

# **Prednosti in slabosti različnih konstrukcijskih sistemov sodobne večetažne lesene gradnje**



Univerza v Mariboru

---

Faculty of Civil Engineering,  
Transportation Engineering  
and Architecture

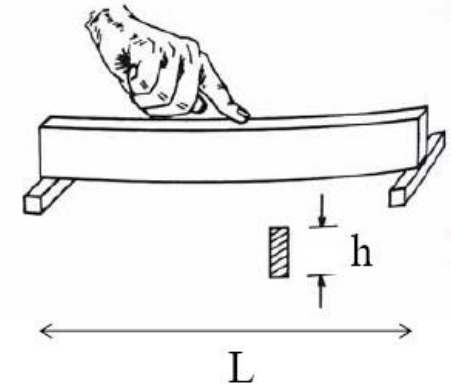
**Miroslav Premrov**

**Maribor, 24.11.2023**

# 1. UVOD – nekaj malega o lesu ...



Les je trajnostni naravni material (fotosinteza, skladiščenje CO<sub>2</sub>).



**Je les obstojen material?**

Ladja Vasa je bila odkrita in dvignjena iz morja leta 1961.

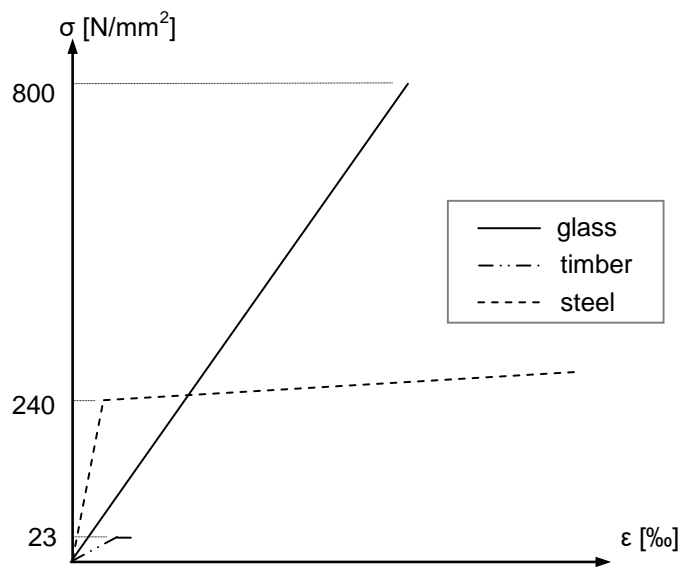
**Pod morsko gladino je bila 333 let!**

Les je danes restavriran s premazi in posebej zaščiten.

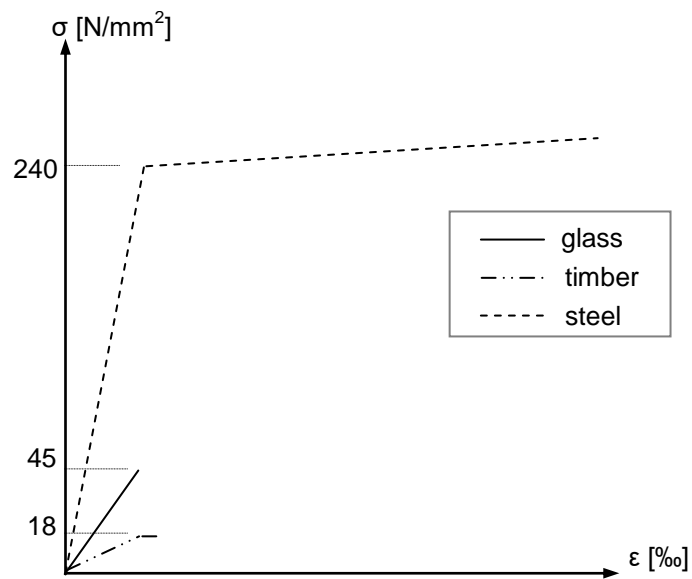
## UTELEŠENA ENERGIJA

Material	MJ/kg	MJ/m <sup>3</sup>
Aluminij	191,0 – 227,0	517.185,0 – 611.224,0
Aluminij - recikliran	8,1 – 42,9	24.397,0
Jeklo	31,3 – 74,8	245.757,0 – 613.535,0
Cement	5,2 – 7,8	12.005,0 – 12.594,0
Opeka	2,5 – 7,2	5.310,0 – 14.885,0
Steklo	15,9	40.039,0
Naravna TI - celuloza	3,3	146,0
TI - polystiren	117,0	1.401,0
Les	0,3 – 1,6	165 - 638
Lesne plošče (MDF, ...)	8,0 – 11,9	5720- 5694

