

Технологије производње кућа од дрвета

- ✓ Зашто градња дрветом?
- ✓ Класификација конструктивног дрвета
- ✓ Производи од дрвета за градњу

23.02.2022.

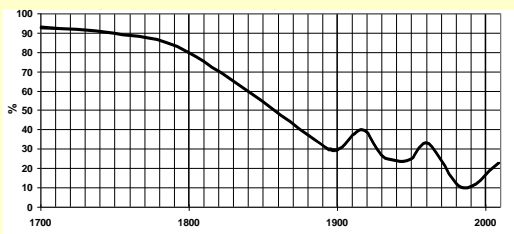


Важност градње данас

- зграде и куће данас
 - ✓ троше скоро 50% од укупно произведене енергије
 - ✓ троше 75% струје
 - ✓ емитују скоро 50% CO₂

2

Дрво у грађевинским конструкцијама



3

Дрво у грађевинским конструкцијама

- Пагода храма Фогонг
 - ✓ саграђена 1056 год. !
 - ✓ висина 67 m !



Дрво у грађевинским конструкцијама

- Хо Хо зграда (Беч)
 - ✓ висина 84 m (24 спрата)
 - ✓ 76% дрво
 - ✓ употребљена количина дрвета порасте у Аустрији за око 80 минута !



Дрво у грађевинским конструкцијама

- УВС студентски дом (Ванкувер)
 - ✓ 18 спратова



Дрво у грађевинским конструкцијама

Mjøstårnet (Норвешка)

- ✓ 18 спратова
- ✓ 85.4 m
- ✓ структура потпуно од дрвета (all timber building)



Зашто градња дрветом?

- куће чија је конструкција од дрвета
 - ✓ Сев. Америка 90%
 - ✓ Скандинавске земље 45%
 - ✓ Јапан 45%

богатство земље – коришћење дрвета
линеарна зависност ??

8

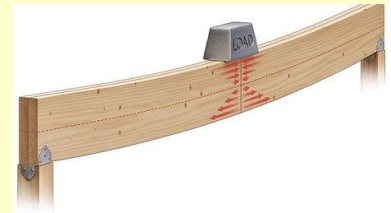
Зашто градња дрветом?

- просечан човек данас проводи своје време (Сев. Америка и Европа):
 - ✓ 90% унутра
 - ✓ 5% у аутомобилу
 - ✓ свега 5% напољу
- то је само један од разлога због чега је потребно "позвати природу унутра"

9

Зашто градња дрветом?

- мала маса – одлична механичка својства



Поређење са бетоном и челиком

Table 7.8 Strength and stiffness of timber (whitewood small clears) in comparison with other materials

Material	Specific gravity	Tensile strength (MPa)	Specific tensile strength (kN/m ²)	Modulus of elasticity (GPa)	Specific modulus (kN/m ²)	Compressive strength (MPa)
Timber	0.46	104	226	10	22	37
Concrete	2.5	4	2	48	19	49
Glass	2.5	50	20	69	28	50
Stainless steel	7.8	247	88	69	25	-
Steel (mild, 0.06% C)	7.9	136	18	207	26	130
Aluminum (6061-T6)	2.7	310	115	70	26	800
Acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS)	1.1	50	45	3	3	50
Rigid poly(vinyl chloride)	1.5	59	39	2.4	1.7	55
Polyester resin/G cloth (unidirectional)	1.8	276	153	18	10	202
Carbon fiber (unidirectional)	1.8	3500	1944	145	35	400

ако се посматрају својства по килограму материјала позиција дрвета је далеко боља
не заборавити цене материјала!

11

Зашто градња дрветом?

- мала маса – одлична механичка својства
- велика флексибилност на градилишту
 - ✓ са аспекта свих могућих измена
- одлична изолациона својства
 - ✓ и до 10% већа површина у односу на друге материјале
- отпорно на топлоту, хладноћу, корозију, хемикалије
- најпогодније за уградњу модерних система
 - ✓ за циркулацију ваздуха, рекулерацију топлоте, соларних панела
- лако за повезивање и комбиновање са другим материјалима (нпр. изолационим материјалима)

12

Зашто градња дрветом?

