

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:

Vidic, M., 2016. Statična analiza strešne konstrukcije spomeniško zaščenega objekta Šenkova domačija. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Bosiljkov, V., somentor Antolinc, D.): 114 str.

Datum arhiviranja: 06-09-2016

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:

Vidic, M., 2016. Statična analiza strešne konstrukcije spomeniško zaščenega objekta Šenkova domačija. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Bosiljkov, V., co-supervisor Antolinc, D.): 114 pp.

Archiving Date: 06-09-2016

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

**VISOKOŠOLSKI ŠTUDIJSKI
PROGRAM GRADBENIŠTVO
KONSTRUKCIJSKA SMER**

Kandidat:

MATEJ VIDIC

**STATIČNA ANALIZA STREŠNE KONSTRUKCIJE
SPOMENIŠKO ZAŠČITENEGA OBJEKTA ŠENKOVA
DOMAČIJA**

Diplomska naloga št.: 550/KS

**STATICAL ANALYSIS OF THE ROOF STRUCTURE IN
ŠENK HOMESTEAD PROTECTED AS NATIONAL
CULTURAL HERITAGE SITE**

Graduation thesis No.: 550/KS

Mentor:

izr. prof. dr. Vlatko Bosiljkov

Somentor:

asist. dr. David Antolinc

Ljubljana, 01. 09. 2016

POPRAVKI

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

IZJAVA O AVTORSTVU

Spodaj podpisani **MATEJ VIDIC** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom
**»STATIČNA ANALIZA STREŠNE KONSTRUKCIJE SPOMENIŠKO ZAŠČITENEGA
OBJEKTA ŠENKOVA DOMAČIJA«.**

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, 24.8.2016

Matej Vidic

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN POVZETEK

UDK:	624.04:692.4(043.2)
Avtor:	Matej Vidic
Mentor:	izr. prof. dr. Vlatko Bosiljkov
Somentor:	asist. Dr. David Antolinc
Naslov:	Statična analiza strešne konstrukcije spomeniško zaščitenega objekta Šenkova domačija
Tip dokumenta:	Dipl. nal.-VSŠ
Obseg in oprema:	114 str., 73 tab., 103 sl., 52 en.
Ključne besede:	ostrešje, laboratorijsko preizkušanje lesa, smreka, trapezno vešalo s tremi stebri, statična analiza, Sap 2000, plastični členek

Izvleček

V diplomski nalogi sem izvedel statično analizo strešne konstrukcije spomeniško zaščitenega objekta Šenkova domačija s pomočjo programa SAP2000. Spremljal sem kronološko propadanje elementov ostrešja in izdelal parametrično študijo petih računskih statičnih modelov. Osnovni model je sestavljen iz štirih okvirjev s statičnim sistemom povezja s trapeznim vešalom z dodatnim sredinskim stebrom. Mehanske lastnosti smerkovega lesa iz ostrešja, ki so bile potrebne za statično analizo, sem pridobil z laboratorijskimi preiskavami (tlačna in upogibna trdnost, elastični in strižni modul).

Raziskoval sem vpliv propadanja posameznih leg in posledično postopnega deformiranja ostrešja na nalegajoče se spodnje poškodovano kamnito zidovje in preverjal, ali je glavni razlog za poškodbe zidov ravno deformacija ostrešja. Najbolj poškodovano je severno zidovje, ki je skoraj v celoti ločeno od ostalega dela objekta. Zato sem se osredotočil predvsem na reakcije in pomike v podporah severne kapne lege, ki leži na poškodovamen zidovju. Z uporabo Evrokodov sem določil obtežbe in upošteval obtežne kombinacije za mejno stanje nastilnosti (MSN).

Ugotovil sem, da se je severno zidovje deformiralo zaradi vpliva deformacij ostrešja in posledičnih sprememb prenosa obtežbe ter posedkov. To zidovje namreč nima temeljev. Postavljeno je neposredno na skale, ki ležijo v mehki prodnati zemljini. Ostrešje je bilo dolgo časa brez žlebov, hiša pa brez drenaže, zato je meteorna voda spirala slabo nosilna temeljna tla, kar je vzrok za posedanje severnega zidovja. V določenem obdobju je bilo treba severno kapno lego točkovno podpreti. To pomeni, da je bilo spodnje zidovje nekaj časa brez ugodne vertikalne obremenitve. Posledica točkovnega podpiranja so močno povečane horizontalne reakcije na SV in SZ vogalu zidovja, ki so sprožile začetek nastanka razpok severnega zidovja.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	624.04:692.4(043.2)
Author:	Matej Vidic
Supervisor:	prof. Vlatko Bosiljkov Ph.D.
Reviewer:	asist. David Antolinc Ph.D.
Title:	Statical analysis of the roof structure in Šenk homestead protected as a national cultural heritage site
Document type:	Graduation Thesis – higher professional studies
Notes:	114 p., 73 tab., 103 fig., 52 eq.
Key words:	roof structure, triple roof, laboratory testing of wood, spruce, static analysis, Sap 2000, plastic hinge

Abstract

This thesis presents the static analysis of the heritage protected Šenk homestead's roof structure with the use of the structural analysis program SAP2000. For this purpose I have analyzed the chronological decay of roof structure elements and made a parametrical study of six static roof structure models. The basic model has four frames with a trapeze shaped triple roof static system. Mechanical parameters for the calculation of spruce elements (compressive strength, bending strength, elastical modulus, shear modulus) for statical analysis were gained by laboratorial testing of spruce samples.

I have researched how gradual decay of the roof structure have influenced the deformation of the underlying stone walls. The northern walls are the most damaged with the widest cracks and are almost completely separated from the rest of the house. Vertical reactions and displacements of the roof wall plate roller supports were therefore the main focus of this analysis. Dead load, live load, snow load and wind load are assessed using Eurocode standards. Static analysis is based on the method of limit state load (MSN).

Analysis shows that the main reason for the north wall deformation is the influence of deformed roof structure and ground settlement. The house is without a foundation and its walls sit directly on rocks that are laying in in soft gravel soil. The house was without gutters and drainage for a long time. Rainwater was therefore able to wash away the soft subgrade causing additional subgrade subsidence. The roof wall plate had to be supported at some point in time, which means that the north wall was without vertical load and consequently constant compressive stress, that had a positive effect on it. As a result the northern wall was able to deform even more. Point supported roof wall plate caused greatly increased horizontal reactions in NE and NW corner of the north wall, that have triggered the beginning of the formation of cracks.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju izr. prof. dr. Vlatku Bosiljkovu za ponujeno priložnost in strokovno pomoč.

Prav tako se zahvaljujem somentorju asist. dr. Davidu Antolincu za nasvete in strokovne diskusije. Hvala tudi lastnikoma domačije Poloni in Davu Karničarju za prijaznost in gostoljublje.

Iskreno se zahvaljujem svoji družini, ki mi je vedno v pomoč in podporo. Hvala moji Ajši za pomoč in spodbudne besede med študijem.

KAZALO VSEBIN

1.0	UVOD	1
1.1	OPIS OBJEKTA	1
1.1	LES	11
1.1.1	Splošno o lesu.....	11
1.1.2	Fizikalne lastnosti lesa	13
1.1.3	Mehanske lastnosti smrekovega lesa	17
1.2	OPREDELITEV PROBLEMA	17
2.0	LABORATORIJSKE PREISKAVE MEHANSKIH LASTNOSTI STAREGA SMREKOVEGA LESA	22
2.1	MEHANSKE LASTNOSTI	22
2.2	VZORCI	23
2.2.1	Račun elastičnih modulov (E1, E2 in E3).....	24
2.2.2	Račun strižnega modula (G).....	35
2.3	REZULTATI MERITEV	36
3.0	OSNOVNI MODEL KONSTRUKCIJE	39
4.0	VPLIVI NA KONSTRUKCIJO (SIST EN 1991-1)	43
4.1	STALNI VPLIVI.....	43
4.1.1	Lastna teža	43
4.2	SPREMENLJIVI VPLIVI.....	46
4.2.1	Koristna obtežba	46
4.2.2	Obtežba snega.....	48
4.2.3	Obtežba vetra.....	54
4.3	OBTEŽNE KOMBINACIJE ZA MEJNO STANJE NOSTILNOSTI	77
5.0	RAČUNSKI STATIČNI 3D MODELI V PROGRAMU SAP2000	78
5.1	Model 1: Prvotno ostrešje pred letom 1992	81
5.2	Model 2: Odstranitev gramoznega nasutja na podstrešju	81
5.3	Model 3: Severna stran je podprta s poleni	82
5.4	Model 4: Popustita stika srednjih dveh okvirjev trapeznega vešala z južno kapno lego	83
5.5	Model 5: Pojavi se mrtvo vešalo na srednjih dveh okvirjih – severna stebra srednjih dveh okvirjev prelomita spodnji talni legi	83
6.0	REZULTATI ANALIZIRANIH RAČUNSKIH STATIČNIH 3D MODELOV	87
6.1	Rezultati statične analize Modela 1 (prvotno ostrešje pred letom 1992)	89
6.2	Rezultati statične analize Modela 2 (odstranitev gramoznega nasutja).....	90
6.3	Rezultati statične analize Modela 3 (s poleni točkovno podprta severna kapna lega)	91

6.4	Rezultati statične analize Modela 4 (brez stika srednjih dveh okvirjev s kapno lego NA JUŽNI STRANI)	92
6.5	Rezultati statične analize Modela 5 (stebra srednjih dveh okvirjev prelomita POVEZNI legi)	93
6.6	Analiza rezultatov vseh petih modelov.....	94
7.0	ZAKLJUČEK	106
VIRI	109

KAZALO SLIK

Slika 1: Šenkova domačija na Zgornjem Jezerskem z obravnavano Šenkovo hišo (druga z desne) (http://www.senkovadomacija.si/ , 2016).....	1
Slika 2: Šenkova domačija na Zgornjem Jezerskem z začasnimi horizontalnimi podporami poškodovanega severnega zidu.	1
Slika 3: Motiv z Jezerskega, vhodni portal (Krašovec, F., 1929).	2
Slika 4: Skica situacije Šenkove domačije s Šenkovo hišo (1) (osebna komunikacija z Zavodom za varstvo kulturne dediščine OE Kranj).	3
Slika 5: Oboki v veži.	4
Slika 6: Vzhodna stran hiše, vhod s kamnitim portalom in okenskim okvirjem (Fister, P., 1969).	4
Slika 7: Tloris pritličja (privzeto po Hrastnik, B., 2015).	5
Slika 8: Kompaktno kamnito zidovje brez ometa v sobi na severni strani (levo) in v glavni veži (desno).	6
Slika 9: Vliti oboki in monilitni steber v kleti (levo) in kompaktno kamnito zidovje v kleti (desno).	6
Slika 10: Prerez s prikazom osnovnega sistema nosilne konstrukcije trapeznega vešala s tremi stebri (privzeto po Hrastnik, B., 2015).	7
Slika 11: Tloris podstrešja (privzeto po Hrastnik, B., 2015).	8
Slika 12: Ostrešje.	9
Slika 13: Povezava med okvirjem in kapnima legama, ki nalegata na zunanje zidovje, kritina iz dveh slojev macesnovih skodel s 30 cm prekrivanjem.	10
Slika 14: Nosilna konstrukcija ostrešja z vidnimi dodanimi novejšimi elementi (večinoma smrekovina).	10
Slika 15: Preizkušane pridobljen iz smrekovega lesa kapne lege iz ostrešja z vidno luknjičavostjo.	12
Slika 16: Sajasta lega (levo) in razlika med starimi temnejšimi sajastimi elementi in svetlejšimi elementi (desno).	13
Slika 17: Graf σ - ϵ diagrama za les, kjer obtežba deluje v smeri vlaken.	14
Slika 18: Graf σ - ϵ diagrama za les, kjer obtežba deluje pravokotno na vlakna.	15
Slika 19: Struktura lesa (Žarnič, R., Bosiljkov, V., Bokan Bosiljkov, V., Dujič, B., 2008).	16
Slika 20: Prikaz krčenja in raztezanja pri različnih zajemih osnovnih oblik lesenih elementov iz hlodovine (privzeto po Lohmann. U., 1993)	16
Slika 21: Krčenje in raztezanje lesa v radialni, tangencialni in smeri vzporedno z vlakni (privzeto po Wagenfuhr, R., 1996).	16
Slika 22: Tloris pritličja s prikazom poteka razpok (privzeto po Hrastnik, B., 2015).	18

Slika 23: Razpoke na ometu severnega zidu (1 in 2) in konstrukcijske razpoke na severovzhodnem vogalu severnega zidu (3), ki potekajo po celotni širini zidovja v notranjost.	19
Slika 24: Podprta severovzhodni vogal z 8 cm široko razpoko (levo) in severozahodni vogal s 4 cm široko razpoko (desno).	19
Slika 25 Podprta severovzhodni (levo) in severozahodni vogal (desno).	20
Slika 26: Severni (levo) in južni del zidovja (desno) z naleganjem na skale in temeljnimi tlemi iz prodnate zemljine.	20
Slika 27: Kronološke deformacije in spremembe nosilne konstrukcije ostrešja.	21
Slika 28: Smeri elastičnih modulov E1, E2, E3 (levo) in mehanske lastnosti v SAP2000 (desno).	22
Slika 29: Vzorci za preizkuse.	23
Slika 30: Meritve vzorcev s kljunastim merilom (1) in tehtanje (2). Merjenje vlažnosti z metodo električne upornosti z elektronskim vlagomerom (3), kjer se v preizkušanca vtisneta dve kovinski igli, preko katerih steče električni tok.	24
Slika 31: Skica preizkušanca s prikazom podpor, podložne ploščice in obremenitve (1) (Žarnić, R., Bosiljkov, V., Bokan Bosiljkov, V., Dujič, B., 2007) in upogibni preizkus na univerzalnem merilnem stroju z deformiranim preizkušancem VV1 (2). Vidna je vzporednost med potekom vlaken in obremenitvijo.	25
Slika 32: Graf F-w upogibnega preizkusa VV1 z linearnim delom in merodajnima količinama na tretjinah (F in w).	26
Slika 33: Graf F-w upogibnega preizkusa VV2 z linearnim delom in merodajnima količinama na tretjinah (F in w).	27
Slika 34: Graf F-w upogibnega preizkusa VV3 z linearnim delom in merodajnima količinama na tretjinah (F in w).	27
Slika 35: Vzorci VV1 (popoln prelom), VV2 (centričen prelom) in VV3 (ekscentričen nepopolni prelom) po upogibnem preizkusu.	27
Slika 36: Skica preizkušanca, obremenjenega prečno na vlakna, in podložne ploščice (1) (Žarnić, R., Bosiljkov, V., Bokan Bosiljkov, V., Dujič, B., 2007) in tlačni preizkus na univerzalnem merilnem stroju z deformiranim preizkušancem SRV1 (2). Viden je prečni potek vlaken proti obremenitvi (ploščici).	31
Slika 37: Tlačni preizkus pravokotno na vlakna SRV1 z določeno obremenitvijo $F_c \perp$ in pripadajočim pomikom Δh	32
Slika 38: Tlačni preizkus pravokotno na vlakna SRV2 z določeno obremenitvijo $F_c \perp$ in pripadajočim pomikom Δh	32
Slika 39: Tlačni preizkus pravokotno na vlakna SRV3 z določeno obremenitvijo $F_c \perp$ in pripadajočim pomikom Δh	33

Slika 40: Vnos pridobljenih mehanskih lastnosti v programu Sap2000.	38
Slika 41: Zunanja okvirja (kalkana) z dodatnim sredinskim stebrom do slemenske lege in špirovcema (označeno z modro).	39
Slika 42: Notranja okvirja z dodatnim sredinskim stebrom do razpirače in špirovcema (označeno z modro).	40
Slika 43: Model nosilne konstrukcije v Sap2000 z opisi elementov.	41
Slika 44: Model nosilne konstrukcije v Sap2000 z opisi elementov.	42
Slika 45: Model nosilne konstrukcije s prikazom prenosa obtežbe po elementih.	42
Slika 46: Macesnove skodle.	44
Slika 47: Skica skodel s prekrivanjem.	44
Slika 48: Skica leg s pripadajočimi vplivnimi površinami.	45
Slika 49: Diagram oblikovnega koeficienta μ_i in nagiba strehe α s formulami za enokapnice (privzeto po SIST EN 1991-1-3, slika 5.1, preglednica 5.2).	49
Slika 50: Prikaz razporeda obtežbe snega na dvokapnici z upoštevanjem oblikovnega koeficienta μ_i in nagiba strehe α (privzeto po SIST EN 1991-1-3, slika 5.3).	50
Slika 51: Območna karta Slovenije s karakteristično obtežbo snega na tleh in nadmorskimi višinami A1-M1 v legendi (privzeto po SIST EN 1991-1-3, Nacionalni dodatek).	51
Slika 52: Območna karta Slovenije s karakteristično obtežbo snega na tleh in nadmorskimi višinami A1-M1 v legendi (Agencija Republike Slovenije za okolje).	51
Slika 53: Pogled severne in vzhodne fasade s kotami.	55
Slika 54: Temeljna vrednost osnovne hitrosti vetra $v_{b,0}$	56
Slika 55: Tlaki vetra na ploskve (privzeto po SIST EN 1991-1-4, točka 7.2.2, slika 5.1).	61
Slika 56: Razdelitev sten na področja (privzeto po SIST EN 1991-1-4, točka 7.2.2, slika 7.5).	64
Slika 57: Razdelitev dvokapne strehe na področja (privzeto po SIST EN 1991-1-4, točka 7.2.4, preglednica 7.8).	65
Slika 58: Skica načina upoštevanja tlaka in srka pri napušču za vpliv vetra v smeri y.	67
Slika 59: Skica načina upoštevanja tlaka in srka pri napušču za vpliv vetra v smeri x.	67
Slika 60: Skica načina upoštevanja vpliva vetra s koeficienti za primer W1 in W2 s prikazom načina upoštevanja koeficientov za napušč.	69
Slika 61: Skica načina upoštevanja vpliva vetra s koeficienti za primer W3.	70
Slika 62: Prikaz prenosa obtežbe statičnega sistema trapeznega vešala z dodatnim vmesnim stebrom.	78
Slika 63: Vrtljive podpore osnovnega okvirja.	79
Slika 64: Kratki stebri (1) in prekinjena diagonala (2) v programu.	80
Slika 65: Kratki stebri oz. polena med legama (1) in prekinjena diagonala (2) v realnosti.	80

Slika 66: Ostrežje pred letom 1992; z belo barvo so označeni horizontalni elementi (4 razpirače osnovnih okvirjev in 8 vmesnih kasneje dodajanih poveznikov) v smeri y.	81
Slika 67: Odstranitev gramoznega nasutja, pod stebroma ni podpore.	82
Slika 68: Severna kapna lega, podprta s poleni, računsko vrtljivimi podporami.....	82
Slika 69: Ločen stik srednjih dveh okvirjev in južne kapne lege.	83
Slika 70: Popustita srednji talni legi, plastična členka.	84
Slika 71: Definicija obtežbe in pomikov za Plastični členek 1.....	86
Slika 72: 12 točk za analizo reakcij in pomikov severne kapne lege pri Modelih 1 in 2.....	88
Slika 73: 8 točk za analizo reakcij severne kapne lege pri Modelih 3, 4 in 5.	88
Slika 74: Reakcije A_x pri OK6 za M1.....	89
Slika 75: Reakcije A_y pri OK7 za M1.....	89
Slika 76: Reakcije A_z pri OK6 za M1.....	90
Slika 77: Reakcije A_x pri OK6 za M2.....	90
Slika 78: Reakcije A_y pri OK7 za M2.....	90
Slika 79: Reakcije A_z pri OK6 za M2.....	91
Slika 80: Reakcije A_x pri OK6 za M3.....	91
Slika 81: Reakcije A_y pri OK1 za M3.....	91
Slika 82: Reakcije A_z pri OK6 za M3.....	92
Slika 83: Reakcije A_x pri OK6 za M4.....	92
Slika 84: Reakcije A_y pri OK1 za M4.....	92
Slika 85: Reakcije A_z pri OK6 za M4.....	93
Slika 86: Reakcije A_x pri OK13 za M5.....	93
Slika 87: Reakcije A_y pri OK7 za M5.....	93
Slika 88: Reakcije A_z , min pri OK6 za M5.	94
Slika 89: Reakcije A_z , max pri OK7 za M5.	94
Slika 90: Graf reakcij A_x za Modela 1 in 2.....	96
Slika 91: Graf reakcij A_x za Modele 3, 4 in 5.....	96
Slika 92: Graf reakcij A_y za Modela 1 in 2.....	99
Slika 93: Graf reakcij A_y za Modele 3, 4 in 5.....	99
Slika 94: Graf reakcij A_y (kN) severne kapne lege v SV in SZ vogalu za Modela 1 in 3 pri OK7 oz. OK1.	100
Slika 95: Graf reakcij A_z za Modela 1 in 2.....	103
Slika 96: Graf reakcij A_z za Modele 3, 4 in 5.....	103
Slika 97: Severna kapna lega razdeljena na segmente od a do f za preverjanje pomikov. .	104
Slika 98: Severna kapna lega, podprta s kosi tramov po celotni dolžini.	106
Slika 99: Predlog podpiranja severnega zidovja.	112
Slika 100: Sanacija temeljev.....	113

Slika 101: Drenažna cev vzdolž objekta speljana v odvodni jašek.....	113
Slika 102: Injiciranje stika med temelji in obstoječim zidovjem.....	113
Slika 103: Razbijanje zgornjega dela zidovja s še vidnimi nesaniranimi konstrukcijskimi razpokami severnega zidovja (levo) in izdelava AB venca za kasnejše naleganje ostrešja (desno).....	114

KAZALO PREGLEDNIC

Tabela 1: Delež nekaterih drevesnih vrst v Sloveniji (Zavod za gozdove Slovenije, 2015):...11	
Tabela 2: Primerjava toplotne prevodnosti smrekovine z ostalimi materiali (http://www.engineeringtoolbox.com/ , 2016):.....15	15
Tabela 3: Povprečne fizikalne in mehanske lastnosti (Lopatič, J., 2008):.....17	17
Tabela 4: Izmerjene in izračunane fizikalne lastnosti velikih vzorcev (VV):25	25
Tabela 5: Mehanske lastnosti velikih vzorcev (VV):28	28
Tabela 6: Mehanske lastnosti velikih vzorcev (VV):29	29
Tabela 7: Mehanske lastnosti velikih vzorcev (VV), upoštevajoč standardno vlažnost $H_{st}=12\%$:.....29	29
Tabela 8: Izmerjene in izračunane fizikalne lastnosti srednjih vzorcev (SRV):30	30
Tabela 9: Mehanske lastnosti srednjih vzorcev (SRV):33	33
Tabela 10: Mehanske lastnosti srednjih vzorcev (SRV):34	34
Tabela 11: Rezultati numeričnih preiskav vibracijskih redukcij večnadstropnega objekta z strižnimi moduli in Poissonovimi števili za lesene stebre (privzeto po Caicedo, J., Pakzad, S., 2015).35	35
Tabela 12: Fizikalne lastnosti malih vzorcev (MV):35	35
Tabela 13: Trdnostni razredi – karakteristične in projektne vrednosti (privzeto po Lopatič, J., 2009):.....36	36
Tabela 14: Primerjava med mehanskimi lastnostmi smrekovine iz ostrešja Šenkove domačije (levo) in karakterističnimi vrednostmi (trdnostni razredi) iglavcev z oznako C24 po (desno) (privzeto po Lopatič, J., 2009):37	37
Tabela 15: Povprečne vrednosti mehanskih lastnosti stare smrekovine za vnos v Sap2000.38	38
Tabela 16: Poissonovi količniki za vnos v Sap2000.38	38
Tabela 17: Linijske obtežbe lastne teže na lege za vnos v Sap2000:46	46
Tabela 18: Preglednica kategorije streh (privzeto po SIST EN 1991-1-1, točka 6.3.4.1):47	47
Tabela 19: Preglednica koristne obtežbe streh kategorije H (privzeto po SIST EN 1991-1-1, točka 6.3.4.2, preglednica 6.10):47	47
Tabela 20: Linijske koristne obtežbe na lege za vnos v Sap2000:48	48
Tabela 21: Vrednosti koeficientov izpostavljenosti C_e za različne vrste terena (privzeto po SIST EN 1991-1-3, točka 5.2).50	50
Tabela 22: Linijske obtežbe snega S1 na lege polne vrednosti po celotni strehi za vnos v Sap2000:.....53	53
Tabela 23: Linijske obtežbe snega S2 na lege polovične vrednosti na levi strešini in polne vrednosti na desni strešini za vnos v Sap2000:53	53

Tabela 24: Linijske obtežbe snega S3 na lege polne vrednosti na levi strešini in polovične vrednosti na desni strešini za vnos v Sap2000:	54
Tabela 25: Kategorije terena s terenskimi parametri (privzeto po SIST EN 1991-1-4, točka 4.3.2, preglednica 4.1):.....	58
Tabela 26: Priporočene vrednosti koeficientov zunanjega tlaka za navpične stene stavb s pravokotnim tlorisom (privzeto po SIST EN 1991-1-4, točka 7.2.2, preglednica 7.1):.....	64
Tabela 27: Priporočene vrednosti koeficientov zunanjega tlaka za dvokapne strehe (privzeto po SIST EN 1991-1-4, točka 7.2.5, preglednica 7.4a):.....	66
Tabela 28: Priporočene vrednosti koeficientov zunanjega tlaka za dvokapne strehe (privzeto po SIST EN 1991-1-4, točka 7.2.5, preglednica 7.4b):.....	66
Tabela 29: Koeficienti $c_{pe,10}$ za veter v smeri osi y:	68
Tabela 30: Koeficienti $c_{pe,10}$ za veter v smeri osi y:	68
Tabela 31: Koeficienti $c_{pe,10}$ za veter v smeri osi x:	68
Tabela 32: Koeficienti $c_{pe,10}$ za veter v smeri osi x:.....	68
Tabela 33: Zunanjski tlak in srk, notranji srk in obtežba vetra na navpične stene pri vetru v smeri osi y za W1, W2 in W3:.....	70
Tabela 34: Zunanjski tlak na privetni strani in srk na zavetrni strani ter notranji srk in obtežba vetra na navpične stene pri vetru v smeri osi y za W1:.....	70
Tabela 35: Zunanji in notranji srk in obtežba vetra na navpične stene pri vetru v smeri osi y za W2:.....	71
Tabela 36: Zunanji in notranji srk in obtežba vetra na navpične stene pri vetru v smeri osi x za W3:.....	71
Tabela 37: Kombinacije vpliva zunanjega in notranjega vetra za W1, W2, W3:	71
Tabela 38: Kombinacije vpliva zunanjega in notranjega vetra za W1:.....	71
Tabela 39: Kombinacije vpliva zunanjega in notranjega vetra za W2:.....	72
Tabela 40: Kombinacije vpliva zunanjega in notranjega vetra za W3:.....	72
Tabela 41: Linijske obtežbe vetra za W1 in W2 za področje A in B:.....	72
Tabela 42: Linijske obtežbe vetra za W1:	73
Tabela 43: Linijske obtežbe vetra za W2:	73
Tabela 44: Kombinacije vpliva zunanjega in notranjega vetra za W3:.....	73
Tabela 45: Linijske obtežbe vetra za W3 za področji F in G:.....	74
Tabela 46: Linijske obtežbe vetra za W3 za področje H:	74
Tabela 47: Linijske obtežbe vetra za W3 za področje I:.....	75
Tabela 48: Linijske obtežbe za napušč za W1 in W2 za področji A in B:	75
Tabela 49: Linijske obtežbe za napušč za W1 in W2 za področji D in E:	75
Tabela 50: Linijske obtežbe za napušč za W3 za področji A in B:	76

Tabela 51: Linijske obtežbe za napušč za W3 za področje D:	76
Tabela 52: Linijske obtežbe za napušč za W3 za področje E:	76
Tabela 53: Obtežne kombinacije, ki jih uporabimo pri statični analizi v programu Sap2000 (OK; i = 1-24):.....	77
Tabela 54: Osne sile Stebra 1 in Stebra 2 iz Modela 1:	84
Tabela 55: Največje in najmanjše vrednosti reakcij A_x za Modela 1 in 2.	94
Tabela 56: Največje in najmanjše vrednosti reakcij A_x za Modele 3, 4 in 5.	94
Tabela 57: Reakcije A_x (kN) severne kapne lege za Modela 1 in 2 pri OK7.	95
Tabela 58: Reakcije A_x (kN) severne kapne lege za Modela 1 in 2 pri OK6.	95
Tabela 59: Reakcije A_x (kN) severne kapne lege za Modele 3, 4 in 5 pri OK7 in OK13.	95
Tabela 60: Reakcije A_x (kN) severne kapne lege za Modele 3, 4 in 5 pri OK6.	95
Tabela 61: Največje in najmanjše vrednosti reakcij A_y za Modela 1 in 2.	97
Tabela 62: Največje in najmanjše vrednosti reakcij A_y za Modele 3, 4 in 5.	97
Tabela 63: Reakcije A_y (kN) severne kapne lege za Modela 1 in 2 pri OK6.	98
Tabela 64: Reakcije A_y (kN) severne kapne lege za Modela 1 in 2 pri OK7.	98
Tabela 65: Reakcije A_y (kN) severne kapne lege za Modele 3, 4 in 5 pri OK6.	98
Tabela 66: Reakcije A_y (kN) severne kapne lege za Modele 3, 4 in 5 pri OK1.	98
Tabela 67: Reakcije A_y (kN) severne kapne lege v SV in SZ vogalu za Modela 1 in 3 pri OK6 oz. OK1.	100
Tabela 68: Največje in najmanjše vrednosti reakcij A_z za Modela 1 in 2.	101
Tabela 69: Največje in najmanjše vrednosti reakcij A_z za Modele 3, 4 in 5.	101
Tabela 70: Reakcije A_z (kN) severne kapne lege za Modela 1 in 2 pri OK7.	102
Tabela 71: Reakcije A_z (kN) severne kapne lege za Modela 1 in 2 pri OK6.	102
Tabela 72: Reakcije A_z (kN) severne kapne lege za Modele 3, 4 in 5 pri OK7.	102
Tabela 73: Reakcije A_z (kN) severne kapne lege za Modele 3, 4 in 5 pri OK6.	102

1.0 UVOD

1.1 OPIS OBJEKTA

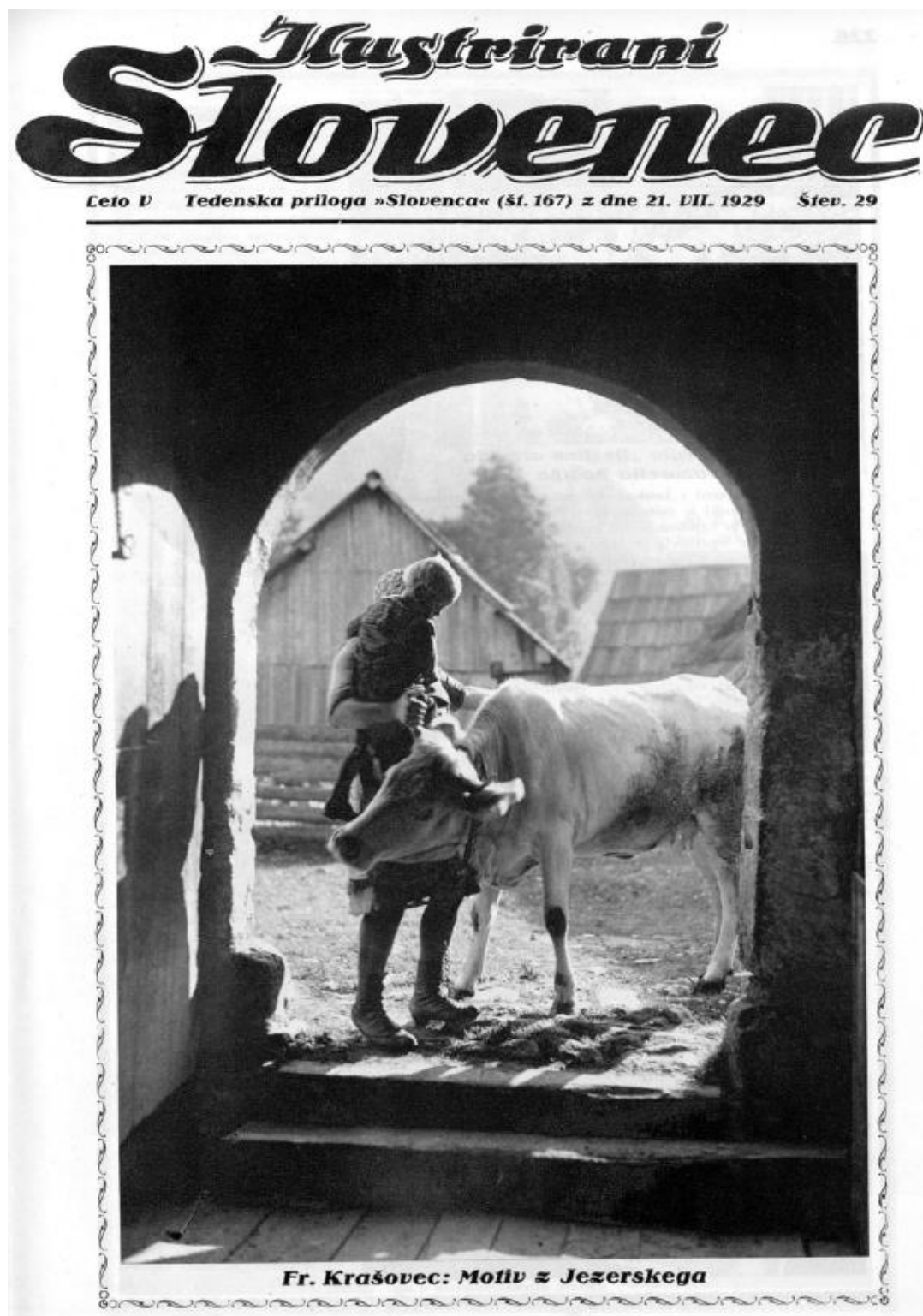
Takoj ob prihodu na domačijo je bilo začutiti nekdanjo mogočnost te kmetije. Na Jezersko (slika 3) smo se napotili še pod vplivom obiska *Zavoda za varstvo kulturne dediščine*, Območne enote Kranj, ki so nam z vnemo razlagali o eni najbolj omenjanih domačij na Slovenskem in želji, da bi končno razvozlali zgodovinsko ozadje in presenetljivo mogočno arhitekturno zasnovo ter poiskali najboljšo rešitev za rekonstrukcijo obravnavane Šenkove hiše.



Slika 1: Šenkova domačija na Zgornjem Jezerskem z obravnavano Šenkovo hišo (druga z desne) (<http://www.senkovadomacija.si/>, 2016).

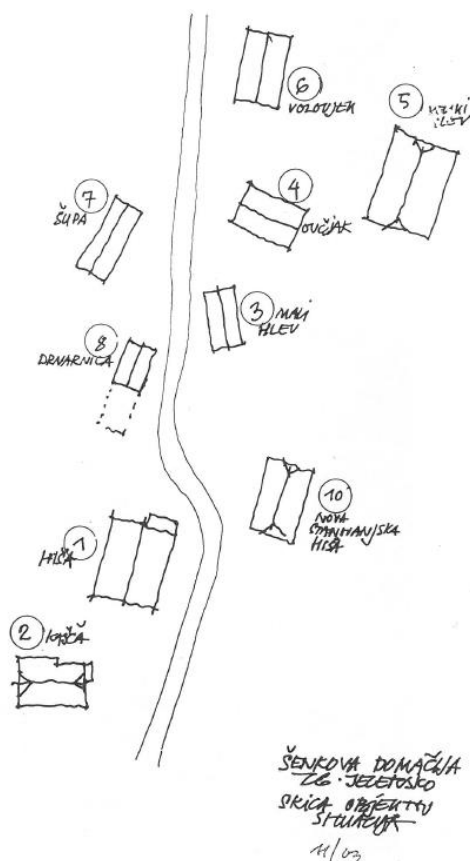


Slika 2: Šenkova domačija na Zgornjem Jezerskem z začasnimi horizontalnimi podporami poškodovanega severnega zidu.



Slika 3: Motiv z Jezerskega, vhodni portal (Krašovec, F., 1929).

Domačija je bila svoje čase ena premožnejših samooskrbnih kmetij na Jezerskem, o čemer pričajo številni še ohranjeni objekti, ki so služili vsak svojemu gospodarskemu namenu (slika 4).



Slika 4: Skica situacije Šenkove domačije s Šenkovo hišo (1) (osebna komunikacija z Zavodom za varstvo kulturne dediščine OE Kranj).

Predvsem pa o mogočnosti kmetije priča Šenkova hiša (v nadaljevanju hiša), katere datum nastanka ni zabeležen. Po ugotavljanjih arhitekta Marjana Mušiča naj bi jo sezidali okoli leta 1517, etnolog Ivan Sedej pa je zaradi oblike obokov v veži (slika 5) mnenja, da je nastala kasneje, in sicer okoli leta 1613. Po Sedeju bi hišo lahko postavili v 17. stoletje tudi zaradi značilnih poznogotskih vhodnih kamnitih portalov (slika 6) in okenskih okvirjev s posnetimi robovi (Cevc, T., Primožič, I. 1988).

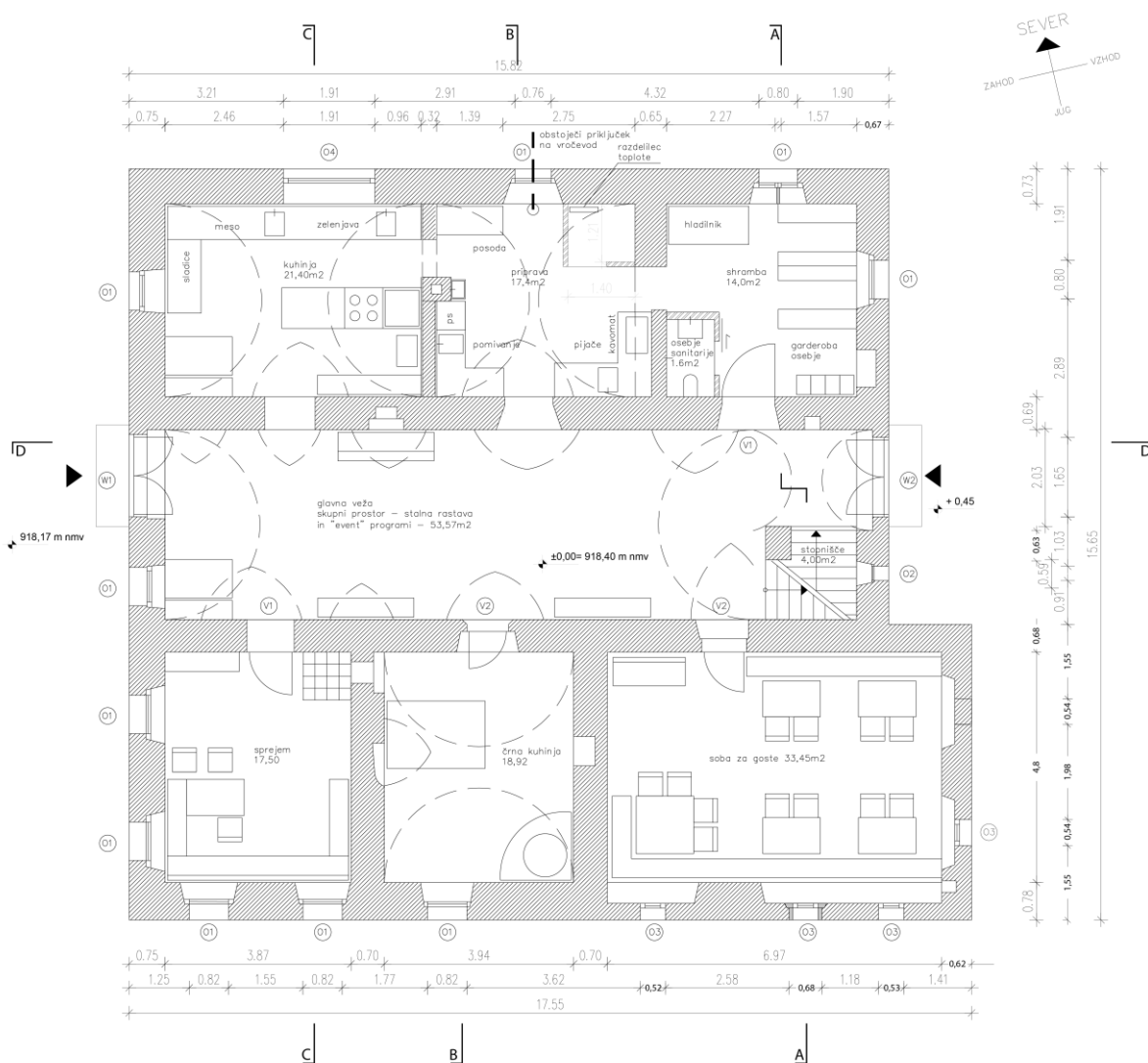


Slika 5: Oboki v veži.