### Tlak

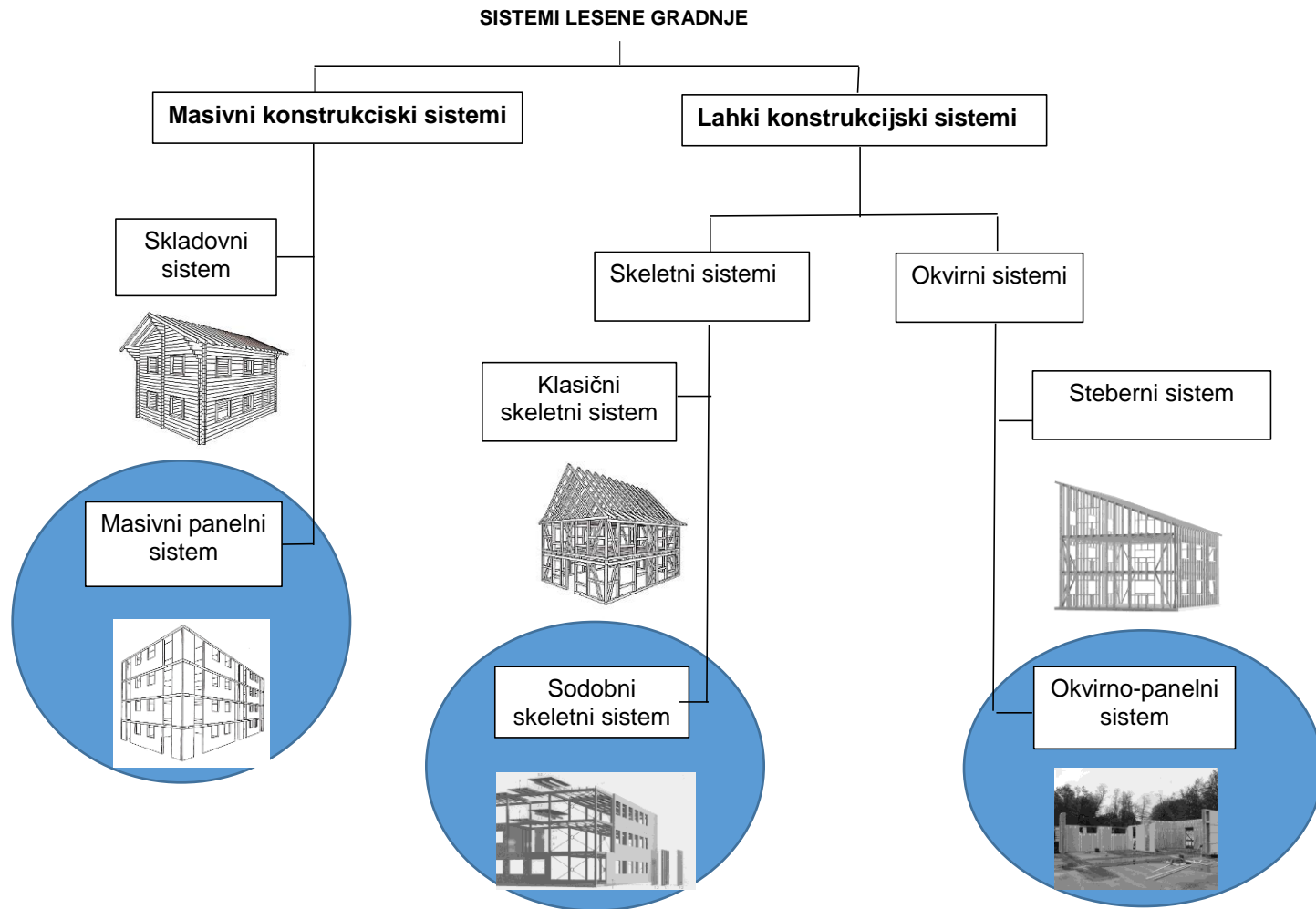


### Nateg

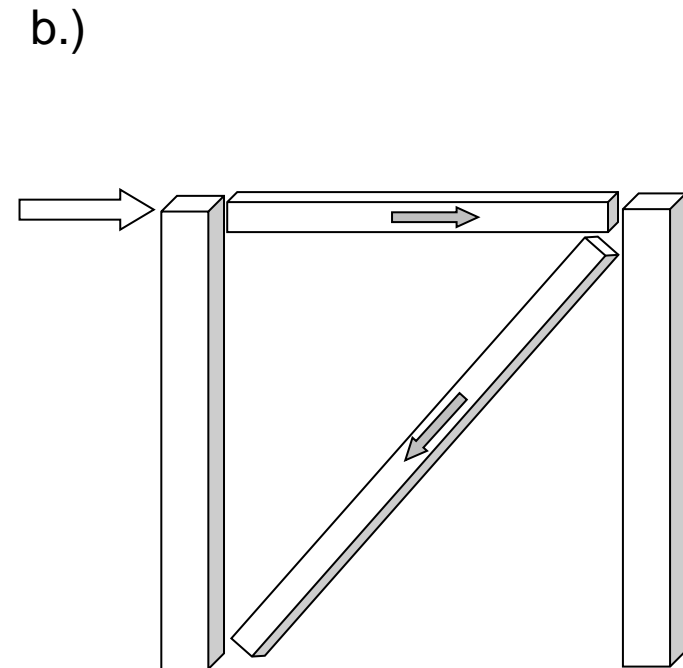
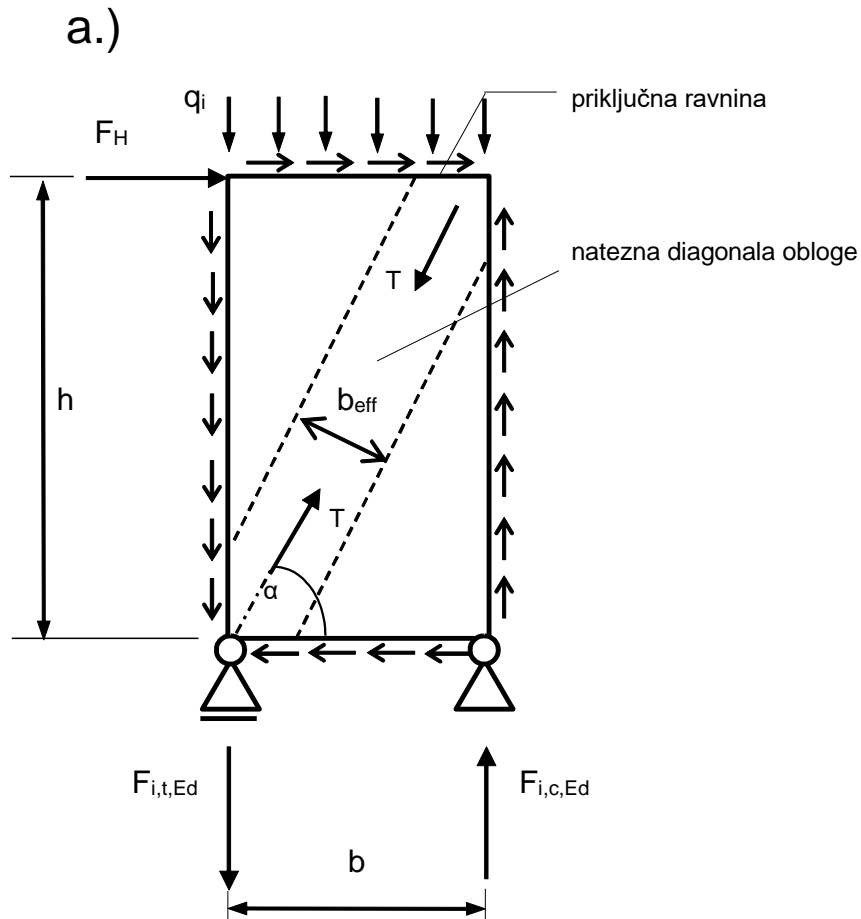