- показано је да одржавање дрвених кућа није скупље од осталих
- здро, штити од статичког електрицитета, обезбеђује се природна контрола влажности ваздуха
- јединственост сваког производа (под, намештај, евентуално зидови)
- велики број инжењерских решења коришћења дрвета
- заштита од пожара – предност или мана ?!?

13

Зашто градња дрветом?

- утошак енергије за 1 тону производа од дрвета за градњу:
 - 70 пута мањи у односу на производе од алуминијума
 - 17 пута мањи у односу на производе од челика
 - 3 пута мањи у односу на бетонске блокове или циглу
- емисија CO₂ при производњи 1 m³ производа:
 - за дрво негативна (задржава се CO₂ који је апсорбован у шуми)
 - за остале материјале: од 5000 kgCO₂/m³ за PVC до преко 25000 kgCO₂/m³ за алуминијум

14

Потреба за грејањем

- пасивна кућа до 15 kWh/m²
- нискоенергетска кућа 30-50 kWh/m²
- енергетска класа А до 100 kWh/m²
- енергетска класа В 100-130 kWh/m²
- енергетска класа С 131-150 kWh/m²
- енергетска класа D 151-190 kWh/m²

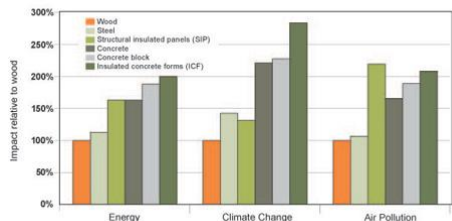
15

Зашто градња дрветом?

- битно - 80% утошка енергије при експлоатацији, 20% за градњу
- при коришћењу производа од дрвета утошак енергије је мањи
 - кућа од дрвета у односу на еквивалентну кућу од бетона, уштеда енергије око 2300 MJ/m² – довољно за 6 година грејања
- емисија CO₂ за исту кућу
 - од дрвета 30 kgCO₂/m²
 - од бетона и челика 400 kgCO₂/m²

16

Анализа животног циклуса (LCA)



Embodied environmental impacts of various exterior wall assemblies

17

Стандарди

- За пројектовање и извођење дрвених конструкција у СРПС регулативи примењују се:
 - СРПС У.Д0.001 - Пројектовање и извођење дрвених конструкција – Материјали за израду дрвених конструкција и технички услови
 - СРПС У.Ц9.200 - Пројектовање и извођење дрвених конструкција – Конструкције од монолитног дрвета и плоча
 - СРПС У.Ц9.300 - Пројектовање и извођење дрвених конструкција – Ламелиране лепљене конструкције – Технички услови
 - СРПС У.Ц9.400 - Пројектовање и извођење дрвених конструкција – Дрвене скеле и оплате – Технички услови
 - СРПС У.Ц9.500 - Пројектовање и извођење дрвених конструкција – Заштита дрвета у конструкцијама – Технички услови.

18

- за прорачуне конструкција разликују се 4 "типа" дрвета:
 - меко монолитно дрво (четинари) и топола
 - тврдо монолитно дрво
 - хомогено лепљено ламелирано дрво
 - комбиновано лепљено ламелирано дрво
- за ове типове прописане су одређене класе чврстоће

19

Klase čvrstoće (prema standardu EN 338:2003) ¹⁾ – meko monolitno drvo (četinari) i drvo topole		C 14	C 16	C 18	C 20	C 22	C 24	C 27	C 30	C 35	C 40
Čvrstoća (u N/mm ²)											
Savijanje	$f_{b,k}$	14,0	16,0	18,0	20,0	22,0	24,0	27,0	30,0	35,0	40,0
Zatezanje paralelno	$f_{t,0,k}$	9,9	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	16,0	18,0	21,0	24,0
Zatezanje upravno	$f_{t,90,k}$	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6
Pritisak paralelno	$f_{c,0,k}$	16,0	17,0	18,0	19,0	20,0	21,0	22,0	23,0	25,0	26,0
Pritisak upravno	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
Smicanje	$f_{v,k}$	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8
Modul krutosti (u kN/mm ²)											
Srednji modul elastičnosti	$E_{0,mean}$	7,0	8,0	9,0	9,5	10,0	11,0	11,5	12,0	13,0	14,0
Karakteristični modul elastičnosti paralelno	$E_{0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4
Srednji modul elastičnosti upravno	$E_{90,mean}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47
Gustina (u kg/m ³)											
Karakteristična gustina	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420
Srednja gustina	ρ_{mean}	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500

