

Philippe Jodin

## PROJEKTOVANJE DRVENE GREDE SA OTVORIMA POMOĆU EUROCODE 5 DESIGN OF A TIMBER BEAM WITH HOLES WITH THE HELP OF EUROCODE 5

Originalni naučni rad / Original scientific paper

UDK /UDC: 624.011.1.072

Rad primljen / Paper received: 28.12.2004.

Adresa autora / Author's address:

Laboratory of Mechanical Reliability, University of Metz  
and National School of Engineering (ENIM), Metz, France

### Ključne reči

- drvene konstrukcije
- Eurocodes
- konačni elementi
- otvori

### Izvod

*EUROCODE 5 je Evropski kod za projektovanje, koji se koristi za drvene konstrukcije. On omogućava projektovanje većine konstrukcija. Međutim, neke od njih nisu obuhvaćene ovim kodom. To je slučaj greda sa otvorima, izložene savijanju. Neki autori predlažu postupak projektovanja za ovaj slučaj. Provera predloženog postupka proračuna konačnim elementima pokazuje da se može načiniti velika greška, što može dovesti do opasnih situacija. Predmet ovog rada je predlog postupka projektovanja koji sledi pravila EC5 da bi se osigurala bolja sigurnost konstrukcije.*

### UVOD

#### *EUROCODE 5*

Evropska Unija (EU) je uvela za sva polja projektovanja nekoliko knjiga pravila, koja su stroge preporuke za projektnike. Ove knjige su poznate kao EUROCODES (EC). U području drvenih konstrukcija se primenjuje EUROCODE 5 (EC5), zajedno sa EUROCODE 1 (EC1), koji je osnovna referenca za opterećenja konstrukcija.

Kod za projektovanje predstavlja poboljšanje u odnosu na prethodne, jer uključuje u projektovanje odeljak verovatnoće otkaza, što je veoma važan pristup jer je poznato da drvo ispoljava veliku promenljivost svojih osobina. Osim toga, uvođe se dva stanja u projektovanju: *Granično stanje u eksploataciji i Maksimalno stanje u eksploataciji*. Prvo stanje razmatra opterećenja u normalnim uslovima, a drugo izuzetna, ali još uvek bezbedna opterećenja.

#### *Primena EUROCODE 5*

Normalno, najčešći slučajevi su razmotreni, ali neki posebni oblici nisu, ili su loše obrađeni. Imajući to u vidu, neki autori su razradili preporuke na osnovu EC5. One se zasnivaju na kodu, primenjuju isti pristup, ali uvođe neke zaključke, koji nisu propisi u sastavu koda. Zbog toga, u mnogim slučajevima treba biti obazriv sa tim preporukama.

Danas su projektanti pozvani da primenjuju ovaj kod, jer će se u budućnosti osiguravajuća društva pozivati na njega. Važno je da projektanti mogu dokazati da su poštivali prihvaćena pravila.

### Keywords

- timber structures
- Eurocodes
- finite elements
- holes

### Abstract

*EUROCODE 5 is the European design code to be used for timber structures. It allows designing most of structures. However, some of them are not considered by the code. This is the case for a bending beam with holes. Some authors proposed a design function for that case. Verification by finite element computation of the proposed design shows that large errors could be made that may lead to dangerous situations. The object of this paper is to propose a design method that follows the rules of EC5 to ensure a better safety of the structure.*

### INTRODUCTION

#### *EUROCODE 5*

The European Union (EU) has promoted in all fields of construction several books of rules which are strong recommendations for designers. These books are known as EUROCODES (EC). In the field of timber construction the EUROCODE 5 (EC5) applies together with EUROCODE 1 (EC1), which is the basic reference for loading of structures.

This design code represents an improvement with respect to previous ones, as it includes in design a part of failure probability, a very important point as timber is known to exhibit a high degree of variability in its properties. Moreover, it introduces two states in design: the Service Limit State and the Ultimate Service State. The first one considers loadings in usual cases and the last one is for exceptional, but still safe loading.

