

## Технологије производње кућа од дрвета

- ✓ Физика објеката од дрвета (топлота, влага, звук, ватра)
- ✓ Конструктивна заштита дрвета

09.03.2022.



## Звук

- осцилације честица у еластичном медијуму
  - ✓ број осцилација у јединици времена – фреквенција звука (Hz)
  - ✓ људи чују само опсег 16 – 20000 Hz
  - ✓ за грађевинску акустику битан опсег 100-3150 Hz
  - ✓ брзина звучних таласа у ваздуху 340 m/s

2

## Звук

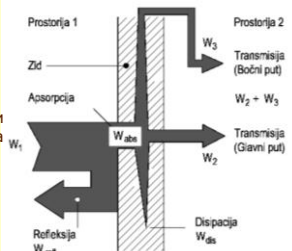
- у техничкој акустици се звучни притисак, јачина звука и снага звука изражавају у логаритамским вредностима
  - ✓ В (бел), dB (децибел)
- за звучну изолацију најбитнија карактеристика
  - ✓ маса зида – већа маса, боља звучна изолација (али лошија топлотна!)

3

## Дрвене конструкције и звук

- удар звука снаге  $W_1$  у зид просторије 1

- ✓ већи део те снаге се рефлектује ( $W_{refl}$ ), мањи део продре у зид ( $W_{abs}$ )
- ✓ део се услед трења претвори у топлоту ( $W_{dis}$ ) – дисипација
- ✓ преостали део се преноси у просторију 2 директно ( $W_2$ ) или преко бочних зидова ( $W_3$ )



изолациона моћ R  
индекс редуције звука

$$R = 10 \log \frac{W_1}{W_2}$$

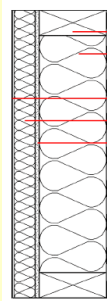
4

## Дрвене конструкције и звук

- изолациона моћ зависи од фреквенције звука
- да би вредности за различите фреквенције биле упоредиве, оне се своде на величину при фреквенцији 500 Hz
  - ✓  $R_w$  – **меродавна вредност изолационе моћи**
- да би се још реалније сагледала бука која се јавља у пракси уз ову вредност се приказују обично још два **корекциона фактора**
  - ✓ C – за буку која се јавља у стамбеним зградама
  - ✓  $C_w$  – за саобраћајну буку

5

## Дрвене конструкције и звук



### Performance rating

Fire protection performance	REI	45
maximum ceiling height = 3 m; maximum load $E_{k,6}$ = 19,2 kN/m		
Classified by MA39		
Thermal performance	U [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	0,20
	Diffusion	adequate
	$m_{w,sk}$ [kg/m <sup>2</sup> ]	14,1
Calculated by HFA		
Acoustic performance	$R_w$ (C,C <sub>w</sub> )	44 (-2,-5)
	$L_{w,sk}$ (C)	-
Assessed by MA39		
Sustainability		-0,5

нормализовани ниво звука удара

6

## Захтеви за звучну изолацију

- нпр. за преградне зидове
  - $R_w \geq 52$  dB
- за међуспратне конструкције (таванице)
  - $L_{n,w} \leq 68$  dB

резултујућа бука у суседној просторији  
- боље што мање -

7

## Дрвене конструкције и звук

- нпр. за CLT 90 mm
  - $R_w = 33-36$  dB
- за носиву међуспратну конструкцију од CLT
  - $L_{n,w} = 94$  dB – значајно изнад дозвољених вредности
    - због тога мора додатни пливајући слој или спуштени плафон