1) Karakteristična vrednost – обично вредност нижег фрактила (5%-фрактила) – свега у 5% случајева ће стварна вредност бити нижа од карактеристичне

20

Одређивање класе

- класирање се може вршити:
 - визуелно (разматра се врста дрвета и грешке које могу утицати на чврстоћу – чворови, угао влаканаца, пукотине)
 - машински (савија се сваки комад, израчунава модул еластичности)
- битне (примарне) вредности:
 - чврстоћа на савијање – генерално за конструктивно дрво
 - средњи модул еластичности – углавном за ламеле у лепљеном ламелираном дрвету
 - густина – за предвиђање чврстоће и отпорности на ватру

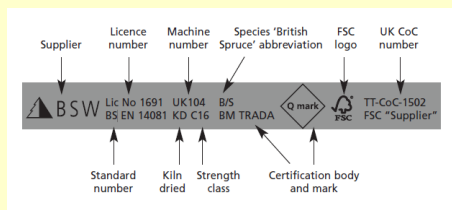
21

Утицај врсте на класу

- за визуелно класирање обично важи:
 - сврча/јела
 - са лошијом структуром – класа C16
 - са бољом структуром – класа C24

22

Ознака на пакету



23

Klase čvrstoće (prema standardu EN 338:2003) ¹⁾ – tvrdo monolitno drvo		D 30	D 35	D 40	D 50	D 60	D 70
Čvrstoća (u N/mm ²)							
Savijanje	$f_{b,k}$	30,0	35,0	40,0	50,0	60,0	70,0
Zatezanje paralelno	$f_{t,0,k}$	18,0	21,0	24,0	30,0	36,0	42,0
Zatezanje upravno	$f_{t,90,k}$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Pritisak paralelno	$f_{c,0,k}$	23,0	25,0	26,0	29,0	32,0	34,0
Pritisak upravno	$f_{c,90,k}$	8,0	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5
Smicanje	$f_{v,k}$	3,0	3,4	3,8	4,6	5,3	6,0
Modul krutosti (u N/mm ²)							
Srednji modul elastičnosti paralelno	$E_{0,mean}$	10000	10000	11000	14000	17000	20000
Karakteristični modul elastičnosti paralelno	$E_{0,05}$	8000	8700	9400	11800	14300	16800
Srednji modul elastičnosti upravno	$E_{90,mean}$	640	690	750	930	1130	1330
Srednji modul smicanja	G_{mean}	600	650	700	880	1060	1250
Gustina (u kg/m ³)							
Karakteristična gustina	ρ_k	530	560	590	650	700	900
Srednja gustina	ρ_{mean}	640	670	700	780	840	1060

24



Klase čvrstoće (prema standardu EN 1194:1999) – homogeno lepljeno lamelirano drvo ^a					
		GL 24h	GL 28h	GL 32h	GL 36h
Čvrstoća (u N/mm ²)					
Savijanje	$f_{m,ak}$	24,0	28,0	32,0	36,0
Zatezanje paralelno vlaknima	$f_{t,ak}$	16,5	19,5	22,5	26,0
Zatezanje upravno na vlakna	$f_{t,90,ak}$	0,4	0,45	0,5	0,6
Pritisak paralelno vlaknima	$f_{c,ak}$	24,0	26,5	29,0	31,0
Pritisak upravno na vlakna	$f_{c,90,ak}$	2,7	3,0	3,3	3,6
Smicanje	$f_{v,ak}$	2,7	3,2	3,8	4,3
Klase čvrstoće (prema standardu EN 1194:1999) – homogeno lepljeno lamelirano drvo					
		GL 24h	GL 28h	GL 32h	GL 36h
Modul krutosti (u N/mm ²)					
Srednji modul elastičnosti paralelno	$E_{0,g,mean}$	11600	12600	13700	14700
Karakteristični modul elastičnosti paralelno	$E_{0,g,05}$	9400	10200	11100	11900
Srednji modul elastičnosti upravno	$E_{90,g,mean}$	390	420	460	490
Srednji modul smicanja	$G_{s,mean}$	720	780	850	910
Gustina (u kg/m ³)					
Karakteristična gustina	$\rho_{g,k}$	380	410	430	450