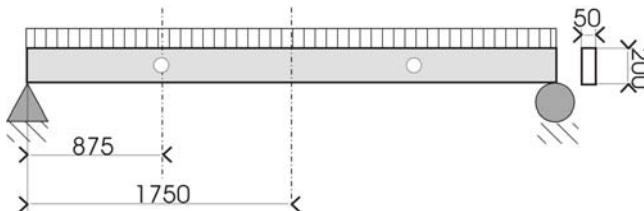
#### *Using EUROCODE 5*

Of course, most popular cases are considered but some special configurations have not been or were badly taken into account. Considering this, some people derived recommendations on the fringe of the EC5. They are based on the code, use the same approach, but include some conclusions that are not part of the code. So, in many cases, it is necessary to be cautious about these recommendations.

At present, designers are invited to use this code as insurance companies will refer to it in the future. It is important that designers can prove that they followed accepted rules.

## PRIMER DRVENE GREDE SA KRUŽNIM OTVOROM IZLOŽENA SAVIJANJU

U ovom radu je predložena analiza slučaja drvene grede izložene savijanju, sa dva simetrična kružna otvora (sl. 1). Pretpostavljeno je da je greda deo sistema koji podupire pod.



Slika 1. Shema projektnog problema (dužine su u mm)  
Figure 1. Schematic view of the design problem (length in mm).

Problem grede izložene ravnomerno podeljenom opterećenju je jasno obrađen u EC5. Izvedeni projekt u ovom radu će poslužiti kao primer. Ako postoje otvori, oni će poremetiti polje napona i dolazi do koncentracije napona, a ovaj slučaj nije obrađen u dokumentu EC5. Zato je potrebno analizirati polje napona i odrediti tačke u kojima je napon najveći, koje su nazvane "vruće tačke". Proračun polja napona izведен je za oba slučaja pomoću programa konačnih elemenata, a zatim su rezultati proračuna upoređeni za preporukama koda i rezultatima datim u priključenim dokumentima.

## POSTUPAK ZA PROJEKTOVANJE PREMA EURO-CODE 5

### Dokumentacija

Svi postupci opisani ovde su preuzeti iz *Francuskog nacionalnog dokumenta za primene DAN-ENV 1995, /1/*. Drugi korišćeni praktični dokument je referentna knjiga /2/, koja opisuje materijale i osnove projektovanja, uključujući postupke koji nisu eksplicitno navedeni u dokumentu /1/.

### Opšti postupak

Opšti postupak koristi određivanje parcijalnih koeficijenata koji se primenjuju kao faktori uz karakterističnu veličinu čvrstoće:

$$f_d = k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot f_{x,k} \quad (1)$$

$f_d$  je projektna vrednost čvrstoće,  $f_{x,k}$  je karakteristična vrednost. One su opisane u daljem tekstu.

### Određivanje klase čvrstoće drveta

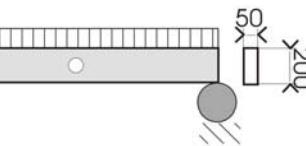
Drvo koje se koriste u konstrukcijama je svrstano u tri osnovne kategorije koje su podeljene prema klasama čvrstoće. Kategorije su:

- C za čvrsto meko drvo,
- D za čvrsto tvrdo drvo,
- GL za slepljena laminatna drva.

Prema standardu EN 338 /3/ ispituju se savojna čvrstoća i savojni modul elastičnosti. Oni se zatim koriste za određivanje klase čvrstoće drveta. Primer klasa čvrstoće dat je u tabeli 1.

## EXAMPLE OF A TIMBER BEAM SUBJECTED TO BENDING AND WITH CIRCULAR HOLES

In this paper, it has been proposed to study the case of a timber beam subjected to bending and containing two symmetrical circular holes (Fig. 1). The beam is assumed to be the part of a system supporting a floor.



Slika 1. Shema projektnog problema (dužine su u mm)  
Figure 1. Schematic view of the design problem (length in mm).

The problem of the beam subjected to uniform load is clearly treated in EC5. The design which is derived will serve in this work as a reference. If holes are introduced they will disturb the stress field and stress concentration will occur, and this case is not described in the EC5 document. It is then necessary to analyse the stress field and determine the points where stresses are the highest, say the "hot-spots". The computation of the stress field in both cases is done with a finite element programme and the results of the computation are compared with recommendations of the code and with those that are given in connected documents.

## THE DESIGNING PROCEDURE FOLLOWING EURO-CODE 5

### Documentation

All procedures here described are extracted from the French National Application Document DAN-ENV 1995, /1/. The other practical document used is a reference book /2/, which describes the materials and the basis of design, including procedures that are not explicitly referenced in document /1/.