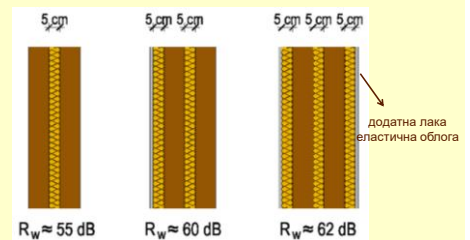
8

## Дрвене конструкције и звук

- код вишеслојних зидова битна је тзв. фреквенција резонанције
  - зависи од крутости слоја између 2 зида и површинске масе појединачних слојева
  - за ниже фреквенције од ове – иста звучна изолација као једноструки зид
  - за ову фреквенцију чак и лошија звучна изолација него једноструки
  - за више фреквенције – боља звучна изолација
  - зато се води рачуна да фреквенција резонанције буде нижа од нпр. 50 dB

9

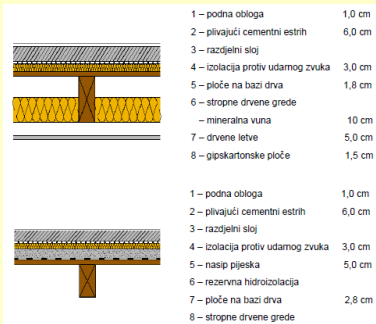
## Дрвене конструкције и звук



комбинација CLT и минерална вуна

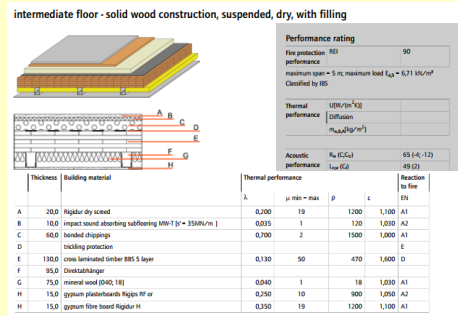
10

## Пример међуспратне таванице



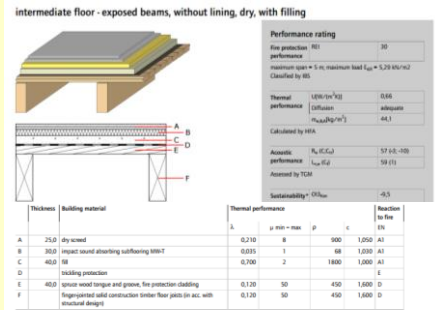
11

## Пример међуспратне таванице



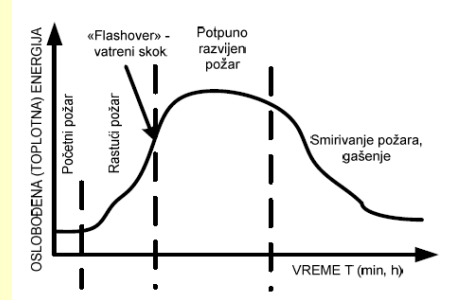
12

## Пример међусратне таванице



13

## Дрвене конструкције и ватра



14

## Дрвене конструкције и ватра

- Начин обраде дрвета утиче на његову запаљивост и брзину сагоревања
  - Резана грађа - лакше запаљива, јер начин обраде ствара оштре ивице и храпаву површину, пресеца дрвна влакнаца и отвара пут запаљивим гасовима
  - Обрада тесањем и обла грађа - боље перформансе у односу на запаљивост, јер влакна углавном остају непрекинута
- Облик површине и димензије дрвеног елемента, тј. масивност и облик пресека - од суштинског значаја за ватроотпорност дрвеног елемента
  - сагоревање зависи од односа површине и запремине елемента и што је тај однос већи - пожар се брже шири

15

## Дрвене конструкције и ватра

- Фаза I:** на температурама од 80-100°C - сушење дрвета тј. просто испаравање воде и неких лако испарљивих састојака, чиме се стварају услови за паљење дрвета даљим повећањем температуре
- Фаза II:** на температурама од 100-150 °C дешава се даље испаравање екстрактивних материја и преласка чврстих материја у течне и гасовите
  - пластификацијом лигнина (на 120°C), слабе везе између појединих влакана, настаје почетак промене боје
- Фаза III:** од 150-230 °C дрво почиње да се угљенише (пиролиза, преко 170°C, почетак неповратних феномена, деградација целулозе), добија тамну боју, стварају се запаљиви (30% CO) и незапаљиви (70% CO<sub>2</sub>) гасови
  - почиње процес дубинске карбонизације, појава пламена, интензивније мењање боје