25

Klase čvrstoće (prema standardu EN 1194:1999) – kombinovano lepljeno lamelirano drvo					
		GL 24k	GL 28k	GL 32k	GL 36k
Čvrstoća (u N/mm ²)					
Savijanje	$f_{m,ak}$	24,0	28,0	32,0	36,0
Zatezanje paralelno vlaknima	$f_{t,ak}$	14,0	16,5	19,5	22,5
Zatezanje upravno na vlakna	$f_{t,90,ak}$	0,35	0,4	0,45	0,5
Pritisak paralelno vlaknima	$f_{c,ak}$	21,0	24,0	26,5	29,0
Pritisak upravno na vlakna	$f_{c,90,ak}$	2,4	2,7	3,0	3,3
Smicanje	$f_{v,ak}$	2,2	2,7	3,2	3,8
Modul krutosti (u N/mm ²)					
Srednji modul elastičnosti paralelno	$E_{0,g,mean}$	11600	12600	13700	14700
Karakteristični modul elastičnosti paralelno	$E_{0,g,05}$	9400	10200	11100	11900
Srednji modul elastičnosti upravno	$E_{90,g,mean}$	320	360	420	460
Srednji modul smicanja	$G_{s,mean}$	590	720	780	850
Gustina (u kg/m ³)					
Karakteristična gustina	$\rho_{g,k}$	350	380	410	430

kombinovano lepljeno lamelirano – spoljašnje lamele veće čvrstoće npr. C30, unutrašnje manje čvrstoće npr. C24 (ova kombinacija bi dala oznaku GL28k)
- obezbeđuje se bolje korišćenje materijala -

26

Експлоатационе класе service classes

- микроклима утиче на промену влажности дрвета
- повећање влажности смањује прорачунске вредности чврстоће и носивости (тимае и модул еластичности)
- експлоатационе класе омогућају повезивање прорачуна вредности чврстоћа и деформисања са условима окружења

Eksploataciona klasa	Ravnotežna vrednost vlažnosti	Mikroklima okruženja drvene konstrukcije	Primer okruženja konstrukcije
1	≤ 12 %	20°C i 65% relativne vlažnosti vazduha koja sme biti prekoračena samo dve (2) nedelje	grejani prostori
2	≤ 20 %	20°C i 85% relativne vlažnosti vazduha koja sme biti prekoračena samo dve (2) nedelje	natkrivene konstrukcije
3	> 20 %	uslovi okruženja u kojima je vlažnost drвета veća nego u eksploatacionoj klasi 2	konstrukcije izložene atmosferskim uticajima

Tabela 4 Razvrstavanje konstrukcija u eksploatacione klase (prema poglavlju 2.2 Nacionalnog dodatka standarda HRN EN 1995-1-1:2008/NA:2011)

27

Производи од дрвета за градњу

- обло дрво
- масивно дрво
- масивно дрво за конструкције – KVH дрво
- ДУО/ТРИО греде
- лепљено ламелирано дрво
- плоче влакнатице (MDF, HDF), плоче иверице, OSB плоче, фурнирске плоче, LVL плоче
- плоче од унакрсно ламелираног дрвета (CLT)

28

Масивно дрво

- резана грађа за носеће конструкције, без лепљених спојева
 - ✓ влажност 15±3% ($u \leq 20\%$)
 - ✓ класа чврстоће: минимум C24
 - ✓ експлоатационе класе: 1,2,3