	Gostota $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Tlačna trdnost $f_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Upogibna trdnost $f_{mt}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>Modul elastičnosti E [N/mm<sup>2</sup>]</b>	Koef. toplotnega raztezanja $\alpha_T$ [10 <sup>-5</sup> K <sup>-1</sup> ]
Navadno steklo	2,500.00	800.00	45.00	70,000.00	0.90
<b>Les C30</b>	460.00	23.00	30.00	12,000.00	0.50
Jeklo S240	7,850.00	240.00	240.00	210,000.00	1.20
Beton C30/37	2,500.00	30.00	2.9	33,000.00	1.00
Razmerje steklo/les	5.43	34.78	1.50	5.83	1.80

# Konstrukcijski sistemi lesene gradnje



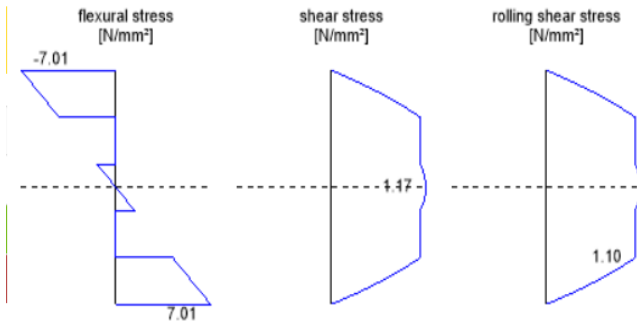
## Razdelitev horizontalne obtežbe v okvirno-panelnem (a) in skeletnem sistemu (b)



## Križno-lepljeni elementi (CLT, X-Lam)



field	$f_{v,k}$	$\gamma_m$	$k_{mod}$	$f_{v,d}$	$V_d$	$\tau_{v,d}$	utilization
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[-]	[-]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]	
1	4.00	1.25	0.80	2.56	-25.06	0.16	6 %
2	4.00	1.25	0.80	2.56	180.98	1.17	46 %





# Montažna lesena gradnja nekoč in danes

Vir: V. Ž. Leskovar, osebni arhiv



Razvoj leseno-steklenih elementov ...

# Integriran projektni pristop (arhitekturno – okoljski – gradbeni)



## 1. Energijski koncept

Postavitev steklenih površin primarno na južno stran objekta.

## 2. Arhitekturni koncept

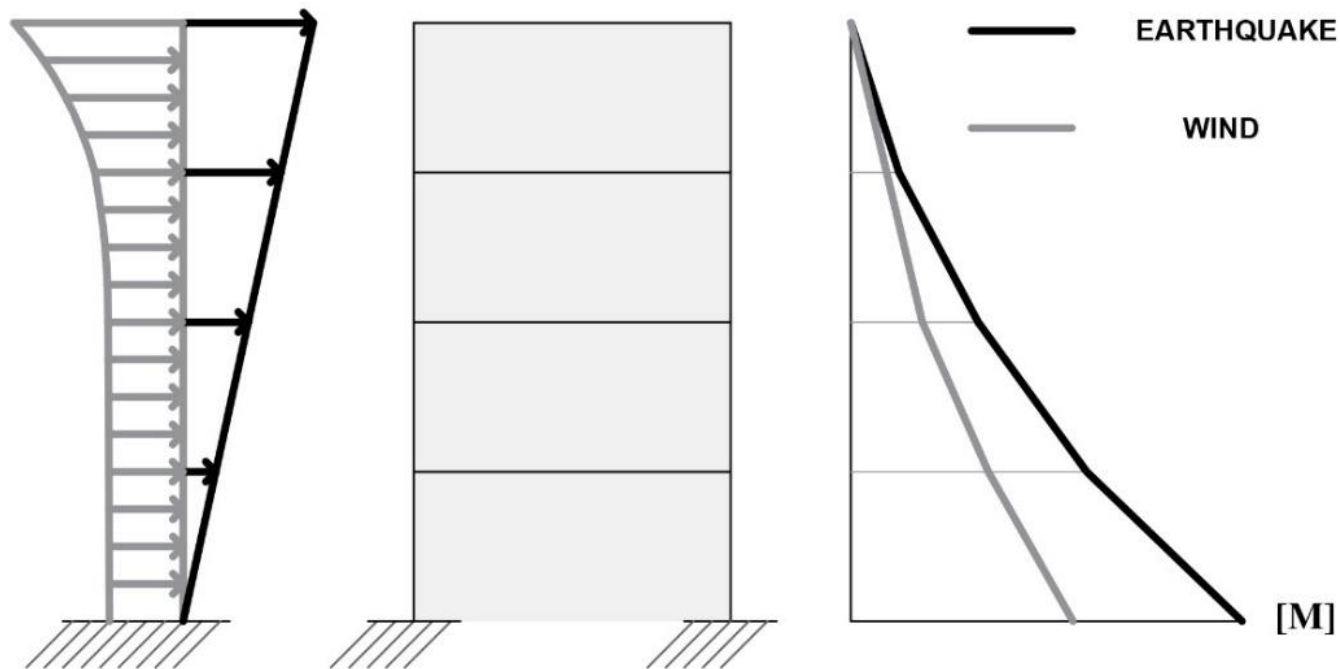
Uporaba čim večjih transparentnih površin, boljša naravna osvetljenost notranjih prostorov.