16

## Дрвене конструкције и ватра

- Фаза IV:** од 230-370°C – интензивира се процес ослобађања запаљивих гасова, а смањује се удео угљен диоксида (CO<sub>2</sub>)
  - горење угљенисаног слоја – све дубља карбонизација, појава угљеводоника
  - дрво изгледа као да је престало да гори, а уклањањем извора топлоте би и дошло до његовог гашења
    - из угљенисаног слоја су изашли сви гориви гасови, карбонизирани слој је толико дебео да изолује унутрашњост пресека током извесног периода
    - на овом принципу почива конструкцијска заштита масивних дрвених пресека – висок однос запремине и површине

17

## Дрвене конструкције и ватра



18

## Дрвене конструкције и ватра

- **Фаза IV:** од 230-370°C – интензивира се процес ослобађања запаљивих гасова, а смањује се удео угљен диоксида (CO<sub>2</sub>)
  - ✓ горење угљенисаног слоја – све дубља карбонизација, појава угљеводоника
  - ✓ дрво изгледа као да је престало да гори, а уклањањем извора топлоте би и дошло до његовог гашења. Из угљенисаног слоја су изашли сви гориви гасови, карбонизирани слој је толико дебео да изолује унутрашњост пресека током извесног периода. На овом принципу почива конструкцијска заштита масивних дрвених пресека – висок однос запремине и површине
  - ✓ температура око 370°C - тренутак наступања „flash – over“ тачке
- **Фаза V:** од 370-510°C настаје прегрејаност карб. слоја и даље разарање дрвета чак и када се уклони извор топлоте
  - ✓ угљеводоници се интензивно издавају, а они сами горе уз присуство кисеоника из ваздуха, те је фаза пожара неповратна за дрвену конструкцију
- **Фаза VI:** преко 500-600°C дрво се потпуно распада, стварање гасова скоро престаје и као продукт сагоревања настаје pepeo

19

## Дрвене конструкције и ватра

- Кроз сагоревање, дрво ослобађа токсичне гасове (угљенмоноксид и угљендиоксид), који у високим концентрацијама могу да угрозе људске животе
- У односу на високо токсичне гасове које врло брзо ослобађају неки савремени материјали на бази пластмаса током пожара, гасови сагоревања органског материјала нису истог степена ризичности

20

## Дрвене конструкције и ватра

Vrsta drveta	Temperatura paljenja °C
Hrast	290
Bor	270
Jela	290
Bukva	270

Temperatura izvora [°C]	200	250	300	400
Min vreme paljenja [min]	25	16	6	2.5

самозапаљење од 350-450°C

21

## Дрвене конструкције и ватра

- дрво запаљиво, челик не гори, армирани бетон не гори

### АЛИ

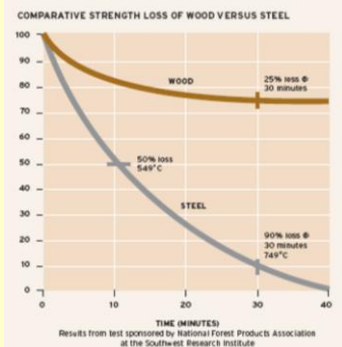
- челик при 400-550С потпуно губи све своје механичке карактеристике - објекат се урушава
- армирани бетон при повишеним температурама пуца и деформише се – објекат се урушава
- дрво – споро напредовање ватре/пораст температуре