29

Масивно дрво за конструкције – KVH дрво

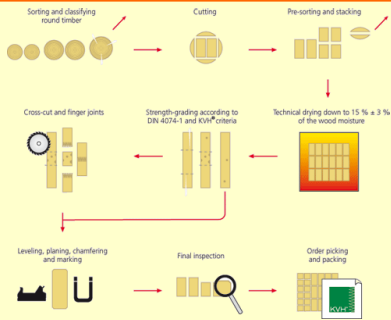
Konstruktionsvollholz - KVH®

- дужински настављано
- до 16 m дужина
- $b \times h$: од 60x120 до 120x240 mm
- влажност 15±3%
- класа чврстоће: минимум C24
- смрча/јела, бор, ариш
- обично без чворова (или максимално 20 мм у пречнику)
- најчешће рендисано и оборених ивица
- постоје 2 квалитета:
 - ✓ за примену на видљивим местима
 - ✓ за примену на невидљивим местима



30

Производња KVH



31

ДУО/ТРИО греде



- 2 или 3 греде међусобно слеplене по дужим странама
- смрча/јела, ређе бор, ариш
- максимална деblина појединачне греде/даске 80 mm, а ширина 280 mm
- дужина до 16 m (finger-joint)
- влажност 12 ± 2%
- најчешће рендисано и оборених ивица

32

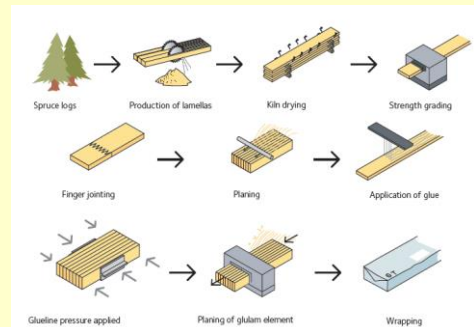
Лепљено ламелирано дрво



- ламеле међусобно слеplене по дужим странама
- смрча/јела, бор, ариш
- максимална деblина појединачне ламеле обично 32 или 40 mm, а ширина 250 mm (класа 3) или 300 mm (класа 1)
- дужина обично до 16 m
- у "пакету" страна ближе срцу окренута на исту страну
- код класе употребљивости 3 – код обе спољашње ламеле страна ближе срцу мора бити окренута према споља

33

Лепљено ламелирано дрво



34

Лепљено ламелирано дрво



35

Лепљено ламелирано дрво

Notching

Problem

Tension perpendicular to grain



Solution

Provide full end grain bearing

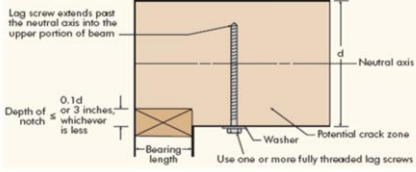


36

Лепљено ламелирано дрво

Possible Reinforcement for an End Notch

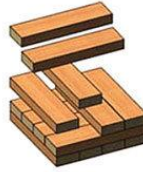
A REINFORCEMENT TECHNIQUE TO MINIMIZE CRACK PROPAGATION AT END BEARING NOTCHES



37

Унакрсно ламелирано дрво – CLT (Cross Laminated Timber)

CLT concept

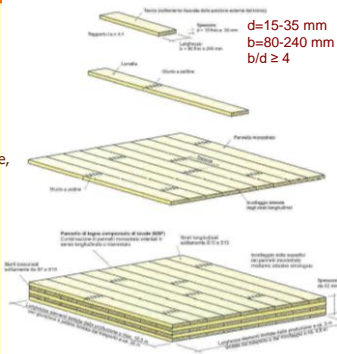


- смрча најчешће
- даске се слепољују бочним ивицама, а потом слојеви укрштају под 90°
- притисак у преси обично 6 N/mm²

38

Унакрсно ламелирано дрво– CLT (Cross Laminated Timber)

- број слојева 3-9
- дебелина плоче 42-500 mm
- ширина и до 4,5 m (висина спрата зграде!)
- дужина чак и до 30 m
- прво су се користиле даске бочнице, јер су најјефтиније, а имају добра механичка својства; данас све даске
- влажност 12±2%
- класа чврстоће C24
- густина 470 - 500 kg/m³



40



Унакрсно ламелирано дрво– CLT (Cross Laminated Timber)



41

Унакрсно ламелирано дрво– CLT (Cross Laminated Timber)