## 3. Okoljski koncept

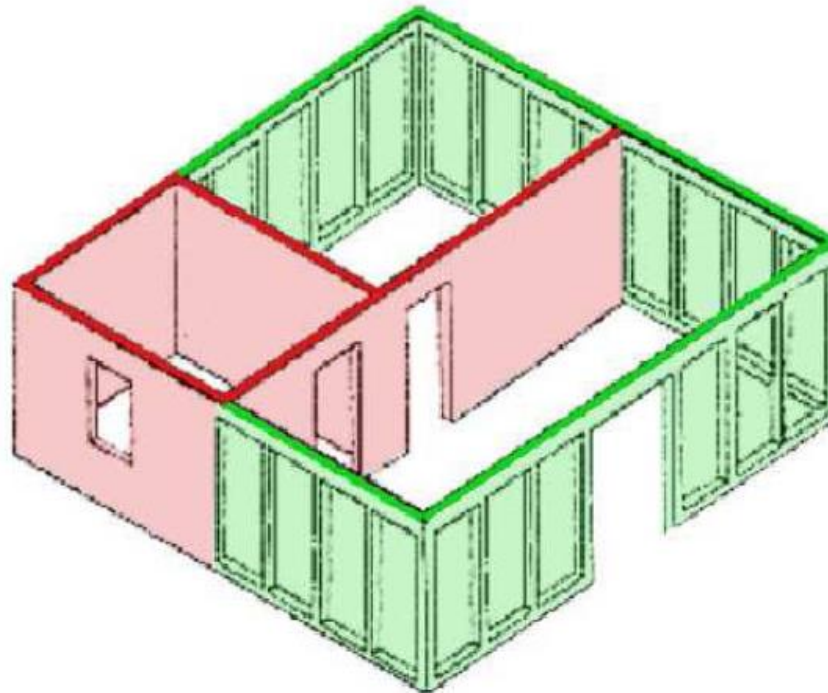
Uporaba naravnih materialov (les), čim boljši energijski izkaz (točka 1), čim nižji izpusti toplogrednih plinov (LCA analiza))

## 4. Konstrukcijska stabilnost

## 2. PROBLEMATIKA VEČETAŽNOSTI



Večanje horizontalnih obremenitev z višino objekta



**Dodatni problem ekscentričnosti (torzija)** po posameznih etažah pri uporabi nenosilnih (transparentnih) leseno-steklenih elementov:

- vgradnja dodatnih nosilnih notranjih stenskih elementov,
- vgradnja dodatnih diagonalnih elementov;
- nosilni-leseno-stekleni stenski elementi.

## Tipologija večetažnih lesenih objektov (po Salvadoriju)

- Nizke stavbe z eno do tremi nadstropji;
- Srednje visoke stavbe s štirimi do desetimi nadstropji (MRTB);
- Visoke stavbe z več kot desetimi nadstropji (HRTB).

### Naslednje vprašanje je:

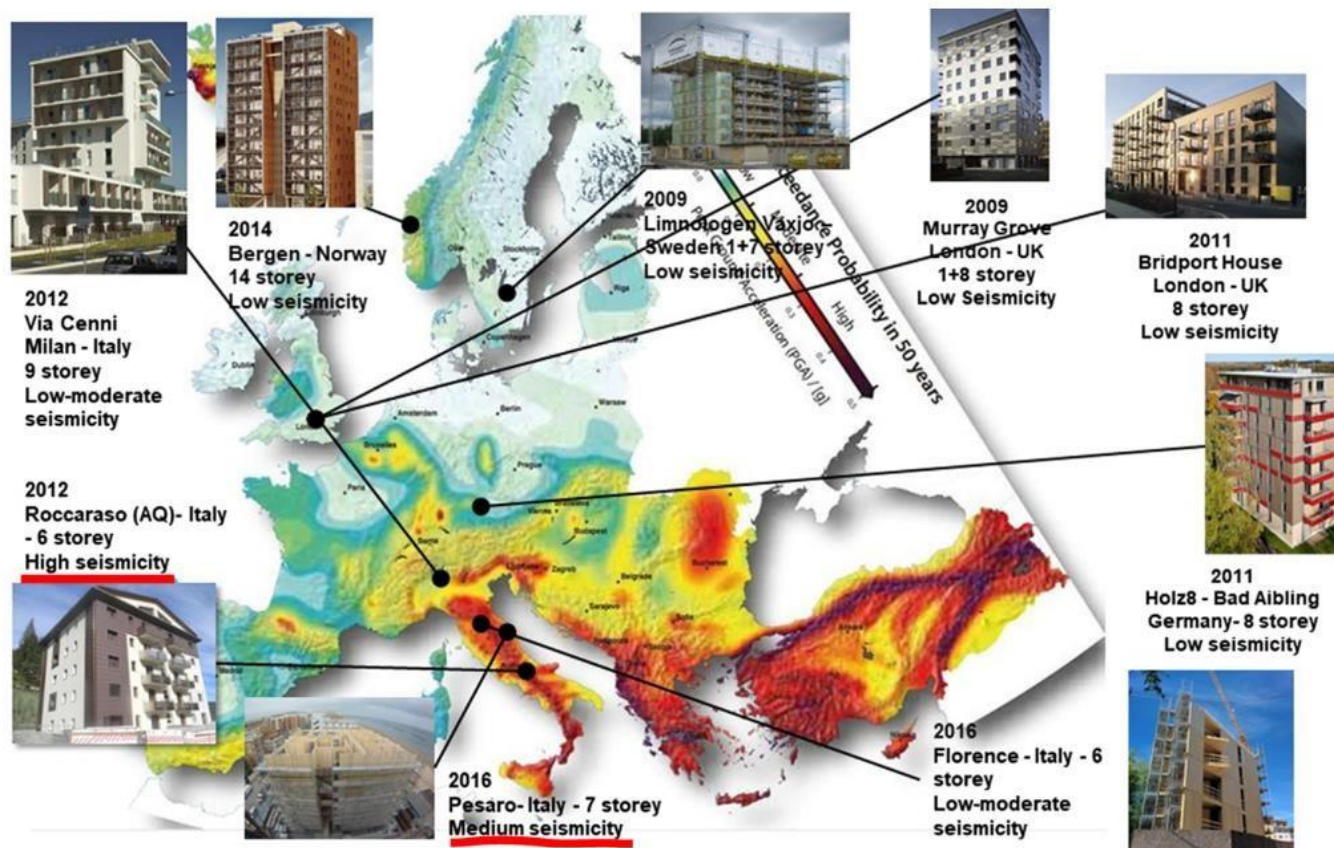
- Ali govorimo o nosilni konstrukciji izključno iz lesenih konstrukcijskih elementov (po potrebi s CLT jedrom) – **izključno lesene nosilne konstrukcije**;
- Ali govorimo o nosilni konstrukciji za zagotavljanje horizontalne stabilnosti s pomočjo dodatnih AB jeder – **hibridne lesene konstrukcije**.