најважнија предност

**ПРЕДВИДЉИВО ПОНАШАЊЕ ПРИ ПОЖАРУ**

22

## Дрвене конструкције и ватра



23

## Дрвене конструкције и ватра

- брзина сагоревања (угљенисања) дрвета
  - ✓ за европске четинаре 0,6 – 0,8 mm/min
  - ✓ нпр. храст 0,4 mm/min
  - ✓ CLT 0,65 mm/min



## Дрвене конструкције и ватра

- брзина сагоревања (угљенисања) дрвета
  - ✓ за европске четинаре 0,6 – 0,8 mm/min
  - ✓ нпр. храст 0,4 mm/min
  - ✓ CLT 0,65 mm/min
  - ✓ по EN стандарду (за прорачун) – четинари 0,8; ламелирано четинарско 0,7; лишћари 0,5 mm/min
- угљенисани слој (температура око 300C) проводи топлоту за 50-60% лошије од самог дрвета (које је такође изолатор)
  - ✓ унутрашњи слој остаје практично непромењен (температура му је много нижа од темп. на површини)

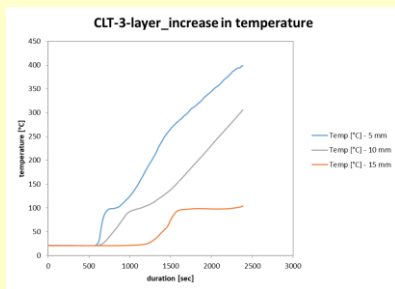
25

## Дрвене конструкције и ватра



26

## Дрвене конструкције и ватра



27

## Дрвене конструкције и ватра

- Основна идеја у прописима заштите од пожара дрвених конструкција - коришћење изолаторског својства угљенисаног слоја
- У односу на потребно време **пожарне отпорности**, а на основу брзине сагоревања (угљенисања), пројектује се дебљина слоја који ће штитити основни пресек срачунат на основу меродавних експлоатационих оптерећења

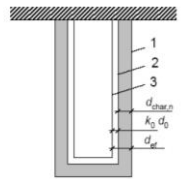
28

## Прорачун смањења попречног пресека

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0$$

Legenda:

- 1 početna površina elementa
- 2 granica preostalog poprečnog preseka
- 3 granica proračunskog poprečnog preseka



$d_{char,n}$  – прорачунска дубина угљенисања

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t \rightarrow \text{брзина угљенисања}$$

$d_0 = 7 \text{ mm}$

	$k_0$
$t < 20 \text{ minuta}$	$t/20$
$t \geq 20 \text{ minuta}$	1,0

29

## Дрвене конструкције и ватра

- код прорачуна дрвених конструкција за отпорност на дејство пожара најбитнији
  - ✓ материјал: понашање током сагоревања (енергетски / топлотни потенцијал, брзина угљенисања) и допринос настанку и ширењу пожара (пламена, врелих гасова, прекомерне топлоте);
  - ✓ прорачун компоненти: димензионасање носивих елемената и заштита спојева.

30

## Дрвене конструкције и ватра

- карактеристика материјала
- реакција на ватру (понашање током пожара) – 7 класа

Class	Performance description	Fire scenario and heat attack	Examples of products
A1	No contribution to fire	Fully developed fire in a room At least 60 kW/m <sup>2</sup>	Products of natural stone, concrete, bricks, ceramic, glass, steel and many metallic products
A2	"	"	Products similar to those of class A1, including small amounts of organic compounds
B	Very limited contribution to fire	Single burning item in a room 40 kW/m <sup>2</sup> on a limited area	Gypsum boards with different (thin) surface linings Fire retardant wood products
C	Limited contribution to fire	"	Phenolic foam, gypsum boards with different surface linings (thicker than in class B)
D	Acceptable contribution to fire	"	Wood products with thickness ≥ about 10 mm and density ≥ about 400 kg/m <sup>3</sup> (depending on end use)
E	"	Small flame attack Flame height of 20 mm	Low density fibreboard, plastic based insulation products
F	No performance requirements	"	Products not tested (no requirements)