Slika 6: Vzhodna stran hiše, vhod s kamnitim portalom in okenskim okvirjem (Fister, P., 1969).

Hiša je sestavljena iz dveh delov. Spodnji pritlični del (slika 7) je simetričnega kvadratnega tlorisa (15,35 m x 15,325 m) in je narejen iz zelo kompaktnega in neporoznega 71-75 cm debelega kamnitega zidovja (slika 8), ki nima temeljev, temveč je postavljen direktno na skalnato podlago na južni in skale v prodnati zemljini na severni strani objekta. Osrednji del predstavlja dolga obokana veža, ki poteka vzdolž celotne hiše v smeri vzhod-zahod. Na levi in desni strani veže so po tri sobe. Kuhinja, štiblca in črna kuhinja so banjasto obokani prostori. Shramba je edini prostor, nad katerim je še lesen strop s smrekovimi tramovi. V sprejemni sobi in sobi za goste so bili ti zamenjani z armirano betnosko ploščo. Podkleten je le jugovzhodni del stavbe. Kletni oboki so vlti, nosi jih monolitni steber (slika 9 in 10).



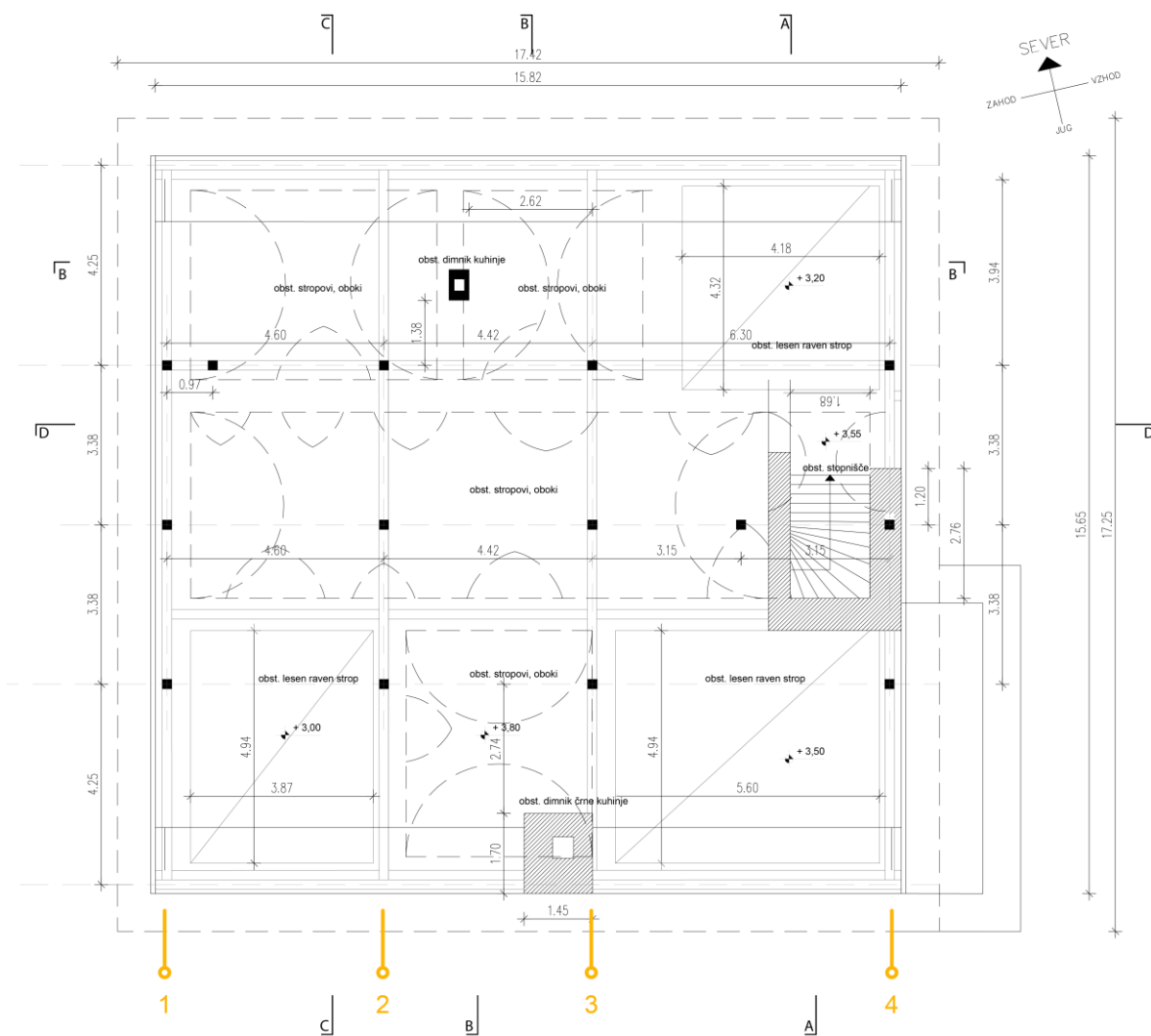
Slika 7: Tloris pritličja (privzeto po Hrastnik, B., 2015).



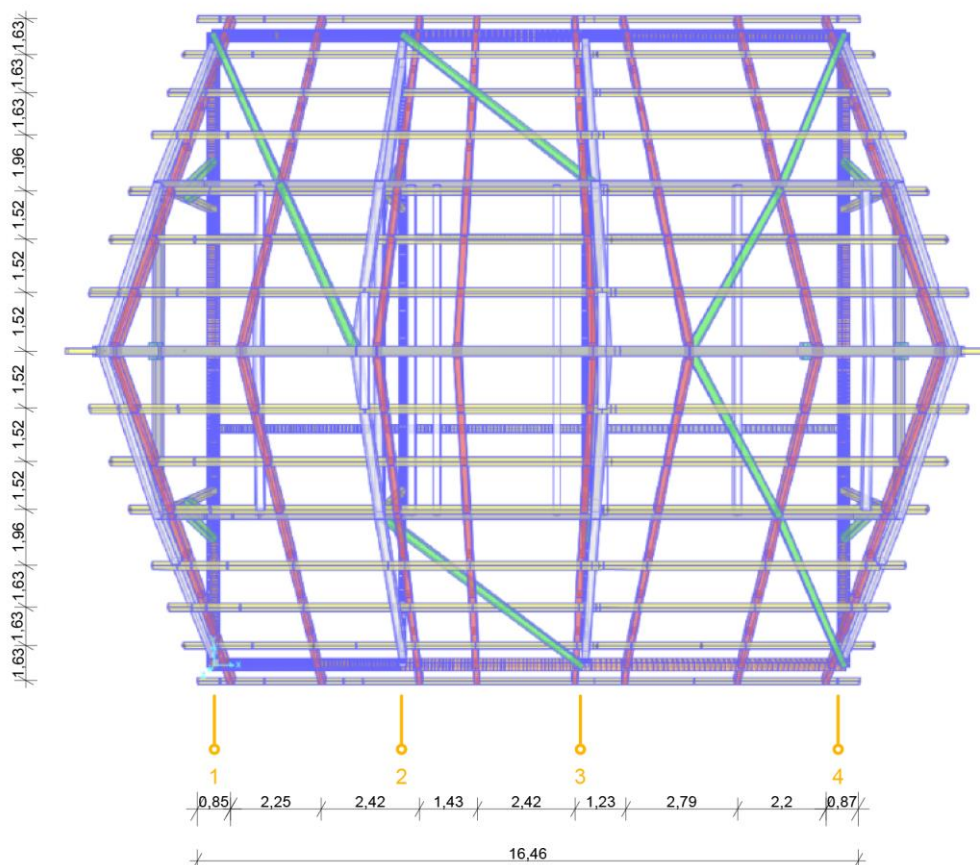
Slika 8: Kompaktno kamnito zidovje brez ometa v sobi na severni strani (levo) in v glavni veži (desno).



Slika 9: Vliti oboki in monilitni steber v kleti (levo) in kompaktno kamnito zidovje v kleti (desno).



Slika 11: Tloris podstrešja (privzeto po Hrastnik, B., 2015).



Slika 12: Ostrešje.

Zunanje dvojne kapne lege (položene ena na drugo) so med seboj povezane in se nalegajo na zunanje zidovje. Spodnja lega vsakega posameznega okvirja je z obeh strani položena v naprej pripravljeno luknjo med kapnima legama (slika 12). Okvirji so med seboj povezani z legami levo, desno, in z zgornjo slemensko lego (slika 13). Po celotni dolžini je na vsaki strešini poleg štirih špirovcev osnovnih okvirjev postavljenih še osem dodatnih špirovcev. Pravokotno nanje je na vsaki strešini poleg slemenske lege pritrjenih še sedem vmesnih leg, na katere so pribite macesnove skodle.

Skozi čas se je nosilna konstrukcija ostrešja spreminjala, dodajali so se novi elementi in menjavali stari. Vedno pa se je ohranila doslednost uporabe smrekovine za nosilne elemente in macesnov les za kritino.



Slika 13: Povezava med okvirjem in kapnima legama, ki nalegata na zunanje zidovje, kritina iz dveh slojev macesnovih skodel s 30 cm prekrivanjem.



Slika 14: Nosilna konstrukcija ostrešja z vidnimi dodanimi novejšimi elementi (večinoma smrekovina).

1.1 LES

1.1.1 Splošno o lesu

Les človeka spremlja že od samega obstoja. Zaradi njegove vsestranske uporabnosti in dostopnosti (tabela 1) ga je kot enega najpomembnejših gradbenih materialov uporabljal za ogrevanje, izdelavo orodja, orožja in nenazadnje tudi za izdelavo papirja.

Tabela 1: Delež nekaterih drevesnih vrst v Sloveniji (Zavod za gozdove Slovenije, 2015):

Drevesna vrsta	Delež v Sloveniji (%)
bukev	32,2
smreka	30,9
jelka	7,5
hrast	7,0
bor	5,7
macesen	1,2

Dobre mehanske lastnosti, lahka obdelava in razmeroma majhna lastna teža lesa v primerjavi z njegovo nosilnostjo ga še vedno uvrščajo v sam vrh najbolj uporabljanih konstrukcijskih materialov. Poleg vrste je les odvisen tudi od pogojev oziroma od okolja, v katerem se nahaja. Predvsem je njegova uporaba pogosta in smotrna v okolju z nespremenljivimi pogoji, kjer se njegova trajnost ob pravilni izvedbi detajlov še poveča. Trajnost tu pomeni časovno obdobje, v katerem lahko les ohranja svoje naravne karakteristike. Dober primer je uporaba lesenih pilotov za izdelavo kolišč že okoli leta 5000 pred našim štetjem na območju okoli današnjih Alp. Podobno so uporabljali lesene kole na območju Ljubljanskega barja tudi mostiščarji. Ti leseni koli v vodi (torej v nespremenljivih pogojih) so nad seboj nosili bivalne konstrukcije tudi po več kot 500 let. Les v izmenljivih pogojih hitro propade, zato je za podaljšanje njegove življenjske dobe zaželjena izpostavljenost svetlobi in prezračevanost prostora, v katerem se nahaja.

Vlažnost lesa je zelo pomembna fizikalna lastnost, saj močno vpliva na mehanske lastnosti lesa. Neposredno je povezana s poroznostjo; večji kot je delež por v lesu, več je možnosti, da bo vlažnost lesa višja. Zato je sušenje lesa eno najpomembnejših postopkov v lesarstvu.

Naravnost in organskost materiala dajeta človeku ugoden psihološki občutek in omogočata prijetno in toplo bivalno okolje. Ravno organskost materiala pa pokaže tudi na negativne plati lesa. Predvsem gre tu za razne škodljivce in bolezni. Larve, hišni kozlički, navadni trdoglavci,

glivice in bakterije so le nekatere izmed žuželk in njihovih ličink, ki poleg plesni, lesnih gob in gliv tvorijo glavne razkrojevalce. Ti predstavljajo pomemben člen v naravnem biološkem krogu, saj skrbijo za hitro in temeljito dekompozicijo in s tem prehod iz organskih v mineralne snovi, torej v novo rodovitno zemljo. V konstrukcijskem lesu so lesni škodljivci nezaželeni. Na različne načine uničujejo uporaben les in nižajo njegovo kakovost in slabšajo mehanske lastnosti. Pri konkretnem primeru smrekovega lesa iz hišnega ostrešja je na nekaterih elementih vidna luknjičavost, ki je posledica lesnega škodljivca. Tak les strohni, zmanjšajo se mu gostota, trdnost in elastični modul, poveča pa se mu deformabilnost (slika 14). To lahko velikokrat pripelje do velikih deformacij in na koncu do same porušitve. Zato je potrebno take elemente takoj zamenjati.



Slika 15: Preizkušavec pridobljen iz smrekovega lesa kapne lege iz ostrešja z vidno luknjičavostjo.

Les se proti škodljivcem najpogosteje zaščiti z impregniranjem z različnimi kemijskimi sredstvi (barve, premazi, laki...). Eden izmed prijemov zaščite proti lesnim škodljivcem pa je tudi žganje oziroma osajevanje lesa. Ostanke takega prijema so vidni na hišnem ostrešju (slika 15). S tem načinom so na površini lesenih elementov ustvarili trd, črn, ogljikov sloj saj, ki je preprečeval penetracijo škodljivih žuželk. Podobne obloge najdemo v dimniških tuljavah. S pomočjo črne kuhinje so skozi luknjo v kamnitem oboku nad njo kontrolirano spuščali dim na ostrešje.



Slika 16: Sajasta lega (levo) in razlika med starimi temnejšimi sajastimi elementi in svetlejšimi elementi (desno).

1.1.2 Fizikalne lastnosti lesa

Izrazita anizotropnost materiala se poleg same strukture kaže tudi v fizikalnih in mehanskih lastnostih, ki so prav tako različne v različnih smereh. Predvsem je pomembna širina branike. Večja kot je širina, manjšo trdnost ima les. Jesenski les je precej trši od spomladanskega, ta ima veliko večjo gostoto in vsebnost vode.

Les dosega največjo trdnost glede normalnih napetosti v smeri, ki je vzporedna z vlakni, najmanjšo pa v smeri, ki je pravokotna na vlakna (2) (radialna oziroma tangencialna smer).

$$f_{t,0} \leq f_{t,\alpha} \leq f_{t,90} \quad (2)$$

$f_{t,0}$ normalne napetosti v smeri vlaken

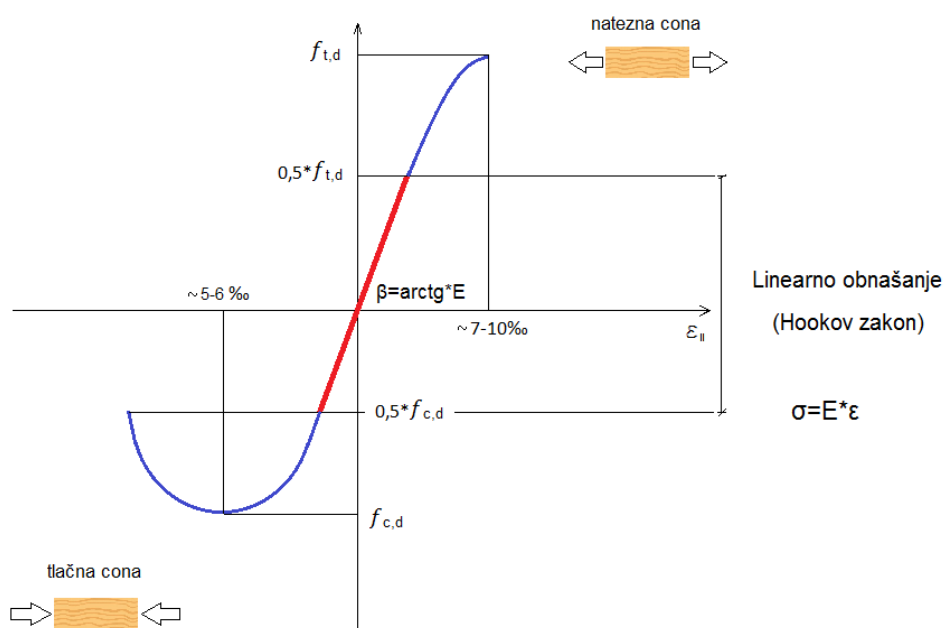
$f_{t,\alpha}$ normalne napetosti pod kotom α na vlakna

$f_{t,90}$ normalne napetosti pravokotno na vlakna

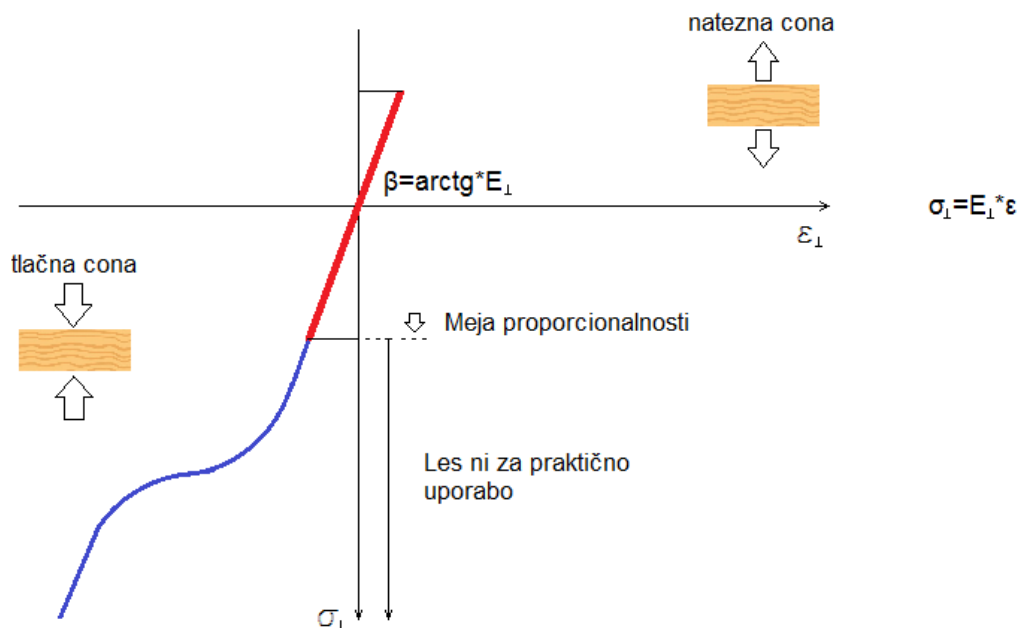
Skozi eksperimentalno pridobljene zveze med napetostmi in deformacijami (σ - ϵ) pri porušitvenih preizkusih lesenih vzorcev velja kljub siceršnjem velikem raztrosu rezultatov, da prihaja do linerano-elastičnega obnašanja lesa. To velja za vse smeri delovanja napetosti na preizkušance, vendar do približno polovične vrednosti $\approx 0,5 \times f$. Za les, kjer obtežba deluje v smeri vlaken, velja, da v natezni coni pride do porušitve pri deformaciji 7-10 ‰. V tlačni coni do porušitve pride pri deformaciji 5-6 ‰ (slika 17).

Za dimenzioniranje in računanje pomikov lesenih konstrukcij, kjer gre za napetosti velikostnega razreda veliko nižjega od vrednosti polovične trdnosti, lahko pri normalnih napetostih uporabljamo Hookov zakon. Preko upogibne trdnosti pri statični obtežbi lahko preizkušancem po standardu EN 408:1995 preko F-w diagrama s pomočjo Hookovega zakona določimo elastični modul E_1 po spodnji formuli (1). Preko tlačne trdnosti prečno na vlakna pa lahko prav tako po formuli (1) določimo elastična modula E_2 in E_3 po standardu EN 408:1995, (glej poglavje 2. Laboratorijske preiskave mehanskih lastnosti smrekovega lesa).

$$\sigma = E_1 \times \varepsilon \rightarrow E_1 = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (1)$$



Slika 17: Graf σ - ε diagrama za les, kjer obtežba deluje v smeri vlaken.



Slika 18: Graf σ - ϵ diagrama za les, kjer obtežba deluje pravokotno na vlakna.

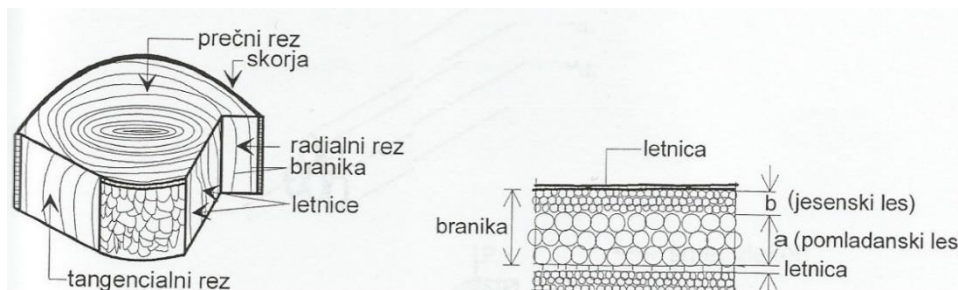
Les ima pri razmeroma velikih dimenzijah, v nasprotju s splošnim prepričanjem, relativno dobro požarno odpornost. Pri požaru elementi izgubljajo volumen, zunanja vlakna pa oglenijo. Dobra lastnost je, da slabo prevaja toploto, kar pomeni, da se temperatura v notranjosti lesenega elementa, ki je izpostavljen požaru, bistveno ne spremeni. Zaradi majhne toplotne prevodnosti lahko jedro elementa ohranja svoje mehanske lastnosti dlje časa (tabela 2), torej dolgo kljubuje požaru.

Tabela 2: Primerjava toplotne prevodnosti smrekovine z ostalimi materiali (<http://www.engineeringtoolbox.com/>, 2016):

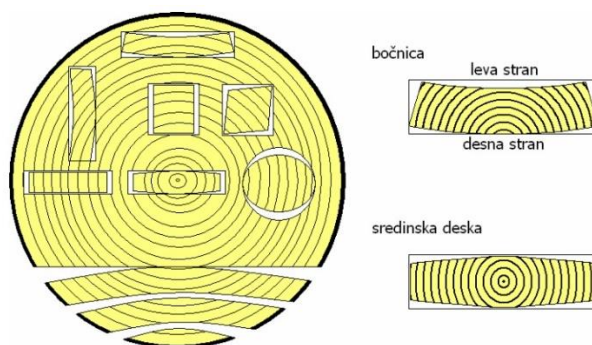
prevodnost λ	[W/mK]
jeklo	43
beton	1,0 - 1,8
apnenec	1,26 - 1,33
okensko steklo	0,96
hrastovina	0,17
zemljina	0,15
smrekovina	0,13
stiropor	0,03
zrak (pri 20°)	0,024

Toplotna prevodnost je odvisna od vlažnosti lesa in od smeri prevajanja toplote. Les ima namreč veliko večjo toplotno prevodnost v smeri na vlakna kot pravokotno nanje zaradi manjše gostote branik in večje vsebnosti vode v primerjavi z letnicami (slika 18). Zaradi tega se

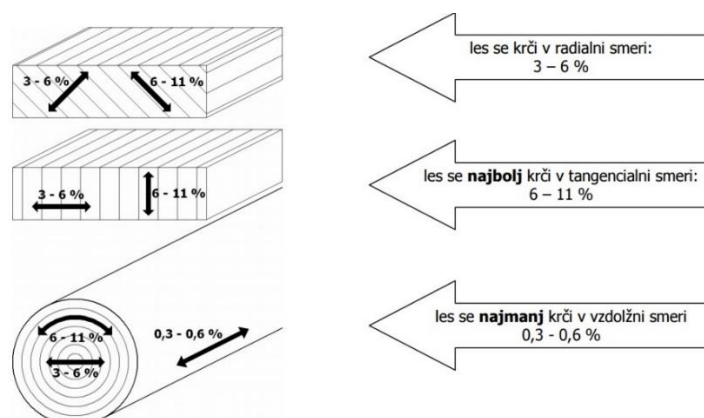
spomladanski les veliko bolj krči in razteza od jesenskega (slika 19 in 20). V splošnem poznamo povezavo med vzdolžnim, radialnim in tangencialnim krčenjem in raztezanjem kot razmerje s približnimi vrednostmi 1: 10 : 20. Gradbeni les naj bi imel vlažnost 13-17 %.



Slika 19: Struktura lesa (Žarnić, R., Bosiljkov, V., Bokan Bosiljkov, V., Dujčič, B., 2008).



Slika 20: Prikaz krčenja in raztezanja pri različnih zajemih osnovnih oblik lesenih elementov iz hlodovine (privzeto po Lohmann. U., 1993) .



Slika 21: Krčenje in raztezanje lesa v radialni, tangencialni in smeri vzporedno z vlakni (privzeto po Wagenfuhr, R., 1996).

1.1.3 Mehanske lastnosti smrekovega lesa

Smreka je najbolj pogosta lesna vrsta pri nas in spada (podobno kot bor, jelka in lipa) med zelo mehke vrste lesa po trdoti (odpornost proti vtiskanju drugega tršega materiala). Je razmeroma prožen les z nizko gostoto v suhem stanju $\rho = 300-450 \text{ kg/m}^3$ (tabela 3). Je zelo dostopna, uporabna, poceni in zato pogosta izbira za nosilno konstrukcijo.

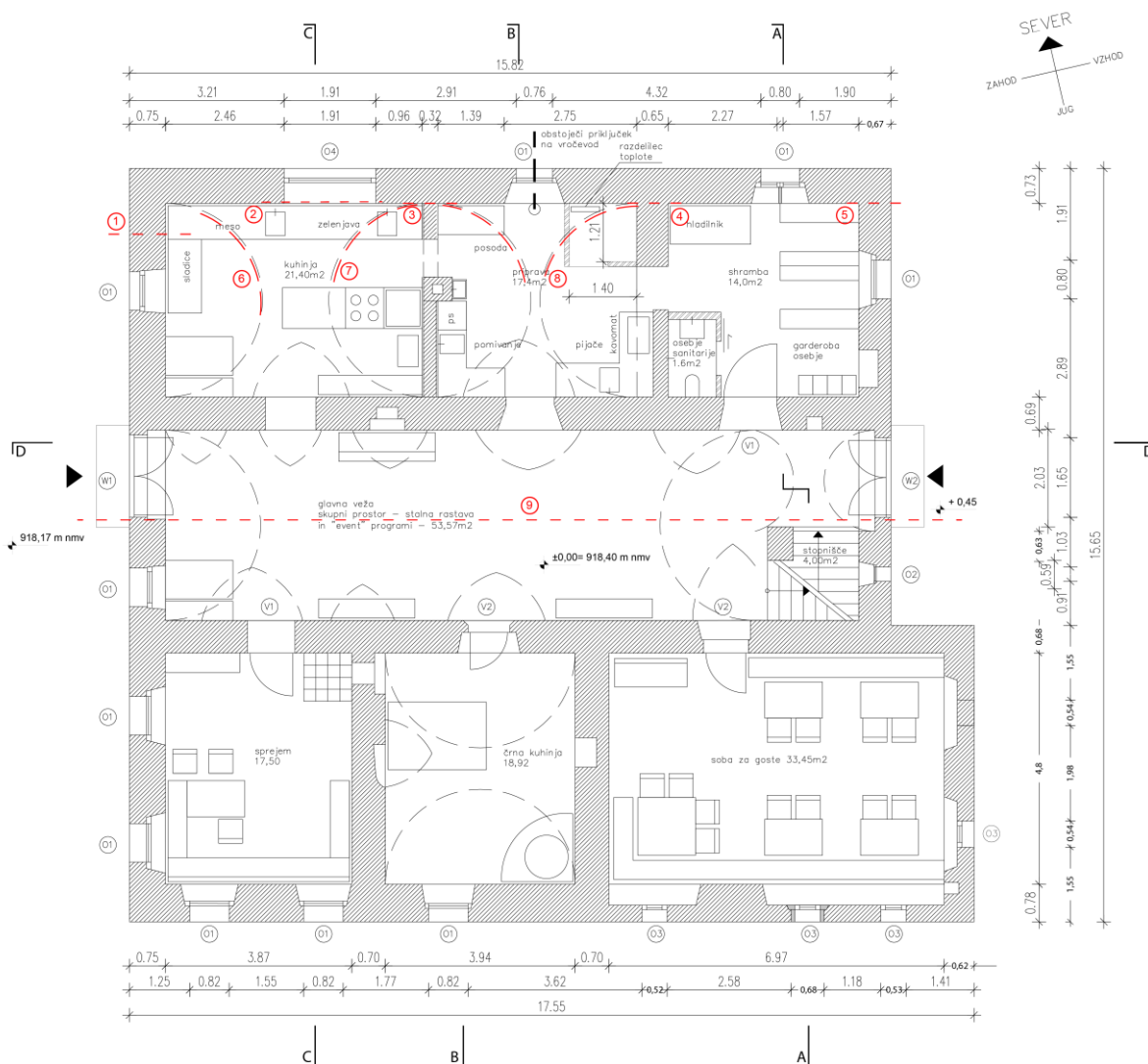
Tabela 3: Povprečne fizikalne in mehanske lastnosti (Lopatič, J., 2008):

Gostota ρ	300-450	kg/m^3
Trdota	3,5	kN/cm^2
Upogibna trdnost vzporedno z vlakni $f_{t\parallel}$	9-12	kN/cm^2
Upogibna trdnost pravokotno na vlakna $f_{t\perp}$	0,15-0,2	kN/cm^2
Tlačna trdnost vzporedno z vlakni $f_{c\parallel}$	3,0-4,5	kN/cm^2
Tlačna trdnost pravokotno na vlakna $f_{c\perp}$	0,6	kN/cm^2
Strižna trdnost f_v	0,4-1,2	kN/cm^2
Elastični modul vzporedno z vlakni E1	700-1400	kN/cm^2
Elastični modul pravokotno na vlakna E2=E3	23-47	kN/cm^2
Strižni modul G	44-88	kN/cm^2
Poissonovo število μ	0,3	

1.2 OPREDELITEV PROBLEMA

Izmerili, zabeležili in poslikali smo razpoke na zunanjem in notranjem zidovju. Po celotni hiši so vidne manjše razpoke na ometu (1-3 mm) in večje konstrukcijske razpoke (0,3-8 cm) (slika 21).

V najslabšem stanju je severno zidovje (slika 22), ki se je ločilo od ostale konstrukcije. Tam razpoke potekajo v notranjost objekta. Zato sta začasno podprta najbolj kritična dela: vzhodni in zahodni vogal (slika 23 in slika 24).



Slika 22: Tloris pritličja s prikazom poteka razpok (privzeto po Hrastnik, B., 2015).

Razpoke na zidovju (slika 21):

- 1 konstrukcijska razpoka oz. popolnoma ločen stik (3,5 cm)
- 2 konstrukcijska razpoka nad oknom (1,5 cm)
- 3 ločen stik med severnim zidovjem in notranjo nosilno steno (1,5 cm)
- 4 nekonstrukcijske razpoke na zgornji strani oboka (5 mm)
- 5 konstrukcijska razpoka (4 cm)
- 6 nekonstrukcijske razpoke (8 mm)
- 7 konstrukcijska razpoka (1,5 cm)
- 8 konstrukcijska razpoka (1,5 cm)
- 9 nekonstrukcijske razpoke na zgornji strani oboka (5 mm).

V nadaljevanju bomo preverili, v kolikšni meri je deformacija ostrejša prispevala k poškodbam severnega zidovja. Ta stoji neposredno na skalah brez temeljev, pod njimi je prodnata zemljina (slika 25). Južna stran ima na nekaterih delih ločen stik s temeljnimi tlemi, vendar je brez konstrukcijskih razpok. V notranjosti objekta se konstrukcijske razpoke pojavljajo le vzdolž severne strani, redke nekonstrukcijske razpoke je opaziti na osrednjem delu, kjer gre predvsem za popokan omet.



Slika 23: Razpoke na ometu severnega zidu (1 in 2) in konstrukcijske razpoke na severovzhodnem vogalu severnega zidu (3), ki potekajo po celotni širini zidovja v notranjost.



Slika 24: Podprta severovzhodni vogal z 8 cm široko razpoko (levo) in severozahodni vogal s 4 cm široko razpoko (desno).



Slika 25 Podprta severovzhodni (levo) in severozahodni vogal (desno).



Slika 26: Severni (levo) in južni del zidovja (desno) z naleganjem na skale in temeljnimi tlemi iz prodnate zemljine.

Poleg velikih poškodb severnega zidovja je precej poškodovano tudi ostrešje. Na osnovi pogovora z lastnikoma so se poškodbe ostrešja najverjetneje kronološko dogajale po naslednjem vrstnem redu:

1. Prvotno stanje (najverjetneje pred letom 1992);
2. Odstranitev gramoza s podstrešja, vmesni legi srednjih dveh okvirjev trapeznega vešala ne nalegata več po celotni dolžini (slika 27, 2), pojavi se točkovna sila v povezniku (slika 27, 5);
3. Kapna lega severnega zidovja ne nalega več po celotni dolžini, podprta je točkovno (slika 27, 3);
4. Popustita stika srednjih dveh okvirjev trapeznega vešala z južno kapno lego (slika 27, 4);
5. Pojavi se mrtvo vešalo na srednjih dveh okvirjih – severna stebra srednjih dveh okvirjev prelomita spodnji legi (slika 27, 5);



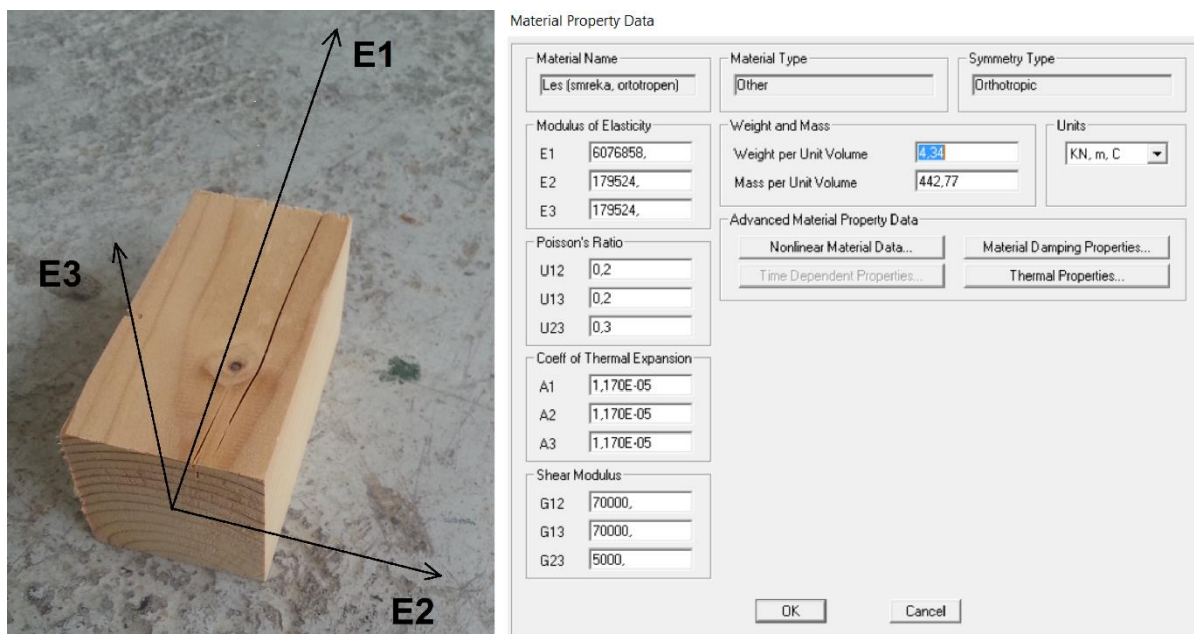
Slika 27: Kronološke deformacije in spremembe nosilne konstrukcije ostrešja.

2.0 LABORATORIJSKE PREISKAVE MEHANSKIH LASTNOSTI STAREGA SMREKOVEGA LESA

2.1 MEHANSKE LASTNOSTI

Mehanske karakteristike tako starega smrekovega lesa je v literaturi težko najti. Potrebno je bilo opraviti laboratorijske preiskave za pridobitev naslednjih lastnosti, ki so bile potrebne za statično analizo v programu SAP2000 (slika 28):

- Prostorninska masa (kg/m^3)
- Prostorninska teža (kN/m^3)
- Elastični modul vzporedno z vlakni E1 (v smeri x)
- Elastični modul pravokotno na vlakna E2 (v smeri y)
- Elastični modul pravokotno na vlakna E3 (v smeri z)
- Strižni modul G12
- Strižni modul G13
- Strižni modul G23



Slika 28: Smeri elastičnih modulov E1, E2, E3 (levo) in mehanske lastnosti v SAP2000 (desno).

2.2 VZORCI

Iz kosa lege in dveh rok srednjega osnovnega okvirja ostrešja so za potrebe preizkušanja in pridobivanja mehanskih lastnosti pridobljeni naslednji vzorci (slika 29):

- 7 malih vzorcev (MV) z dimenzijami 50 x 50 x 100 mm,
- 5 srednjih vzorcev (SRV) z dimenzijami 50 x 50 x 150 mm,
- 3 veliki vzorci (VV) z dimenzijami: 50 x 50 x 800 mm.



Slika 29: Vzorci za preizkuse.

S kljunastim merilom so bile izmerjene dejanske dimenzije vseh vzorcev za izračun prostornine posameznega vzorca (3). Nato so bili vsi preizkušanci stehtani. S pomočjo teh dveh podatkov pridemo do gostote (4). Z elektronskim merilcem vlažnosti je bila izmerjena vlaga posameznih vzorcev (slika 30).

$$V = abh \text{ (mm}^3\text{)} \quad (3)$$

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (4)$$

- a, b stranici kvadrata osnovne ploskve
h višina kvadratne prizme
V prostornina vzorca
m teža vzorca
ρ gostota vzorca



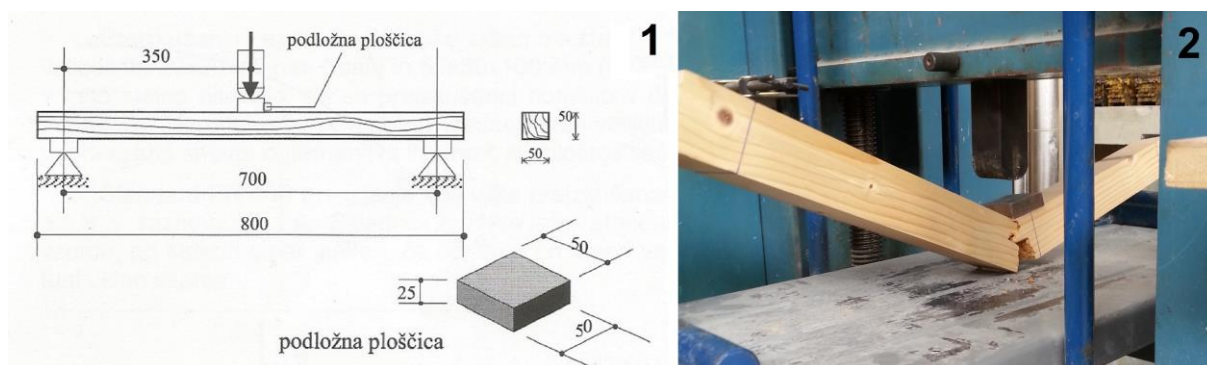
Slika 30: Meritve vzorcev s kljunastim merilom (1) in tehtanje (2). Merjenje vlažnosti z metodo električne upornosti z elektronskim vlagomerom (3), kjer se v preizkušanca vtisneta dve kovinski igli, preko katerih steče električni tok.

