[5] Dietrich's. 2015.

<http://www.dietrichs.com> (Pridobljeno 3. 3. 2015.)

[6] Podjetje Rihter d.o.o. 2012.

<http://www.rihter.si/tipske-hise/galerija.aspx?id=130&q=Tipska-hisa-161> (Pridobljeno 28. 1. 2015)

[7] Strauß, F. 2015. Question for ceiling structure. Message to: Lap, G. 29.1.2015.
Osebna komunikacija.

[8] Contemporary Building Design. 2015.

<http://www.cbd.si> (Pridobljeno 12. 2. 2015.)

[9] Dietrich's pomoč uporabnikom. 2015.

<http://de.blog.dietrichs.com> (Pridobljeno 3. 3. 2015.)

[10] Stroj CNC Essetre. 2015.

<http://www.timbertools.com/Images/Essetre/DSC07265.jpg> (Pridobljeno 3. 3. 2015.)

[11] Zgodovina podjetja Hundegger. 2015.

<http://www.hundegger.de/de/maschinenbau/unternehmen/unsere-geschichte.html>
(Pridobljeno 3. 3. 2015.)

[12] Stroj CNC Hundegger P8. 2015.

<http://www.maschinensuche.org/fotos/29823-1.jpg> (Pridobljeno 15. 4. 2015.)

[13] Stroj CNC Hundegger K2i. 2015.

<http://www.hundegger.de/de/maschinenbau/produkte/abbundmaschinen/abbundmaschine-k2i.html> (Pridobljeno 3. 3. 2015.)

[14] Strojni uporabniški vmesnik Hundegger K2i. 2015.

<http://www.nussreiner.de/download/index.php?dir=EKP/> (Pridobljeno 3. 2. 2015.)

[15] Tesarstvo Kregar.

<http://www.tesarstvokregar.si> (Pridobljeno 2. 2. 2015.)

[16] Krämer, F. 2006. Grundwissen des Zimmerers. Karlsruhe : Bruder: / str.

[17] Lesene konstrukcije Lap. 2015.

<http://www.konstrukcije-lap.si> (Pridobljeno 2. 2. 2015.)