### General procedure

The general procedure uses the determination of partial coefficients which apply as multiplication factors to the characteristic value of strength:

$$f_d = k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot f_{x,k} \quad (1)$$

$f_d$  is the design strength value,  $f_{x,k}$  is the characteristic value. They are described below.

### Determining the strength class of the wood

Timber used in construction is divided into three main categories which are themselves subdivided into classes of strength. The categories are:

- C for solid softwoods,
- D for solid hardwoods,
- GL for glued laminated woods.

Following standard EN 338 /3/, the bending strength and bending modulus of elasticity are measured. They are then used to determine the class of strength of the wood. An example of strength classes are given in Table 1.

Tabela 1. Primer karakterističnih vrednosti za čvrsta meka drva  
Table 1. Example of characteristic values for solid softwoods.

	C14	C16	C18	C22	C24 en $N/mm^2$	C27	C30	C35	C40
$f_{m,k}$	14	16	18	22	24	27	30	35	40
$f_{t,0,k}$	8	10	11	13	14	16	18	21	24
$f_{t,90,k}$	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
$f_{c,0,k}$	16	17	18	20	21	22	23	25	26
$f_{c,90,k}$	4,3	4,6	4,8	5,1	5,3	5,6	5,7	6,0	6,3
$f_{v,k}$	1,7	1,8	2,0	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8
<i>en <math>kN/mm^2</math></i>									
$E_{0,moyen}$	7	8	9	10	11	12	12	13	14
$E_{0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,7	7,4	8,0	8,0	8,7	9,4
$E_{90,moyen}$	0,23	0,27	0,30	0,33	0,37	0,40	0,40	0,43	0,47
$G_{moyen}$	0,44	0,50	0,56	0,63	0,69	0,75	0,75	0,81	0,88
<i>en <math>kg/m^3</math></i>									
$\rho_k$	290	310	320	340	350	370	380	400	420

U ovoj tabeli, karakteristične vrednosti su definisane kako sledi:

$f_{m,k}$  je 5-ti deo savojne čvrstoće, koji se naziva i karakteristična savojna veličina.

Sledeće veličine su izvedene iz ove karakteristične savojne veličine)

$f_{t,0,k}$  je karakteristična zatezna veličina duž zrna,

$f_{t,90,k}$  je karakteristična zatezna veličina popreko na zrno,

$f_{c,90,k}$  je karakteristična pritisna veličina duž zrna,

$f_{c,90,k}$  je karakteristična pritisna veličina popreko na zrno,

$f_{v,k}$  je karakteristična smicajna veličina u ravni opterećenja,

$E_{0,moyen}$  je srednji modul elastičnosti duž zrna,

$E_{0,05}$  je 5-ti deo modula elastičnosti duž zrna (izmeren),

$E_{90,moyen}$  je srednji modul elastičnosti popreko na zrno,

$G_{moyen}$  je srednji smicajni modul elastičnosti,

$\rho_k$  je 5-ti deo specifične težine (izmeren).

#### Određivanje klase trajanja opterećenja

Trajanje opterećenja se uzima u obzir zajedno sa klasom eksploatacije koja opisuje klimatske uslove (uglavnom uticaj sadržaja vlage). Poznato je da drvo ima viskoelastično ponašanje i saglasno s tim, trajanje opterećenja i promena sadržaja vlage povećavaju trenutnu čisto elastičnu deformaciju. Za čvrsto drvo, vrednosti su sumirane u tabeli 2.

Tabela 2. Vrednosti parcijalnih koeficijenata  $k_{mod}$

Materijal/klasa trajanja opterećenja	Klasa eksploatacije		
	1	2	3
<b>Čvrsto drvo i lepljeni laminat, šperploča</b>			
Trajno (>10 godina)	0,60	0,60	0,50
Dugotrajno (6 meseci – 10 godina)	0,70	0,70	0,55
Srednjetrajno (1 nedelja – 6 meseci)	0,80	0,80	0,65
Kratkotrajno (<1 nedelja)	0,90	0,90	0,70
Trenutno	1,10	1,10	0,90

Klase eksploatacije su definisane kako sledi:

1. Klasa eksploatacije 1: sadržaj vlage (za čvrsto drvo) je ispod 12%.
2. Klasa eksploatacije 2: sadržaj vlage (za čvrsto drvo) je ispod 20%.
3. Klasa eksploatacije 3: sadržaj vlage (za čvrsto drvo) je iznad 20% (konstrukcije na otvorenom).