2.2.1 Račun elastičnih modulov (E1, E2 in E3)

2.2.1.1 Upogibna trdnost pri statični obtežbi (izračun E1)

Za izračun elastičnega modula E1 v smeri osi x so potrebne meritve upogibne natezne trdnosti pri statični obtežbi. Za ta izračun so uporabljeni trije veliki vzorci (VV1, VV2, VV3) dimenzij 50 x 50 x 800 mm. Gre za standardizirane preiskave vzorcev v skladu s standardom EN 408:1995.

Z univerzalnim preizkuševalnim strojem opravimo upogibni preizkus. Na razponu 700 mm, torej 50 mm od vsakega roba, se podpre preizkušanca. Statično obtežbo se enakomerno nanaša preko podložne kovinske ploščice (50 x 50 x 25 mm) na sredino preizkušanca eno do dve minuti vse do porušitve (slika 31).



Slika 31: Skica preizkušanca s prikazom podpor, podložne ploščice in obremenitve (1) (Žarnić, R., Bosiljkov, V., Bokan Bosiljkov, V., Dujič, B., 2007) in upogibni preizkus na univerzalnem merilnem stroju z deformiranim preizkušancem VV1 (2). Vidna je vzporednost med potekom vlaken in obremenitvijo.

Tabela 4: Izmerjene in izračunane fizikalne lastnosti velikih vzorcev (VV):

Vzorci	a (mm)	b (mm)	l (mm)	V (m ³)	m (kg)	ρ (kg/m ³)
VV1	50,2	49,9	799,9	0,002	0,86	432,1
VV2	50,0	49,8	799,9	0,002	0,89	448,3
VV3	50,1	50,0	800	0,002	0,90	450,6

Povprečna gostota VV:

$$\rho = 443,7 \text{ kg/m}^3$$

Upogibno trdnost za pridobivanje elastičnega modula v linearnem elastičnem območju izračunamo po formuli (5), ki upošteva tretjinsko vrednost največje sile v linearnem območju (slika 31, 32 in 33) in dimenzije preizkušanca. Upogibno trdnost vzporedno z vlakni z upoštevanjem porušne sile izračunamo po formuli (6).

$$f_{t\parallel 1/3} = \frac{3F_{1/3}l}{2ab^2} \quad (5)$$

$$f_{t\parallel} = \frac{3F_p l}{2ab^2} \quad (6)$$

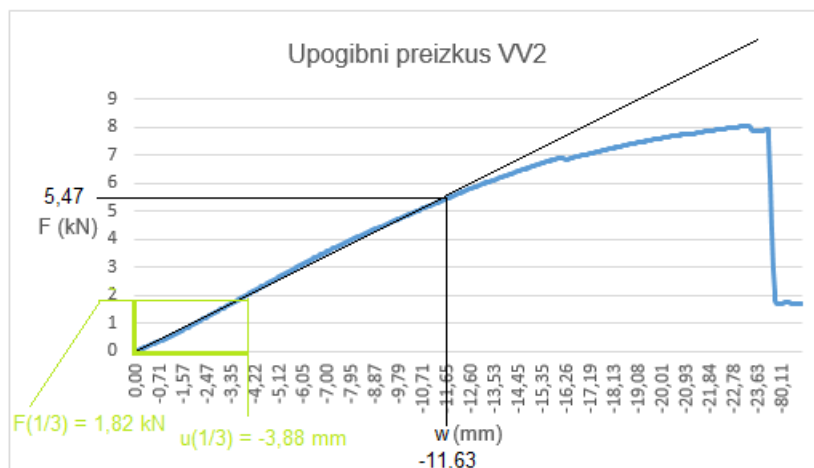
$f_{t\parallel 1/3}$ upogibna trdnost preizkušanca na tretjini linearno elastične cone

$f_{t\parallel}$ upogibna trdnost preizkušanca

$F_{1/3}$ tretjinska vrednost največje sile v linearnem elastičnem območju

F_p porušna sila

l razpetina med podporama (700 mm)



Rezultati meritev velikih vzorcev (VV) so predstavljeni v tabeli 5.

Tabela 5: Mehanske lastnosti velikih vzorcev (VV):

Vzorci	Vlažnost H (%)	I (cm ⁴)	F _p (kN)	f _t (kN)	f _{t 1/3} (kN)	w _{1/3} (cm)	E1 (kN/cm ²) pri H
VV1	14	51,77	6,41	5,37	0,80	0,18	616,52
VV2	14	51,61	8,06	7,75	1,53	0,39	544,11
VV3	15	52,02	5,15	4,93	1,16	0,3	533,24

Povprečen elastični modul VV vzporedno z vlakni:

$$E1 = 564,62 \text{ kN/cm}^2 \text{ (c.o.v. 6,5\%)}$$

Povprečen elastični modul smrekovine vzporedno z vlakni:

$$E1 = 700\text{-}1400 \text{ kN/cm}^2 \text{ (Lopatič, J., 2008).}$$

Povprečni elastični modul preizkušancev vzporedno z vlakni $E1 = 564,62 \text{ kN/cm}^2$ (c.o.v. 6,5 %) pri poljubni vlažnosti H (%) je za 19,34 % manjši od spodnje meje povprečnega elastičnega modula smrekovine vzporedno z vlakni $E1 = 700 \text{ kN/cm}^2$. Ker je povprečna vlažnost preizkušancev $H_{\text{povp.}} = 14,33 \%$ (c.o.v. 3,3 %), kar je več od standardne vlažnosti $H_{\text{st.}} = 12 \%$, moramo pri računu upogibne trdnosti upoštevati te korekcije s spodnjo formulo (10). Ta velja za preiskovanje trdnosti za vlažnosti v območju $12 \pm 3 \%$:

$$f_{t||12} = f_{t||H} [1 + \alpha_{t||} (H - 12)] \quad (10)$$

$f_{t||12}$ upogibna trdnost lesa vzporedno z vlakni določena pri standardni $H = 12 \%$ vlažnosti

$f_{t||H}$ upogibna trdnost lesa vzporedno z vlakni določena pri poljubni vlažnosti H (%)

$\alpha_{t||}$ korekcijski faktor, odvisen od preiskovane mehanske lastnosti, $\alpha_{t\perp} = 0,04$

H vlažnost lesa (%)

$f_{t||1/3H}$ upogibna trdnost lesa vzporedno z vlakni, določena pri poljubni H vlažnosti (%) za izračun elastičnega modula

$f_{t||1/3,12}$ upogibna trdnost lesa vzporedno z vlakni, določena pri standardni $H = 12 \%$ vlažnosti za izračun elastičnega modula

Korekcija upogibne trdnosti posameznega preizkušanca zaradi nestandardne vlažnosti prinese naslednje vrednosti upogibnih trdnosti lesa vzporedno z vlakni in elastičnih modulov (tabeli 6 in 7).

Tabela 6: Mehanske lastnosti velikih vzorcev (VV):

Vzorci	Vlažnost H (%)	$f_{t\parallel H}$ (kN/cm ²)	$f_{t\parallel 12}$ (kN/cm ²)
VV1	14	5,37	5,80
VV2	14	7,75	8,37
VV3	15	4,93	5,52

Tabela 7: Mehanske lastnosti velikih vzorcev (VV), upoštevajoč standardno vlažnost $H_{st.} = 12\%$:

Vzorci	Vlažnost H (%)	$f_{t\parallel 1/3,12}$ (kN/cm ²)	E1 (kN/cm ²) pri $H_{st.} = 12\%$
VV1	14	0,87	665,84
VV2	14	1,66	587,64
VV3	15	1,30	597,23

Povprečna upogibna trdnost vzporedno z vlakni pri poljubni vlažnosti H:

$$f_{t\parallel H} = 6,02 \text{ kN/cm}^2$$

Povprečna upogibna trdnost vzporedno z vlakni pri standardni vlažnosti $H_{st.} = 12\%$:

$$f_{t\parallel 12} = 6,56 \text{ kN/cm}^2$$

Povprečen elastični modul VV vzporedno z vlakni, upoštevajoč standardno vlažnost $H_{st.} = 12\%$:

$$E1 = 564,62 \text{ kN/cm}^2$$

Povprečen elastični modul VV vzporedno z vlakni, upoštevajoč standardno $H_{st.} = 12\%$ vlažnost:

$$E1 = 616,90 \text{ kN/cm}^2$$

Ugotovimo, da je povprečna upogibna trdnost vzporedno z vlakni pri poljubni vlažnosti H enaka $f_{t\parallel H} = 6,02 \text{ kN/cm}^2$ (c.o.v. 25,24%), kar je za 33,11% manj od spodnje meje običajne upogibne trdnosti smrekovine vzporedno z vlakni $f_{t\parallel} = 9,0 \text{ kN/cm}^2$. Vrednost povprečne upogibne trdnosti vzporedno z vlakni pri standardni vlažnosti $H_{st.} = 12\%$ znaša $f_{t\parallel 12} = 6,56 \text{ kN/cm}^2$ (c.o.v. 23,95%), vendar je še vedno nižja za 27,11% od spodnje meje upogibne trdnosti smrekovine vzporedno z vlakni.

Iz vzorcev pridobljeni povprečni elastični modul vzporedno z vlakni pri upoštevanju standardne vlažnosti $H_{st.} = 12\%$ je enak $E1 = 616,90 \text{ kN/cm}^2$ (c.o.v. 6,91%), kar je manj od spodnje meje povprečnega elastičnega modula smrekovine vzporedno z vlakni $E1 = 700 \text{ kN/cm}^2$, in sicer za 9,91%. To pomeni, da so elementi ostrejša bolj krhki od običajnih smrekovih elementov in imajo manjšo elastično cono, torej lahko pri obremenitvah prej pride do plastičnega območja in tudi porušitve. Kljub razmeroma večji povprečni vlažnosti ($H_{povp.} = 14,33\%$) od

standardizirane vlažnosti ($H_{st.} = 12\%$) prihaja pri preizkušancih do precej krhkih lomov (slika 34).

Ugotovimo, da se vrednosti upogibnih trdnosti vzorcev (VV1, VV2 in VV3) pri upoštevanju standardizirane vlažnosti ($H_{st.}=12\%$) zvišajo za približno 10%. Posledično imajo E1 (za VV1, VV2 in VV3) pri upoštevanju standardne vlažnosti ($H_{st.}=12\%$) za 7-10% višje vrednosti kot E1 pri poljubnih vlažnostih istih vzorcev.

2.2.1.2 Tlačna trdnost prečno na vlakna (izračun E2 in E3)

Tu gre prav tako za standardiziran postopek preizkušanja, in sicer po standardu EN 408:1995 za preizkušanje tlačne trdnosti pri statični obtežbi. Izmed petih pridobljenih srednjih vzorcev (SRV) so opravljeni trije preizkusi (SRV1, SRV2 in SRV3).

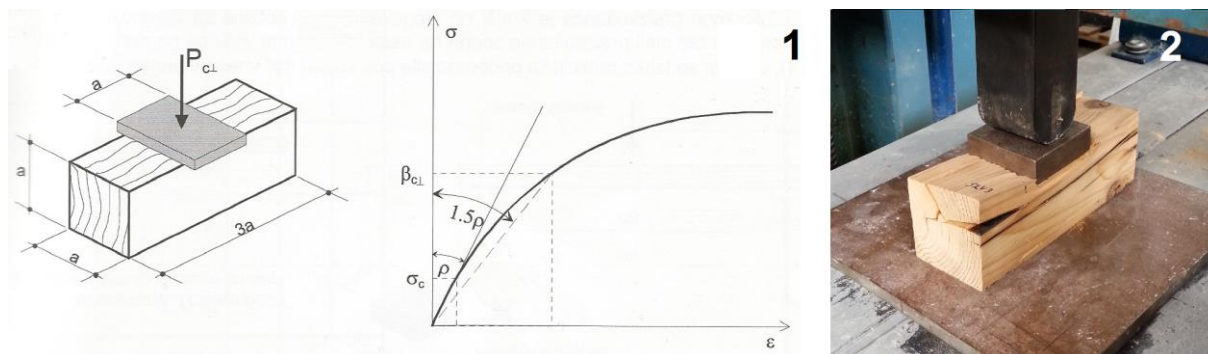
Vzorci so kvadri dimenzij 50 x 50 x 100 mm (SRV). Z univerzalnim preizkuševalnim strojem jih obremenimo pravokotno na vlakna preko kovinske ploščice z minimalno debelino 15 mm. Tudi tokrat je uporabljena ploščica dimenzij 50 x 50 x 25 mm.

Tabela 8: Izmerjene in izračunane fizikalne lastnosti srednjih vzorcev (SRV):

Vzorci	a (mm)	b (mm)	h (mm)	V (m ³)	m (kg)	ρ (kg/m ³)
SRV1	49,94	49,78	149,55	0,000372	0,174	468,0
SRV2	50,08	50,04	149,7	0,000375	0,178	474,5
SRV3	50,03	50,07	149,63	0,000375	0,194	517,6
SRV4	50,01	49,89	149,58	0,000373	0,164	439,4
SRV5	50,05	50,01	149,5	0,000374	0,158	422,2

Povprečna gostota SRV: $\rho = 464,3 \text{ kg/m}^3$

Spremljamo F-w diagram sil (kN) in pomikov (mm). Pomik je v tem primeru vgrez spodnjega dela ploščice v preizkušanelec glede na podlago (slika 35, 2) oz. sprememba razdalje med spodnjim delom ploščice in podlago Δh (mm). Od začetka obremenjevanja vzorca (pri sili $F = 0 \text{ kN}$) potegnemo vzdolž krivulje tangento iz izhodišča koordinatnega sistema (Slika 36, 37 in 38). Kot ρ , ki ga oklepata tangenta in ordinatna os, pomnožimo z 1,5. Novi kot odmerimo od ordinatne osi in izhodišča koordinatnega sistema, kot kaže skica (slika 35, 1). Presečišče med premico dobljenega kota in krivuljo F-w diagrama predstavlja obremenitev $F_{c\perp}$. Koordinate $F_{c\perp}$ (kN) odčitamo iz diagrama in dobimo pripadajoč pomik Δh (mm).



Slika 36: Skica preizkušanca, obremenjenega prečno na vlakna, in podložne ploščice (1) (Žarnić, R., Bosiljkov, V., Bokan Bosiljkov, V., Dujič, B., 2007) in tlačni preizkus na univerzalnem merilnem stroju z deformiranim preizkušancem SRV1 (2). Viden je prečni potek vlaken proti obremenitvi (ploščici).

Za izračun tlačne trdnosti prečno na vlakna poleg sile $F_{c\perp}$ (kN) upoštevamo še dimenzije podložne ploščice A (cm²) (11).

$$f_{c\perp} = \frac{F_{c\perp}}{A_{pl}} \quad (\text{kN/cm}^2) \quad (11)$$

$f_{c\perp}$ tlačna trdnost lesa pravokotno na vlakna

$F_{c\perp}$ obremenitev določena iz diagrama

A_{pl} površina ploščice preko katere deluje sila na preizkušanca

E2 in E3 dobimo s pomočjo Hookovega zakona (12). Deformacijo ε predstavlja količnik normiranega pomika Δh (mm) in višine vzorca h (mm) (13).

$$E = \frac{f_{c\perp}}{\varepsilon} \quad (\text{kN/cm}^2) \quad (12)$$

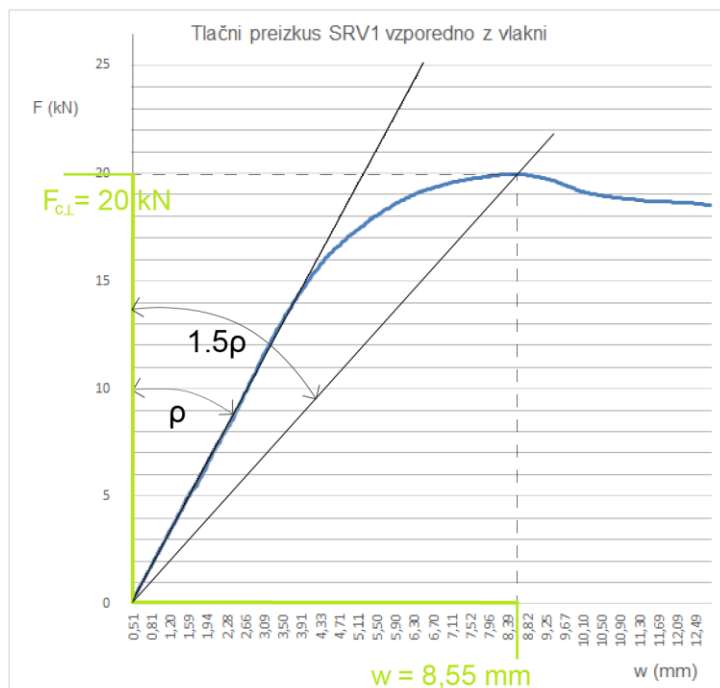
$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h} \quad (13)$$

E elastični modul

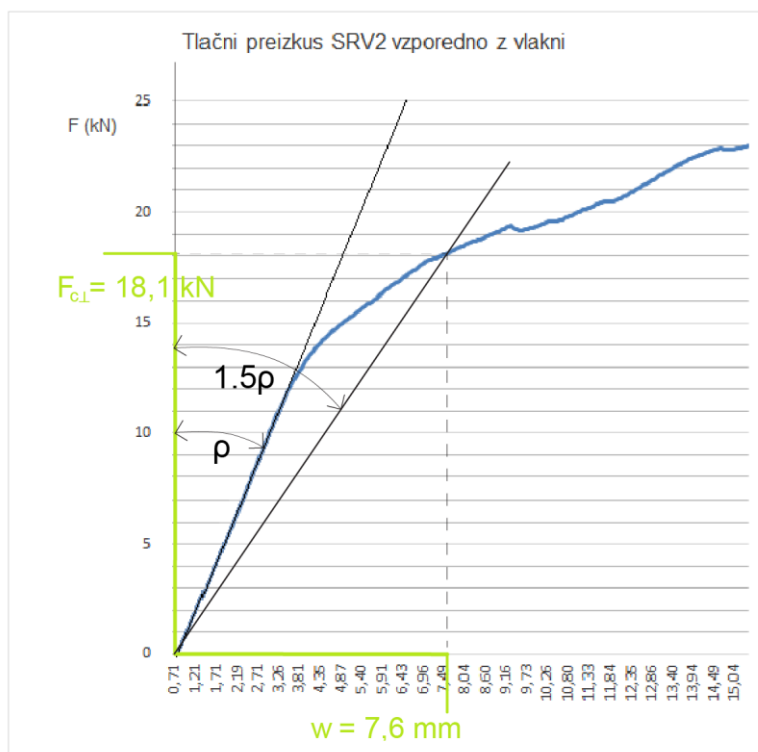
ε deformacija

Δh normiran pomik

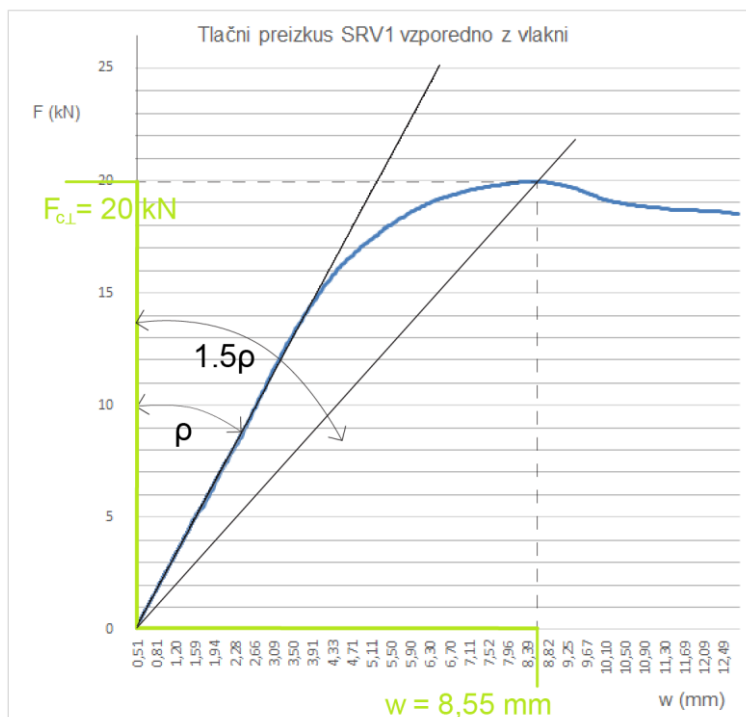
h višina vzorca (50 mm)



Slika 37: Tlačni preizkus pravokotno na vlakna SRV1 z določeno obremenitvijo $F_{c\perp}$ in pripadajočim pomikom Δh .



Slika 38: Tlačni preizkus pravokotno na vlakna SRV2 z določeno obremenitvijo $F_{c\perp}$ in pripadajočim pomikom Δh .



Slika 39: Tlačni preizkus pravokotno na vlakna SRV3 z določeno obremenitvijo $F_{c\perp}$ in pripadajočim pomikom Δh .

Izračunane mehanske lastnosti so zbrane v tabeli 9.

Tabela 9: Mehanske lastnosti srednjih vzorcev (SRV):

Vzorci	Vlažnost (%)	h (cm)	A_{pl} (cm ²)	$F_{c\perp}$ (kN)	$f_{c\perp H}$ (kN/cm ²)	Δh (cm)	ε	E2=E3 (kN/cm ²) pri H
SRV1	16	5	25	20,0	0,8	0,86	0,17	4,65
SRV2	14	5	25	18,1	0,72	0,76	0,15	4,76
SRV3	15	5	25	18,8	0,75	0,73	0,14	5,15

Povprečna vlažnost:

$$H_{povp.} = 15 \%$$

Povprečni elastični modul SRV pravokotno na vlakna pri poljubni vlažnosti H:

$$E2 = E3 = 4,86 \text{ kN/cm}^2 \text{ (c.o.v. 4,4\%)}$$

Povprečni elastični modul smrekovine pravokotno na vlakna:

$$E2 = E3 = 23-47 \text{ kN/cm}^2 \text{ (Lopatič, J., 2008).}$$

Ugotovimo, da je tudi pridobljen elastični modul pravokotno na vlakna $E2 = E3 = 4,86 \text{ kN/cm}^2$ (c.o.v. 4,4 %) za kar 78,9 % manjši od spodnjega roba povprečnega elastičnega modula smrekovine pravokotno na vlakna ($E2 = E3 = 23 \text{ kN/cm}^2$). Elementi ostrejša bodo tudi pri tlačni

obremenitvi v smeri pravokotno na vlakna imeli precej manjšo elastično in plastično cono. Prej bo lahko prišlo do porušitve elementov.

Ker je povprečna vlažnost preizkušancev $H_{\text{povp.}} = 15 \%$, kar je več od standardizirane $H_{\text{st.}} = 12 \%$ vlažnosti, moramo pri računu tlačne trdnosti upoštevati te korekcije z naslednjo formulo (14). Ta velja za preiskovanje trdnosti za vlažnosti v območju $12 \pm 3 \%$:

$$f_{c\perp 12} = f_{c\perp H} [1 + \alpha_{c\perp} (H - 12)] \quad (14)$$

$f_{c\perp 12}$	tlačna trdnost lesa pravokotno na vlakna, določena pri standardni 12% vlažnosti
$f_{c\perp H}$	tlačna trdnost lesa pravokotno na vlakna, določena pri poljubni H (%) vlažnosti
$\alpha_{c\perp}$	korekcijski faktor, odvisen od preiskovane mehanske lastnosti, $\alpha_{c\perp} = 0,04$
H	vlažnost lesa (%)

Z upoštevanjem (11), (12), (13) in (14) so določene naslednje količine v tabeli 10.

Tabela 10: Mehanske lastnosti srednjih vzorcev (SRV):

Vzorci	Vlažnost H (%)	$f_{c\perp H}$ (kN/cm ²)	$f_{c\perp 12}$ (kN/cm ²)	E2=E3 pri H (kN/cm ²)	E2=E3 pri $H = 12 \%$ (kN/cm ²)
SRV1	16	0,8	0,93	4,65	5,40
SRV2	14	0,72	0,78	4,76	5,12
SRV3	15	0,75	0,84	5,15	5,75

Povprečna tlačna trdnost pravokotno na vlakna pri poljubni vlažnosti H :

$$f_{c\perp H} = 0,76 \text{ kN/cm}^2 \text{ (c.o.v. 4,4 \%)}$$

Povprečna tlačna trdnost pravokotno na vlakna pri standardni vlažnosti $H_{\text{st.}} = 12 \%$:

$$f_{c\perp 12} = 0,85 \text{ kN/cm}^2 \text{ (c.o.v. 7,3 \%)}$$

Povprečni elastični modul SRV pravokotno na vlakna pri standardni vlažnosti $H_{\text{st.}} = 12 \%$:

$$E2 = E3 = 5,42 \text{ kN/cm}^2 \text{ (c.o.v. 4,8 \%)}$$

Ugotovimo, da je pri upoštevanju standardne vlažnosti $H_{\text{st.}} = 12 \%$ povprečna tlačna trdnost vzorcev ($f_{c\perp 12} = 0,85 \text{ kN/cm}^2$) v primerjavi s povprečno tlačno trdnostjo pri poljubni vlažnosti H ($f_{c\perp H} = 0,76 \text{ kN/cm}^2$) za 10,6% višja. Prav tako je povprečni elastični modul SRV pravokotno na vlakna pri standardni vlažnosti $H_{\text{st.}} = 12 \%$ ($E2 = E3 = 5,42 \text{ kN/cm}^2$) za 11,5 % višji od

povprečnega elastičnega modula SRV pravokotno na vlakna pri poljubni vlažnosti H ($E2 = E3 = 4,86 \text{ kN/cm}^2$).

2.2.2 Račun strižnega modula (G)

Les je ortotropen material z različnimi mehanskimi lastnostmi v različnih smereh (x, y in z smer). Predvsem nas zanimajo elastični in strižni moduli ($E1, E2, E3, G12, G13, G23$), ki jih zahteva program Sap2000.

Gostoto, težo in elastične module smo določili s pomočjo preiskav, strižne module ($G12, G13$ in $G23$) pa smo pridobili iz numeričnih raziskav vibracijskih redukcij večnadstropne stavbe za masivni les (tabela 11).

Tabela 11: Rezultati numeričnih preiskav vibracijskih redukcij večnadstropnega objekta z strižnimi moduli in Poissonovimi števili za lesene stebre (privzeto po Caicedo, J., Pakzad, S., 2015).

G12 (kN/cm ²)	G13 (kN/cm ²)	G23 (kN/cm ²)	μ_{12}	μ_{13}	μ_{23}	ρ (kg/m ³)
70	70	5	0,2	0,2	0,3	432

Pri meritvah malih vzorcev (MV) je upoštevana le gostota vzorcev (tabela 12).

Tabela 12: Fizikalne lastnosti malih vzorcev (MV):

Vzorci	a (mm)	b (mm)	h (mm)	V (m ³)	m (kg)	ρ (kg/m ³)
MV1	49,81	50,13	99,77	0,000249	0,102	409,4359
MV2	49,96	50,11	99,9	0,00025	0,112	447,8223
MV3	49,76	49,92	99,72	0,000248	0,104	419,8519
MV4	49,82	50,03	99,91	0,000249	0,116	465,8164
MV5	49,41	50,16	99,85	0,000247	0,088	355,6004
MV6	50,01	50,09	99,91	0,00025	0,104	415,5435
MV7	49,57	50,07	99,81	0,000248	0,106	427,8931

Povprečna gostota MV: $\rho = 420,2805 \text{ kg/m}^3$

Ugotovili smo, da ima MV5 zaradi velike poroznosti, ki je posledica lesnih škodljivcev, precej manjšo gostoto od ostalih vzorcev (slika 26).

2.3 REZULTATI MERITEV

Za primerjavo izračunanih rezultatov mehanskih lastnosti smrekovine je uporabljena tabela trdnostnih razredov masivnega lesa (tabela 13: privzeto po EN 338:2003 in SIST EN 1995-1-1:2005). Glede na upogibno in tlačno trdnost, module elastičnosti, strižni modul in povprečno gostoto so obravnavani vzorci najbolj primerljivi z iglavci oznake C24. Primerjava je prikazana v tabeli 14, kjer so za obravnavano smrekovino izračunani vsi podatki, razen strižnih modulov G12, G13 in G23 (privzeti po Caicedo, J., Pakzad, S., 2015).

Tabela 13: Trdnostni razredi – karakteristične in projektne vrednosti (privzeto po Lopatič, J., 2009):

TRDNOSTNI RAZREDI - karakteristične in projektne vrednosti																	EN 338:2003, EN 1995-1-1:2005						
		Iglavci in topolovina										Listavci											
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	D30	D35	D40	D50	D60	D70				
Trdnost [N/cm²]																							
Upogib	$f_{m,k}$	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2700	3000	3500	4000	4500	5000	3000	3500	4000	5000	6000	7000				
	$f_{m,d}$	P 646	738	831	923	1015	1108	1246	1385	1615	1846	2077	2308	1385	1615	1846	2308	2769	3231				
		L 754	862	969	1077	1185	1292	1454	1615	1885	2154	2423	2692	1615	1885	2154	2692	3231	3769				
		M 862	985	1108	1231	1354	1477	1662	1846	2154	2462	2769	3077	1846	2154	2462	3077	3692	4308				
		S 969	1108	1246	1385	1523	1662	1869	2077	2423	2769	3115	3462	2077	2423	2769	3462	4154	4846				
Nateg. paralelno	$f_{t,0,k}$	800	1000	1100	1200	1300	1400	1600	1800	2100	2400	2700	3000	1800	2100	2400	3000	3600	4200				
	$f_{t,0,d}$	P 369	462	508	554	600	646	738	831	969	1108	1246	1385	831	969	1108	1385	1662	1938				
		L 431	538	592	646	700	754	862	969	1131	1292	1454	1615	969	1131	1292	1615	1938	2262				
		M 492	615	677	738	800	862	985	1108	1292	1477	1662	1846	1108	1292	1477	1846	2215	2585				
		S 554	692	762	831	900	969	1108	1246	1454	1662	1869	2077	1246	1454	1662	2077	2492	2908				
Nateg. pravokotno	$f_{t,90,k}$	40	50	50	50	50	50	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60				
	$f_{t,90,d}$	P 18	23	23	23	23	23	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28				
		L 22	27	27	27	27	27	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32				
		M 25	31	31	31	31	31	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37				
		S 28	35	35	35	35	35	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42				
Tlak, paralelno	$f_{c,0,k}$	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2500	2600	2700	2900	2300	2500	2600	2900	3200	3400				
	$f_{c,0,d}$	P 738	785	831	877	923	969	1015	1062	1154	1200	1246	1338	1062	1154	1200	1338	1477	1569				
		L 862	915	969	1023	1077	1131	1185	1238	1346	1400	1454	1562	1238	1346	1400	1562	1723	1831				
		M 985	1046	1108	1169	1231	1292	1354	1415	1538	1600	1662	1785	1415	1538	1600	1785	1969	2092				
		S 1108	1177	1246	1315	1385	1454	1523	1592	1731	1800	1869	2008	1592	1731	1800	2008	2215	2354				
Tlak, pravokotno	$f_{c,90,k}$	200	220	220	230	240	250	260	270	280	290	310	320	800	840	880	970	1050	1350				
	$f_{c,90,d}$	P 92	102	102	106	111	115	120	125	129	134	143	148	369	388	406	448	485	623				
		L 108	118	118	124	129	135	140	145	151	156	167	172	431	452	474	522	565	727				
		M 123	135	135	142	148	154	160	166	172	178	191	197	492	517	542	597	646	831				
		S 138	152	152	159	166	173	180	187	194	201	215	222	554	582	609	672	727	935				
Strig	$f_{v,k}$	170	180	200	220	240	250	280	300	340	380	380	380	300	340	380	460	530	600				
	$f_{v,d}$	P 78	83	92	102	111	115	129	138	157	175	175	175	138	157	175	212	245	277				
		L 92	97	108	118	129	135	151	162	183	205	205	205	162	183	205	248	285	323				
		M 105	111	123	135	148	154	172	185	209	234	234	234	185	209	234	283	326	369				
		S 118	125	138	152	166	173	194	208	235	263	263	263	208	235	263	318	367	415				
Deformabilnost-modul [kN/cm²]																							
Modul el., paralelno	$E_{0,mean}$	700	800	900	950	1000	1100	1150	1200	1300	1400	1500	1600	1000	1000	1100	1400	1700	2000				
Modul el., paralelno	$E_{0,05}$	470	540	600	640	670	740	770	800	870	940	1000	1070	800	870	940	1180	1430	1680				
Modul el., pravokotno	$E_{90,mean}$	23	27	30	32	33	37	38	40	43	47	50	53	64	69	75	93	113	133				
Strižni modul	C_{mean}	44	50	56	59	63	69	72	75	81	88	94	100	60	65	70	88	106	125				
Gostota [kg/m³]																							
Gostota, karakteristična	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460	530	560	590	650	700	900				
Gostota, povprečna	ρ_{mean}	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550	640	670	700	780	840	1080				

Tabela 14: Primerjava med mehanskimi lastnostmi smrekovine iz ostrešja Šenkove domačije (levo) in karakterističnimi vrednostmi (trdnostni razredi) iglavcev z oznako C24 po (desno) (privzeto po Lopatič, J., 2009):

Smrekovina			Iglavci C24		
ρ	442,8	kg/m ³	ρ	420	kg/m ³
m	4,4	kN/m ³	m	4,12	kN/m ³
E1	616,9	kN/cm ²	$E_{0,mean}$	1100	kN/cm ²
E2	5,42	kN/cm ²	$E_{90,mean}$	37	kN/cm ²
E3	5,42	kN/cm ²	$E_{90,mean}$	37	kN/cm ²
G12	70	kN/cm ²	G_{mean}	69	kN/cm ²
G13	70	kN/cm ²	/	/	/
G23	5	kN/cm ²	/	/	/
$f_{t\parallel 12}$	6,27	kN/cm ²	$f_{m,k}$	2,4	kN/cm ²
$f_{t\parallel H}$	7,02	kN/cm ²	/	/	/
$f_{c\perp 12}$	0,78	kN/cm ²	$f_{c,90,k}$	0,25	kN/cm ²
$f_{c\perp H}$	0,88	kN/cm ²	/	/	/

Ugotovimo, da je gostota smrekovine iz ostrešja ρ višja za 5,1 %, prostorninska teža γ pa za 3 %. Največje razlike se pojavijo pri vrednostih elastičnih modulov pravokotno na vlakna (E2 in E3): izračunane vrednosti so namreč za kar 683,6% nižje od tistih pri iglavcih z oznako C24, torej skoraj 7-krat nižje. Vrednost izračunanega strižnega modula G12 je za 1,4 % višja od vrednosti, ki veljajo za C24. Upogibna trdnost vzporedno z vlakni $f_{t\parallel 12}$ je za 261,3 % večja od upogiba $f_{m,k}$, tlačna trdnost pravokotno na vlakna $f_{c\perp 12}$ pa za 312 % večja od tlaka pravokotno na vlakna.

Zaradi velikih razlik v vrednostih med E2 = E3 in $E_{90,mean}$ (elastični modul pravokotno na vlakna) iz C24 za pridobitve ustrežnejše vrednosti E2=E3 uporabimo spodnjo formulo primerjave razmerja med E1 in E2 ter $E_{0,mean}$ in $E_{90,mean}$ (15).

$$\frac{E1}{E2} = \frac{E_{0,mean}}{E_{90,mean}} \rightarrow \frac{616,9 \text{ kN/cm}^2}{E2} = \frac{1100 \text{ kN/cm}^2}{37 \text{ kN/cm}^2} \rightarrow E2 = E3 = 20,75 \text{ kN/cm}^2 \quad (15)$$

Pridobljena vrednost $E2 = E3 = 20,75 \text{ kN/cm}^2$ je za 382,4 % višja od vrednosti izračuna laboratorijsko pridobljenih podatkov $E2 = E3 = 5,42 \text{ kN/cm}^2$. Še vedno pa je za 43,9 % nižja od $E_{90,mean} = 37 \text{ kN/cm}^2$. Vrednosti, ki bodo uporabljene za statično analizo v programu Sap2000, so predstavljene v tabeli 15 in 16. Na sliki 40 je prikazan vnos v program v drugačnih enotah (kN, m).

Tabela 15: Povprečne vrednosti mehanskih lastnosti stare smrekovine za vnos v Sap2000.

Pr. masa (kg/m ³)	Pr. teža (kN/m ³)	E1 (kN/cm ²)	E2 (kN/cm ²)	E3 (kN/cm ²)	G12 (kN/cm ²)	G13 (kN/cm ²)	G23 (kN/cm ²)
442,8	4,4	616,9	20,75	20,75	70	70	5

Tabela 16: Poissonovi količniki za vnos v Sap2000.

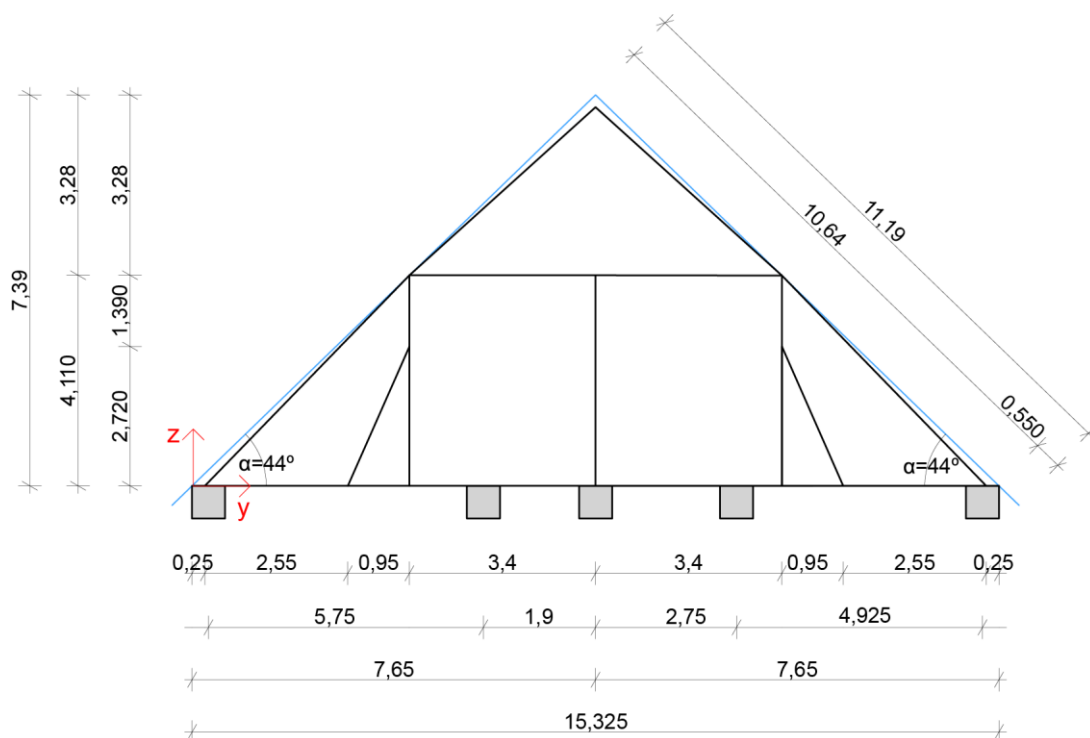
μ_{12}	μ_{13}	μ_{23}
0,2	0,2	0,3

Material Property Data

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box in Sap2000. The dialog is organized into several sections:

- Material Name:** Les (smreka, ortotropen)
- Material Type:** Other
- Symmetry Type:** Orthotropic
- Modulus of Elasticity:** E1 = 6169000, E2 = 207500, E3 = 207500
- Weight and Mass:** Weight per Unit Volume = 4.4, Mass per Unit Volume = 442.8
- Units:** KN, m, C
- Poisson's Ratio:** U12 = 0.2, U13 = 0.2, U23 = 0.3
- Coeff of Thermal Expansion:** A1 = 1.170E-05, A2 = 1.170E-05, A3 = 1.170E-05
- Shear Modulus:** G12 = 700000, G13 = 700000, G23 = 50000
- Advanced Material Property Data:** Includes buttons for 'Nonlinear Material Data...', 'Material Damping Properties...', 'Time Dependent Properties...', and 'Thermal Properties...'.
- Buttons:** OK and Cancel.