*Kako visok objekt lahko pravzaprav postavimo z izključno leseno nosilno konstrukcijo?*

Zgrajeno leta    Število etaž    Višina (m)    Lokacija    Klasifikacija  
 glede na višino

Murray Grove	2009	**1+8	23	London / UK	
Limnologen	2009	**1+7	/	Växjö / SWE	
Bridport House	2011	8	26	London / UK	
Holz8	2011	8	25	Bad Aibling / GER	
E3	2011	7	/	Berlin / GER	
Life Cycle Tower One	2012	8	27	Dornbirn / AT	
Panorama Guistinelli	2013	7	22	Trieste / ITA	
Maison de l'Inde	2013	7	23	Paris / FRA	
Wagramerstrasse	2013	7	22	Vienna / AT	
Pentagon II	2013	8	24	Oslo / NO	
<b>Via Cenni Social Housing</b>	2013	9	27	Milan / IT	MRTB
Dalston Lane	2013	9	32	London / UK	
Tamedia Office Building	2013	7	/	Zurich / CH	
Edifici de Fusta Cavallers	2014	6	20	Lleida / SP	
Kingsgate House	2014	7	/	London / UK	
St. Dié-des-Vosges	2014	8	27	St. Dié-des-Vosges / FRA	
Strandparken	2014	7	22	Stockholm / SWE	
Puukuokka	2015	8	28	Jyväskylä / FIN	
Banyan Wharf	2015	10	33	London / UK	
Trafalgar Place	2015	10	/	London / UK	
Moholt 50/50	2016	9	31	Trondheim / NO	
Dalston Lane	2017	**1+9	34	London / UK	
<b>Treet</b>	2014	14	52	Bergen / NO	
<b>Hoho Tower Vienna</b>	2020	24	84	Vienna / AT	
Mjøstårnet	2019	18	85	Brumunddal / NO	
Silva	2022*	18	50	Bordeaux / FRA	HRTB
Haut	2021*	21	73	Amsterdam / NL	
Hypérion	2021*	18	57	Bordeaux / FRA	

Največjo možno višino lesenega objekta z izključno leseno nosilno konstrukcijo zelo generirajo klimatski pogoji, predvsem izpostavljenost potresni ali veterni obtežbi.

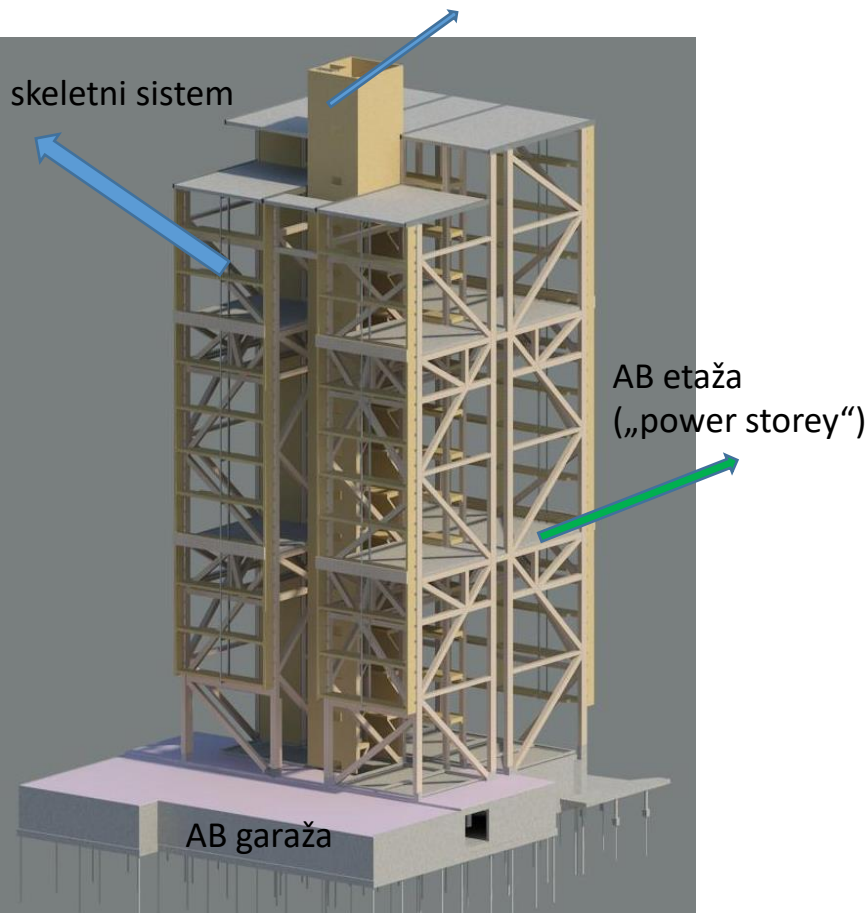


Vir: Follesa, M., Fragiaco, M., Casagrande, D., Tomasi, R., Piazza, M., Vassallo, D., Canetti, D., Rossi, S. (2018). The New Provisions for the Seismic Design of Timber Buildings in Europe. Engineering Structures 168: 736–747.

## Brez AB jedra – izključno lesena nosilna konstrukcija

### „Treet“, Bergen, Norway – 14 etaž (HRTB), 2015

CLT (samo za vertikalno nosilnost)



Največja višina 49,4 (52,8) m.

- 550 m<sup>3</sup> glulam, 385 m<sup>3</sup> CLT

- Stebri (GL): 405x650 and 495x495 mm.

- Diagonale (GL) 405x405 mm.

- Glulam skelet prevzema večino horizontalne obtežbe.

- „The building is not designed for seismic loads“.