31

## Дрвене конструкције и ватра

- најважнија карактеристика грађ. елемента
  - пожарна отпорност – временска отпорност [min, h] појединих грађевинских елемената на дејство пожара
  - основа временске одреднице је да се обезбеди безбедна евакуација људи из пожаром захваћеног простора и дејство ватрогасних јединица
- данас се за минимум обично усваја 30 min (зид од масивног дрвета има ознаку 30 min, трослојни CLT 60 min)
  - обично 60 min за више од четири спрата

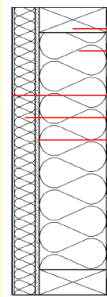
32

## Дрвене конструкције и ватра

- морају се очувати 3 функције
  - носивост (**R**) – способност очувања механичке отпорности током времена изложености пожару
  - разделна (целовитост **E**) – способност задржавања пожара (ширења пламена, паре, гасова са изложене на неизложену страну)
  - изолацијска (**I**) – способност успоравања преноса топлоте са изложене на неизложену страну (испуњена ако је просечан пораст температуре на неизложеној страни 140°C)

33

## Дрвене конструкције и ватра



Performance rating	
Fire protection	REI 45
Thermal performance	U [W/(m <sup>2</sup> K)] 0,20 Diffusion adequate m <sub>w,eq</sub> [kg/m <sup>3</sup> ] 14,1
Acoustic performance	R <sub>w</sub> (C,C <sub>50</sub> ) 44 (-2, -6) L <sub>w</sub> (C) -
Sustainability	013 <sub>con</sub> 0,5

Classified by MA39  
Assessed by MA39  
Calculated by HFA

34

## Дрвене конструкције и ватра

- Заштита дрвета од високих температура може се постићи на више начина:
  - Облагање негоривим материјалима,
  - Премазивање заштитним средствима
    - најчешће принцип формирања експандиране термоизолационе пене
  - Импрегнација дрвета пре или након уградње у конструкцију

35

## Дрвене конструкције и ватра



36

## Дрвене конструкције и ватра



37

## Дрвене конструкције и ватра

- посебан концепт заштите је коришћење распршивача воде (*sprinkler*)
  - нпр. где се тражи REI 60 min може 30 min + распршивачи



## Конструктивна заштита

- Три приступа су могућа:
  - ✓ Избор врсте дрвета (трајност)
  - ✓ Превенција
  - ✓ Заштита

39

## Избор врсте дрвета

- 5 класа трајности
  - ✓ 1 – врло трајно (багрем (1-2), тик, падук...)
  - ✓ 2 – трајно (кестен, храст, тиса, венге...)
  - ✓ 3 – умерено трајно (ариш, бор, орах, сапели)
  - ✓ 4 – слабо трајно (јела, смрча, брест)
  - ✓ 5 – није трајно (буква, јавор, граб, топола, липа, бреза)

VRSTA DRVA	Izolovana trajnost vanjskih gradivinskih dijelova		Razred trajnosti prema EN 350-2		Očekivani vijek u godinama (ovisno o vrsti i dobru s tim)
	Razred trajnosti prema EN 350-2	Izolovani pod stropom	vanjski stubovi	unutarnji stubovi	
Obilježje	3-4	120	60		> 25 godina
Смрчка / јела	4	60	35		15 - 20 godina
Бор (см)	3-4	100	60		10 - 15 godina
Липа	3-4	120	60		5 - 10 godina
Тиса	5	60	30		< 5 godina
Кестен	2	150	100		
Храст	5	60	30		
Багрем	1-2	200	150		

Tablica 2. (Izvor: Izdatična kuća Dječji dom Zagreb)

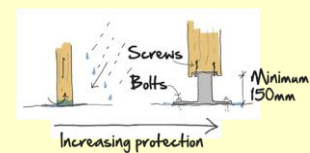
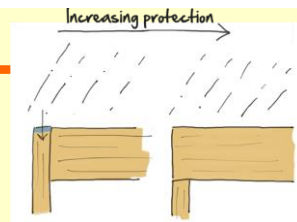
Tablica 3. (Izvor: Očekivani vijek drva u vanjskim dijelovima)