Slika 40: Vnos pridobljenih mehanskih lastnosti v programu Sap2000.



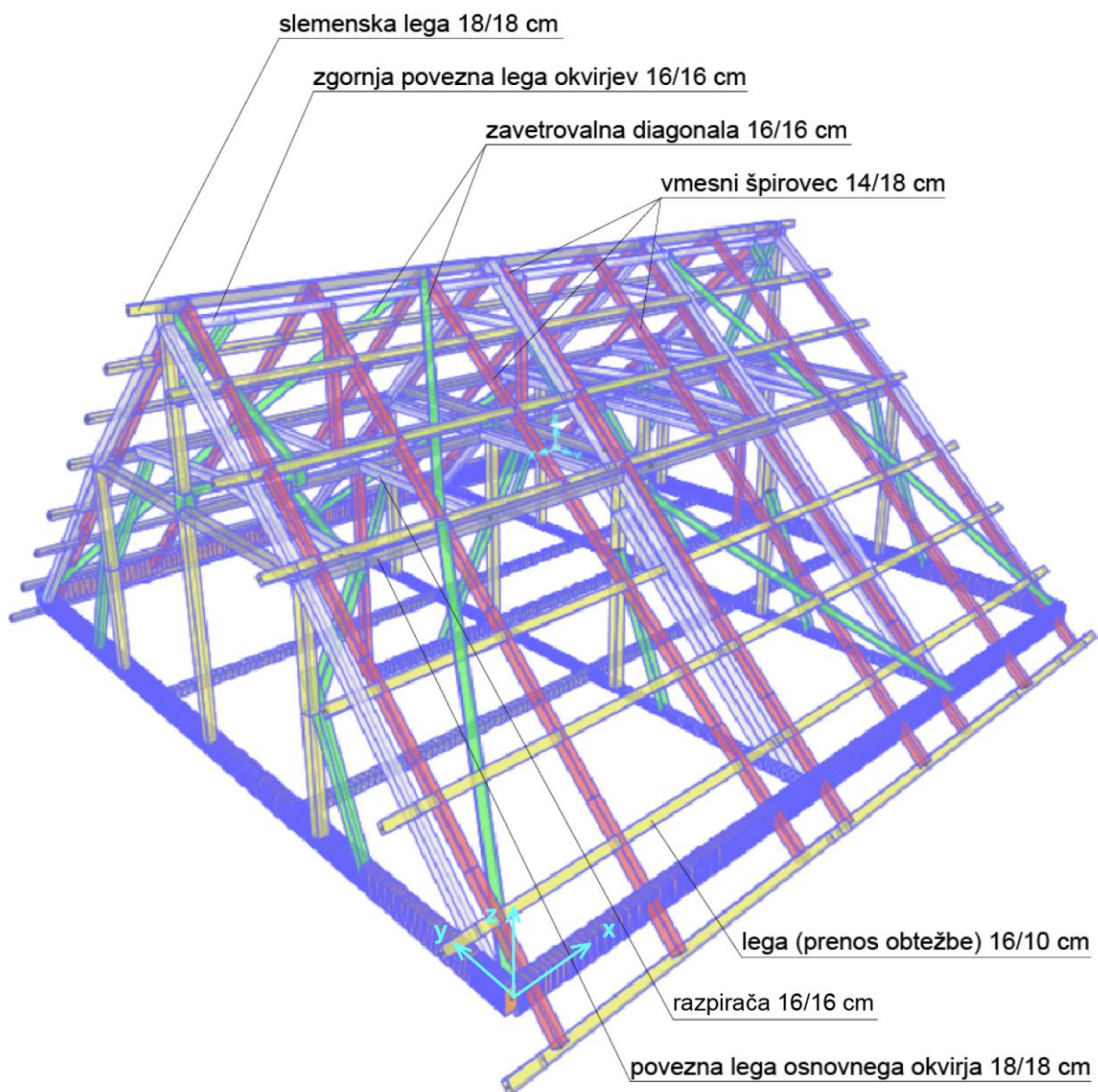
Slika 42: Notranja okvirja z dodatnim sredinskim stebrom do razpirače in špirovca (označeno z modro).

Okvirji nalegajo na spodnje zidovje preko talnih leg in poveznikov. Na robovih so indirektno povezani v dvojne kapne lege, ki tvorijo neprekinjen horizontalni okvir. Ta ni niker pritrjen v zidovje, vendar trenje preprečuje pomike v smeri x in y osi. Računsko gre torej povsod za vrtljive podpore. Špirovci osnovnih okvirjev delujejo kot opirače in potekajo od kapne lege do zgornje povezne lege okvirjev nekontinuirano (sliki 41 in 42); smer je prelomljena v povezni legi osnovnega okvirja. Nad zgornjo povežno lego je pritrjena še slemenska lega.

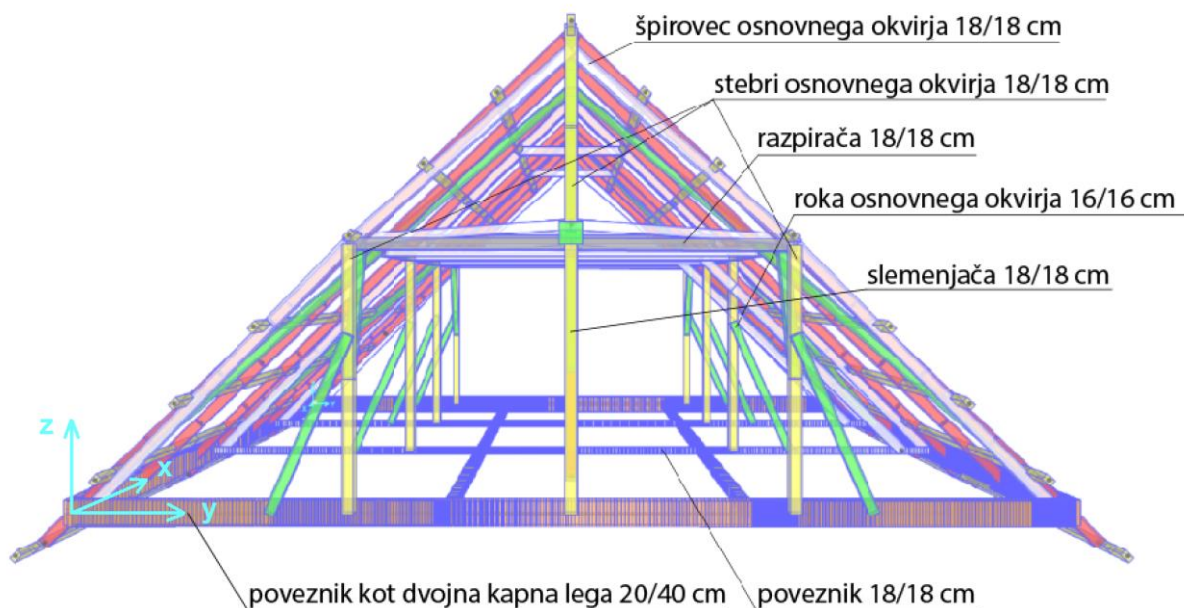
Vzporedno z okvirji nad osnovnimi špirovci kontinuirano poteka po vsaki strešini po 8 vmesnih špirovcev, ki so pritrjeni na treh točkah (sleme, povezna lega osnovnega okvirja in kapna lega). Nanje je na vsaki strešini pritrjenih po 7 leg s sredinsko slemensko lego, skupaj 15 leg (slika 43). Zadnji sloj je na lege pribita kritina v obliki dvojnih macesnovih skodel.

V programu je upoštevana le skeletna konstrukcija ostrešja, torej se vsi vplivi linijsko prenašajo preko kritine na 15 leg, upoštevajoč njihova vplivna območja oz. pripadajoče širine.

Stebri osnovnih okvirjev so zgoraj in spodaj podprti z diagonalnimi rokami. Povezne lege osnovnih okvirjev v njihovi smeri povezujejo razpirače (slika 44).

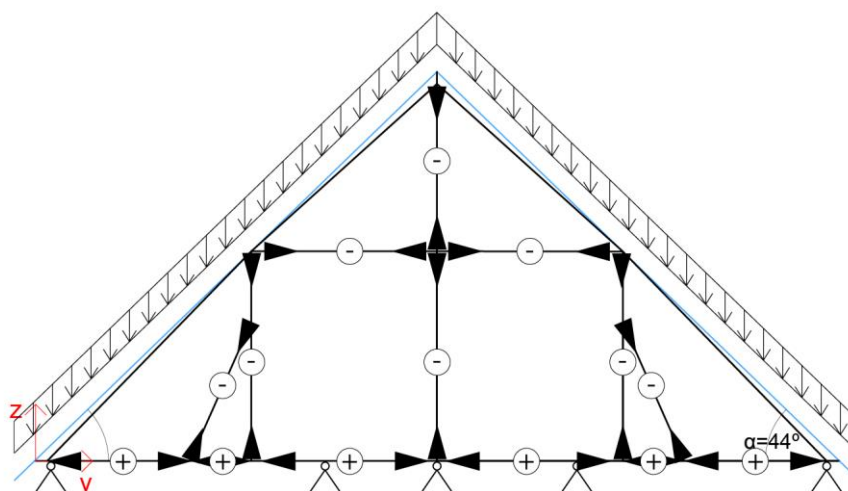


Slika 43: Model nosilne konstrukcije v Sap2000 z opisi elementov.



Slika 44: Model nosilne konstrukcije v Sap2000 z opisi elementov.

Pozitivna osna sila predstavlja nateg, negativna pa tlak (slika 45). Špirovca sta upogibno obremenjena. Stebri, diagonalni roki in razpirača so pod tlakom, poveznik pa pod nategom. Obtežba se preko špirovcev prenese v stebre, ki so obremenjeni na tlak. Diagonalni roki sta prav tako tlačno obremenjeni. Špirovca, razpirača in poveznik so natezno obremenjeni.



Slika 45: Model nosilne konstrukcije s prikazom prenosa obtežbe po elementih.

4.0 VPLIVI NA KONSTRUKCIJO (SIST EN 1991-1)

Za projektiranje lesenih konstrukcij se uporablja evropski standard Evrokod 5 oz. SIST EN 1995. V konkretnem primeru ne gre za projektiranje, temveč za statično analizo obstoječe konstrukcije, zato je potreben le izračun vplivov na konstrukcijo po Evrokodu 1 oz. SIST EN 1991.

V nadaljevanju bodo izračunani naslednji vplivi:

- Stalni vplivi
 - o Lastna teža (SIST EN 1991-1-1)
- Spremenljivi vplivi
 - o Koristna obtežba (SIST EN 1991-1-1)
 - o Obtežba snega (SIST EN 1991-1-3 in nacionalni dodatki)
 - o Obtežba vetra (SIST EN 1991-1-4 in nacionalni dodatki)

Pri obtežbi snega in vetra moramo upoštevati tudi nacionalne dodatke k Evrokodom.

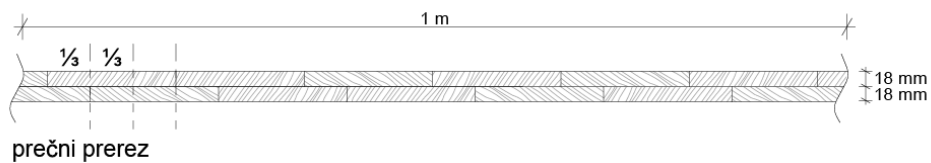
4.1 STALNI VPLIVI

4.1.1 Lastna teža

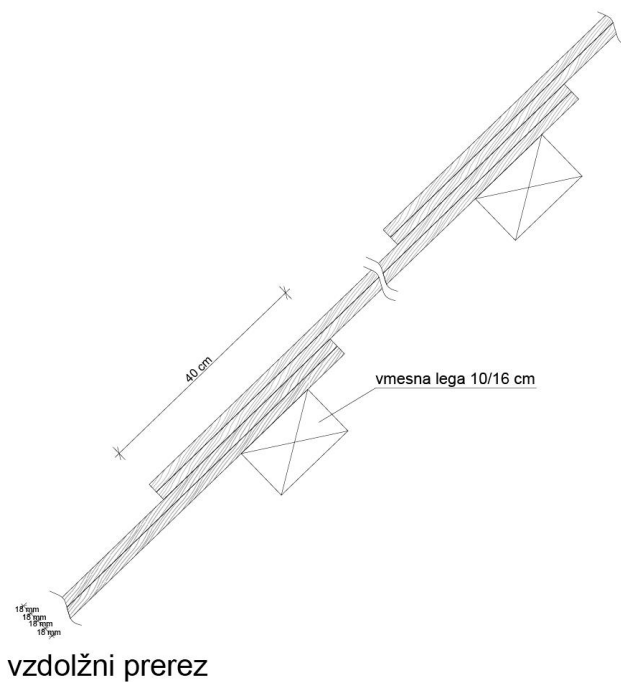
V Evrokodih je lastna teža gradbenih objektov definirana kot stalni nepomični del (SIST EN 1990, točki 1.5.3 in 4.1.1).

V konkretnem primeru bo lastno težo ostrešja v programu Sap2000 predstavljala le strešna kritina, ostali konstrukcijski elementi bodo imeli upoštevano lastno težo že v programu, in sicer rezultate meritev laboratorijskih preiskav (poglavje 2.3 Rezultati meritev). Smer delovanja lastne teže je v smeri gravitacije.

Kritino predstavljajo dvoslojne macesnove skodle debeline 18 mm (skupaj 36 mm). Na 1 m po širini je pritrjenih 6-7 desk s tretjinskim preklopom (slika 46). Po dolžini se prekrivajo s približno 40 cm preklopom na 6 mestih (slika 47). Volumen in masa kritine sta izračunani po (16) in (17).



Slika 46: Macesnove skodeli.



Slika 47: Skica skodel s prekrivanjem.

Gostota macesna:

$$\rho = 590 \text{ kg/m}^3$$

Volumen kritine:

$$V = 2(11,4 \text{ m} \times 16,443 \text{ m} \times 0,036 \text{ m}) + (2 \times 6 \times 0,4 \times 16,443 \text{ m} \times 0,036 \text{ m}) = 16,326 \text{ m}^3$$

(16)

Masa kritine:

$$m = \rho \times V \times a_g = 590 \text{ kg/m}^3 \times 16,326 \text{ m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 94,5 \text{ kN}$$

(17)

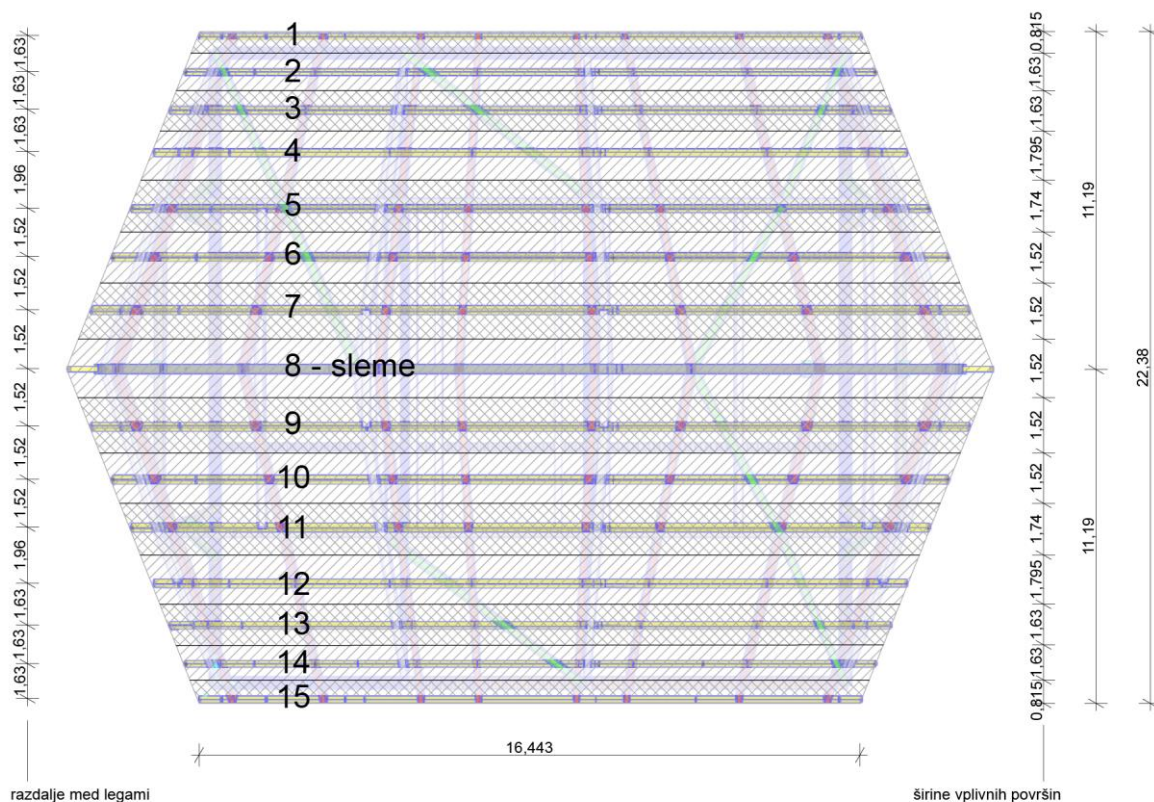
Površina celotne kritine:

$$368 \text{ m}^2$$

Obtežba kritine:

$$0,252 \text{ kN/m}^2$$

Obtežbo kritine moramo iz površinske obtežbe pretvoriti v linijsko, ki se bo prenašala preko leg. To storimo tako, da s pomočjo razdalj med legami določimo vplivne površine. Razdalje med legami razpolovimo, pripadajoča površina izbrane lege predstavlja vsoto polovic razdalj do obeh sosednjih leg (slika 48).



Slika 48: Skica leg s pripadajočimi vplivnimi površinami.

Določitev linijske obtežbe lastne teže na posamezno lego je izračunana s formulo (18), rezultati pa so predstavljeni v tabeli 17.

$$q_{\text{lastna teža}} \text{ (kN/m)} = \frac{\text{obtežba kritine (kN/m}^2\text{)}}{\text{pripadajoča širina lege (m)}} \quad (18)$$

Tabela 17: Tabela linijskih obtežb lastne teže na lege za vnos v Sap2000:

Področje	Pripadajoča širina (m)	Linijska obtežba lastne teže na lego (kN/m)
1	0,82	0,21
2	1,63	0,41
3	1,63	0,41
4	1,80	0,45
5	1,74	0,44
6	1,52	0,38
7	1,52	0,38
8 (sleme)	1,52	0,38
9	1,52	0,38
10	1,52	0,38
11	1,74	0,44
12	1,80	0,45
13	1,63	0,41
14	1,63	0,41
15	0,82	0,21

4.2 SPREMENLJIVI VPLIVI

4.2.1 Koristna obtežba

V Evrokodih je koristna obtežba definirana kot spremenljivi pomični vpliv, če standard ne določa drugače. Smer delovanja koristne obtežbe je v smeri gravitacije.

Koristno obtežbo je potrebno upoštevati kot posamezen vpliv, ko gre za objekt, kjer poleg koristne obtežbe delujejo tudi drugi spremenljivi vplivi (vpliv snega, vetra), vendar to ne velja za strehe. Na strehah ni potrebno sočasno upoštevati koristnih obtežb in obtežb snega ali vplivov vetra (SIST EN 1991-1-1, točka 3.3.2).

V Evrokodih (SIST EN 1991-1-1, točka 6.3.4.1) so strehe za namen upoštevanja koristnih obtežb razdeljene v tri kategorije. Izberemo kategorijo H, ki velja za strehe, dostopne le za normalno vzdrževanje in popravila (tabela 18 in 19)

Tabela 18: Preglednica kategorije streh (privzeto po SIST EN 1991-1-1, točka 6.3.4.1):

Kategorije obteženih površin	Opis uporabe
H	Strehe, dostopne le za normalno uporabo
I	Strehe, dostopne za uporabo v skladu s kategorijami A do D
K	Strehe, dostopne za posebne namene, kot je pristajanje s helikopterjem

Tabela 19: Preglednica koristne obtežbe streh kategorije H (privzeto po SIST EN 1991-1-1, točka 6.3.4.2, preglednica 6.10):

Streha	q_k (kN/m ²)	Q_k (kN)
kategorija H	q_k	Q_k
OPOMBA 1:	Za kategorijo H se lahko za q izberejo vrednosti med 0,0 in 1,0 kN/m ² , za Q pa med 0,9 in 1,5 kN. Kjer je dan razpon vrednosti, je lahko v nacionalnem dodatku določena ena vrednost. Priporočeni vrednosti sta $q_k=0,4$ k/m² in $Q_k=1,0$ kN.	
OPOMBA 2:	q_k se lahko spreminja glede na naklon strehe, kar je določeno v nacionalnem dodatku.	
OPOMBA 3:	q_k deluje na površini A, ki je določena v nacionalnem dodatku. Priporočena površina je 10 m ² , mogoče pa jo je določiti v razponu od 0 do celotne površine strehe.	
OPOMBA 4:	Glej tudi 3.3.2(1).	

$$q_{\text{koristna obtežba}} = 0,4 \text{ kN/m}^2$$

Določitev linijske koristne obtežbe na posamezno lego je izračunana s formulo (19), rezultati pa so predstavljeni v tabeli 20.

$$q_{\text{lin.,koristna obtežba}} \text{ (kN/m)} = \frac{q_{\text{koristna obtežba}} \text{ (kN/m}^2\text{)}}{\text{pripadajoča širina lege (m)}} \quad (19)$$

Tabela 20: Tabela linijskih koristnih obtežb na lege za vnos v Sap2000:

Področje	Pripadajoča širina (m)	Linijska koristna obtežba na lego (kN/m)
1	0,82	0,33
2	1,63	0,65
3	1,63	0,65
4	1,80	0,72
5	1,74	0,70
6	1,52	0,61
7	1,52	0,61
8 (sleme)	1,52	0,61
9	1,52	0,61
10	1,52	0,61
11	1,74	0,70
12	1,80	0,72
13	1,63	0,65
14	1,63	0,65
15	0,82	0,33

4.2.2 Obtežba snega

Za določitev vrednosti obtežbe snega pri projektiranju konstrukcij stavb in inženirskih objektov uporabimo Evrokod standard SIST EN 1991-1-3.

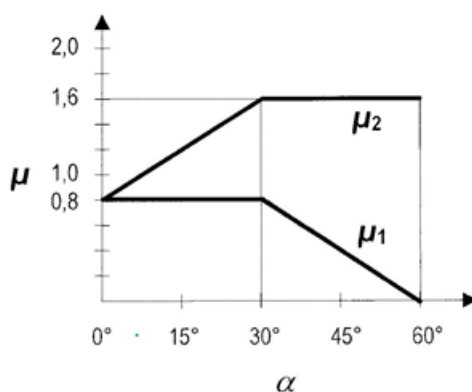
Šenkova domačija leži na Zgornjem Jezerskem na nadmorski višini 920 m, kar še spada v splošni del standarda, čeprav ta standard velja v Republiki Sloveniji tudi za objekte na nadmorski višini nad 1500 m (Nacionalni dodatek k SIST EN 1991-1-3, točka 1.1(2)). Obtežbo snega na strehi določimo s pomočjo spodnje formule (20):

$$S = \mu_i \times C_e \times C_t \times S_k \quad (20)$$

- S obtežba snega
- μ_i oblikovni koeficient obtežbe snega
- C_e koeficient izpostavljenosti
- C_t toplotni koeficient
- S_k karakteristična obtežba snega na tleh

4.2.2.1 Oblikovni koeficient μ_i

Oblikovni koeficient μ_i določimo s pomočjo nagiba strehe $\alpha = 44^\circ$ v diagramu za enokapnice oz. na osnovi kriterijev, definiranih v spodnji sliki (slika 49). Vrednosti v preglednici veljajo samo v primeru, da sneg nima ovir in lahko prosto zdrsne s strehe, sicer μ_i ne sme biti manjši od vrednosti 0,8 (21).



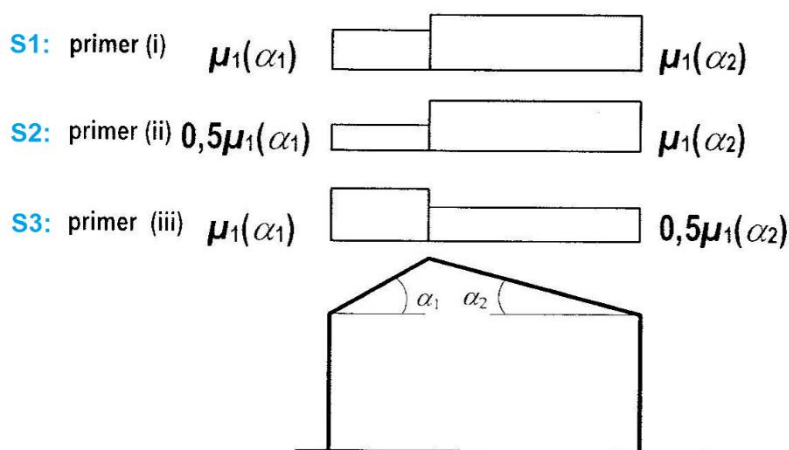
Nagib strehe α	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8	$0,8(60 - \alpha)/30$	0,0
μ_2	$0,8 + 0,8 \alpha/30$	1,6	--

Slika 49: Diagram oblikovnega koeficienta μ_i in nagiba strehe α s formulami za enokapnice (privzeto po SIST EN 1991-1-3, slika 5.1, preglednica 5.2).

$$\mu_1 = \frac{0,8(60-\alpha)}{30} = \frac{0,8(60-44)}{30} = 0,427 \quad (21)$$

Smer delovanja obtežbe snega je v smeri gravitacije. Obtežbo snega je zaradi oblike strehe potrebno upoštevati za tri različne primere (slika 50):

- polna obtežba po celotni strehi (S1),
- polovična obtežba na levi strešini in polna obtežba na desni strešini (S2),
- obtežba na levi strešini in polovična obtežba na desni strešini (S3).



Slika 50: Prikaz razporeda obtežbe snega na dvokapnici z upoštevanjem oblikovnega koeficienta μ_i in nagiba strehe α (privzeto po SIST EN 1991-1-3, slika 5.3).

4.2.2.2 Koeficient izpostavljenosti C_e in toplotni koeficient C_t

Koeficient izpostavljenosti C_e je odvisen od vrste terena, kjer se objekt nahaja. Običajno se vzame vrednost $C_e = 1,0$, ker pa se obravnavani objekt nahaja na precej ravnem terenu brez večjih zaklonov od vetra, izberemo (tabela 21):

$$C_e = 0,8$$

Tabela 21: Vrednosti koeficientov izpostavljenosti C_e za različne vrste terena (privzeto po SIST EN 1991-1-3, točka 5.2).

Teren	C_e
Izpostavljen vetru ^a	0,8
Običajen ^b	1
Zaščiten pred vetrom ^c	1,2
a	Teren izpostavljen vetru: ravne površine brez ovir, izpostavljene vetru z vseh strani, ali z majhnimi zakloni, ki jih nudijo teren, višji objekti ali drevje.
b	Običajen teren: površine, kjer veter ne prenaša snega na objektih, ker so zaščiteni zaradi terena, drugih objektov ali dreves.
c	Teren, zaščiten pred vetrom: površine, kjer je obravnavani objekt občutno nižji kot okoliški teren, visoko drevje ali drugi objekti.

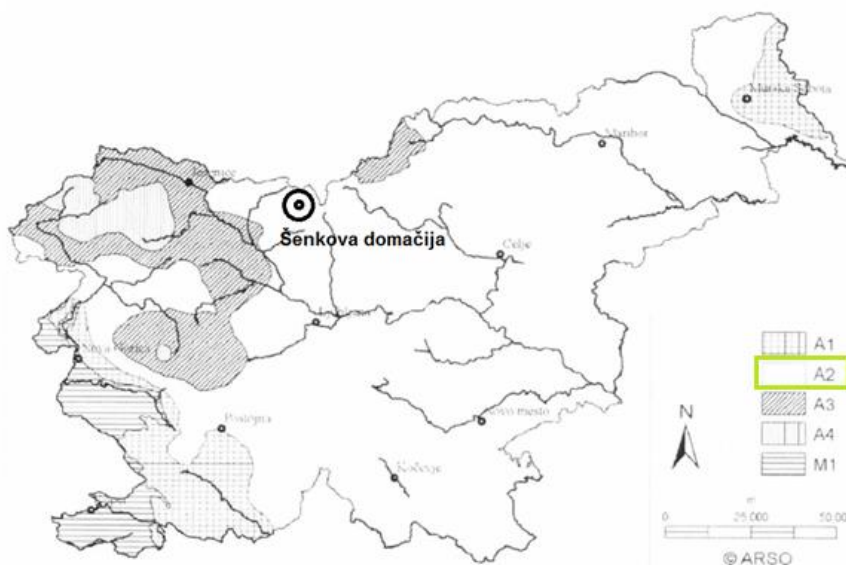
Toplotni koeficient C_t se upošteva za zmanjšanje obtežbe snega pri strehah z veliko toplotno prevodnostjo ($> 1 \text{ W/m}^2\text{K}$), predvsem to velja za steklene strehe. Za ostale primere velja:

$$C_t = 1,0$$

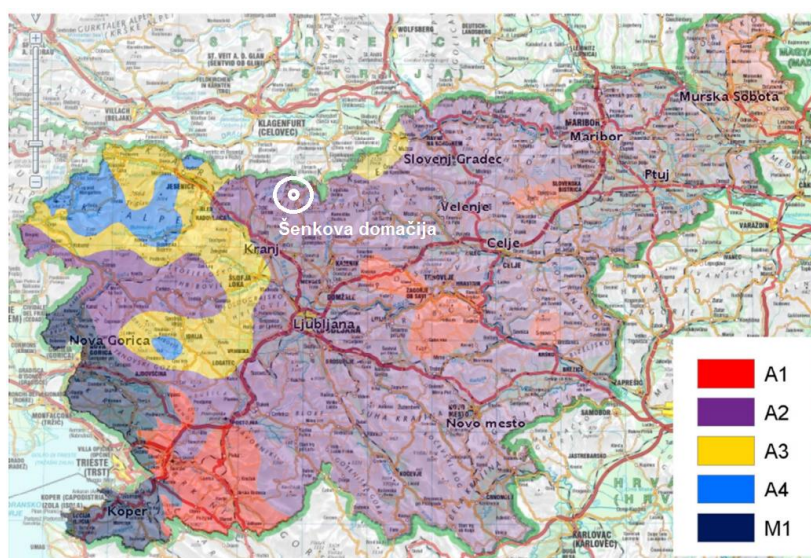
4.2.2.3 Karakteristična obtežba snega na tleh S_k

Karakteristična obtežba snega na tleh se določa s pomočjo območne karte Slovenije s karakteristično obtežbo snega na tleh Nacionalnega dodatka SIST EN 1991-1-3.

Določimo geografski položaj obravnavanega objekta in pripadajočo nadmorsko višino, potem izberemo formulo (slika 51 in 52).



Slika 51: Območna karta Slovenije s karakteristično obtežbo snega na tleh in nadmorskimi višinami A1-M1 v legendi (privzeto po SIST EN 1991-1-3, Nacionalni dodatek).



Slika 52: Območna karta Slovenije s karakteristično obtežbo snega na tleh in nadmorskimi višinami A1-M1 v legendi (Agencija Republike Slovenije za okolje).

Spodnje formule (22), (23), (24), (25) in (26) uporabimo za računanje obtežbe snega na tleh, kjer upoštevamo lokacijo objekta in njegovo nadmorsko višino (privzeto po SIST EN 1991-1-3, Nacionalni dodatek):

$$A1: \quad S_k = 0,651 \left[1 + \left(\frac{A}{728} \right)^2 \right] \quad (22)$$

$$A2: \quad S_k = 1,293 \left[1 + \left(\frac{A}{728} \right)^2 \right] \quad (23)$$

$$A3: \quad S_k = 1,935 \left[1 + \left(\frac{A}{728} \right)^2 \right] \quad (24)$$

$$A4: \quad S_k = 2,557 \left[1 + \left(\frac{A}{728} \right)^2 \right] \quad (25)$$

$$M1: \quad S_k = 0,289 \left[1 + \left(\frac{A}{728} \right)^2 \right] \quad (26)$$

Izbrali smo območje A2 s pripadajočo zgornjo formulo (23).

$$S_k = 0,651 \left[1 + \left(\frac{920}{728} \right)^2 \right] = 3,403 \text{ kN/m}^2 \quad (23)$$

Obtežba snega S (24):

$$S = \mu_i \times C_e \times C_t \times S_k = 0,427 \times 0,8 \times 1,0 \times 3,403 \text{ kN/m}^2 = 1,16 \text{ kN/m}^2 \quad (24)$$

Določitev linijske obtežbe snega na posamezno lego je izračunana s formulo (25), rezultati pa so predstavljeni v tabelah 22, 23, 24:

$$q_{\text{obtežba snega}} \text{ (kN/m)} = \frac{S \text{ (kN/m}^2\text{)}}{\text{pripadajoča širina lege (m)}} \quad (25)$$

Tabela 22: Tabela linijskih obtežb snega S1 na lege polne vrednosti po celotni strehi za vnos v Sap2000:

Tip obtežbe	Področje	Pripadajoča širina (m)	Linijska obtežba snega na lego (kN/m)
1,0 x S	1	0,82	0,95
1,0 x S	2	1,63	1,89
1,0 x S	3	1,63	1,89
1,0 x S	4	1,80	2,08
1,0 x S	5	1,74	2,02
1,0 x S	6	1,52	1,76
1,0 x S	7	1,52	1,76
1,0 x S	8 - sleme	1,52	1,76
1,0 x S	9	1,52	1,76
1,0 x S	10	1,52	1,76
1,0 x S	11	1,74	2,02
1,0 x S	12	1,80	2,08
1,0 x S	13	1,63	1,89
1,0 x S	14	1,63	1,89
1,0 x S	15	0,82	0,95

Tabela 23: Tabela linijskih obtežb snega S2 na lege polovične vrednosti na levi strešini in polne vrednosti na desni strešini za vnos v Sap2000:

Tip obtežbe	Področje	Pripadajoča širina (m)	Linijska obtežba snega na lego (kN/m)
0,5 x S	1	0,82	0,47
0,5 x S	2	1,63	0,95
0,5 x S	3	1,63	0,95
0,5 x S	4	1,80	1,04
0,5 x S	5	1,74	1,01
0,5 x S	6	1,52	0,88
0,5 x S	7	1,52	0,88
0,5 x S	8 - sleme	1,52	1,76
1,0 x S	9	1,52	1,76
1,0 x S	10	1,52	1,76
1,0 x S	11	1,74	2,02
1,0 x S	12	1,80	2,08
1,0 x S	13	1,63	1,89
1,0 x S	14	1,63	1,89
1,0 x S	15	0,82	0,95

Tabela 24: Tabela linijskih obtežb snega S3 na lege polne vrednosti na levi strešini in polovične vrednosti na desni strešini za vnos v Sap2000:

Tip obtežbe	Področje	Pripadajoča širina (m)	Linijska obtežba snega na lego (kN/m)
1,0 x S	1	0,82	0,95
1,0 x S	2	1,63	1,89
1,0 x S	3	1,63	1,89
1,0 x S	4	1,80	2,08
1,0 x S	5	1,74	2,02
1,0 x S	6	1,52	1,76
1,0 x S	7	1,52	1,76
1,0 x S	8 - sleme	1,52	1,76
0,5 x S	9	1,52	0,88
0,5 x S	10	1,52	0,88
0,5 x S	11	1,74	1,01
0,5 x S	12	1,80	1,04
0,5 x S	13	1,63	0,95
0,5 x S	14	1,63	0,95
0,5 x S	15	0,82	0,47

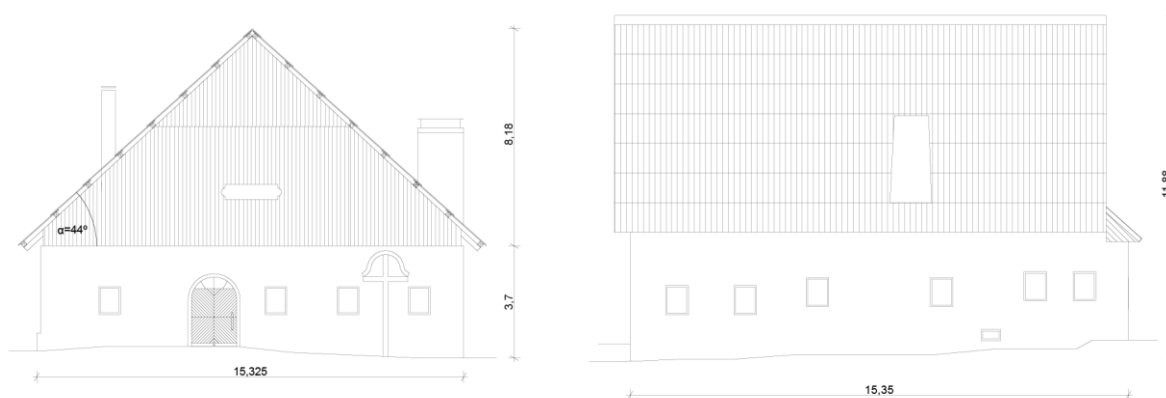
4.2.3 Obtežba vetra

Za določitev vrednosti obtežbe vetra pri projektiranju konstrukcij stavb in inženirskih objektov uporabimo Evrokod standard SIST EN 1991-1-4. Projektiramo lahko na celotno konstrukcijo ali pa na njene dele, kar bomo uporabili v konkretnem primeru, saj gre za ostrešje. To predstavlja zgornji leseni del konstrukcije, ki leži na spodnjem zidanem.

Veter je bolj nepredvidljiv in precej manj konstanten vpliv v primerjavi s snegom. S časom se lahko zelo hitro spremeni njegova jakost. Deluje lahko zelo sunkovito in nekonstantno. Določanje smeri delovanja vetra na obravnavane površine je zelo kompleksno, zato privzamemo poenostavljen vpliv enakovreden skrajnim učinkom turbulentnega vetra. Za razliko od ostalih vplivov upoštevamo, da veter deluje pravokotno na površine. Ob morebitni prepustnosti zunanega ovoja na katerega deluje, se pojavi tudi delovanje na notranje površine. Njegovo delovanje je določeno kot spremenljivi in nepomični vpilvi (če ni drugače določeno v SIST EN 1990-4-1-1).

Po izračunu s standardom SIST EN 1991-1-4 so vplivi vetra karakteristične vrednosti, določene z osnovnimi vrednostmi hitrosti in tlakov vetra s povratno dobo 50 let. To pomeni, da v enem letu obstaja verjetnost 0,02, da nastopijo večje vrednosti.