„It’s so tall that the wind load prevails  
( $v_m = 44.8$  m/s,  $q_p = 1.254$  kN/m<sup>2</sup>,  $a_g = 0.9$  m/s<sup>2</sup>),  
which means that seismic design can be omitted  
according to Norwegian code.“, **Abrahamsen (2015)**.



### 3. INTEGRIRANA ANALIZA DVEH POSEBEJ IZBRANIH OBJEKTOV

#### Integrirana analiza:

- arhitekturni,
- konstrukcijski in
- gradbeno-fizikalni pristop.

1. **Via Cenni Milano (MRTB)**; najvišji CLT objekt postavljen na potresno relativno aktivnem območju;
2. **HoHo Tower Dunaj (HRTB)**; hibridna nosilna konstrukcija, trenutno najvišja v Evropi.

## 3.1. VIA CENNI MILANO (2013)

Štirje 9-nadstropni stolpiči vizključno v CLT sistemu (**27 metrov**). Prva izvedba na relativno potresno aktivnem območju. 2-etažne povezovalne stavbe.



### Residential units

- 124 residences
- 2 to 4 rooms (1 to 3 sleeping rooms - 100/75/50 m<sup>2</sup> area)

### Others

- some space for urban services
- concierge and administration
- social spaces
- public area and garden



### Surfaces

- 9300 m<sup>2</sup> gross floor area
- 17000 m<sup>2</sup> gross built floor area

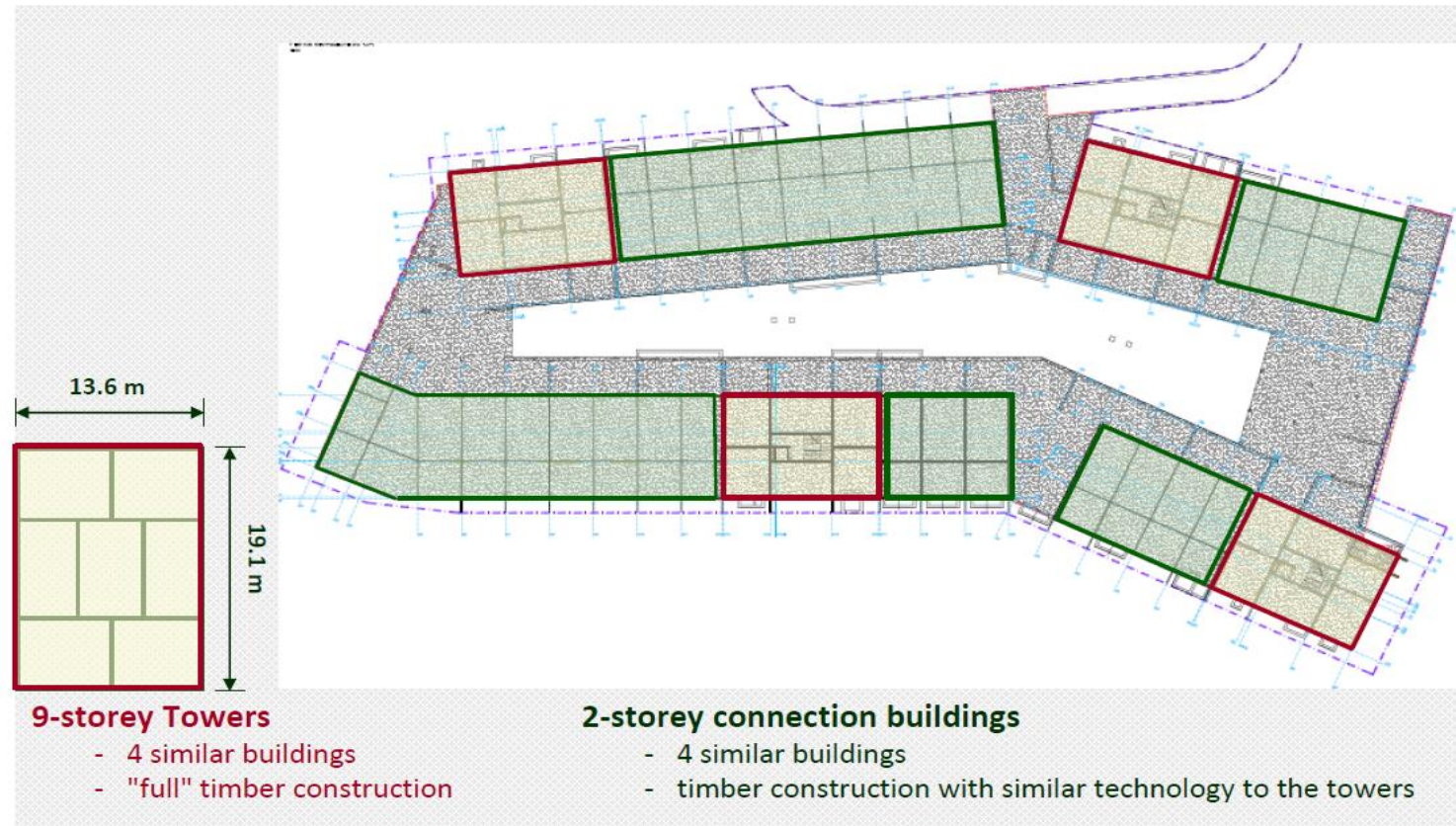
### Costs\*

- 17 Mio. € all inclusive
- rent: 500 to 1000 €/month
- sales: 150'000 to 3000'000 €

\* approximately

Dr. A. Bernasconi  
Milan, 7 June 2012

European Wood Network Meeting 2012  
9-storey CLT Building in via Cenni a Milano - page 4



Dr. A. Bemasconi  
Milan, 7 June 2012

European Wood Network Meeting 2012  
9-storey CLT Building in via Cenni a Milano - page 7

1. Prva aplikacija izključno CLT nosilne konstrukcije z **visokim H/L razmerjem**;  
„timber construction with similar technology to the towers“.
2. Prva postavitev visoke CLT konstrukcije na potresno ogroženem območju  
( $a_g = 1.201 \text{ m/s}^2$ ).