In this table the characteristic values are defined as follows:  
 $f_{m,k}$  is the 5<sup>th</sup> fractile of bending strength, also called bending characteristic value.

The following values are deduced from this bending characteristic value:

$f_{t,0,k}$  is the tensile characteristic value along the grain,

$f_{t,90,k}$  is the tensile characteristic value across the grain,

$f_{c,90,k}$  is the compressive characteristic value along the grain,

$f_{c,90,k}$  is the compressive characteristic value across the grain,

$f_{v,k}$  is the shear characteristic value in the loading plane,

$E_{0,moyen}$  is the mean modulus of elasticity along the grain,

$E_{0,05}$  is the 5<sup>th</sup> fractile of the modulus of elasticity along the grain (measured),

$E_{90,moyen}$  is the mean modulus of elasticity across the grain,

$G_{moyen}$  is the mean shear modulus of elasticity,

$\rho_k$  is the 5<sup>th</sup> fractile of the specific gravity (measured).

#### Determining the class of duration of loading

Duration of loading is taken into account together with the service class which describes the climatic conditions of the structure (mainly moisture content effects). It is well known that wood has a visco-elastic behaviour and, consequently, load duration and variations in moisture content increase the instantaneous purely elastic strain. For solid wood, the values are summarised in Table 2.

Table 2. Values of  $k_{mod}$  partial coefficient.

Material/class of loading duration	Service class		
	1	2	3
<b>Solid wood and glued laminated wood, plywood</b>			
Permanent (>10 years)	0,60	0,60	0,50
Long term (6 months – 10 years)	0,70	0,70	0,55
Mean term (1 week – 6 months)	0,80	0,80	0,65
Short term (<1 week)	0,90	0,90	0,70
Instantaneous	1,10	1,10	0,90

The service classes are defined as:

1. Service class 1: the moisture content (for softwoods) is lower than 12%.
2. Service class 2: the moisture content (for softwoods) is lower than 20%.
3. Service class 3: the moisture content (for softwoods) is higher than 20% (open air structures).

Zapravo, sadržaj vlage je određen iz krivih ravnoteže između sadržaja vlage u vazduhu i sadržaja vlage na dатоj temperaturi. Ove krive postoje za meko i tvrdo drvo.

#### *Određivanje uticaja dimenzija*

Uticaj dimenzija uzima u obzir opterećenu zapreminu, jer je verovatnoća da se nađe kritična greška u velikoj zapremini veća nego u manjoj. Kako napon savijanja nije ravnomerno raspodeljen u savijenom preseku, visina preseka se uzima kao merodavni faktor. To se iskazuje sledećim zavisnostima:

$$k_h = \min \begin{cases} \left(\frac{150}{h}\right)^{0.2} & \text{za čvrsto drvo, i} \\ 1.3 & \end{cases} \quad (2)$$

$$k_h = \min \begin{cases} \left(\frac{600}{h}\right)^{0.2} & \text{za lepljeno laminatno drvo.} \\ 1.15 & \end{cases} \quad (3)$$

“Bolje” vrednosti za lepljene laminate ukazuju na činjenicu da proces proizvodnje uključuje izbor drveta sa ograničenim obimom vidljivih grešaka.

#### *Određivanje uticaja sistema*

Uticaj sistema je značajan u konstrukcijama u kojima su slični elementi povezani sa drugim elementom tako da se opterećenje raspoređuje po svim elementima. To dopušta povećanje čvrstoće elemenata u sistemu (naravno ne pojedinačnih). Tipičan primer takvog sistema je pod koji leži na paralelnim gredama.

Danas još uvek ne postoji detaljna analiza ovog uticaja i predlaže se za neke sisteme (pod, krov sa panelima, ...) da se koristi koeficijent  $k_h = 1.1$ .

#### *Određivanje moguće nestabilnosti*

U ovoj tački proverava se savijanje, jer mala greška u geometriji grede ili u opterećenju može prouzrokovati izvanje. Treba odrediti kritičan moment koji izaziva ovaj fenomen. Osnovna jednačina za ovaj moment je određena za prostu gredu, izloženu momentima savijanja na oba kraja.

$$M_{crit} = \frac{\pi}{l_{ef}} \sqrt{\frac{EI_z I_{tor} G}{1 - \frac{I_z}{I_y}}} \quad (4)$$

gde je  $l_{ef}$  slobodna dužina grede,  $E$  je aksijalni modul elastičnosti,  $G$  je modul smicanja,  $I_y$  i  $I_z$  su aksijalni momenti inercije oko  $y$  i  $z$  osa, a  $I_{tor}$  je polarni moment inercije preseka grede.