Delovanje vetra na konstrukcijo je odvisno od velikosti in oblike konstrukcije (slika 53). Pri izračunu srednje hitrosti vetra bo upoštevana višina celotnega objekta (11,88 m). Kasneje se bodo dobljene vrednosti upoštevale le na strešni konstrukciji. Tlak in srk na strešinah se bosta upoštavala preko leg. Pri napušču pa se bosta kot površinska obtežba prenesla linijsko preko špirovcev, kjer se bo upoštevala njuna absolutna vrednost. Čelna dela ostrešja bosta vetrno obtežbo prenašala preko nosilnih elementov osnovnega okvirja. Površinska obtežba bo pretvorjena na linijsko z upoštevanjem določene izračunane vplivne površine in pripadajoče vsote dolžin vseh elementov te površine.



Slika 53: Pogled severne in vzhodne fasade s kotami.

4.2.3.1 Hitrost in tlak vetra

Hitrost in tlak vetra delimo na srednjo in nestalno komponento. Srednjo komponento predstavlja srednji veter v_m (27), ki je odvisen od osnovne hitrosti vetra v_b (26), hrapavosti terena $c_r(z)$ (28) in faktorja hribovitosti $c_o(z)$ (29). Osnovna hitrost vetra pa je poleg smernega faktorja c_{dir} in faktorja letnega časa c_{season} odvisna tudi od temeljne vrednosti osnovne hitrosti vetra $v_{b,0}$, ki jo odčitamo s karte Slovenije s projektnimi hitrostmi vetra (nacionalni dodatek). Nestalno komponento predstavlja tlak pri največji hitrosti ob sunkih vetra $q_p(z)$. Ta je odvisen od intenzitete turbulence $I_v(z)$, gostote zraka ρ in srednje hitrosti vetra v_m .

Osnovna hitrost vetra:

Računamo jo po formuli (26).

$$V_b = C_{dir} \times C_{season} \times V_{b,0} \quad (26)$$

V_b osnovna hitrost vetra

C_{dir} smerni faktor

C_{season} faktor letnega časa

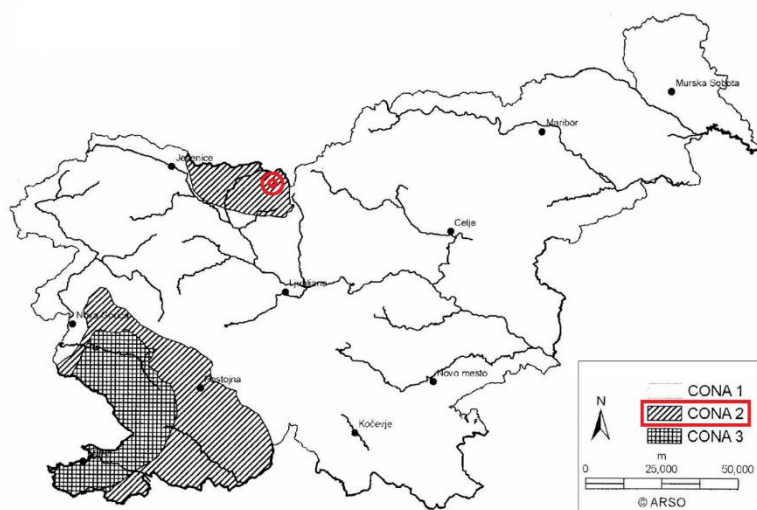
$V_{b,0}$ temeljna vrednost osnovne hitrosti vetra

Za smerni faktor C_{dir} in faktor letnega časa C_{season} se po nacionalnem dodatku SIST EN 1991-1-4:2005/oA101 (točka 4.2 (2)P) upoštevata priporočeni vrednosti:

$$C_{dir} = 1,0$$

$$C_{season} = 1,0$$

Temeljna vrednost osnovne hitrosti vetra $v_{b,0}$ je prav tako določena po nacionalnem dodatku SIST EN 1991-1-4:2005/oA101 (točka 4.3.3 (1)) z odčitanjem vrednosti s karte hitrosti vetra v odvisnosti od nadmorske višine (slika 55).



Slika 54: Temeljna vrednost osnovne hitrosti vetra $v_{b,0}$.

Hitrosti vetra:

- Cona 1 (večina Slovenije):
 - o 20 m/s pod 800 m
 - o 25 m/s od 800 m do 1600 m
 - o 30 m/s od 1600 m do 2000 m
 - o 40 m/s nad 2000 m
- Cona 2 (Trnovski gozd, Notranjska, Karavanke):
 - o **25 m/s pod 1600 m**
 - o 30 m/s od 1600 m do 2000 m
 - o 40 m/s nad 2000 m
- Cona 3 (Primorje):
 - o 30 m/s

Objekt spada v cono 2 z nadmorsko višino 920 m:

$$v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$$

Torej osnovna hitrost vetra znaša:

$$V_b = 1,0 \times 1,0 \times 25 \text{ m/s} = 25 \text{ m/s}$$

Srednji veter:

V odvisnosti od faktorja hrapavosti, hribovitosti in osnovne hitrosti vetra srednji veter izračunamo po (27):

$$v_m(z) = c_r(z) \times c_o(z) \times v_b \tag{27}$$

$v_m(z)$ srednji veter

$c_r(z)$ faktor hrapavosti

$c_o(z)$ faktor hribovitosti

v_b osnovna hitrost vetra

Faktor hrapavosti (28) je odvisen od višine objekta, hrapavosti terena in hrapavostne dolžine:

$$c_r(z) = k_r \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{za } z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \quad (28)$$

$$c_r(z) = c_r(z_{\min}) \quad \text{za } z \leq z_{\min} \quad (29)$$

k_r faktor terena (30)

z višina objekta, $z = 11,88$ m

z_0 hrapavostna dolžina

$$k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,11}}\right) \quad (30)$$

z_0 hrapavostna dolžina (tabela 26)

$z_{0,11}$ kategorija terena II., vrednost $z_{0,11} = 0,05$ m (tabela 25, kategorija terena II)

Tabela 25: Tabela kategorij terena s terenskimi parametri (privzeto po SIST EN 1991-1-4, točka 4.3.2, preglednica 4.1):

Kategorija terena	z_0 (m)	z_{\min} (m)
0 Morsko ali obalno področje, izpostavljeno proti odprtem morju	0,003	1
I Jezersko ali ravninsko področje z zanemarljivim rastlinjem in brez ovir	0,01	1
II Področje z nizkim rastlinjem (trava) in posameznimi ovirami (drevesi, stavbami) na razdalji najmanj 20 višin ovir	0,05	2
III Področja z običajnim rastlinjem ali stavbami ali s posameznimi ovirami na razdalji največ 20 višin ovir (vasi, podeželjsko okolje, stalni gozd)	0,3	5
IV Področje, kjer je najmanj 15% površine pokrite s stavbami s povprečno višino več kot 15 m	1	10

Okolica domačije je obdana s travnatimi površini z redkimi drevesi, izberemo hrapavostno dolžino:

$$z_0 = 0,05 \text{ m}$$

$$k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,11}}\right)^{0,07} = 0,19 \left(\frac{0,05 \text{ m}}{0,05 \text{ m}}\right)^{0,07} = 0,19$$

$$c_r(z) = k_r \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,19 \times \ln\left(\frac{11,88 \text{ m}}{0,05 \text{ m}}\right) = 1,034$$

Faktor hribovitosti ima vrednost 1,0, saj je privetrni teren (na dolžini 10 kratni višini objekta, torej 118,8 m) nagnjen za manj kot 3°:

$$c_o(z) = 1,0$$

$$v_m(z) = c_r(z) \times c_o(z) \times v_b = 1,034 \times 1,0 \times 25 \text{ m/s} = 25,85 \text{ m/s}$$

Tlak pri največjih hitrostih vetra ob sunkih vetra:

Tlak pri največjih hitrostih vetra je določen s spodnjo formulo (31), upoštevajoč faktor izpostavljenosti terenu (32) in tlak pri referenčni osnovni višini:

$$q_p(z) = [1 + 7 \times l_v(z)] \times \frac{1}{2} \times \rho \times v_m^2(z) = c_e(z) \times q_b \quad (31)$$

$$c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b} \quad (32)$$

$q_p(z)$ tlak pri največjih hitrostih vetra ob sunkih vetra

$l_v(z)$ intenziteta turbulence

ρ gostota zraka, priporočena vrednost $\rho = 1,25 \text{ m/s}^3$

$c_e(z)$ faktor izpostavljenosti terenu

q_b tlak pri referenčni osnovni višini

Intenziteta turbulence je določena s spodnjo formulo (33), v primeru, da je $z \leq z_{\min}$, pa s formulo (34):

$$l_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_l}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad \text{za } z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \quad (33)$$

$$l_v(z) = l_v(z_{\min}) \quad \text{za } z \leq z_{\min} \quad (34)$$

$l_v(z)$ intenziteta turbulence

σ_v standardna deviacija turbulence

$v_m(z)$ srednja hitrost vetra

k_l turbulenčni faktor, priporočena vrednost $k_l = 1,0$

$c_o(z)$ faktor hribovitosti

z višina objekta

z_0 hrapavostna dolžina

Ker velja $z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$, izberemo formulo (33) in dobimo intenziteto turbulence:

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_t}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{11,88 \text{ m}}{0,05 \text{ m}}\right)} = 0,183$$

Faktor izpostavljenosti terenu:

$$c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b}$$

$$q_b = \frac{1}{2} \times \rho \times v_b^2 = \frac{1}{2} \times 1,25 \frac{\text{m}}{\text{s}^3} \times \left(25,85 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 15,625 \text{ N/m}^2$$

$$q_p(z) = [1 + 7 \times I_v(z)] \times \frac{1}{2} \times \rho \times v_m^2(z) = [1 + 7 \times 0,183] \times \frac{1}{2} \times 1,25 \frac{\text{m}}{\text{s}^3} \times \left(25,85 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 952,63 \text{ N/m}^2 \\ = 0,953 \text{ kN/m}^2$$

$$c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b} = \frac{952,63 \text{ N/m}^2}{15,625 \text{ N/m}^2} = 60,97$$

4.2.3.2 Vplivi vetra

Vplive vetra na konstrukcijo upoštevamo s pomočjo zunanjih c_{pe} in notranjih tlakov vetra c_{pi} .

Tlak vetra na ploskve:

Ločimo tlak na zunanje in notranje ploskve. Tlak vetra na zunanje ploskve računamo kot produkt največjega tlaka pri sunkih vetra in koeficienta zunanjega tlaka (35):

$$w_e = q_p(z_e) \times c_{pe} \tag{35}$$

w_e tlak vetra na zunanje ploskve

$q_p(z_e)$ največji tlak pri sunkih vetra

z_e referenčna višina za zunanji tlak

c_{pe} koeficient zunanjega tlaka

Tlak na notranje ploskve pa računamo kot produkt največjega tlaka pri sunkih vetra in koeficienta notranjega tlaka (36):

$$w_i = q_p(z_i) \times C_{pi} \quad (36)$$

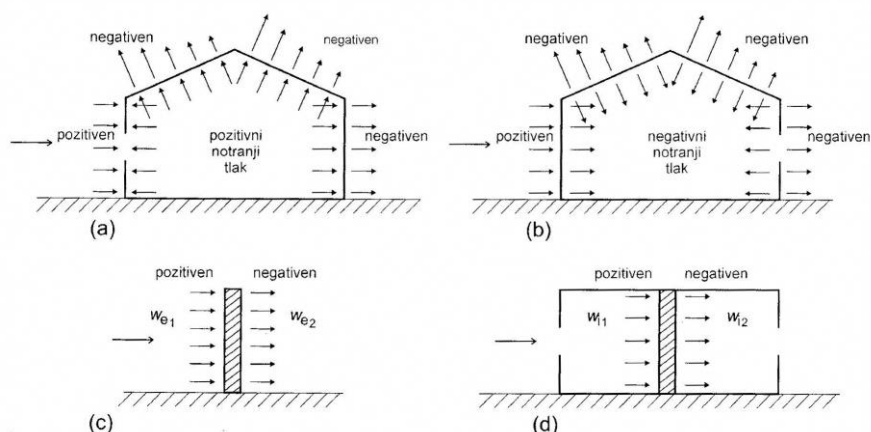
w_i tlak vetra na notranje ploskve

$q_p(z_i)$ največji tlak pri sunkih vetra

z_i referenčna višina za notranji tlak

C_{pi} koeficient notranjega tlaka

Tlaki s smerjo proti površinam imajo pozitiven predznak, tisti od površin pa negativnega. Upošteva se razlika med tlakoma na nasprotnih straneh površin (slika 55).



Slika 55: Tlaki vetra na ploskve (privzeto po SIST EN 1991-1-4, točka 7.2.2, slika 5.1).

Sile vetra:

Delimo jih na zunanje sile vetra, notranje sile vetra in sile trenja.

Skupne sile vetra (37):

$$F_w = F_{w,e} + F_{w,i} + F_{w,fr} \quad (37)$$

Zunanje sile (38):

$$F_{w,e} = c_s \times c_d \times \sum_{površine} w_e \times A_{ref} \quad (38)$$

$F_{w,e}$ zunanje sile

$c_s \times c_d$ konstrukcijski faktor (za stavbe nižje od 15 m velja $c_s * c_d = 1,0$)

w_e zunanji tlak na posamezno ploskev

A_{ref} referenčna površina posamezne ploskve

Notranje sile (39):

$$F_{w,i} = \sum_{površine} w_i \times A_{ref} \quad (39)$$

$F_{w,i}$ notranje sile
 w_e notranji tlak na posamezno ploskev
 A_{ref} referenčna površina posamezne ploskve

Sile trenja (40):

$$F_{w,fr} = c_{fr} * q_p(z_e) \times A_{ref} \quad (40)$$

$F_{w,fr}$ sile trenja
 c_{fr} koeficient trenja
 $q_p(z_e)$ največji tlak pri sunkih vetra na referenčni višini z_e
 A_{ref} referenčna površina posamezne ploskve

Sile trenja lahko zanemarimo, saj je površina vseh ploskev (vzporednih z vetrom ali pod majhnim kotom na veter (41)) enaka ali manjša od štirikratne površine zunanjih ploskev, pravokotnih na veter (42), kot kaže formula (43).

$$A_{vzporedno\ na\ veter} = (56,8\ m^2 + 266,6\ m^2) \times 2 = 646,9\ m^2 \quad (41)$$

$$A_{pravokotno\ na\ veter} = (62,7\ m^2 + 56,7\ m^2) \times 2 = 238,76\ m^2 \quad (42)$$

$$A_{vzporedno\ na\ veter} \leq 4 \times A_{pravokotno\ na\ veter} \quad (43)$$
$$646,9\ m^2 \leq 955\ m^2$$

Ker smo sile trenja lahko zanemarili, upoštevamo le zunanje in notranje sile (44):

$$F_w = F_{w,e} + F_{w,i} \quad (44)$$

Na strehi upoštevamo prenos sil vetra in pretvorbo površinske obtežbe na linijsko preko leg s pomočjo referenčnih površin in pripadajočih širin (45), prav tako upoštevamo tlak na napušču:

$$F_{w\ (lege,\ špirovci)} \left[\frac{kN}{m} \right] = (w_e + w_i) \left[\frac{kN}{m^2} \right] \times referenčna\ širina\ [m] \quad (45)$$

Na čelni strani ostrešja pa prenos sil vetra in pretvorbo površinske obtežbe na linijsko upoštevamo preko osnovnega okvirja s pomočjo referenčne površine in upoštevanja vsote dolžin pripadajočih elementov osnovnega okvirja (46):

$$F_w \text{ (osnovni okvir)} \left[\frac{kN}{m} \right] = \frac{(w_e + w_i) \left[\frac{kN}{m^2} \right] * \text{referenčna površina} [m^2]}{\text{skupna dolžina nosilnih elementov osnovnega okvirja} [m]} \quad (46)$$

Koeficienti tlaka na stavbe:

- Navpične stene stavb s pravokotnim tlorisom imajo dimenzije:

$$d = 15,325 \text{ m}$$

$$b = 15,35 \text{ m}$$

$$h = 11,88 \text{ m}$$

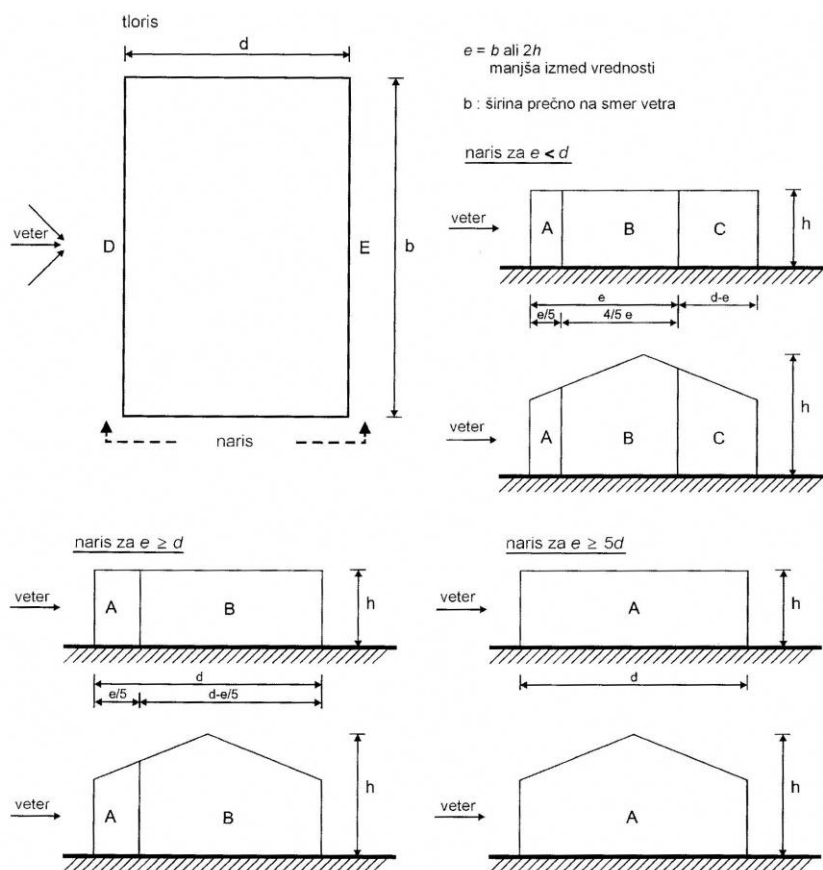
$$e = \min(b; 2 \times h) \quad e = 15,35 \text{ m}$$

Za pridobitev vrednosti koeficientov zunanjega tlaka za navpične površine potrebujemo količnik višine in širine oz. dolžine objekta, kjer upoštevamo večjo izmed vrednosti (47) in (48), kjer b predstavlja širino prečno na smer vetra (slika 56):

$$\frac{h}{b} = \frac{11,88 \text{ m}}{15,35 \text{ m}} = 0,774 \quad (47)$$

$$\frac{h}{d} = \frac{11,88 \text{ m}}{15,325 \text{ m}} = 0,775 \quad (48)$$

Za izračun koeficientov tlaka s pomočjo linearne interpolacije za obe smeri vpliva vetra (x in y smer) zaradi zanemarljive razlike med h/b in h/d vrednosti, uporabimo kar vrednost h/d = 0,775, vrednosti koeficientov zunanjega tlaka za navpične površine c_{pe} dobimo v tabeli 26.



Slika 56: Razdelitev sten na področja (privzeto po SIST EN 1991-1-4, točka 7.2.2, slika 7.5).

Tabela 26: Priporočene vrednosti koeficientov zunanje tlaka za navpične stene stavb s pravokotnim tlorisom (privzeto po SIST EN 1991-1-4, točka 7.2.2, preglednica 7.1):

Področje	A		B		C		D		E	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

- Dvokapne strehe (slika 57):

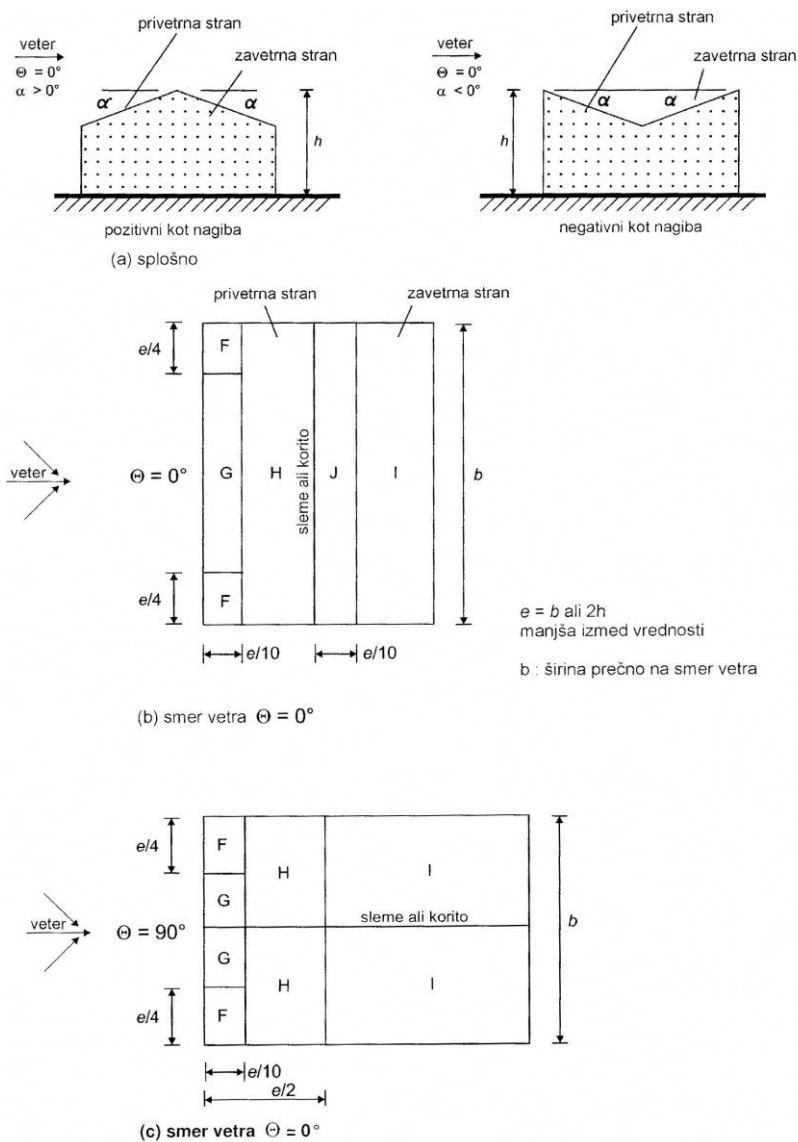
Za dvokapne strehe se upošteva razdelitev strehe na področja, kot kaže slika 57. Koeficiente zunanje tlaka dobimo s pomočjo upoštevanja naklona strehe $\alpha = 44^\circ$ (tabela 27 in 28).

$b_{smer\ y} = 16,443\ m$ (za vpliv vetra v smeri y)

$b_{smer\ x} = 16,418\ m$ (za vpliv vetra v smeri x)

$h = 11,88$

$e = \min(b; 2 \times h)$ $e_{smer\ y} = 16,443\ m$ $e_{smer\ x} = 16,418\ m$ $\alpha = 44^\circ$



Slika 57: Razdelitev dvokapne strehe na področja (privzeto po SIST EN 1991-1-4, točka 7.2.4, preglednica 7.8).

Tabela 27: Priporočene vrednosti koeficientov zunanje tlaka za dvokapne strehe (privzeto po SIST EN 1991-1-4, točka 7.2.5, preglednica 7.4a):

Nagib α	Področja za smer vetra $\theta = 0^\circ$									
	F		G		H		I		J	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
-45°	-0,6		-0,6		-0,8		-0,7		-1,0	-1,5
-30°	-1,1	-2,0	-0,8	-1,5	-0,8		-0,6		-0,8	-1,4
-15°	-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5		-0,7	-1,2
-5°	-2,3	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	+0,2		+0,2	
							-0,6		-0,6	
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,6		+0,2	
	+0,0		+0,0		+0,0				-0,6	
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,4		-1,0	-1,5
	+0,2		+0,2		+0,2		+0,0		+0,0	+0,0
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,5	
	+0,7		+0,7		+0,4		+0,0		+0,0	
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,2		-0,3	
	+0,7		+0,7		+0,6		+0,0		+0,0	
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,2		-0,3	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,2		-0,3	

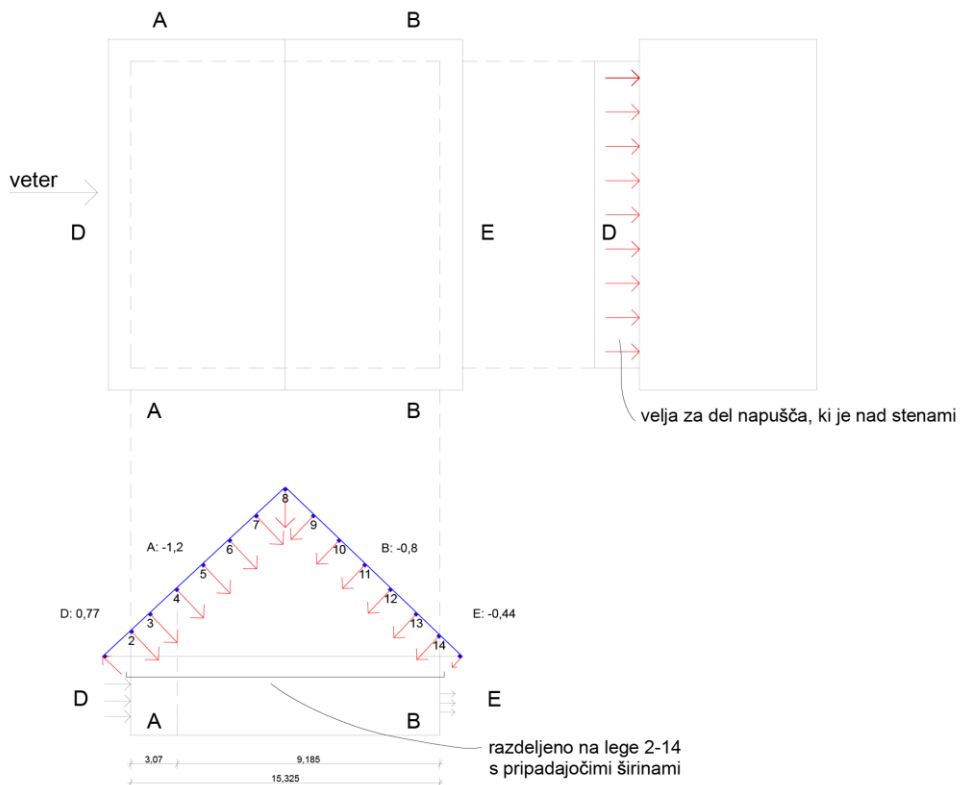
OPOMBA 1: Pri $\theta = 0^\circ$ in kotu nagiba $\alpha = +5^\circ$ do $+45^\circ$ se tlak na privetni strani lahko spreminja med pozitivno in negativno vrednostjo. Zato so dane pozitivne in negativne vrednosti. Za take strehe je treba obravnavati štiri primere, kjer so največje ali najmanjše vrednosti za področja F, G in H kombinirane z največjimi in najmanjšimi vrednostmi v področjih I in J. Mešanje pozitivnih in negativnih vrednosti na isti strešini ni dovoljeno.

OPOMBA 2: Za vmesne kote nagiba se lahko uporabi linearna interpolacija med vrednostmi istega predznaka. (Med vrednostmi $\alpha = +5^\circ$ in $\alpha = -5^\circ$ se ne interpolira, ampak se uporabijo vrednosti za ravno streho v 7.2.3). Vrednosti, enake 0,0, so dane za uporabo pri interpolaciji.

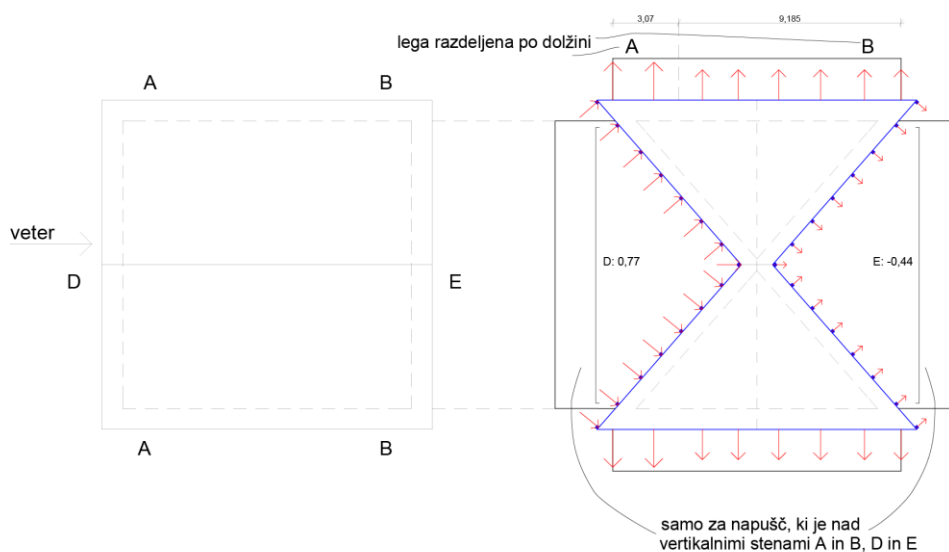
Tabela 28: Priporočene vrednosti koeficientov zunanje tlaka za dvokapne strehe (privzeto po SIST EN 1991-1-4, točka 7.2.5, preglednica 7.4b):

Nagib α	Področja za smer vetra $\theta = 90^\circ$							
	F		G		H		I	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
-45°	-1,4	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-30°	-1,5	-2,1	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-15°	-1,9	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	-0,8	-1,2
-5°	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	-1,2
5°	-1,6	-2,2	-1,3	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	
15°	-1,3	-2,0	-1,3	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
30°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,5	
45°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5	
60°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	
75°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	

Skica načina upoštevanja tlaka in srka pri napušču, kjer sta tlak oz. srk na navpični steni prenešana tudi kot tlak oz. srk na napušč preko lege (upoštevajoč vplivno področje in nazadnje širino) je prikazana na sliki 58 za vpliv vetra v smeri osi y. Na sliki 59 so za vpliv vetra v smeri osi x prikazane razprte oz. prevrnjene štiri stene objekta s streho in prikazom delovanjem vetra.



Slika 58: Skica načina upoštevanja tlaka in srka pri napušču za vpliv vetra v smeri y.



Slika 59: Skica načina upoštevanja tlaka in srka pri napušču za vpliv vetra v smeri x.

4.2.3.3 Obtežba vetra za vnos v Sap2000

- **Zunanji vpliv vetra (koeficient $c_{pe,10}$):**

- Vpliv vetra v smeri y ($\varphi = 90^\circ$)

Tabela 29: Tabela koeficientov $c_{pe,10}$ za veter v smeri osi y :

Področje	A	B	D	E
$c_{pe,10}$	-1,2	-0,8	0,77	-0,44

- Vpliv vetra v smeri y ($\varphi = 90^\circ$)

Tabela 30: Tabela koeficientov $c_{pe,10}$ za veter v smeri osi y :

α	F	G	H	I	J
44°	-0,63	-0,61	-0,8	-0,69	-0,99
-44°	-0,03	-0,03	-0,01	-0,21	-0,03
	0,7	0,7	0,59	0	0

- Vpliv vetra v smeri x ($\varphi = 0^\circ$)

Tabela 31: Tabela koeficientov $c_{pe,10}$ za veter v smeri osi x :

Področje	A	B	D	E
$c_{pe,10}$	-1,2	-0,8	0,77	-0,44

- Vpliv vetra v smeri x ($\varphi = 0^\circ$)

Tabela 32: Tabela koeficientov $c_{pe,10}$ za veter v smeri osi x :

α	F	G	H	I	J
44°	-1,41	-1,2	-1	-0,9	-1,41
-44°	-1,1	-1,4	-0,89	-0,5	-1,1

- **Notranji vpliv vetra (koeficient c_{pi}):**

- Vpliv vetra v smeri osi y ($\varphi = 90^\circ$):

$$h = 11,88 \text{ m}$$

$$d = 15,35 \text{ m}$$

$$h/d = 0,774$$

$$c_{pi} = -0,284$$

- Vpliv vetra v smeri x ($\varphi = 0^\circ$):

$h = 11,88 \text{ m}$

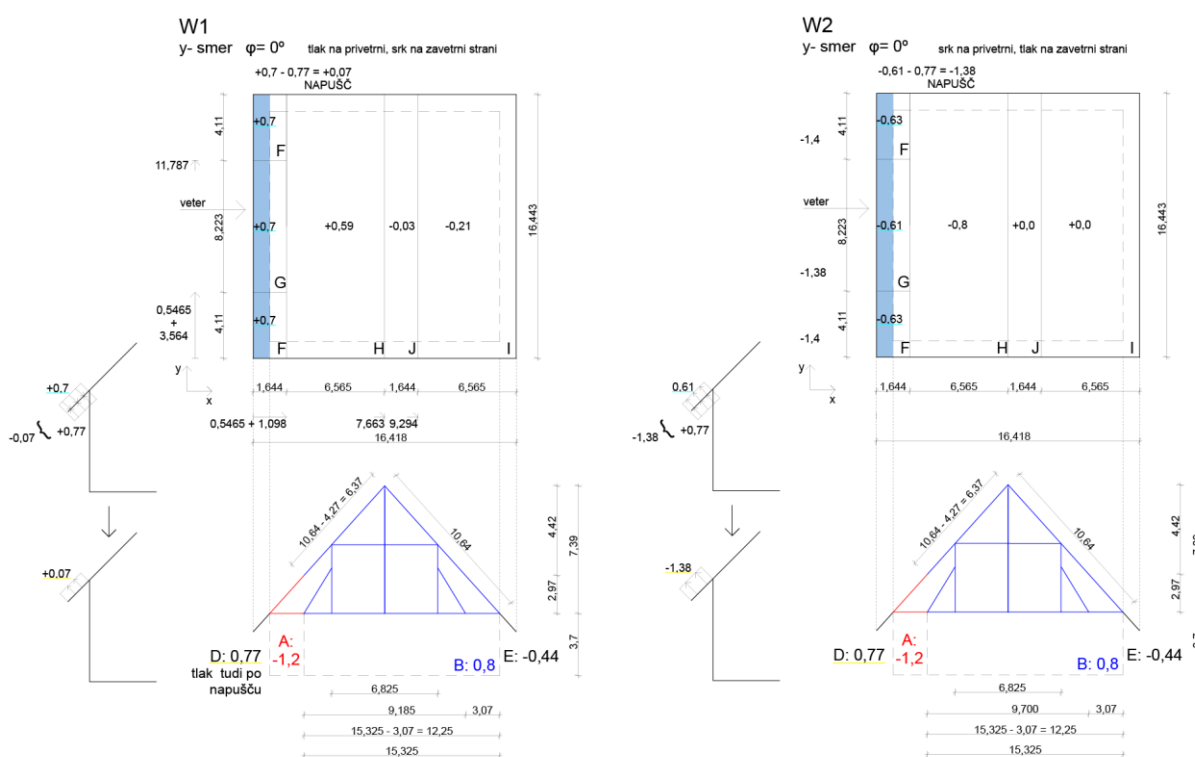
$b = 15,325 \text{ m}$

$h/d = 0,775$

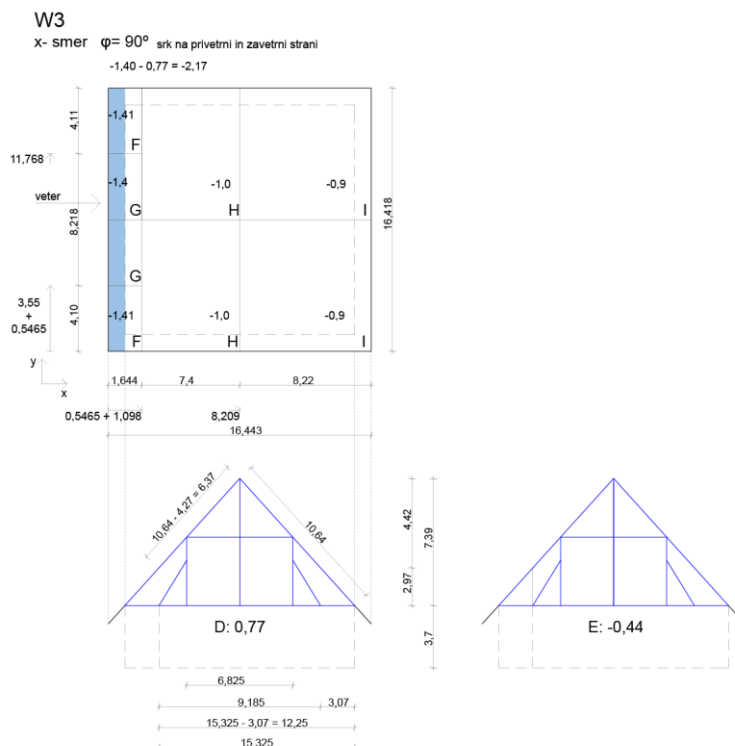
$c_{pi} = -0,284$

Za prikaz razporeditve koeficientov po strehi in napušču so določeni trije primeri:

- W1 (veter v smeri osi y , tlak na privetni, srk na zavetni strani) (slika 60)
- W2 (veter v smeri osi y , srk na privetni, tlak na zavetni strani) (slika 60)
- W3 (veter v smeri osi x , srk na privetni in zavetni strani) (slika 61)



Slika 60: Skica načina upoštevanja vpliva vetra s koeficienti za primer W1 in W2 s prikazom načina upoštevanja koeficientov za napušč.



Slika 61: Skica načina upoštevanja vpliva vetra s koeficienti za primer W3.

V nadaljevanju bodo predstavljene tabele vpliva vetra na površino skupne primere obtežb vetra (W1, W2 in W3) in pozamezne ločene primere (tabele; i = 33-40) .