## Building site

29.05.2012

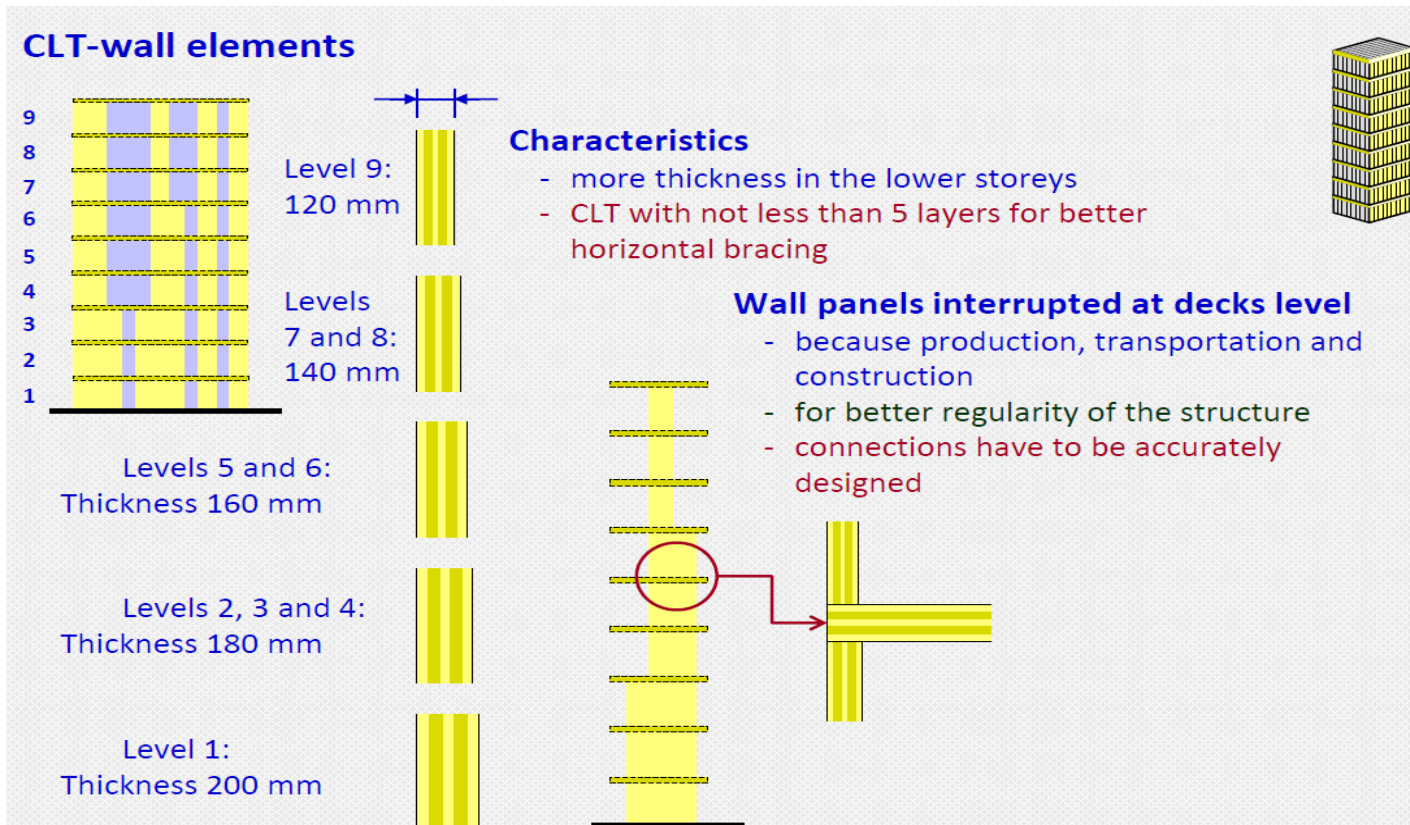


Podzemna garaža je armirano-betonska.

## Stenski CLT elementi

### CLT 9 storey building - via Cenni, Milan

promo\_legno



Dr. A. Bernasconi  
Milan, 7 June 2012

European Wood Network Meeting 2012  
9-storey CLT Building in via Cenni a Milano - page 14

Praktični primer ojačevanja (debeljenja) CLT sten po etažah  
(teoretično J. Smith: 1 etaža + 10 mm)

## 3.2. HO-HO TOWER BUILDING VIENNA (2019)



24-etaž **84 metrov višine.**

Dokončan v letu 2019 in takrat prepoznan kot **najvišji hibridni leseni objekt v Evropi.**

Stavba ima **hibridni stenski nosilni sistem**, kjer se horizontalna stabilnost zagotavlja tako z lesenimi GL skeleti, kakor tudi z dodatnimi AB jedri, kjer so sicer locirana stopnišča.

**74% stavbe** je zgrajene **iz lesa avstrijskih gozdov**. Posledično je bilo s takšno konstrukcijo skupaj prihranjeno 2,800 t CO<sub>2</sub> ekvivalenta v primerjavi z alternativno izključno AB izvedbo.

Postavitev objekta: 1 1/2 tedna za posamezno etažo!



Vir: Woschitz und Zotter, 2017.