40

## Превенција

- Влажност дрвета <20% (гљиве, инсекти)
- 4 принципа превенције при пројектовању:
  - ✓ чела ће брже апсорбовати воду (најризичнија)
    - ✓ морају бити одмакнута од тла (мин. 150 мм)

41



42



## Конструктивна заштита

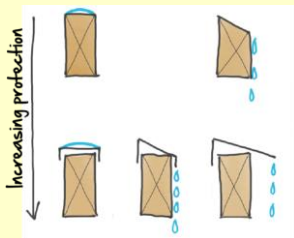


43

## Превенција

- Влажност дрвета <20% (гљиве, инсекти)
- 4 принципа превенције при пројектовању:
  - ✓ чела ће брже апсорбовати воду (најризичнија)
    - ✓ морају бити одмакнута од тла (мин. 150 мм)
  - ✓ вода се задржава на равним површинама
  - ✓ по могућству наткрити дрво

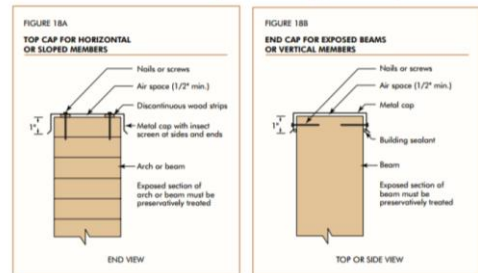
44



45

## Превенција

### • Structural Glulam – exposed – top/end cap details



46

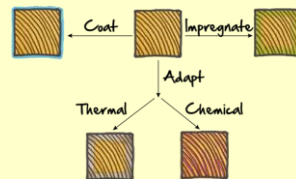
## Превенција

- Влажност дрвета <20% (гљиве, инсекти)
- 4 принципа превенције при пројектовању:
  - ✓ чела ће брже апсорбовати воду (најризичнија)
    - ✓ морају бити одмакнута од тла (мин. 150 мм)
  - ✓ вода се задржава на равним површинама
  - ✓ по могућству наткрити дрво
  - ✓ ако дрво мора бити изложено високим влажностима – треба да буде видљиво (због контроле)

47

## Заштита

- 3 стратегије заштите:
  - ✓ премази (семитранспарентни/покривни)
  - ✓ модификација дрвета (термичка, хемијска)
  - ✓ импрегнација



48



## Корозија

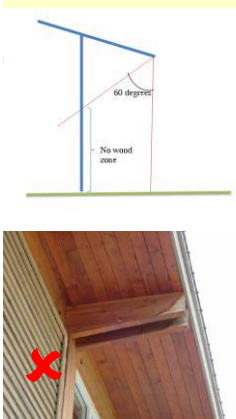
- неке врсте (храст, кестен) агресивне према металима



49



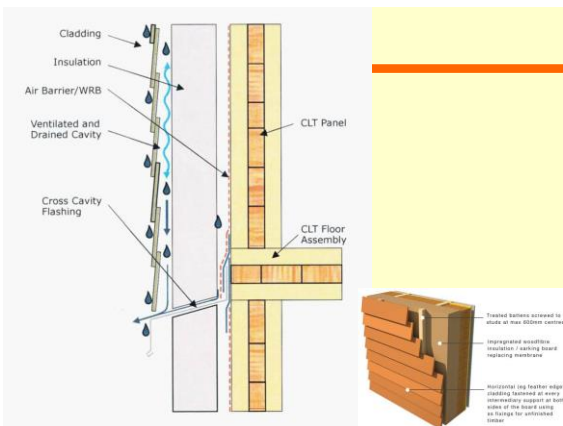
50



51



52



54