Tabela 33: Zunanja tlak in srk, notranji srk in obtežba vetra na navpične stene pri vetru v smeri osi y za W1, W2 in W3:

Področja	q_p	$C_{pe,10}$	w_e (kN/m ²)	C_{pi}	w_i (kN/m ²)	$w_e + w_i$ (kN/m ²)
A	0,95	-1,20	-1,14	-0,28	-0,27	-1,41
B	0,95	-0,80	-0,76	-0,28	-0,27	-1,03
C	0,95	-0,50	-0,48	-0,28	-0,27	-0,75
D	0,95	0,77	0,73	-0,28	-0,27	0,46
E	0,95	-0,44	-0,42	-0,28	-0,27	-0,69

Tabela 34: Zunanja tlak na privettni strani in srk na zavettni strani ter notranji srk in obtežba vetra na navpične stene pri vetru v smeri osi y za W1:

Področja	q_p	$C_{pe,10}$	w_e (kN/m ²)	C_{pi}	w_i (kN/m ²)	$w_e + w_i$ (kN/m ²)
A	0,95	0,70	0,67	-0,28	-0,27	0,40
B	0,95	0,70	0,67	-0,28	-0,27	0,40
C	0,95	0,59	0,56	-0,28	-0,27	0,29
D	0,95	-0,21	-0,20	-0,28	-0,27	-0,47
E	0,95	-0,03	-0,03	-0,28	-0,27	-0,30

Tabela 35: Zunanji in notranji srk in obtežba vetra na navpične stene pri vetru v smeri osi y za W2:

Področja	q_p	$C_{pe,10}$	w_e (kN/m ²)	C_{pi}	w_i (kN/m ²)	$w_e + w_i$ (kN/m ²)
A	0,95	-0,63	-0,60	-0,28	-0,27	-0,87
B	0,95	-0,61	-0,58	-0,28	-0,27	-0,85
C	0,95	-0,80	-0,76	-0,28	-0,27	-1,03
D	0,95	0,00	0,00	-0,28	-0,27	-0,27
E	0,95	0,00	0,00	-0,28	-0,27	-0,27

Tabela 36: Zunanji in notrani srk in obtežba vetra na navpične stene pri vetru v smeri osi x za W3:

Področja	q_p	$C_{pe,10}$	w_e (kN/m ²)	C_{pi}	w_i (kN/m ²)	$w_e + w_i$ (kN/m ²)
A	0,95	-1,41	-1,34	-0,28	-0,27	-1,61
B	0,95	-1,40	-1,33	-0,28	-0,27	-1,60
C	0,95	-1,00	-0,95	-0,28	-0,27	-1,22
D	0,95	-0,90	-0,86	-0,28	-0,27	-1,13
E	0,95	-1,41	-1,34	-0,28	-0,27	-1,61

Tabela 37: Kombinacije vpliva zunanjega in notranjega vetra za W1, W2, W3:

Področja	$w_e + w_i$ (kN/m ²)
A	-1,41
B	-1,03
C	-0,75
D	0,46
E	-0,69

Tabela 38: Kombinacije vpliva zunanjega in notranjega vetra za W1:

Področja	$w_e + w_i$ (kN/m ²)
F	0,40
G	0,40
H	0,29
I	-0,47
J	-0,30

Tabela 39: Kombinacije vpliva zunanjega in notranjega vetra za W2:

Področja	$w_e + w_i$ (kN/m ²)
F	-0,87
G	-0,85
H	-1,03
I	-0,27
J	-0,27

Tabela 40: Kombinacije vpliva zunanjega in notranjega vetra za W3:

Področja	$w_e + w_i$ (kN/m ²)
F	-1,61
G	-1,60
H	-1,22
I	-1,13

4.2.3.4 Razporeditev linijskih sil vetra po ostrešni konstrukciji:

V nadaljevanju bodo predstavljene linijske obtežbe (kN/m) za tri primere (W1, W2 in W3) in različna področja (A-J) po strehi v tabelah; $i = 41-52$:

Tabela 41: Linijske obtežbe vetra za W1 in W2 za področje A in B:

Področja	$w_e + w_i$ (kN/m ²)	Dejanska površina (m ²)	Skupna dolžina elementov (m)	LINIJSKA OBTEŽBA (kN/m)
A	-1,41	4,56	7,34	-0,88
B	-1,03	33,86	50,82	-0,69

Tabela 42: Linijske obtežbe vetra za W1:

Področja	Lege	$w_e + w_i$ (kN/m ²)	Pripadajoča. širina (m)	LINIJSKA OBTEŽBA (kN/m)
F, G	1	0,40	0,82	0,32
F, G	2	0,40	1,63	0,65
H	3	0,29	1,63	0,48
H	4	0,29	1,80	0,52
H	5	0,29	1,74	0,51
H	6	0,29	1,52	0,44
H	7	0,29	1,52	0,44
H	8 - sleme	0,29	1,52	0,44
I	9	-0,47	1,52	-0,72
J	10	-0,30	1,52	-0,45
J	11	-0,30	1,74	-0,52
J	12	-0,30	1,80	-0,54
J	13	-0,30	1,63	-0,49
J	14	-0,30	1,63	-0,49
J	15	-0,30	0,82	-0,24

Tabela 43: Linijske obtežbe vetra za W2:

Področja	Lege	$w_e + w_i$ (kN/m ²)	Pripadajoča. širina (m)	LINIJSKA OBTEŽBA (kN/m)
F	1	-0,87	0,82	-0,71
F	2	-0,87	1,63	-1,42
G	1	-0,85	0,82	-0,69
G	2	-0,85	1,63	-1,39
H	3	-1,03	1,63	-1,68
H	4	-1,03	1,80	-1,85
H	5	-1,03	1,74	-1,80
H	6	-1,03	1,52	-1,57
H	7	-1,03	1,52	-1,57
H	8 - sleme	-1,03	1,52	-1,57
I	9	-0,27	1,52	-0,41
J	10	-0,27	1,52	-0,41
J	11	-0,27	1,74	-0,47
J	12	-0,27	1,80	-0,49
J	13	-0,27	1,63	-0,44
J	14	-0,27	1,63	-0,44
J	15	-0,27	0,82	-0,22

Tabela 44: Kombinacije vpliva zunanjega in notranjega vetra za W3:

Področja	$w_e + w_i$ (kN/m ²)	Dejanska površina (m ²)	Skupna dolžina elementov (m)	LINIJSKA OBTEŽBA (kN/m)
D	0,46	56,80	58,16	0,45
E	-0,69	56,80	56,86	-0,69

Tabela 45: Linijske obtežbe vetra za W3 za področji F in G:

Področja	Lege	$w_e + w_i$ (kN/m ²)	Pripadajoča. širina (m)	LINIJSKA OBTEŽBA (kN/m)
F	1	-1,61	0,82	-1,32
F	2	-1,61	1,63	-2,63
F	3	-1,61	1,63	-2,63
F	4	-1,61	1,80	-2,90
G	5	-1,60	1,74	0,51
G	6	-1,60	1,52	0,44
G	7	-1,60	1,52	0,44
G	8 - sleme	-1,60	1,52	0,44
G	9	-1,60	1,52	-0,72
G	10	-1,60	1,52	-0,45
G	11	-1,60	1,74	-0,52
F	12	-1,61	1,80	-2,90
F	13	-1,61	1,63	-2,63
F	14	-1,61	1,63	-2,63
F	15	-1,61	0,82	-1,32

Tabela 46: Linijske obtežbe vetra za W3 za področje H:

Področja	Lege	$w_e + w_i$ (kN/m ²)	Pripadajoča. širina (m)	LINIJSKA OBTEŽBA (kN/m)
H	1	-1,22	0,82	-1,00
H	2	-1,22	1,63	-1,99
H	3	-1,22	1,63	-1,99
H	4	-1,22	1,80	-2,20
H	5	-1,22	1,74	-2,13
H	6	-1,22	1,52	-1,86
H	7	-1,22	1,52	-1,86
H	8 - sleme	-1,22	1,52	-1,86
H	9	-1,22	1,52	-1,86
H	10	-1,22	1,52	-1,86
H	11	-1,22	1,74	-2,13
H	12	-1,22	1,80	-2,20
H	13	-1,22	1,63	-1,99
H	14	-1,22	1,63	-1,99
H	15	-1,22	0,82	-1,00

Tabela 47: Linijske obtežbe vetra za W3 za področje I:

Področja	Lege	$w_e + w_i$ (kN/m ²)	Pripadajoča. širina (m)	LINIJSKA OBTEŽBA (kN/m)
I	1	-1,13	0,82	-0,92
I	2	-1,13	1,63	-1,84
I	3	-1,13	1,63	-1,84
I	4	-1,13	1,80	-2,03
I	5	-1,13	1,74	-1,96
I	6	-1,13	1,52	-1,72
I	7	-1,13	1,52	-1,72
I	8 - sleme	-1,13	1,52	-1,72
I	9	-1,13	1,52	-1,72
I	10	-1,13	1,52	-1,72
I	11	-1,13	1,74	-1,96
I	12	-1,13	1,80	-2,03
I	13	-1,13	1,63	-1,84
I	14	-1,13	1,63	-1,84
I	15	-1,13	0,82	-0,92

Tabela 48: Linijske obtežbe za napušč za W1 in W2 za področji A in B:

Področja	Lege	$w_e + w_i$ (kN/m ²)	Pripadajoča. širina (m)	LINIJSKA OBTEŽBA (kN/m)
	1		0,82	
A	2	-1,41	1,63	-2,31
A	3	-1,41	1,63	-2,31
A	4	-1,41	1,80	-2,54
B	5	-1,03	1,74	-1,80
B	6	-1,03	1,52	-2,15
B	7	-1,03	1,52	-2,15
B	8 - sleme	-1,03	1,52	-2,15
B	9	-1,03	1,52	-2,15
B	10	-1,03	1,52	-2,15
B	11	-1,03	1,74	-2,46
B	12	-1,03	1,80	-2,54
B	13	-1,03	1,63	-2,31
B	14	-1,03	1,63	-2,31
	15		0,82	

Tabela 49: Linijske obtežbe za napušč za W1 in W2 za področji D in E:

Področja	$w_e + w_i$ (kN/m ²)	Dejanska površina (m ²)	Pripadajoča širina lege 1 in 15 (m)	LINIJSKA OBTEŽBA (kN/m)
D	0,46	8,99	0,82	0,38
E	-0,69	8,99	0,82	-0,56

Tabela 50: Linijske obtežbe za napušč za W3 za področji A in B:

Področja	$w_e + w_i$ (kN/m ²)	Pripadajoča širina lege 1 in 15 (m)	LINIJSKA OBTEŽBA (kN/m)
A	-1,41	0,82	-1,15
B	-1,03	0,82	-0,84

Tabela 51: Linijske obtežbe za napušč za W3 za področje D:

Področja	Lege	$w_e + w_i$ (kN/m ²)	Pripadajoča. širina (m)	LINIJSKA OBTEŽBA (kN/m)
	1		0,82	
D	2	0,46	1,63	0,75
D	3	0,46	1,63	0,75
D	4	0,46	1,80	0,83
D	5	0,46	1,74	0,81
D	6	0,46	1,52	0,70
D	7	0,46	1,52	0,70
D	8 - sleme	0,46	1,52	0,70
D	9	0,46	1,52	0,70
D	10	0,46	1,52	0,70
D	11	0,46	1,74	0,81
D	12	0,46	1,80	0,83
D	13	0,46	1,63	0,75
D	14	0,46	1,63	0,75
	15		0,82	

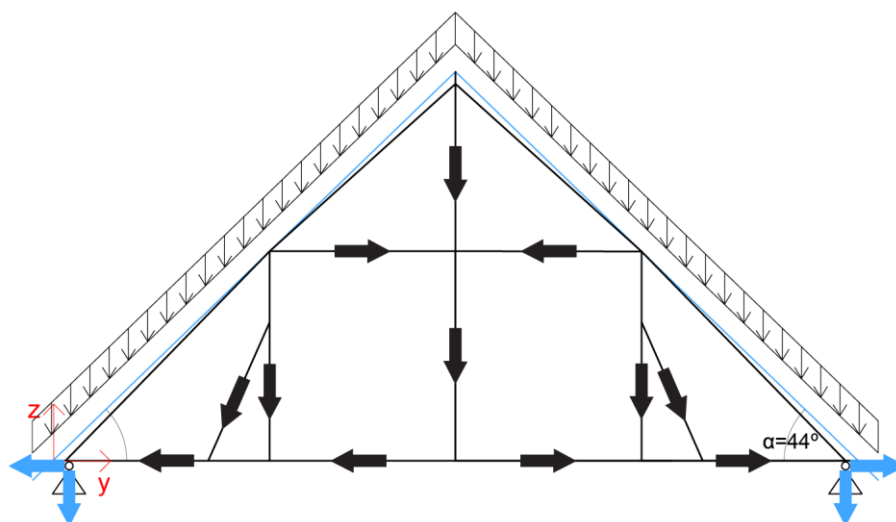
Tabela 52: Linijske obtežbe za napušč za W3 za področje E:

Področja	Lege	$w_e + w_i$ (kN/m ²)	Pripadajoča. širina (m)	LINIJSKA OBTEŽBA (kN/m)
	1		0,82	
E	2	-0,69	1,63	-1,12
E	3	-0,69	1,63	-1,12
E	4	-0,69	1,80	-1,24
E	5	-0,69	1,74	-1,20
E	6	-0,69	1,52	-1,05
E	7	-0,69	1,52	-1,05
E	8 - sleme	-0,69	1,52	-1,05
E	9	-0,69	1,52	-1,05
E	10	-0,69	1,52	-1,05
E	11	-0,69	1,74	-1,20
E	12	-0,69	1,80	-1,24
E	13	-0,69	1,63	-1,12
E	14	-0,69	1,63	-1,12
	15		0,82	

5.0 RAČUNSKI STATIČNI 3D MODELI V PROGRAMU SAP2000

Računski modeli so narejeni na podlagi terenskih preiskav in meritev, kjer so bili popisani elementi, njihove dimenzije in razdelani tipi spojev.

Osnovni okvir ima statični sistem trapeznega vešala z dodatnim sredinskim stebrom, ki ga z zgornjimi poveznimi legami in spodnjimi povezniki povežemo skupaj v štiri okvirje. To pomeni, da se obtežba (lastna teža, koristna obtežba, sneg, veter) preko kritine prenaša v vmesne lege (nosilna konstrukcija kritine). Od tam gre prenos obtežbe v špirovce osnovnih okvirjev in preko teh s pomočjo treh stebrov, razpirače in poveznika razbremeni vpliv na kapne lege. Tam nastopita horizontalni in vertikalni reakciji v vrtljivih podporah na vsaki strani, ki predstavljata vpliv na spodnje zidovje. (slika 63).



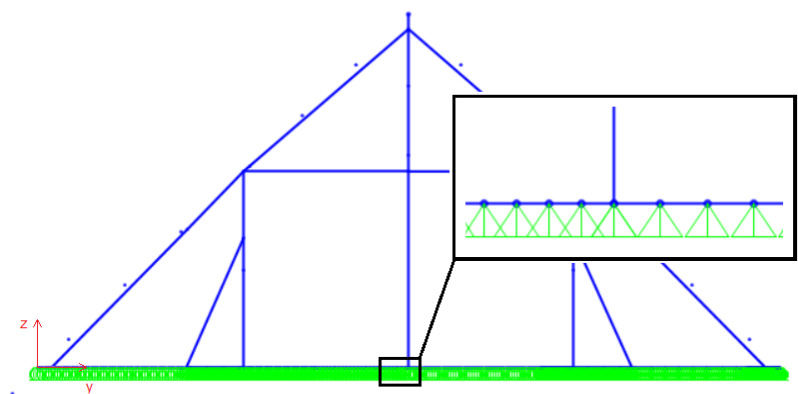
Slika 62: Prikaz prenosa obtežbe statičnega sistema trapeznega vešala z dodatnim vmesnim stebrom.

Sistem trapeznega vešala v klasični obliki ne nastopi v nobenem modelu, saj imajo povezniki poleg krajnih tudi vmesne podpore (linijske in točkovne).

V programu Sap2000 definiramo laboratorijsko pridobljene materialne lastnosti anizotropnega materiala smreke (poglavje 2) in prereze elementov ostrešja (poglavje 3).

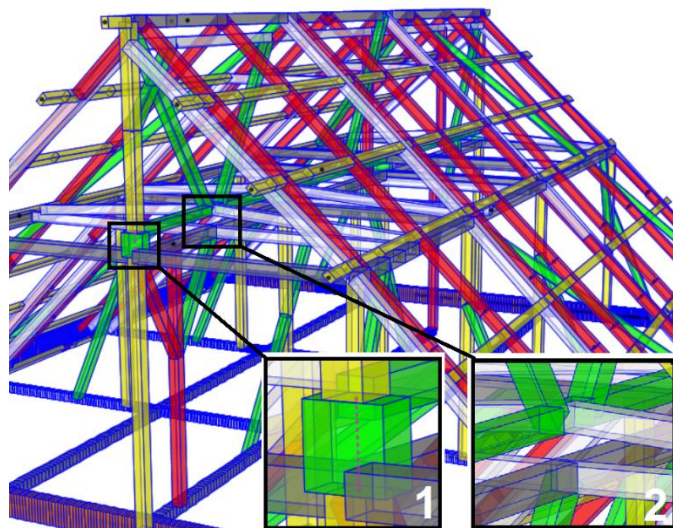
Skozi pet modelov nosilne konstrukcije ostrešja bomo poskušali kronološko spremljati vpliv propadanja posameznih elementov in spremembe obremenitve v podporah nosilne konstrukcije. Te ležijo na zidovju in niso pritrjene. Onemogočeno je gibanje v smeri gravitacije (os z) in v smeri osi x in y zaradi trenja. Vrtenje okoli x, y in z osi je omogočeno. Torej računsko

uporabimo linijsko vrtljivo podporo. Sap2000 linijske podpore ne pozna, zato smo razdelili podprte dele (kapne lege, poveznike in vmesne talne lege) na zelo kratke dele, da smo dobili vmesne točke, kjer smo lahko definirali vrtljive podpore (slika 63). Element je tako ohranil kontinuiranost, vrtljive podpore na zelo kratkih razdaljah pa so dober približek realnemu stanju naleganja konstrukcije na spodnje zidovje. Dvojne kapne lege (2 legi 20 x 20 cm), položene ena na drugo, so računsko določene kot en element z dimenzijami dveh leg (20 x 40 cm).



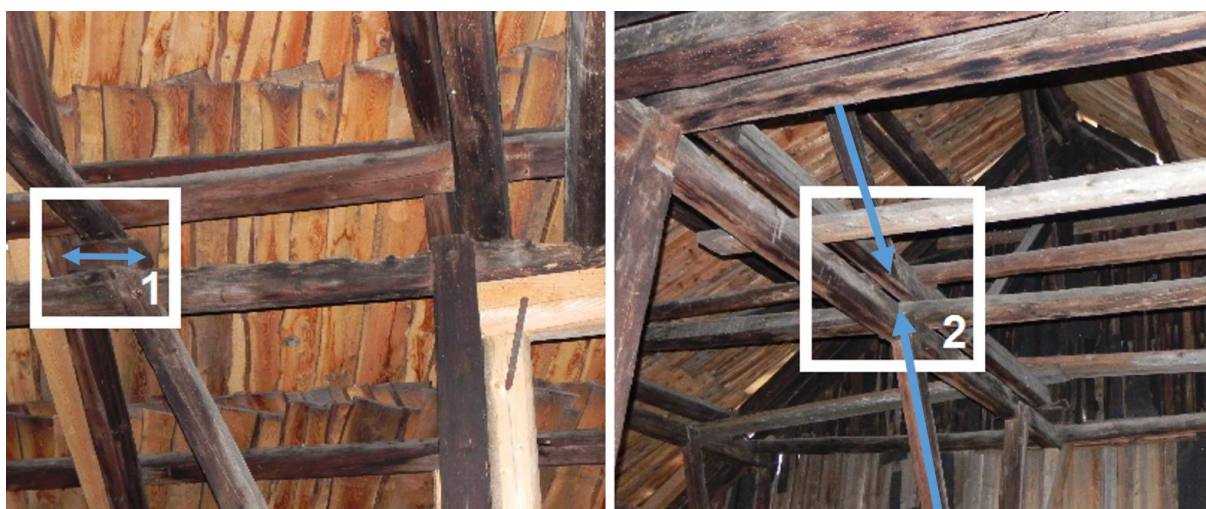
Slika 63: Vrtljive podpore osnovnega okvirja.

Vsi elementi imajo členkast spoj, da so jim omogočeni vrtljivi pomiki okoli vseh treh osi. Spoj med vertikalnim stebrom osnovnega okvirja in vmesno talno lego računsko dovoli vrtljiv pomik stebra, lege pa ne prekine. Lege, na katere je pritrjena kritina, so večinoma sestavljene iz dveh delov s tremi členkastimi spoji s špirovci. Nad sredinskimi stebri osnovnih okvirjev so postavljeni kratki stebri, ki povezujejo dve legi (slika 64 in 65, 1). Vmes prihaja tudi do prekinitev in nekontinuiranosti elementov, ki najprej potekajo do prve vmesne povezne lege, in vmes s prekinitvijo nadaljujejo do predzadnje, podslemenske lege (slika 64 in 65, 2). Vmes se pojavljajo tudi podstavljanja s poleni med dvema omenjenima legama. Polena v programu definiramo kot kratek steber z istimi materialnimi lastnostmi kot ostali elementi, le da se upošteva še izotropnost. To pomeni, da privzamemo upoštevanje enakih materialnih lastnosti v vse smeri (elastični in strižni modul). Tako vertikalno postavljen steber v programu ustreza horizontalno postavljenemu polenu v realnosti.



Slika 64: Kratki stebri (1) in prekinjena diagonala (2) v programu.

Kot sestavni del osnovnih okvirjev (4 povezne lege, ki povezujejo tri stebre enega okvirja) in tudi vmesnih povezovalcev nastopa vse skupaj kar 14 leg.



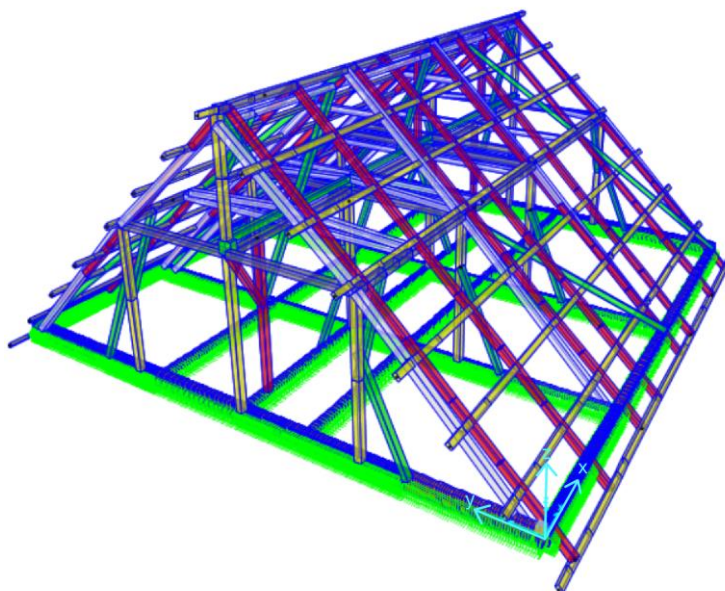
Slika 65: Kratki stebri oz. polena med legama (1) in prekinjena diagonala (2) v realnosti.

Pod slemensko lego je 30 cm nižje postavljena še ena lega. Do nje vodijo diagonale in dva vmesna stebra, ki povezujeta lego, ki je 30 cm nad legami okvirjev. Gre za sistem podvojenih leg, ki so vmes povezane s poleni ali pa z neprekinjenimi diagonalami, tudi podaljšanimi rokami stebrov.

5.1 Model 1: Prvotno ostrešje pred letom 1992

To je model povezja s trapeznim vešalom z dodatnim sredinskim stebrom (glej poglavje 3.0) (slika 66).

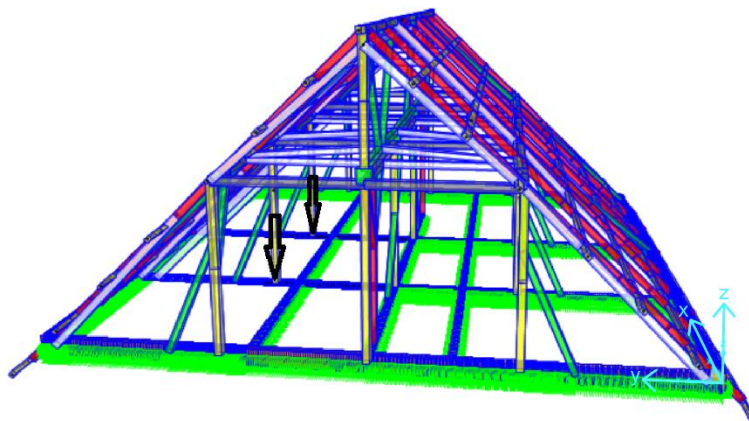
Težko je oceniti prvotno zasnovo nosilne konstrukcije, najverjetneje je šlo za zgoraj omenjeno povezje s trapeznim vešalom z dodatnim sredinskim stebrom. Pred letom 1992, ko so bile prvič opazne večje razpoke na spodnjem zidovju, je že bilo na ostrešju kar 10 horizontalnih elementov v smeri y osi (4 razpirače osnovnih okvirjev in 8 vmesnih poveznih leg), kar je več, kot naj bi jih imel osnovni model trapeznega vešala z dodatnim stebrom. Skozi zgodovino je bilo dodajanih precej novih, dodatnih elementov, ki pa niso preveč posegali v osnovni sistem nosilne konstrukcije. Morda zaradi propadanja lesa, morda pa tudi zaradi potrebe po ojačitvi pri nadpovprečno debeli snežni odeji.



Slika 66: Ostrešje pred letom 1992; z belo barvo so označeni horizontalni elementi (4 razpirače osnovnih okvirjev in 8 vmesnih kasneje dodajanih poveznikov) v smeri y.

5.2 Model 2: Odstranitev gramoznega nasutja na podstrešju

Vmesna poveznika dveh srednjih okvirjev ne nalegata več na gramozno nasutje, ki ju je povsem pokrivalo. Okvirja nista več povsem podprta. Pojavi se problem prenosa obtežbe s stebra v zidovje. Dokler je ostrešje nalegalo na nasutje, so sile potekale po stebrih preko nasutja in obokov do sten in nazadnje tal. Poveznika sta zdaj v zraku in sta točkovno obremenjena (slika 67).

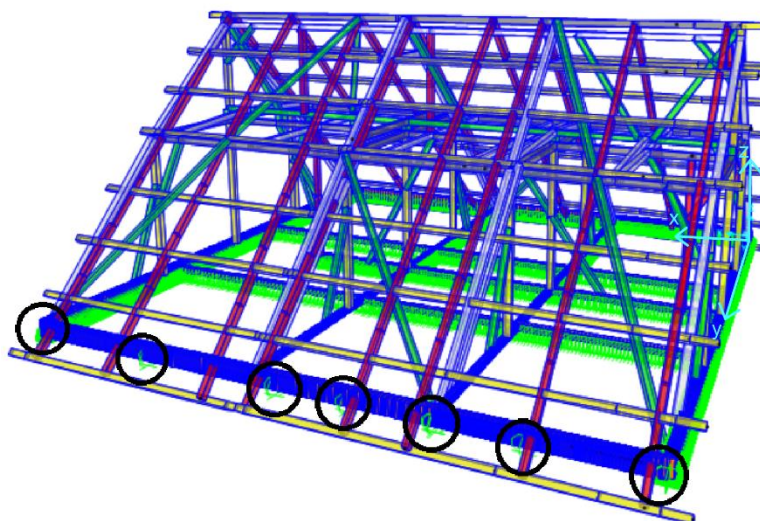


Slika 67: Odstranitev gramoznega nasutja, pod stebroma ni podpore.

5.3 Model 3: Severna stran je podprta s poleni

To pomeni, da je se severno zidovje posedlo. To je prispevalo k potrebi po dodatnem podpiranju zidovja. Prej je bila kapna lega namreč vrtljivo podprta po celotni dolžini. Razdalje med podporami so bile natančno izmerjene na terenu.

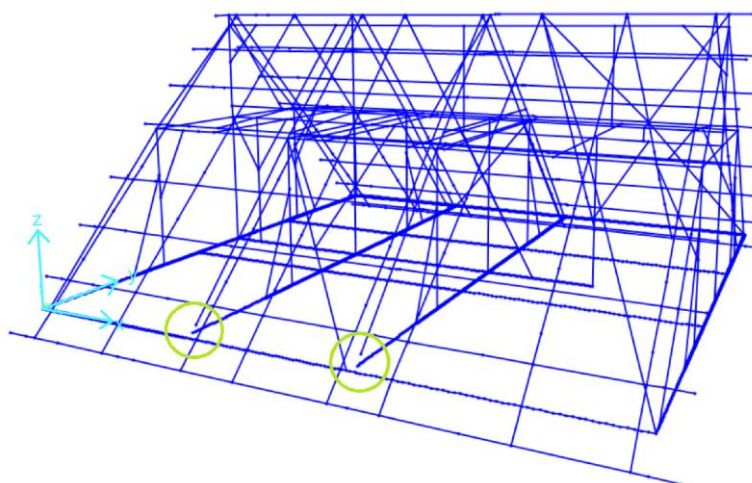
V programu je to prav tako izvedeno z vrtljivimi podporami.



Slika 68: Severna kapna lega, podprta s poleni, računsko vrtljivimi podporami.

5.4 Model 4: Popustita stika srednjih dveh okvirjev trapeznega vešala z južno kapno lego

Tudi v tem primeru (slika 69) je do te deformacije prišlo zaradi več vplivov. Zaradi prejšnjih dveh deformacij je prišlo do prerazporeditve obtežb nosilne konstrukcije in pomikov delov konstrukcije, to je nadalje vplivalo tudi na ostali, še nepoškodovani del. Precej verjetna pa je tudi deformacija zaradi propada materiala oz. njegovega propadanja zaradi bodisi škodljivcev bodisi spremenljivih vplivov okolja, predvsem pojava vlage. Vprašljiva je tudi kakovost izvedenega stika (slika 27, točka 4).



Slika 69: Ločen stik srednjih dveh okvirjev in južne kapne lege.

5.5 Model 5: Pojavi se mrtvo vešalo na srednjih dveh okvirjih – severna stebra srednjih dveh okvirjev prelomita spodnji talni legi

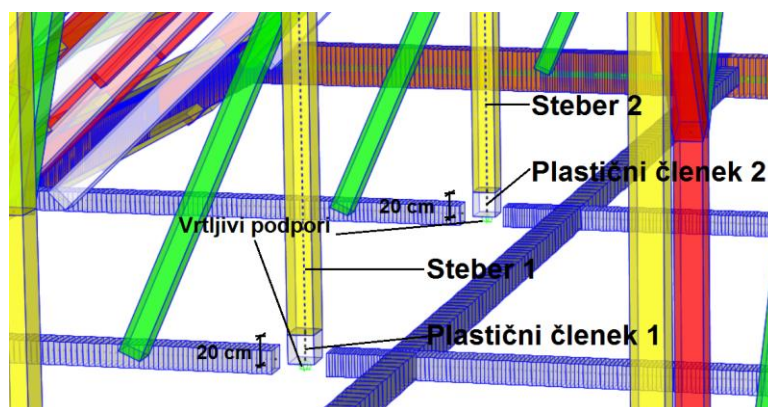
Od odstranitve nasutja naprej sta srednji talni legi pod točkovno obremenitvijo. Najverjetneje sta se legi postopoma deformirali do preloma, ko sta popolnoma popustili.

V programu smo to izvedli s pomočjo dveh plastičnih členkov (členek, ang. *hinge*), ki preko stebrov simuliralata postopno deformacijo talnih leg do njihovih prelomov.

Oba stika med lego in stebrom smo ločili za 20 cm, stebra pa zaradi definicije podprli z vrtljivima podporama.

Material smo definirali v programu v *Define/Materials*. Program ne omogoča izbire materiala lesa, zato je smerkov les ostrešja za vse elemente konstrukcije definiran kot »drugo« (v programu *Other*), kamor so vstavljene vse pridobljene materialne lastnosti. Ker postavitev

plastičnega členka s tako definicijo materiala ni možna, smo stebra razdelili na dva dela, katerima smo ohranili kontinuiranost in dimenzije prereza 18x18 cm. Spodnji del stebra je visok 20 cm, njegov prerez pa je materialno definiran kot beton (*Concrete*). Materialne lastnosti ima enake kot vsi ostali leseni elementi. Zgornji del stebra ostaja nespremenjen (slika 70).



Slika 70: Popustita srednji talni legi, plastična členka.

V *Define/Section Properties/Hinge Properties* smo definirali dva členka. Poimenovali smo ju kar Plastični členek 1 in Plastični členek 2. Definirali smo ju ločeno, saj predstavljata ločena elementa (Steber 1 s Plastičnim členkom 1 ima oznako 167, Steber 2 s Plastičnim členkom 2 pa 210). Nato smo določili tip členka (*Hinge type*) kot kontrolirano duktilno deformacijo, v programu *Deformation controlled (ductile)*. Tu smo zaradi vertikalnega položaja pritrditve stebra na talno lego določili, da se kontrolirana duktilna deformacija dogaja v osni sili, v programu kot *Axial P*. Naprej smo za vsak steber posebej v določitvi lastnosti (*Modify/Show Hinge Property*) pri obeh členkih posebej vstavili največjo osno silo izmed 24 obtežnih kombinacij, ki se pojavi v osnovnem modelu konstrukcije.

Pozitivna osna sila v programu pomeni nateg, negativna pa tlak. Oba stebra sta v tlačni coni. Za simulacijo vpliva obremenitve stebra za Model 5 za vsakega definiramo osni sili, dobljeni iz statične analize Modela 1 (tabela 54).

Tabela 54: Osne sile Stebra 1 in Stebra 2 iz Modela 1:

Št. Elementa	Dolžina na elementu (m)	Obtežna kombinacija	Osna sila
Steber 1 (167)	1,39	OK21	-36,15
Steber 1 (167)	2,06	OK21	-36,15
Steber 1 (167)	4,11	OK21	-36,15
Steber 2 (210)	0,00	OK8	-23,80
Steber 2 (210)	0,74	OK8	-23,80

- Primer za Plastični členek 1 (območja za definicijo največje osne sile in pripadajočih pomikov v programu (slika 71)):
 - o A izhodišče
 - o B točka tečenja (prva plastičnost členka)
 - o C mejna nosilnost
 - o D preostala nosilnost po delni porušitvi
 - o E popolna porušitev

V tabeli sile v odvisnosti od pomika (*Displacement Control Parameters*) iz osnovnega modela dobljeno največjo osno silo vstavimo v območje B. Takrat nastopi delovanje plastičnega členka. Deformacija pred B (točka tečenja) se ne pojavi, čeprav je lahko podana.

Za območje C oz. mejno nosilnost prav tako določimo največjo osno silo, ki še ne sproži delovanje plastičnega členka, čeprav to predstavlja začetno silo, ki sproži prvi pomik s korakom 20 cm v smeri gravitacije. Naprej nadaljujemo s pomikom 20 cm v območje D, kjer predpostavimo 1000-kratno največjo osno silo ($1000 \times -36,152 \text{ kN} = -3615,2 \text{ kN}$) - takrat plastični členek izgubi vso nosilnost. To predstavlja porušeno stanje talne lege. Označimo nosilnost po območju E kot ničelno (*Load Carrying Capacity Beyond Point E: Drops To zero*) (slika 71).

Po enaki analogiji definiramo tudi Plastični členek 2. Ko v programu zaženemo analizo, se bo sprožilo tudi delovanje definiranih plastičnih členkov.

Frame Hinge Property Data for Plasticni clenek 1 - Axial P

Edit

Displacement Control Parameters

Point	Force/SF	Disp/SF
E-	-1000	-0,6
D-	-1000	-0,4
C-	-18,305	-0,2
B-	-18,305	0
A	0	0
B	18,305	0,
C	18,305	0,2
D	1000,	0,4
E	1000,	0,6

Symmetric

Type

Force - Displacement

Stress - Strain

Hinge Length

Relative Length

Hysteresis Type And Parameters

Hysteresis Type

No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

Load Carrying Capacity Beyond Point E

Drops To Zero

Is Extrapolated

Scaling for Force and Disp

	Positive	Negative
<input type="checkbox"/> Use Yield Force Force SF	<input type="text" value="1,"/>	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Use Yield Disp (Steel Objects Only) Disp SF	<input type="text" value="1,"/>	<input type="text"/>

Acceptance Criteria (Plastic Disp/SF)

	Positive	Negative
<input checked="" type="checkbox"/> Immediate Occupancy	<input type="text" value="3,000E-03"/>	<input type="text"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Life Safety	<input type="text" value="0,012"/>	<input type="text"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Collapse Prevention	<input type="text" value="0,015"/>	<input type="text"/>

Show Acceptance Criteria on Plot

Slika 71: Definicija obtežbe in pomikov za Plastični členek 1.

6.0 REZULTATI ANALIZIRANIH RAČUNSKIH STATIČNIH 3D MODELOV

Spremljali smo vpliv propadanja elementov ostrešja na omenjeno zidovje in ugotavljali, v kolikšni meri so poškodbe ostrešja prispevale k spremembam obremenitve obravnavanega zidovja.

Pri analizi rezultatov vseh petih modelov smo se osredotočili predvsem na reakcije in pomike v podporah severne kapne lege, ki nalega na najbolj poškodovano severno stran zidovja.

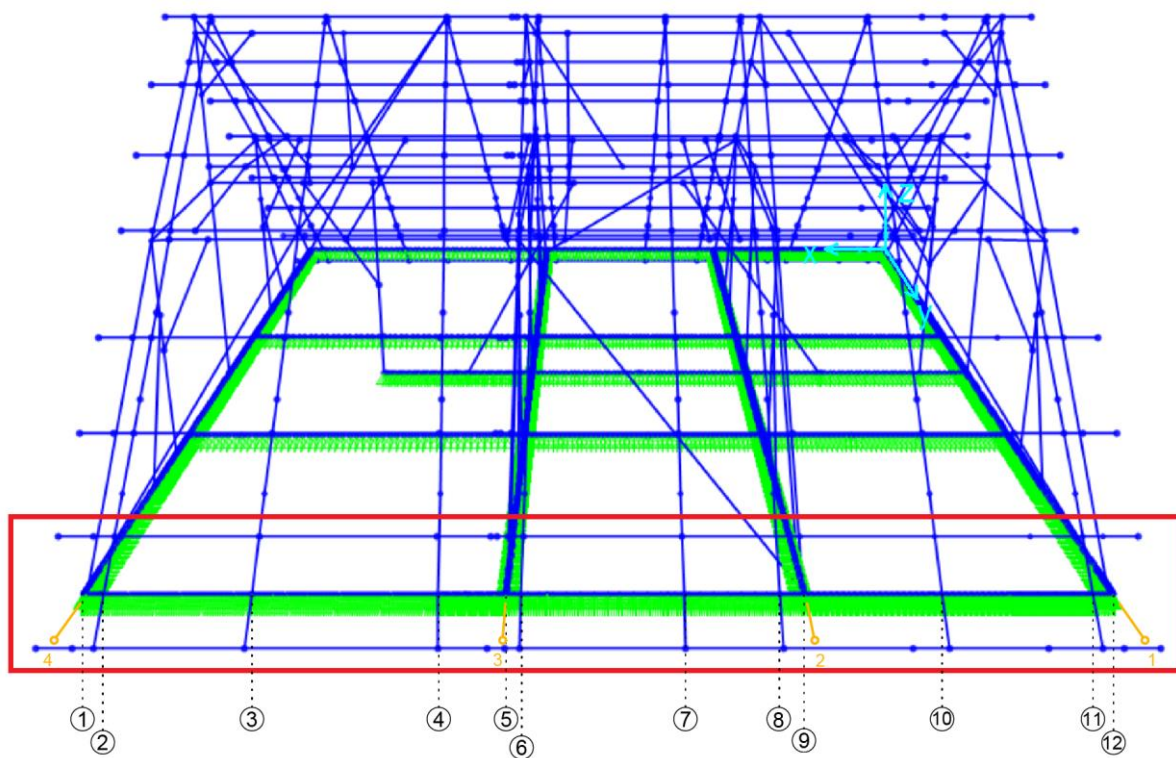
Pri ostrešju gre vedno za vrtljive podpore, ki so jim odvzete tri prostostne stopnje, in sicer preprečevanje pomika v smeri osi x , y in z . Pomika v smeri osi x in y sta onemogočena, ker smo predpostavili delovanje trenja med leseno konstrukcijo in spodnjim zidovjem. Pomik v smeri osi z je onemogočen zaradi spodnjega zidovja. Zato smo pri analizi reakcij v podporah ugotavljali sile, ki bi morebiti povzročale odmik severne strani zidovja navzven, v smeri osi y .

V Modelih 1 in 2 je severna kapna lega podprta z linijsko podporo. Pri Modelih 3, 4 in 5 nastopijo točkovne podpore. Ostale talne lege celotnega ostrešnja ohranijo linijske podpore v vseh modelih.