# Stropni elementi: Timber-concrete composite (TCC) elements (toga diafragma, akumulativnost)

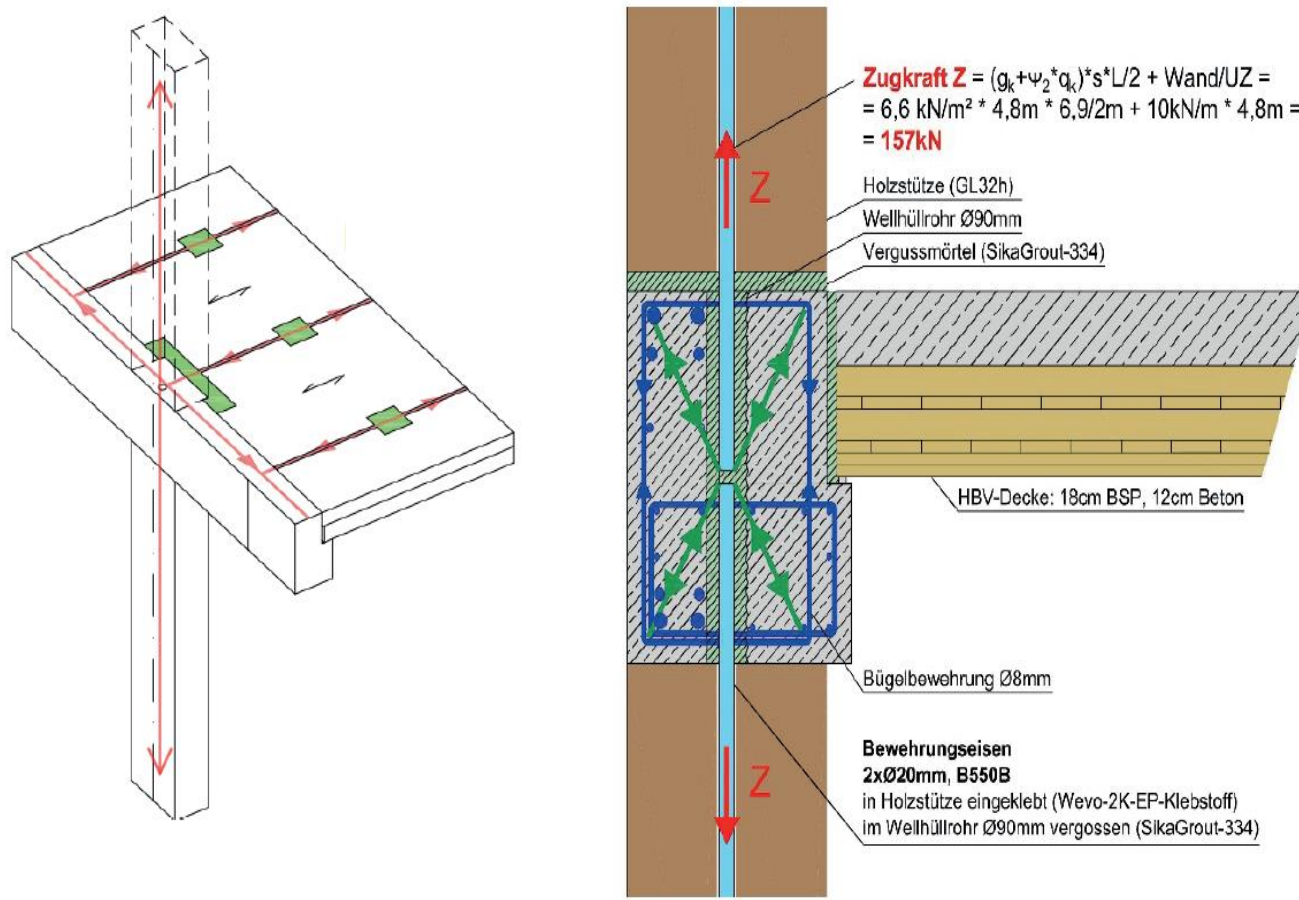


Abb. 4: Vertikale Zugverankerung der Stützen

Fig. 4: Vertical tensile Anchorage of Columns

Vir: Woschitz und Zotter, 2017.



	<b>HoHo Tower</b>	<b>Via Cenni</b>
Konstrukcijski sistem stenski elementi	AB jedro + GL skeletni sistem, vse notranje stene so demontažne brez vsakršne nosilne funkcije	CLT elementi s spremenljivo debelino
Zavetrovanje	Hibridni sistem: AB jedro + GL skeletni sistem	Izključno CLT elementi
Konstrukcijski sistem stropni elementi	Montažni TCC kompoziti: CLT plošča (180 mm) z AB ploščo zgoraj (120 mm)	CLT elementi z debelino glede na razpon (5-slojni CLT 200 mm in 7-slojni CLT 230 mm)
Obtežba vetra	$v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$	$v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$
Potresna intenziteta	$a_g = 0.10 \cdot g$ (nizka)	$a_g = 1.201 \text{ m/s}^2$ (zmerna)
Požarna odpornost (REI)	90 minut za nosilne lesene elemente	60 minut za vse nosilne elemente
Aktivni tehnični sistemi	Fotovoltaični sistemi Decentralizirana mehanska rekuperacija za ventilacijo	Centralizirana rekuperacija za ventilacijo v vsakem apartmaju posebej, geotermalna toplotna črpalka
Certifikat zelene gradnje	LEED Gold Certificate	CENED energijski certifikat, razred A
Ostali trajnostni indikatorji	Les iz avstrijskih gozdov	/

## 4. ZAKLJUČNE MISLI

1. Večetažna lesena gradnja v vsakem pogledu izkazuje precej boljše okoljske indikatorje kot alternativna klasična gradnja (vzrok fotosinteza, „skladiščeni“ CO<sub>2</sub>).
2. Vendar pa les kot konstrukcijski material izkazuje v primerjavi z drugimi alternativnimi konstrukcijskimi materiali nekoliko nižje trdnosti in predvsem precej nižji modul elastičnosti, ter posledično *pomembne konstrukcijske limitacije tako glede višin objektov, kakor tudi razponov.*
3. Če se osredotočimo le na problematiko višine objektov, je zelo pomembna tudi *lokacija objekta oziroma izpostavljenost tako veterni kot tudi potresni obtežbi.*

4. Sodobne večetažne lesene objekte je potrebno snovati s celostnim projektantskim pristopom, s simultanim in integriranim upoštevanjem tako arhitekturnih, konstrukcijskih in gradbeno-fizikalnih parametrov, *ki so si včasih v svojih optimalnih zahtevah tudi kontradiktorni.*
5. Vsekakor pa večetažna lesena gradnja z dodatnim razvojem tako določeneih novih naprednih tehnologij (3D moduli), kot tudi izboljšavi materialov (nosilni leseno-stekleni elementi), lahko predstavlja pomemben izziv tako iz vidika optimalnega bivalnega ugodja, kakor tudi okolju maksimalno prijazne gradnje (LCA analize).

**Hvala za vašo pozornost!**