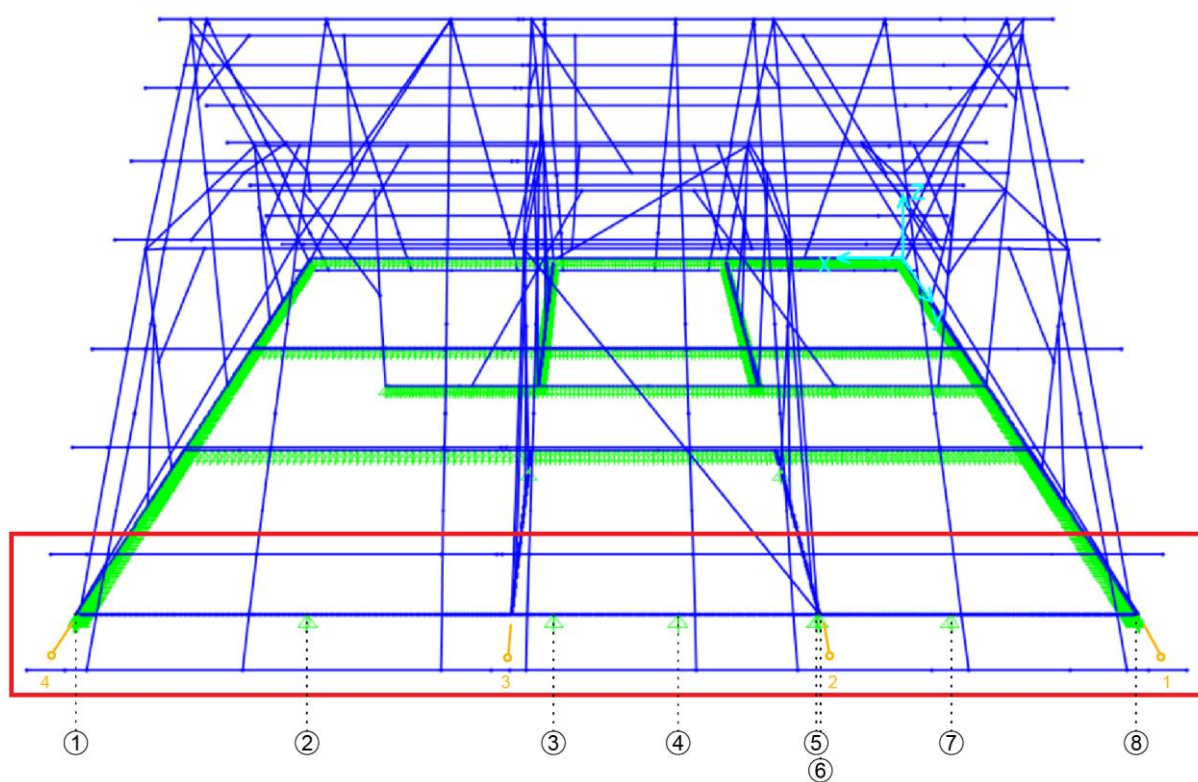
Pri statični analizi petih modelov se pojavljajo različne podpore. Analize reakcij se zaradi lažje predstavitve in primerjave rezultatov upoštevajo ločeno (v dveh skupinah) s predstavljenim prikazom izreza severne kapne lege:

- Modeli 1 in 2 (s točkami od 1 do 12 so označeni stiki severne kapne lege s 4 okvirji in 8 špirovci) (slika 72),
- Modeli 3, 4, 5 in 6 (z 8 točkami je označenih 8 vrtljivih podpor) (slika 73).

Pri Modelih 1 in 2 z linijskimi podporami smo analizirali reakcije v 12 točkah, analize vmesnih podpor nismo upoštevali, saj gre pri reakcijah v podporah A_x in A_y tam za zanemarljive vrednosti velikostnega razreda od 10^{-3} do 10^{-6} kN. Pomike smo spremljali vzdolž cele severne kapne lege (pri Modelih 3, 4 in 5 predvsem med podporami).



Slika 72: 12 točk za analizo reakcij in pomikov severne kapne lege pri Modelih 1 in 2.



Slika 73: 8 točk za analizo reakcij severne kapne lege pri Modelih 3, 4 in 5.

Vedno smo pri primerjavi rezultatov in možnosti natančne statične analize ter primerjave med modeli za severno kapno lego uporabljali največje in najmanjše vrednosti iz ovojnice obtežnih kombinacij:

- za prikaz vrednosti reakcij v podporah A_x , A_y in A_z ,
- za analizo pomikov v podporah v smeri osi x , y in z .

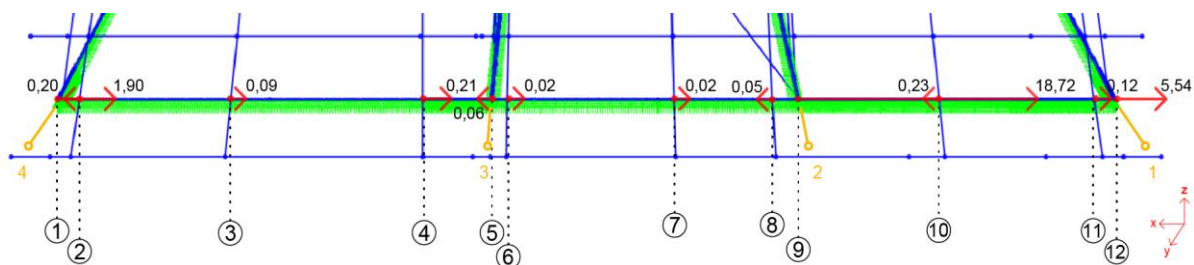
6.1 Rezultati statične analize Modela 1 (prvotno ostrešje pred letom 1992)

Najneugodnejša obtežna kombinacija iz ovojnice OK; $i = 1-24$ za reakcije v točkah od 1 do 12 za:

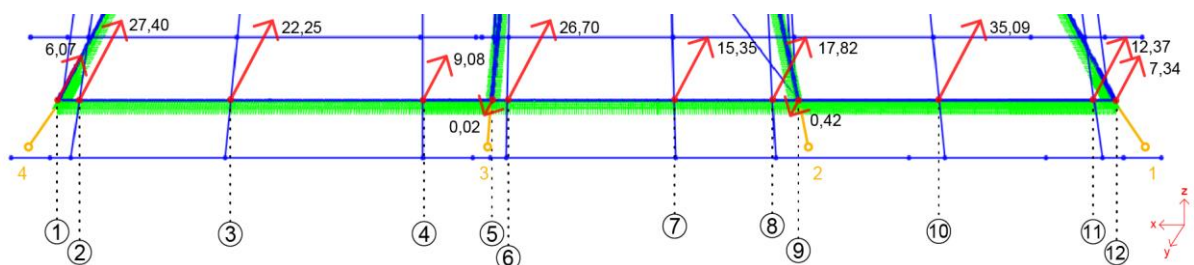
- A_x je OK6 (49) (slika 74),
- A_y je OK7 (50) (slika 75),
- A_z je OK6 (49) (slika 76).

$$\text{OK6: } 1,35 \times g + 1,5 \times W3 \quad (49)$$

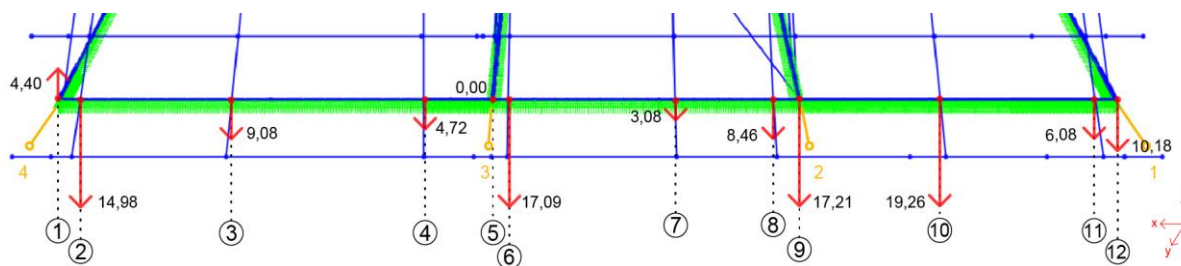
$$\text{OK7: } 1,35 \times g + 1,5 \times S1 + 1,5 \times 0,6 \times W1 \quad (50)$$



Slika 74: Reakcije A_x pri OK6 za M1.



Slika 75: Reakcije A_y pri OK7 za M1.

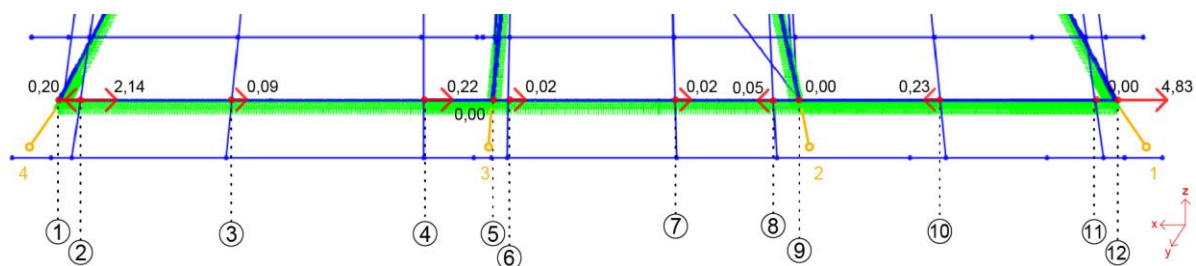


Slika 76: Reakcije A_z pri OK6 za M1.

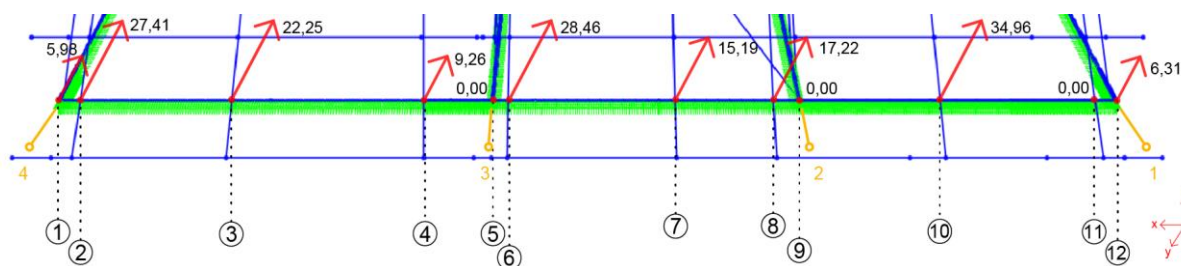
6.2 Rezultati statične analize Modela 2 (odstranitev gramoznega nasutja)

Najneugodnejša obtežna kombinacija iz ovojnice OK; $i = 1-24$ za reakcije v točkah od 1 do 12 za:

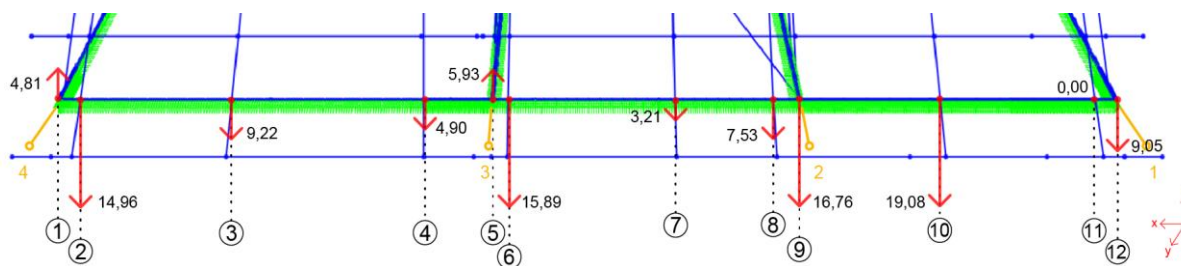
- A_x je OK6 (49) (slika 77),
- A_y je OK7 (50) (slika 78),
- A_z je OK6 (49) (slika 79).



Slika 77: Reakcije A_x pri OK6 za M2.



Slika 78: Reakcije A_y pri OK7 za M2.



Slika 79: Reakcije A_z pri OK6 za M2.

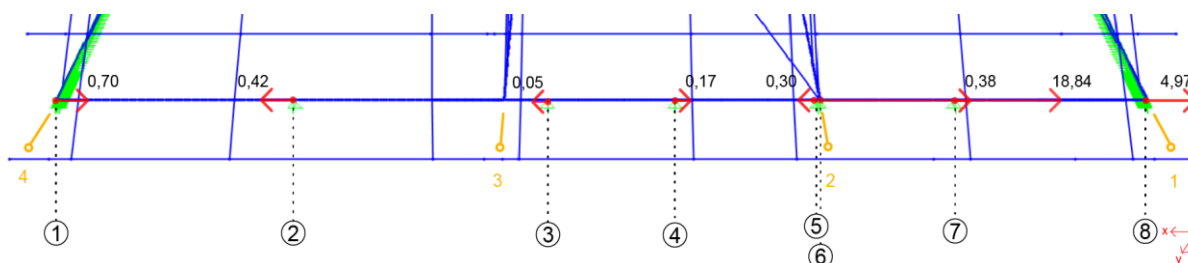
6.3 Rezultati statične analize Modela 3 (s poleni točkovno podprta severna kapna lega)

Najneugodnejša obtežna kombinacija iz ovojnice OK; $i = 1-24$ za reakcije v točkah od 1 do 8 za:

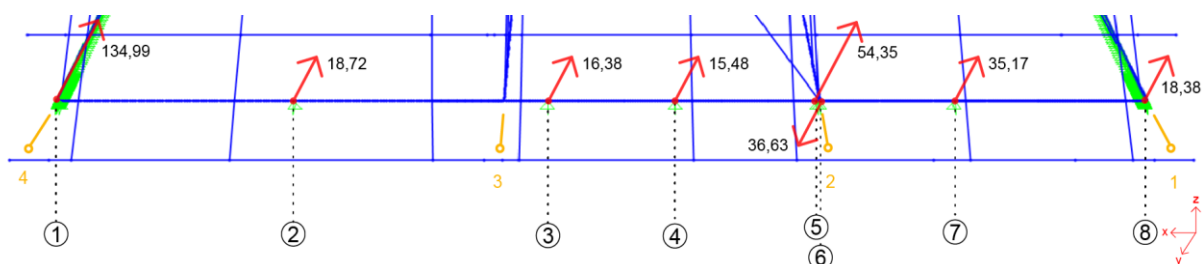
- A_x je OK6 (49) (slika 80),
- A_y je OK1 (51) (slika 81),
- A_z je OK6 (49) (slika 82).

OK1: $1,35 \times g + 1,5 \times S1$

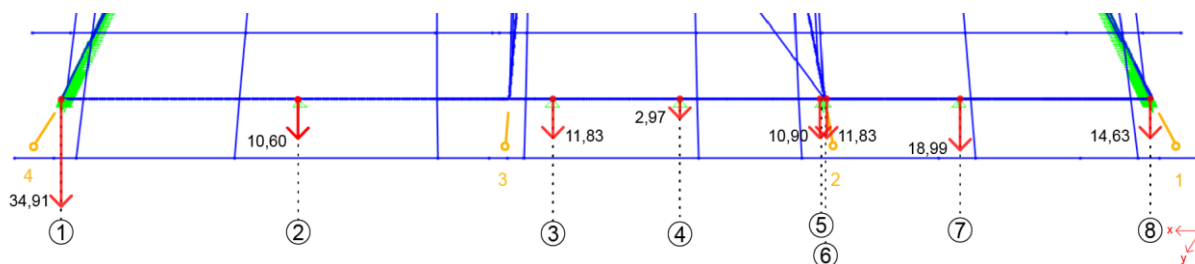
(51)



Slika 80: Reakcije A_x pri OK6 za M3.



Slika 81: Reakcije A_y pri OK1 za M3.

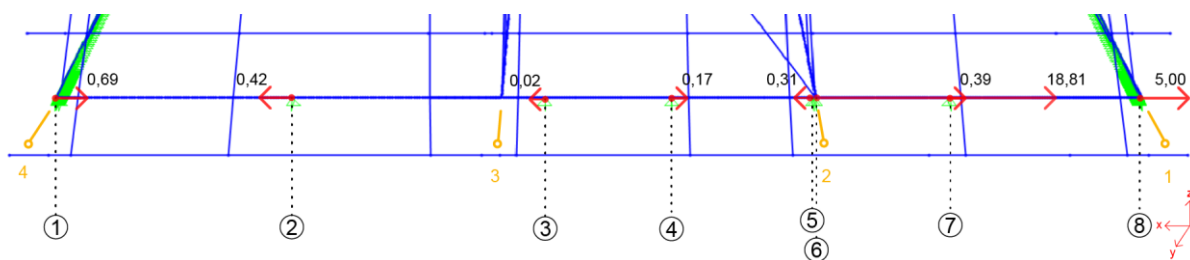


Slika 82: Reakcije A_z pri OK6 za M3

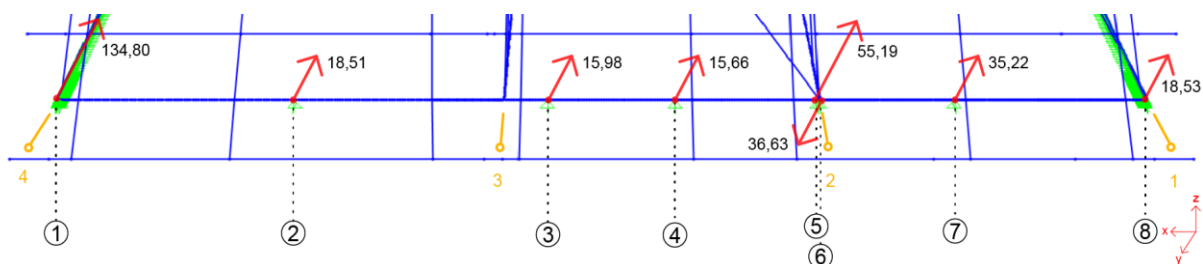
6.4 Rezultati statične analize Modela 4 (brez stika srednjih dveh okvirjev s kapno lego na južni strani)

Najneugodnejša obtežna kombinacija iz ovojnice OK; $i = 1-24$ za reakcije v točkah od 1 do 12 za:

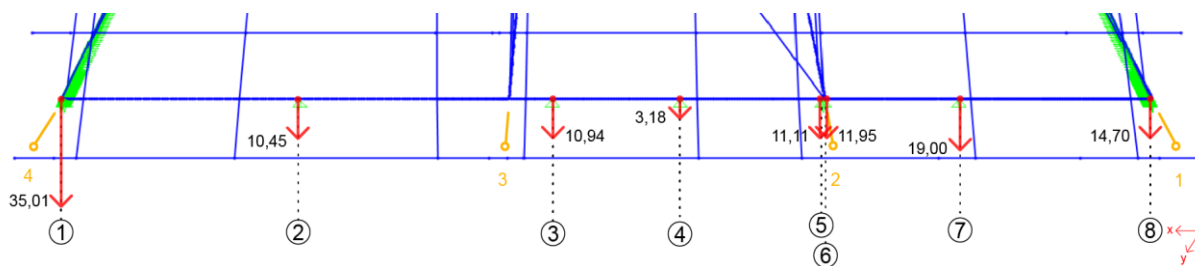
- A_x je OK6 (49) (slika 83),
- A_y je OK7 (50) (slika 84),
- A_z je OK6 (49) (slika 85).



Slika 83: Reakcije A_x pri OK6 za M4.



Slika 84: Reakcije A_y pri OK1 za M4.



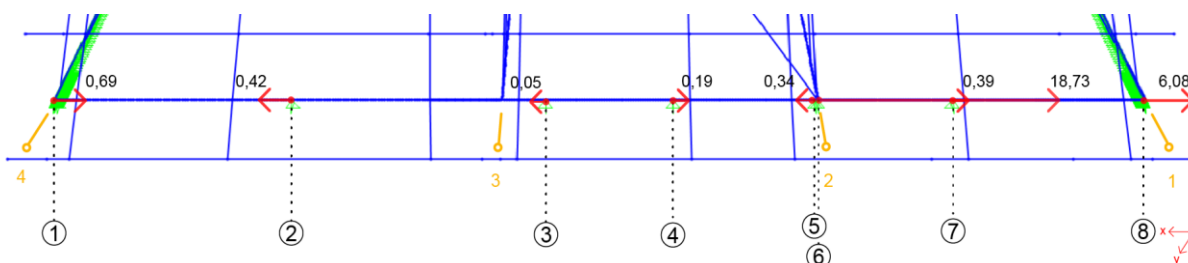
Slika 85: Reakcije A_z pri OK6 za M4.

6.5 Rezultati statične analize Modela 5 (stebra srednjih dveh okvirjev prelomita povezni legi)

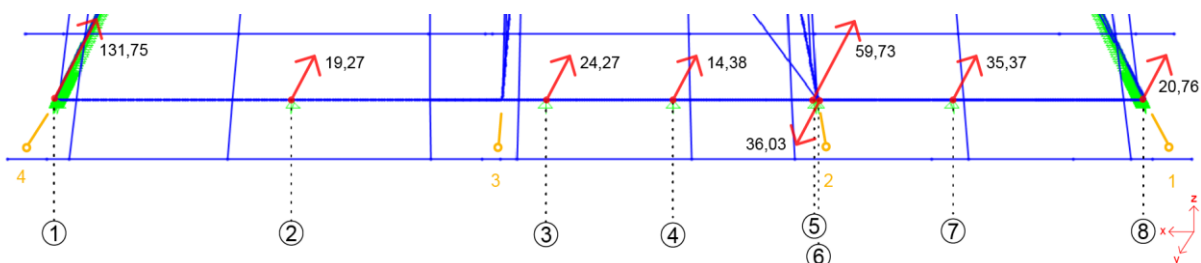
Najneugodnejša obtežna kombinacija iz ovojnice OK; $i = 1-24$ za reakcije v točkah od 1 do 12 za:

- A_x je OK13 (52) (slika 86),
- A_y je OK7 (50) (slika 87),
- $A_{z, \min}$ je OK6 (49) (slika 88),
- $A_{z, \max}$ je OK7 (50) (slika 89),

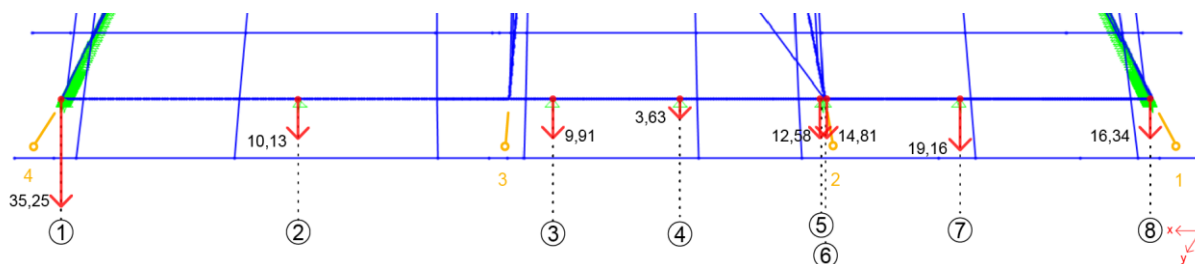
$$\text{OK13: } 1,35 \times g + 1,5 \times S3 + 1,5 \times 0,6 \times W1 \quad (52)$$



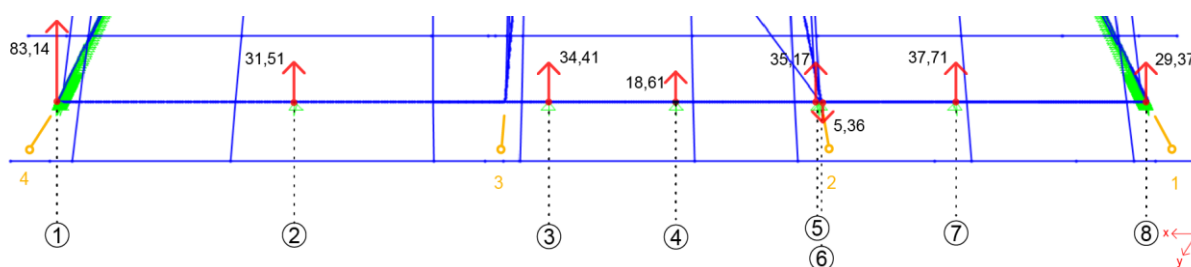
Slika 86: Reakcije A_x pri OK13 za M5.



Slika 87: Reakcije A_y pri OK7 za M5.



Slika 88: Reakcije $A_{z, \min}$ pri OK6 za M5.



Slika 89: Reakcije $A_{z, \max}$ pri OK7 za M5.

6.6 Analiza rezultatov vseh petih modelov

- Reakcije A_x (kN) severne kapne lege:

Največje in najmanjše vrednosti horizontalnih reakcij A_x s pripadajočimi obtežnimi kombinacijami iz ovojnice obtežnih kombinacij (OK; $i = 1-24$) in lokacijami v točkah, so za Modela 1 in 2 predstavljene v tabeli 55, za Modele 3, 4 in 5 pa v tabeli 56.

Tabela 55: Največje in najmanjše vrednosti reakcij A_x za Modela 1 in 2.

Reakcije		točka	OK
M1: $A_{x, \max}$ (kN)	4,6	12	OK7
M1: $A_{x, \min}$ (kN)	-18,7	9	OK6
M2: $A_{x, \max}$ (kN)	4,0	12	OK7
M2: $A_{x, \min}$ (kN)	-4,8	12	OK6

Tabela 56: Največje in najmanjše vrednosti reakcij A_x za Modele 3, 4 in 5.

Reakcije		točka	OK
M3: $A_{x, \max}$ (kN)	4,6	8	OK7
M3: $A_{x, \min}$ (kN)	-18,8	6	OK6
M4: $A_{x, \max}$ (kN)	4,7	8	OK7
M4: $A_{x, \min}$ (kN)	-18,8	6	OK6
M5: $A_{x, \max}$ (kN)	7,2	8	OK13
M6: $A_{x, \min}$ (kN)	-18,7	6	OK6

Reakcije vzdolž severne kapne iz obtežne kombinacije z največjo vrednostjo (OK7) so za Modela 1 in 2 predstavljene v tabeli 57, z najmanjšo (OK6) pa v tabeli 58. Za Modele 3, 4 in 5 so reakcije iz obtežne kombinacije z največjo vrednostjo (OK6 in OK13) prikazane v tabeli 59, z najmanjšo (OK6) pa v tabeli 60.

Tabela 57: Reakcije A_x (kN) severne kapne lege za Modela 1 in 2 pri OK7.

Točke	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Model 1: $A_{x, OK7}$ (kN)	-2,8	-0,2	0,1	0,7	-0,1	0	0	-0,1	-0,3	-0,2	0,1	4,6
Model 2: $A_{x, OK7}$ (kN)	-2,8	-0,2	0,1	0,7	0	0	0,1	-0,1	0	-0,2	0	4

Tabela 58: Reakcije A_x (kN) severne kapne lege za Modela 1 in 2 pri OK6.

Točke	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Model 1: $A_{x, OK6}$ (kN)	-1,9	0,2	-0,1	-0,2	0,1	0	0	0	-18,7	0,2	-0,1	-5,5
Model 2: $A_{x, OK6}$ (kN)	-2,1	0,2	-0,1	-0,2	0	0	0	0	0	0,2	0	-4,8

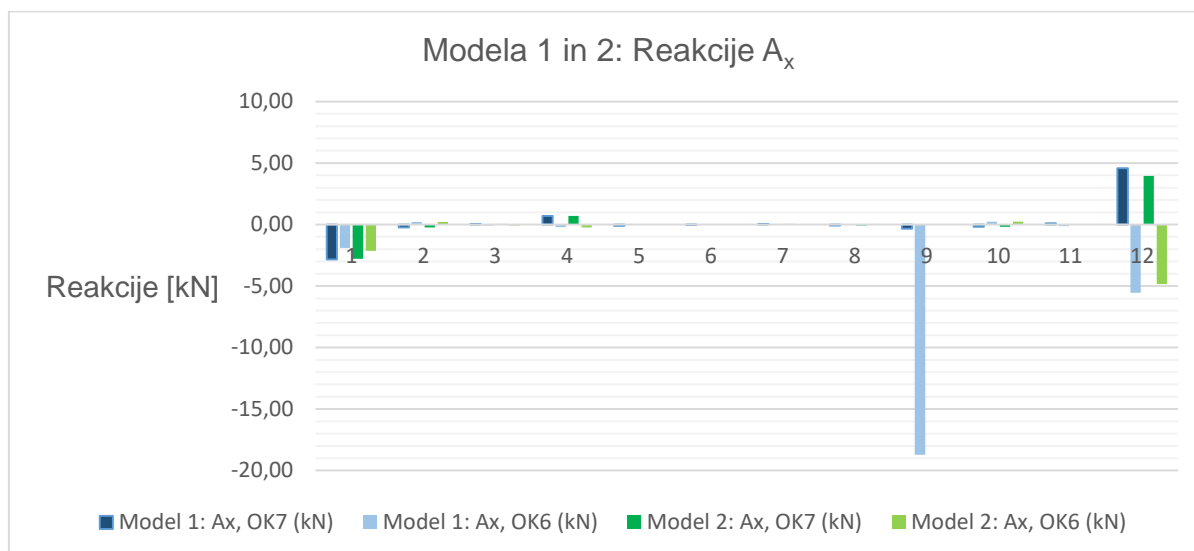
Tabela 59: Reakcije A_x (kN) severne kapne lege za Modele 3, 4 in 5 pri OK7 in OK13.

Točka	1	2	3	4	5	6	7	8
Model 3: $A_{x, OK7}$ (kN)	1,8	-1	-0,6	0,9	-0,6	0,3	1,1	4,5
Model 4: $A_{x, OK7}$ (kN)	1,8	-1	-0,6	0,9	-0,6	0,3	1,1	4,6
Model 5: $A_{x, OK13}$ (kN)	1,3	-0,6	-0,9	0,8	-0,5	-0,1	0,9	7,2

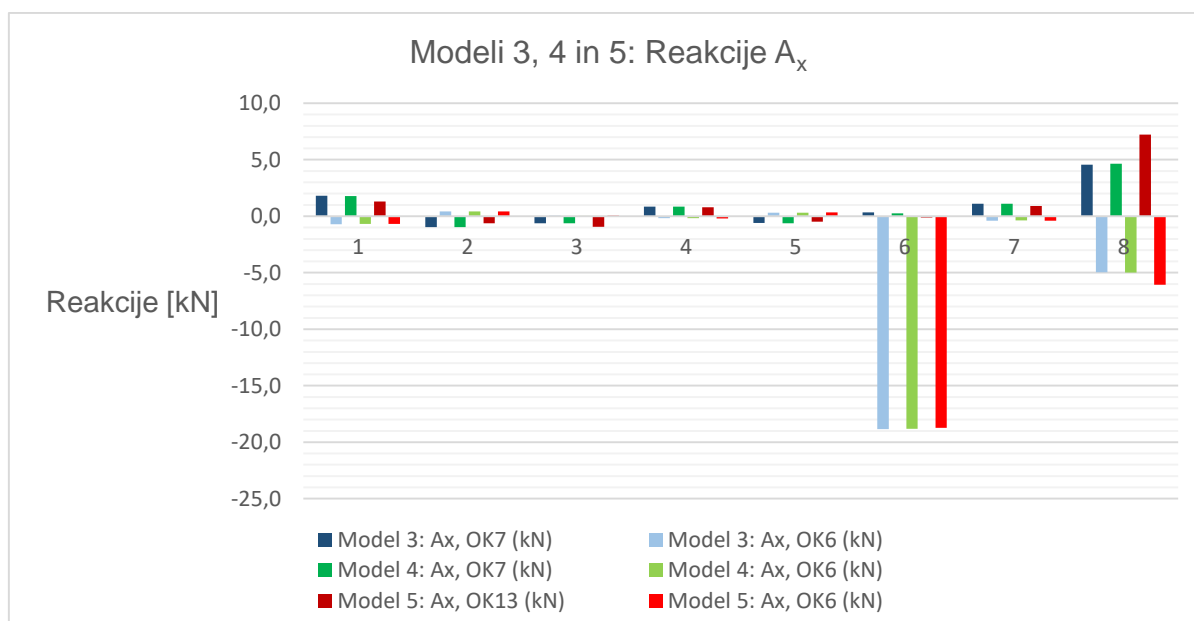
Tabela 60: Reakcije A_x (kN) severne kapne lege za Modele 3, 4 in 5 pri OK6.

Točka	1	2	3	4	5	6	7	8
Model 3: $A_{x, OK6}$ (kN)	-0,7	0,4	0	-0,2	0,3	-18,8	-0,4	-5
Model 4: $A_{x, OK6}$ (kN)	-0,7	0,4	0	-0,2	0,3	-18,8	-0,4	-5
Model 5: $A_{x, OK6}$ (kN)	-0,7	0,4	0,1	-0,2	0,3	-18,7	-0,4	-6,1

Vrednosti $A_{x, OK7}$ in $A_{x, OK6}$ za Modela 1 in 2 iz tabele 57 in 58 so predstavljene na grafu na sliki 90. $A_{x, OK7}$, $A_{x, OK6}$ in $A_{x, OK13}$ za Modele 3, 4 in 5 iz tabele 59 in 60 so predstavljene na grafu na sliki 91.



Slika 90: Graf reakcij A_x za Modela 1 in 2.



Slika 91: Graf reakcij A_x za Modele 3, 4 in 5..

Ugotovimo, da se pri Modelu 1 v točki 9 pojavi velika reakcija $A_{x, \min} = -18,7$ kN v smeri, ki je nasprotna smeri osi x zaradi vpliva stika severne kapne lege s srednjim okvirjem v 2. osi nosilne konstrukcije. To se zgodi pri OK6 (49), kjer prevladuje obtežba vetra W3 (srk po obeh strešinah).

$$\text{OK6: } 1,35 \times g + 1,5 \times W3$$

(49)

Zaradi nepopolne simetrije nosilne konstrukcije ostrejša nastopi reakcija $A_{x, \min} = -18,7$ kN le v točki 9. V Modelu 2 se reakcija tam ne pojavi zaradi prerazporeditve obtežbe. Takrat je odstranjeno gramozno nasutje in se zaradi nepodprtosti srednjih dveh poveznikov na stiku s stebri osnovnih dveh okvirjev pojavita točkovni sili v poveznikih. Ponovno se reakcija pojavi v Modelu 3 z vrednostjo $A_{x, \min} = -18,8$ kN in s skoraj nespremenjenima vrednostima še v Modelu 4 ($A_{x, \min} = -18,8$ kN) in Modelu 5 ($A_{x, \min} = -18,7$ kN). V skrajni točki 8 imamo pri Modelu 5 največjo $A_{x, OK13} = 7,2$ kN in najmanjšo vrednost $A_{x, OK6} = -6,1$ kN. Vrednosti v točki 1 so v Modelih 3 in 4 največje: $A_{x, OK7} = 1,8$ kN in v Modelih 1 in 2 najmanjše $A_{x, OK7} = -2,8$ kN. V vmesnih točkah so vrednosti v primerjavi s skrajnima točkama (SV in SZ vogal) in stikom med srednjim okvirjem in severno kapno lego v 2. osi NK zelo majhne.

- Reakcije A_y (kN) severne kapne lege:

S pomočjo teh reakcij vidimo, kakšne sile ostrešje prenaša na spodnje zidovje v horizontalni smeri, natančneje v smeri osi y . Reakcije z negativnim predznakom pomenijo, da ostrešje deluje na spodnje zidovje s silami v smeri osi y . Te pa so lahko neposreden vzrok za razpoke severnega zidovja in njegov odmik v smeri osi y . Tako kot pri reakcijah A_x , je analiza reakcij A_y opravljena in predstavljena po enakem postopku. Največje in najmanjše vrednosti reakcij A_y s pripadajočimi obtežnimi kombinacijami iz ovojnice obtežnih kombinacij (OK; $i = 1-24$) in lokacijami v točkah so za Modela 1 in 2 predstavljene v tabeli 61, za Modele 3, 4 in 5 pa v tabeli 62.

Tabela 61: Največje in najmanjše vrednosti reakcij A_y za Modela 1 in 2.

Reakcije		točka	OK
M1: $A_{y, \max}$ (kN)	25,3	10	OK6
M1: $A_{y, \min}$ (kN)	-35,1	10	OK7
M2: $A_{y, \max}$ (kN)	25,1	10	OK6
M2: $A_{y, \min}$ (kN)	-35,0	10	OK7

Tabela 62: Največje in najmanjše vrednosti reakcij A_y za Modele 3, 4 in 5.

Reakcije		točka	OK
M3: $A_{y, \max}$ (kN)	67,5	7	OK6
M3: $A_{y, \min}$ (kN)	-135,0	1	OK1
M4: $A_{y, \max}$ (kN)	67,5	7	OK6
M4: $A_{y, \min}$ (kN)	-134,8	1	OK1
M5: $A_{y, \max}$ (kN)	67,0	7	OK6
M5: $A_{y, \min}$ (kN)	-131,7	1	OK1

Reakcije vzdolž severne kapne lege iz obtežne kombinacije z največjo vrednostjo (OK6) so za Modela 1 in 2 predstavljeni v tabeli 63, z najmanjšo (OK7) pa v tabeli 64. Za Modele 3, 4 in 5 so reakcije iz obtežne kombinacije z največjo vrednostjo (OK6) prikazane v tabeli 65, z najmanjšo (OK1) pa v tabeli 66.

Tabela 63: Reakcije A_y (kN) severne kapne lege za Modela 1 in 2 pri OK6.

Točke	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Model 1: $A_{y, OK6}$ (kN)	-4,7	16	7,6	2,8	0	14,8	1,7	9,5	17,8	25,3	1,2	8,5
Model 2: $A_{y, OK6}$ (kN)	-5,1	15,9	7,7	3	0	13,5	1,8	8,5	0	25,1	0	7,3

Tabela 64: Reakcije A_y (kN) severne kapne lege za Modela 1 in 2 pri OK7.

Točke	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Model 1: $A_{y, OK7}$ (kN)	-6,1	-27,4	-22,2	-9,1	0	-26,7	-15,4	-17,8	0,4	-35,1	-12,4	-7,3
Model 2: $A_{y, OK7}$ (kN)	-6	-27,4	-22,2	-9,3	0	-28,5	-15,2	-17,2	0	-35	0	-6,3

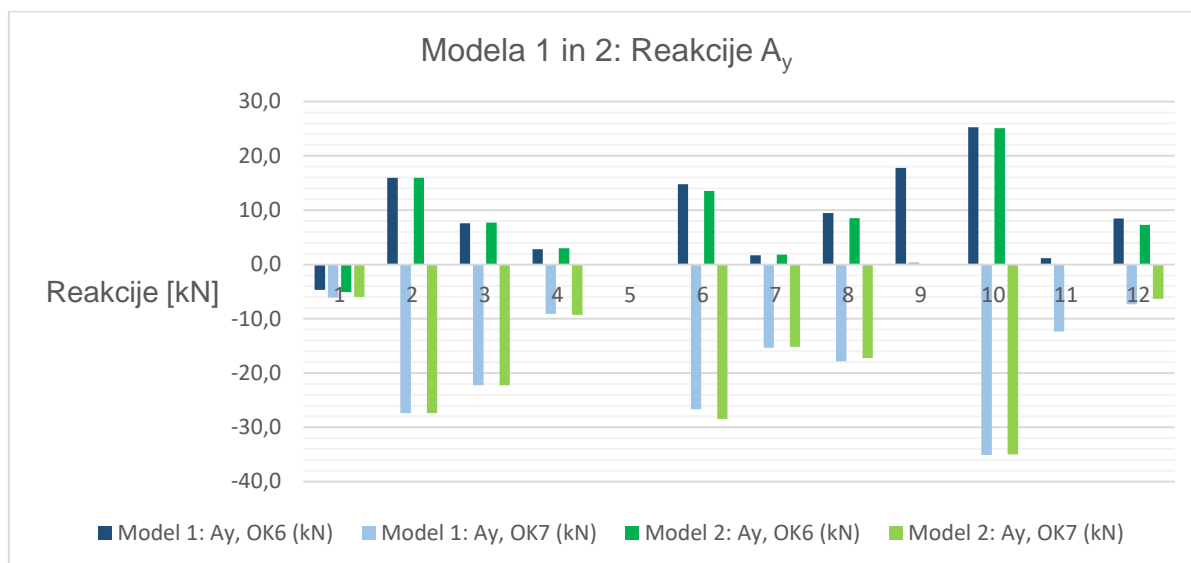
Tabela 65: Reakcije A_y (kN) severne kapne lege za Modele 3, 4 in 5 pri OK6.

Točka	1	2	3	4	5	6	7	8
Model 3: $A_{y, OK6}$ (kN)	67,5	7,1	5,7	2,9	23,6	-0,2	25,6	10,1
Model 4: $A_{y, OK6}$ (kN)	67,5	7	5,3	3	24	-0,2	25,6	10,1
Model 5: $A_{y, OK6}$ (kN)	67	7	6,1	3,1	26,8	1,3	25,8	11,8

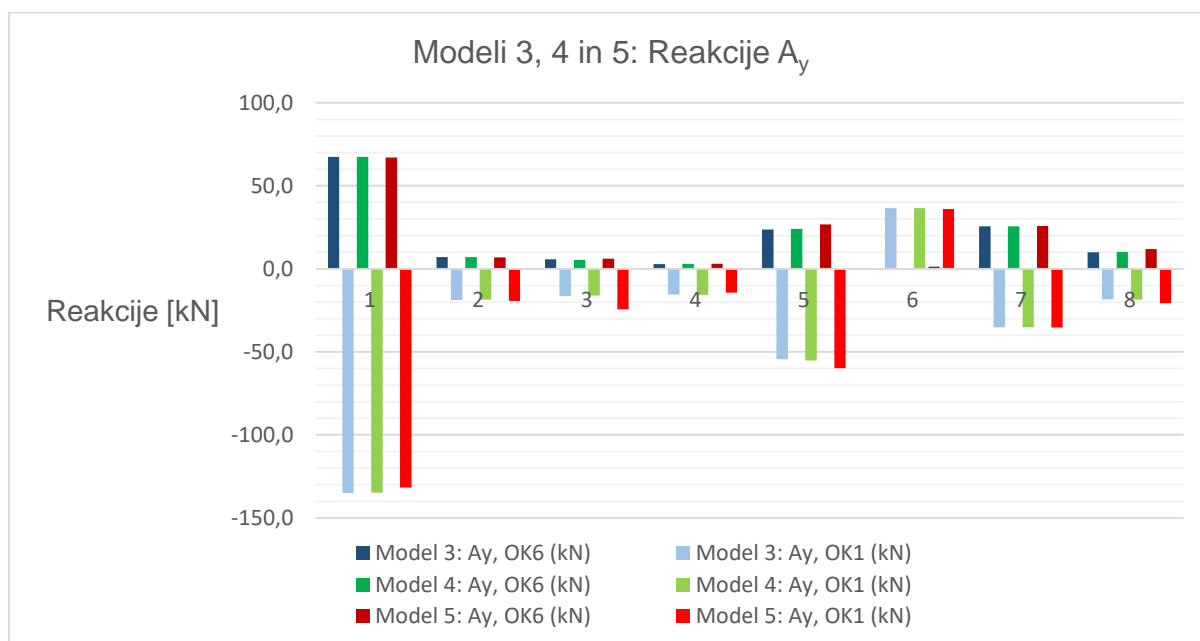
Tabela 66: Reakcije A_y (kN) severne kapne lege za Modele 3, 4 in 5 pri OK1.

Točka	1	2	3	4	5	6	7	8
Model 3: $A_{y, OK1}$ (kN)	-135	-18,7	-16,4	-15,5	-54,4	36,6	-35,2	-18,4
Model 4: $A_{y, OK1}$ (kN)	-134,8	-18,5	-16	-15,7	-55,2	36,6	-35,2	-18,5
Model 5: $A_{y, OK1}$ (kN)	-131,7	-19,3	-24,3	-14,4	-59,7	36	-35,4	-20,8

Vrednosti $A_{y, OK6}$ in $A_{y, OK7}$ za Modela 1 in 2 iz tabele 63 in 64 so predstavljeni na grafu na sliki 92. $A_{y, OK6}$ in $A_{y, OK1}$ za Modele 3, 4 in 5 iz tabele 65 in 66 so predstavljeni na grafu na sliki 93.



Slika 92: Graf reakcij Ay za Modela 1 in 2.



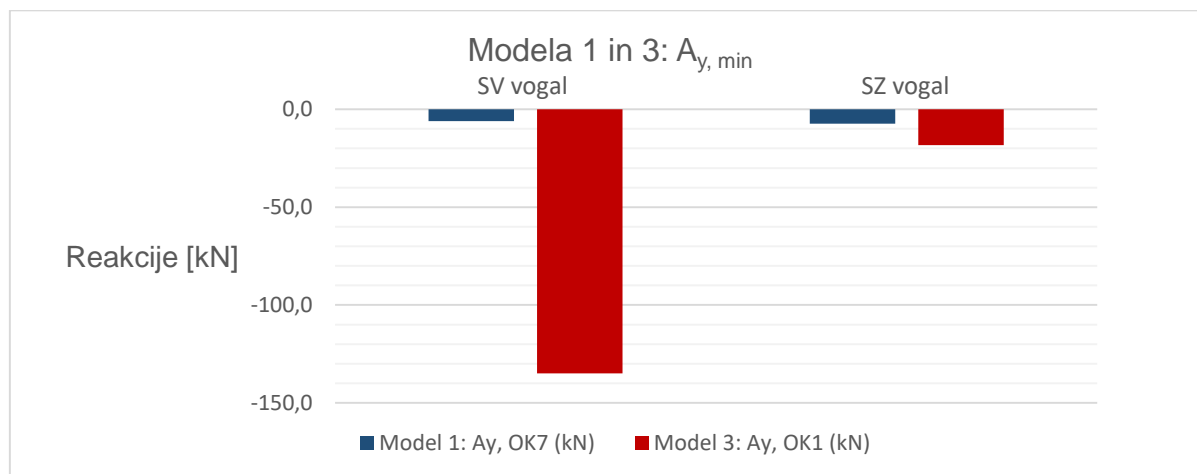
Slika 93: Graf reakcij Ay za Modele 3, 4 in 5.

Ugotovimo, da so reakcije A_y v Modelih 1 in 2 najmanjše v stikih osnovnih okvirjev s severno kapno lego oz. v oseh nosilne konstrukcije (tabeli 63 in 64: točke 1, 5, 9 in 12). V točki 5 so reakcije A_y ničelne pri Modelih 1 in 2, medtem ko pri Modelu 2 v 9. in 11. točki vrednost A_y pade za 100 % na ničelno vrednost. Najneugodnejše negativne reakcije nastopajo v točkah 2, 3, 6, 7, 8 in 10. Največjo vrednost pri Modelu 1 ima reakcija v točki 10: $A_{y, OK7} = -35,1$ kN. To lahko pripišemo delovanju obtežne kombinacije OK7 (50). Ta ima prevladujočo polno obtežbo snega po obeh strešinah (S1) in vetrno obtežbo s tlakom na južni strani in predvsem neugodno delujočim srkom na severni strani strehe (W1), ki deluje v smeri osi y.

Odstranitev gramoznega nasutja pri Modelu 2 ne poveča vpliva ostrešja na spodnje zidovje (tabeli 63 in 64). V točki 9 iz Modela 1 $A_{y, OK6} = 17,8$ kN v Modelu 2 celo pade na ničelno vrednost. Velika sprememba v vrednosti reakcij se zgodi pri Modelu 3, ko gre pri severni kapni legi za spremembo iz linijskih podpor v točkovne. Namesto 12 kritičnih točk pri analizi jih je od Modela 3 naprej 8. Te točke predstavljajo točkovne podpore v obliki polen med kapno lego in zidovjem. Največja sprememba se zgodi pri Modelu 3 v odnosu na Model 1, ko se na skrajnih vogalih, ki sta najbolj poškodovana, zgodi velik skok negativne vrednosti A_y (tabela 67 in slika 94). Vrednost negativne reakcije pri Modelu 3 je v točki 1 (SV vogal) zelo visoka, in sicer $A_{y, OK1} = -135,0$ kN (2213 % večja vrednost od $A_{y, OK7} = -6,1$ kN iz Modela1). Vrednost se torej poveča kar za 129 kN. Skok se zgodi pri OK1 (51), kjer je prevladujoč vpliv snega s polno vrednostjo po obeh strešinah. V točki 8 (SZ vogal) se namreč vrednost reakcije poveča za 11,1 kN na $A_{y, OK1} = -18,4$ kN (252 % večja vrednost od $A_{y, OK7} = -7,3$ kN iz Modela1).

Tabela 67: Reakcije A_y (kN) severne kapne lege v SV in SZ vogalu za Modela 1 in 3 pri OK7 oz. OK1.

Reakcije	SV vogal	SZ vogal	OK
Model 1: $A_{y, OK7}$ (kN)	-6,1	-7,3	OK7
Model 3: $A_{y, OK1}$ (kN)	-135,0	-18,4	OK1



Slika 94: Graf reakcij A_y (kN) severne kapne lege v SV in SZ vogalu za Modela 1 in 3 pri OK7 oz. OK1.

Vrednosti reakcij A_y v podporah se pri Modelu 5 glede na Model 4 povečajo v (tabela 66):

- točki 2 $A_{y, OK1} = -19,3$ kN (za 4,3 %),
- točki 3 $A_{y, OK1} = -24,3$ kN (za 51,9 %),
- točki 5 $A_{y, OK1} = -59,7$ kN (za 8,2 %),
- točki 7 $A_{y, OK1} = -35,4$ kN (za 0,6 %),
- točki 8 $A_{y, OK1} = -20,8$ kN (za 12,4 %).

Vrednosti reakcij A_y v podporah se pri Modelu 5 glede na Model 4 zmanjšajo v (tabela 66):

- točki 1 $A_{y, OK1} = -131,7$ kN (za 2,4 %),
- točki 4 $A_{y, OK1} = -14,4$ kN (za 10,2 %),
- točki 6 $A_{y, OK1} = 36$ kN (za 1,6 %).

- Reakcije A_z (kN) severne kapne lege:

Največje in najmanjše vrednosti reakcij A_z s pripadajočimi obtežnimi kombinacijami iz ovojnice obtežnih kombinacij (OK; $i = 1-24$) in lokacijami v točkah so za Modela 1 in 2 predstavljene v tabeli 68, za Modele 3, 4 in 5 pa v tabeli 69.

Tabela 68: Največje in najmanjše vrednosti reakcij A_z za Modela 1 in 2.

Reakcije		točka	OK
M1: $A_{z, max}$ (kN)	36,0	10	OK7
M1: $A_{z, min}$ (kN)	-19,3	10	OK6
M2: $A_{z, max}$ (kN)	35,9	10	OK7
M2: $A_{z, min}$ (kN)	-19,1	10	OK6

Tabela 69: Največje in najmanjše vrednosti reakcij A_z za Modele 3, 4 in 5.

Reakcije		točka	OK
M3: $A_{z, max}$ (kN)	80,6	1	OK7
M3: $A_{z, min}$ (kN)	-34,9	1	OK6
M4: $A_{z, max}$ (kN)	80,5	1	OK7
M4: $A_{z, min}$ (kN)	-35,0	1	OK6
M5: $A_{z, max}$ (kN)	83,1	1	OK7
M5: $A_{z, min}$ (kN)	-35,2	1	OK6

Reakcije vzdolž severne kapne lege iz obtežne kombinacije z največjo vrednostjo (OK7) so za Modela 1 in 2 predstavljene v tabeli 70, z najmanjšo (OK6) pa v tabeli 71. Za Modele 3, 4 in 5

so reakcije iz obtežne kombinacije z največjo vrednostjo (OK7) prikazane v tabeli 72, z najmanjšo (OK6) pa v tabeli 73.

Tabela 70: Reakcije A_z (kN) severne kapne lege za Modela 1 in 2 pri OK7.

Točke	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Model 1: $A_{z, OK7}$ (kN)	6,1	30,0	28,9	14,6	0,0	30,3	20,2	20,4	-0,4	36,0	18,8	8,1
Model 2: $A_{z, OK7}$ (kN)	6,0	30,0	28,9	14,8	7,0	32,0	20,0	19,8	2,9	35,9	0,0	7,1

Tabela 71: Reakcije A_z (kN) severne kapne lege za Modela 1 in 2 pri OK6.

Točke	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Model 1: $A_{z, OK6}$ (kN)	4,4	-15,0	-9,1	-4,7	0,0	-17,1	-3,1	-8,5	-17,2	-19,3	-6,1	-10,2
Model 2: $A_{z, OK6}$ (kN)	4,8	-15,0	-9,2	-4,9	5,9	-15,9	-3,2	-7,5	-16,8	-19,1	0,0	-9,0

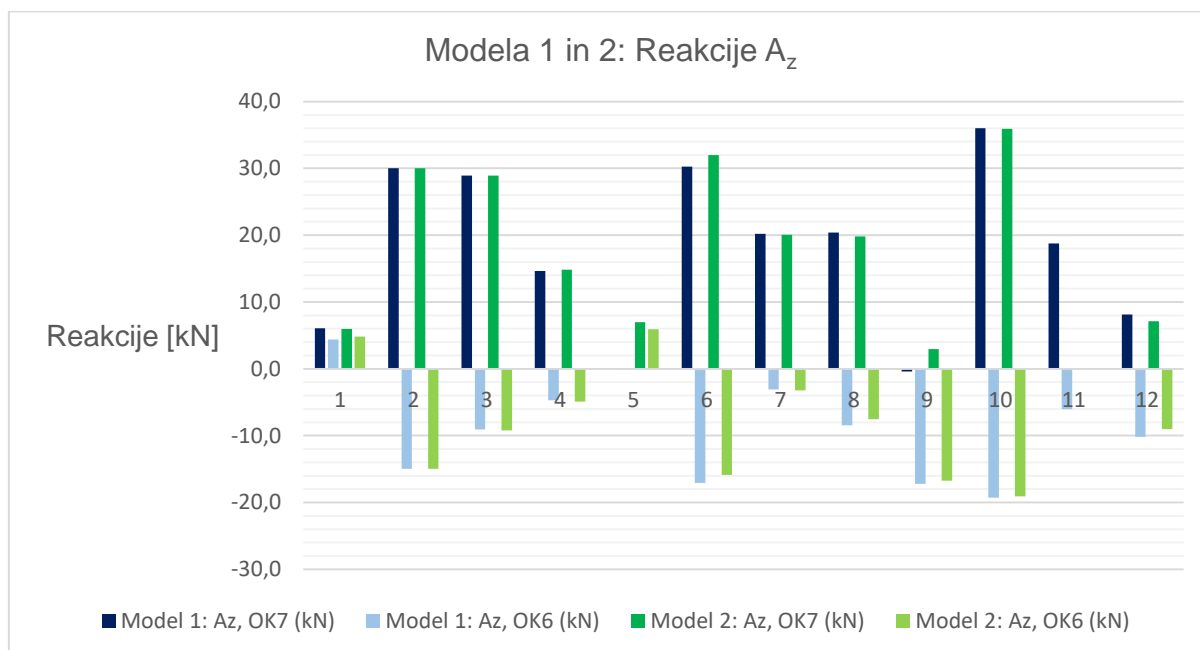
Tabela 72: Reakcije A_z (kN) severne kapne lege za Modele 3, 4 in 5 pri OK7.

Točka	1	2	3	4	5	6	7	8
Model 3: $A_{z, OK7}$ (kN)	80,6	33,6	42,4	16,1	31,9	-11,9	37,3	25,8
Model 4: $A_{z, OK7}$ (kN)	80,5	33,1	41,8	16,4	32,7	-11,3	37,3	26,1
Model 5: $A_{z, OK7}$ (kN)	83,1	31,5	34,4	18,6	35,2	-5,4	37,7	29,7

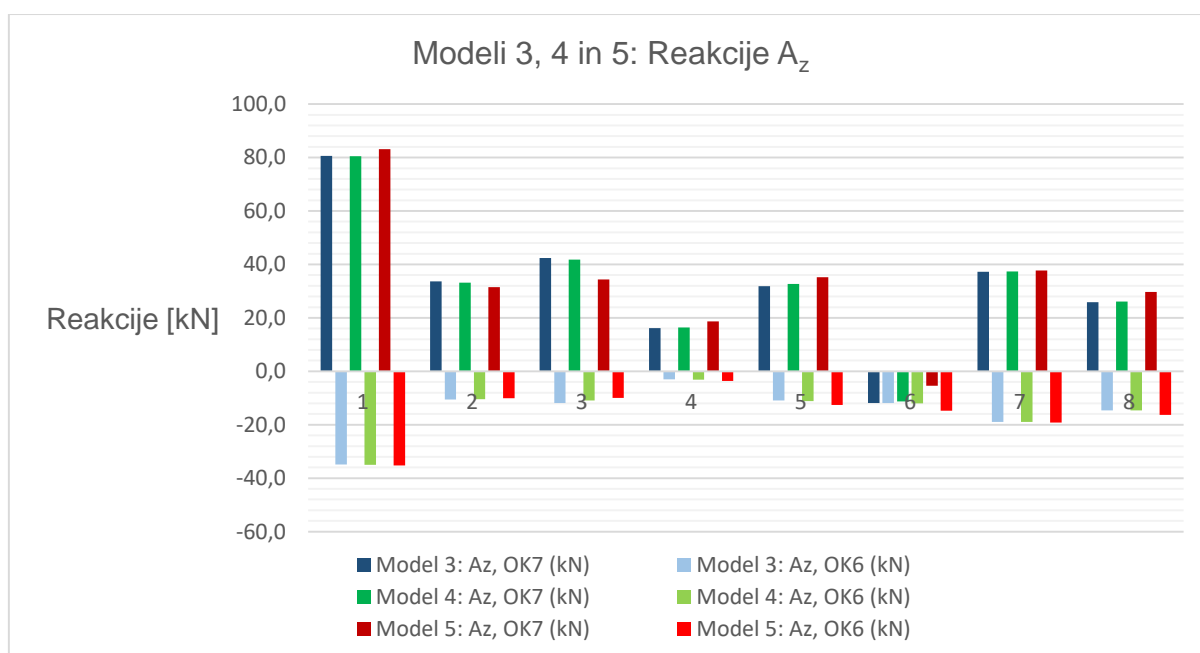
Tabela 73: Reakcije A_z (kN) severne kapne lege za Modele 3, 4 in 5 pri OK6.

Točka	1	2	3	4	5	6	7	8
Model 3: $A_{z, OK6}$ (kN)	-34,9	-10,6	-11,8	-3,0	-10,9	-11,8	-19,0	-14,6
Model 4: $A_{z, OK6}$ (kN)	-35,0	-10,4	-10,9	-3,2	-11,1	-11,9	-19,0	-14,7
Model 5: $A_{z, OK6}$ (kN)	-35,2	-10,1	-9,9	-3,6	-12,6	-14,8	-19,2	-16,3

Vrednosti $A_{z, OK7}$ in $A_{z, OK6}$ za Modela 1 in 2 iz tabele 70 in 71 so predstavljene na grafu na sliki 95. $A_{y, OK6}$ in $A_{y, OK1}$ za Modele 3, 4 in 5 iz tabele 72 in 73 so predstavljene na grafu na sliki 96.



Slika 95: Graf reakcij A_z za Modela 1 in 2.



Slika 96: Graf reakcij A_z za Modele 3, 4 in 5.

V Modelih 1 in 2 pri OK7 pozitivne vrednosti reakcij A_z kažejo na ustvarjanje ugodne tlačne cone med ostrejšem in spodnjim zidovjem. Med Modeloma 1 in 2 se vrednosti reakcij A_z (razen v točki 5) zelo malo spremenijo. Pri Modelu 2 se reakciji $A_{z, OK7} = 7,0$ kN in $A_{z, OK6} = 5,9$ kN povečata za 100 %. V točki 11 pa se vrednost spusti za 100 % na $A_{z, OK7} = 0$ kN (tabela 70).

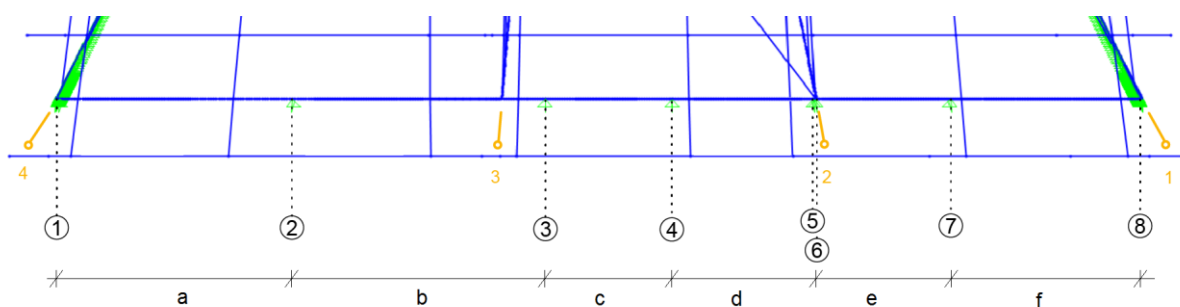
Ugotovimo, da so vrednosti reakcij A_z v točkah od 2 do 8 pri Modelih 3, 4 in 5 severne kapne lege večinoma enakomerne (tabeli 72 in 73, sliki 95 in 96) in ustvarjajo ugodno tlačno cono na

spodnje zidovje. Izjema je v točki 1, kjer se vrednost v Modelu 3 glede na Model 1 na poškodovanem SV vogalu močno poveča: $A_{z, OK7} = 80,6$ kN (1321 % večja vrednost od $A_{y, OK7} = -6,1$ kN iz Modela1). Vrednost se poveča za 74,5 kN (primerjava tabel 70 in 72). Pri istem primeru se poveča tudi vrednost v SZ vogalu: $A_{z, OK7} = 25,8$ kN (252,9 % večja vrednost od $A_{y, OK7} = -10,2$ kN iz Modela1). Vrednost se poveča za 15,6 kN (primerjava tabel 70 in 72). V SV vogalu se negativna vrednost reakcije poveča od Modela 1 do 3 za 39,3 kN na $A_{z, OK6} = -34,9$ kN (89,4 % večja vrednost od $A_{z, OK6} = 4,4$ kN iz Modela1), v SZ vogalu pa za 4,4 na $A_{z, OK6} = -14,6$ kN (14,3 % večja vrednost od $A_{z, OK6} = -10,2$ kN iz Modela1) (primerjava tabel 71 in 73). Reakcije A_z pri Modelih 3, 4 in 5 se ne spreminjajo veliko, to pomeni, da spremembe v konstrukciji pri omenjenih modelih niso močno vplivale na spodnje zidovje.

- Pomiki u_x , u_y in u_z (m) vzdolž celotne severne kapne lege

Najbolj so nas zanimali pomiki v smeri osi y , torej tisti pomiki, ki bi lahko povzročili razpoke na spodnjem severnem zidovju. Pomike smo spremljali iz ovojnice vseh obtežnih kombinacij (OK; $i=1-24$) in ugotovili, da je za horizontalne pomike najneugodnejše delovala OK6, ki je obenem tudi obtežna kombinacija, ki da največje negativne reakcije v podporah A_y . Za vertikalne pomike je najneugodnejše delovala obtežna kombinacija OK7.

Severno kapno lego smo za Modele 3, 4 in 5 razdelili na segmente med podporami od a do f (slika 97).



Slika 97: Severna kapna lega razdeljena na segmente od a do f za preverjanje pomikov.

Ugotovili smo, da so pomiki u_x , u_y in u_z vzdolž celotne severne kapne lege, ki nalega na poškodovano severno zidovje pri Modelih 1 in 2, zaradi linijske podpore (ta preprečuje pomike v smeri osi x , y in z , dovoljuje pa zasuke okoli teh osi) enaki nič. Pri Modelih 3, 4 in 5 so pomiki v smeri osi y in z neničelni, vendar zanemarljivih vrednosti. Največji pomiki v horizontalni in vertikalni smeri nastopajo v obeh vogalih severne kapne lege. Njihovi velikostni razredi so med 10^{-4} m in 10^{-3} m.

Ugotovimo, da se največja horizontalna pomika v smeri osi y pojavljata pri Modelih 3, 4 in 5 na SV strani (segment a : $u_y=0,0028$ m) ter na SZ strani (segment f : $u_y=0,0011$ mm). Na področjih c in e se pojavljajo pri Modelih 3, 4 in 5 majhni pomiki v nasprotni smeri osi y (približno $0,0005$ m) zaradi nepodprtosti severnega dela poveznikov srednjih dveh okvirjev, ki se eventualno prelomita.

Največja vertikalna pomika v nasprotni smeri osi z (gravitacijska smer) se pojavljata na SV strani (segment a in b : $u_z = -0,0013$ mm) in na SZ strani (segment f : $u_z = -0,004$ mm). Na segmentih c in e se pojavljajo majhni pomiki v smeri osi z (približno $0,0003$ mm), tam severno kapno lego dviguje prav tako zaradi nepodprtosti dveh poveznikov, ki se preko stebrov povesta in prelomita. Tako dvigujeta severno kapno lego na omenjenih segmentih.

Pomiki niso dovolj veliki, da bi povzročili konstrukcijske razpoke na severnem zidovju.

7.0 ZAKLJUČEK

Objekt je brez temeljev in leži na slabo nosilnih temeljnih tleh, položen neposredno na skale v prodnati zemljini. Ob hiši do leta 2016 ni bilo izvedene drenaže in hidroizolacije, ki bi skrbela za odvod meteorne vode. Ta je dolga leta izpirala temeljna tla in posledica tega je bilo posedanje severnega zidovja. Dokaz za to je s kosi leg oz. polen podprta severna kapna lega po celotni dolžini (slika 98).



Slika 98: Severna kapna lega, podprta s kosi tramov po celotni dolžini.

Hiša je najverjetneje že nekaj desetletij brez žlebov, streha pa ima veliko površino in 44-stopinjski naklon. Objekt je iz poznega srednjega veka, ko so na podobnih ruralnih objektih uporabljali lesene žlebove. Zaradi spomeniške zaščitenosti objekta je bila kasnejša morebitna vgradnja žlebov vprašljiva. Južno zidovje se ni posedlo, deformirano je le na spodnjem delu, kjer je meteorna voda ponekod izprala stik s temeljnimi tlemi. Ta so na južni strani hiše boljša, oz. je zgornja talna površina manj dovzetna za izpiranje. Južno zidovje leži na skalnati podlagi. Ob tem delu poteka utrjena makadamska cesta, del južnega dela hiše pa je tudi podkleten. Ob severni strani so mehke travniške in poljedelske površine. Stika zidovja s temeljnimi tlemi na čelnih straneh hiše meteorna voda ni sprala, oblika strehe jo je usmerila na severno in južno stran.

Do odstranitve gramoznega nasutja iz podstrešja (Model 2) je bilo severno zidovje najverjetneje brez večjih razpok. V notranjosti objekta na južni strani in tudi v osrednjem delu ni bilo opaziti nobenih konstrukcijskih razpok, vidne so le manjše razpoke na ometu v glavni veži. Konstrukcijske razpoke se pojavljajo le vzdolž severnega zidovja in na njegovi notranji strani. Največje razpoke na severnem zidovju so se najverjetneje začele pojavljati okoli leta 2000. To pomeni, da je bil objekt do takrat s takim statičnim sistemom ostrešja zelo dolgo brez večjih znanih deformacij.

Zaradi odstranitve gramoznega nasutja iz podstrešja – in s tem podpore poveznikov notranjih dveh vešal – se je čez stebra na poveznik začela prenašati velika točkovna sila. To je

povzročilo povečano upogibno obremenitev in delno tudi poslabšanje mehanskih karakteristik lesa, kar je v končni fazi privedlo do upogibne porušitve poveznika na mestu naleganja stebra. Poveznik je do tedaj ležal na nasutju in bil z njim pokrit. Statični sistem trapeznega vešala od takrat ne deluje več kot klasično vešalo. Delovanje sistema trapeznega vešala je bilo zaradi vmesnih podpor poveznikov vedno vprašljivo. Klasično vešalo ima namreč le krajni podpori.

Severna stran zidovja se je v določenem obdobju posedla zaradi spiranja temeljnih tal in ločila od kapne lege. Ta je dolgo časa skrbela za ugoden neposreden enakomeren prenos obtežbe na ta del spodnje konstrukcije. To pomeni, da je bilo zidovje nekaj časa brez ugodne vertikalne obremenitve in tako bolj dovzetno za zvrčanje, dodatno posedanje in deformiranje. Pozitivne vertikalne reakcije pomenijo konstantno vertikalno obtežbo in s konstrukcijskega vidika delujejo ugodno na kamnito zidovje, saj ohranjajo zidovje kompaktno. Kamnita zidovja, ki niso pod konstantno vertikalno obtežbo (vsaj lastne teže zgornjih elementov, na primer strešne konstrukcije) se začnejo deformirati oziroma razpadati. Primer take situacije so ruševine starih gradov in cerkva, katerih kamnita zidovja brez strehe t.j. delovanja stalne vertikalne obtežbe in zaradi spiranja hitro propadajo. V primeru slabih temeljnih tal pa lahko tako velika vertikalna obtežba na spodnje zidovje delujejo tudi neugodno, saj lahko povzroči dodatne posedke.

Zaradi nenaleganja na spodnje zidovje je bila severna kapna lega točkovno podprta. Prišlo je do prehoda iz linijske podpore vzdolž celotne kapne lege v 8 točkovnih podpor, kar je prineslo veliko povečanje reakcij v podporah (Model 3).

Pri Modelu 3 so se negativne horizontalne reakcije v podporah na SV in SZ vogalu kapne lege precej zvišale. To pomeni, da so sile, s katerimi ostrešje deluje na severno zidovje, tiste, ki so povzročile in povečevale razpoke na njem, saj delujejo v smeri osi pravokotno na njegovo ravnino proti zunanosti objekta (smer y). Negativne horizontalne reakcije so se največ povečale pri Modelu 3:

- na SV vogalu: $A_{y, OK1} = -135,0$ kN (2213 % večja vrednost od $A_{y, OK7} = -6,1$ kN iz Modela1),
- na SZ vogalu: $A_{y, OK1} = -18,4$ kN (252 % večja vrednost od $A_{y, OK7} = -7,3$ kN iz Modela1).

Ugotovili smo, da je točkovno podpiranje kapne lege prineslo neugodne posledice za zidovje. Horizontalni reakciji v vogalih v smeri osi y pri Modelu 3 sta zelo veliki in sta najverjetneje sprožili začetek nastanka večjih konstrukcijskih razpok na severnem zidovju, ki bi se brez zunanjih horizontalnih podpor najverjetneje porušilo.

Pozitivne vertikalne reakcije z ugodnim vplivom na zidovje se prav tako največ povečajo pri Modelu 3:

- na SV vogalu: $A_{z, OK7} = 80,6$ kN (1321 % večja vrednost od $A_{z, OK7} = 6,1$ kN iz Modela1),
- na SZ vogalu: $A_{z, OK7} = 25,8$ kN (252,9 % večja vrednost od $A_{z, OK7} = -10,2$ kN iz Modela1).

Negativne vertikalne reakcije iz OK6 (prevladujoč vpliv vetra v obliki srka po obeh strešinah) delujejo neugodno na zidovje, saj pomenijo dvigovanje ostrešja in posledično neugodno razbremenjevanje spodnjega zidovja. Te so se s propadanjem elementov ostrešja zviševale predvsem na SV in SZ vogalu. Negativna vrednost vertikalnih reakcij se največ poveča pri Modelu 3:

- na SV vogalu: $A_{z, OK6} = -34,9$ kN (89,4 % večja vrednost od $A_{z, OK6} = 4,4$ kN iz Modela1),
- na SZ vogalu: $A_{z, OK6} = -14,6$ kN (14,3 % večja vrednost od $A_{z, OK6} = -10,2$ kN iz Modela1).

Veliko povečanje vertikalnih in predvsem horizontalnih reakcij v smeri osi y v podporah SV in SZ vogala (od Modela 3 dalje) pove, da so deformacije ostrešja vplivale na večanje razpok na spodnjem severnem zidovju. To se je najverjetneje deformiralo in ločilo od ostale konstrukcije zaradi kombiniranih vplivov deformacij ostrešja in posedkov, ki so bili posledica slabega temeljenja, slabih temeljnih tal in izpiranja temeljnih tal.

VIRI

Karničar, D., Karničar Virnik, P. 2015. Navajanje dejstev o zgodovini Šenkove domačije po ustnem izročilu. Osebna komunikacija. (28. 9. 2015.)

Karničar, D. Karničar Virnik, P. 2016. Opis kronološkega propadanja ostrešja. Osebna komunikacija. (12. 4. 2016.)

Krašovec, F. 1929. Ilustrirani Slovenec 167. Tedenska priloga 29.

Turistična kmetija Šenkova domačija. 2015.

<http://www.senkovadomacija.si/> (Pridobljeno dne 12. 2. 2016)

Zavod za varstvo kulturne dediščine OE Kranj. 2016. Osebna komunikacija. (28.9.2015).

Hrastnik, B. 2015. Arhitekturni načrti Kulturni spomenik Šenkova domačija – Rekonstrukcija. Radovljica.

Zavod za gozdove Slovenije. 2015. Poročilo Zavoda za gozdove Slovenije o gozdovih za leto 2014. Ljubljana: 138 str.

Cevc, T. Primožič, T. 1988. Kmečke hiše v Karavankah. Stavbna dediščina hribovskih kmetij pod Kepo, Stolom, Košuto, Obirjem, Pristovškim Storžičem in Peco. Celovec: Drava: Trst: Založništvo tržaškega tiska: 252 str.

Toplotna prevodnost materialov. 2015.

<http://www.engineeringtoolbox.com/> (Pridobljeno dne 15.3.2016)

Lohmann, U. 1991. Holz-Handbuch / von Ulf Lohmann. Mit Beitr. von Thomas Annies und Dieter Ermschel. Leinfelden-Echterdingen: 312 str.

Wagenführ, R. 1996. HOLZ Atlas. Leipzig: 688 str.

Caicedo, J., Pakzad, S. 2015. Dynamics of civil structures, Volume 2, Proceedings of the 33rd IMAC, A conference an exposition on structural dynamics. Orlando: 449 str.

Območna karta Slovenije s karakteristično obtežbo snega na tleh. 2002.

<http://www.arso.gov.si/> (Pridobljeno dne 18.3.2016)

Žitnik, J., Žitnik, D., Berdajs, A., Gruden, T., Jurček, R., Slokan, I., Petek, I., Jereb, S., Smolej, B., Štembal Capuder, M., Galonja, S. 2008. Gradbeniški priročnik. Ljubljana. Tehniška založba Slovenije: 692 str.

Lopatič, J., 2008. Lesene konstrukcije. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 105 str.

Žarnić, R., Bosiljkov, V., Bokan Bosiljkov, V., Dujič, B., 2008. Gradiva. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 140 str.

Standardi

EN 408:1995. Upogibna trdnost pri statični obtežbi.

EN 408:1995. Tlačna trdnost prečno na vlakna.

SIST EN 1995-1-1:2005. Evrokod 5: Projektiranje lesenih konstrukcij – 1-1. del: Splošna pravila in pravila za stavbe : nacionalni dodatek.

EN 338:2003: Trdnostni razredi lesa: Karakteristične in projektne vrednosti.

SIST EN 1995-1-1:2005: Trdnostni razredi lesa: Karakteristične in projektne vrednosti.

SIST EN 1991-1-1:2004. Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1-1. del: Splošni vplivi – Prostorninske teže, lastna teža, koristne obtežbe stavb.

SIST EN 1991-1-1/A101:2005. Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1-1. del: Splošni vplivi – Prostorninske teže, lastna teža, koristne obtežbe stavb – Nacionalni dodatek.

SIST EN 1991-1-3:2004. Vplivi na konstrukcije – 1-3. del: Splošni vplivi – Obtežba snega, 2004

SIST EN 1991-1-3:2004/A101. Vplivi na konstrukcije – 1-3. del: Splošni vplivi – Obtežba

snega - Nacionalni dodatek, 2008

SIST EN 1991-1-4:2005. Vplivi na konstrukcije – 1-4. del: Splošni vplivi – Vplivi vetra,
2005

SIST EN 1991-1-4: 2005/A101. Vplivi na konstrukcije – 1-4. del: Splošni vplivi – Vplivi
vetra - Nacionalni dodatek, 2007

Program

Univerza Kalifornije, Berkeley. 2011. SAP2000 Ultimate 15.0.0: Structural Analysis Program.
Computers and Structures, Inc. 1995 University Avenue Berkeley, California. Program za
analizo konstrukcij.

DODATEK: Revizija opravljenih ukrepov za sanacijo poškodb objekta

SV in SZ vogal poškodovanega severnega zidovja so začasno podprli, da bi preprečili njegovo nadaljnje deformiranje in zvrčanje. Zaradi zelo slabega stanja bi bilo potrebno zidovje podpreti po celotni dolžini, vključno z vogaloma (slika 99). Palično podpiranje zidovja bi bilo močnejše, vendar bi onemogočalo dostop za sanacijo temeljev.



Slika 99: Predlog podpiranja severnega zidovja.

Podbetoniranje severnega zidovja je izvedeno po segmentih, da bi čimbolj zmanjšali verjetnost dodatnega posedanja zidovja zaradi razbremenitve v temeljnih tleh. Naenkrat je bil ob steni izkopan in utrjen največ 2 m dolg jarek. Vanj je bil položen podložni beton kot podlaga za podbetoniranje oz. izvedbo temeljev. Sledilo je postavljanje opaža in armature, nazadnje pa so vlili beton na odseke dolžine 70-80 cm. Armaturo se je podaljševalo v naslednje segmente, da je potekala kontinuirano. Po strjevanju betona se je jarek odprl naprej vzdolž stene za nadaljevanje betoniranja novega segmenta (slika 100, 1), tako vse do saniranja celotnega SZ vogala. Da bi preprečili izpiranje temeljnih tal, je bilo potrebno pri odprtem jarku položiti hidroizolacijo z bitumenskim premazom in bitumensko folijo po celotni višini novih temeljev (slika 100, 2). Sledila je priprava betonske posteljice (slika 100, 3) za postavitev drenažne cevi (slika 101, 1 in 2). Za preprečitev zablatitve so cev pokrili s filcem, za čim hitrejšo odvajanje meterone vode od hiše pa so jarek zasuli z gramozom. Za preprečitev spiranja temeljev bi bilo potrebno izvesti odvod meteorne vode z odvodnim jaškom tudi na južni strani.



Slika 100: Sanacija temeljev.



Slika 101: Drenažna cev vzdolž objekta speljana v odvodni jašek.

Potrebno je bilo čimbolj povezati stik novih temeljev in starega ozidja, zato se je izvedlo injiciranje med razpokami (slika 102).



Slika 102: Injiciranje stika med temelji in obstoječim zidovjem.

Pred popolno sanacijo severnega zidovja so odstranili njegov zgornji del, da bi pridobili potreben prostor za izdelavo armiranobetonskega venca po celotnem zidovju ostrešja, kamor bi eventualno lahko nalegalo ostrešje preko talnih in kapnih leg (slika 103).



Slika 103: Razbijanje zgornjega dela zidovja s še vidnimi nesanimiranimi konstrukcijskimi razpokami severnega zidovja (levo) in izdelava AB venca za kasnejše naleganje ostrešja (desno).

S tem ukrepom so bile tvegane precejšnje dodatne deformacije začasno podprtega zidovja. Z močnim podpiranjem zidovja, ki bi ga izvedli že pri izdelavi temeljev in injiciranju, bi se lahko izognili razbujanju zgornjega dela zidovja. Zelo deformirano ostrešje bi tako lahko popolnoma odstranili in imeli odprt prostor za izdelavo AB venca. Podstrešje bi po odstranitvi ostrešja za preprečitev spiranja pokrili s PVC folijo. Zdrave elemente ostrešja bi lahko ponovno uporabili pri gradnji novega ostrešja, neuporabne pa nadomestili z novimi enakih dimenzij. Novo ostrešje bi vključno s stebri preko talnih in kapnih leg v celoti nalegalo na izdelan AB venec. Lege bi bile po novem privijačene v AB venec. Konstrukcijski sistem ostrešja s trapeznim vešalom (Model 1) bi zaradi spomeniške zaščitnosti objekta in dobrega delovanja skozi dolgo obdobje ohranili.

Injiciranje razpok na obstoječem zidovju na zunanji in notranji strani je bil naslednji korak. Zaradi velike kompaktnosti in neporoznosti kamnitega zidovja se poraja vprašanje smiselnosti injiciranja nekonstrukcijskih razpok v notranjosti objekta. Obstajala je namreč velika verjetnost, da bi injekcijska masa stekla po tleh. Prav tako je vprašljiva popolna odstranitev zunanjega in notranjega ometa.