Polazeći od ove osnove, “ekvivalentni momenti” su izvedeni za različite slučajeve opterećenja i sumirani u tabeli 3.

#### *Određivanje vrste proračuna, za eksploracijsko granično stanje ili za maksimalno granično stanje*

Kako je rečeno, EC5 predviđa dve faze projektovanja:

- Maksimalna granična stanja su vezana za kolaps konstrukcije ili sa bilo kojim drugim oblikom loma, kao što je gubitak statičke ravnoteže, lom zbog prevelike deformacije, nestabilnosti...

Actually, the moisture content is appreciated from curves of equilibrium between air moisture content and moisture

content at a given temperature. These curves are established for softwoods and hardwoods.

#### *Determine the scale effect*

The scale effect takes into account the constraint volume, as the probability to find a critical defect in a large volume is higher than in a smaller one. As the bending stresses are not uniformly distributed in the bending section, the section height is considered as the determining factor. This is expressed by the following relationships:

$$k_h = \min \begin{cases} \left(\frac{150}{h}\right)^{0.2} & \text{for solid wood, and} \\ 1.3 & \end{cases} \quad (2)$$

$$k_h = \min \begin{cases} \left(\frac{600}{h}\right)^{0.2} & \text{for glued laminated timber.} \\ 1.15 & \end{cases} \quad (3)$$

The “better” values for glued laminated timber translate the fact that the fabrication process includes a selection of woods with limited visible defects.

#### *Determine the system effect*

The system effect applies to structures combining similar elements related together by another element sharing the loading over all elements. This allows for strength increase in the element taken in the system (not alone, of course). A typical example is a floor overlaid on parallel beams.

At the present time, there is no detailed study of this effect and it is proposed, for some systems (floor, roofs with panels ...) to apply a coefficient  $k_h=1.1$ .

#### *Determining the chance of instability*

This is a point to check bending problems, as little defects in beam geometry or in loading may lead to buckling. It is necessary to determine the critical moment that initiates the phenomenon. A basic equation for this moment is established for a simply supported beam submitted to bending moments on each end.

$$M_{crit} = \frac{\pi}{l_{ef}} \sqrt{\frac{EI_z I_{tor} G}{1 - \frac{I_z}{I_y}}} \quad (4)$$

where  $l_{ef}$  is the free length of the beam,  $E$  the axial modulus of elasticity,  $G$  the shear modulus,  $I_y$  and  $I_z$  the quadratic moments along the  $y$  and  $z$  axis and  $I_{tor}$  the torsion quadratic moment of the section of the beam.

Starting from that basis, “equivalent moments” are derived for different loading cases and summarised in Table 3.

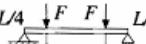
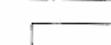
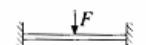
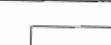
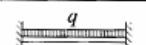
#### *Determining if the computation is made for Service Limit State or Ultimate Limit State*

As already said, EC5 suggests two stages of design:

- The ultimate limit states are associated with the collapse of the structure or any other kind of failure such as loss of static equilibrium, fractures due to excessive strain, instabilities...
- Eksploracijska granična stanja su vezana za deformaciju koja utiče na namenu ili normalni rad konstrukcije, vibracijama koje dovode do poremećaja ili oštećenja,

bilo koje oštećenje koje može da utiče na trajnost konstrukcije.

Tabela 3. Ekvivalentni moduli nestabilnosti za različita opterećenja i slučajevi graničnih uslova

Statička shema	Dijagram momenta savijanja	$m$	Ekvivalentni uniformni moment
		1,00	
		0,57	
		0,43	
		0,74	
		0,88	
		0,96	
		0,69	
		0,59	
		0,39	

Na osnovu slučaja za koji je projekt izveden, vrstu korišćenog materijala i vrstu opterećenja, određuje se parcijalni koeficijent koji treba koristiti za osobine materijala. Tabela 4 daje neke parcijalne koeficijente.

Tabela 4. Parcijalni koeficijenti ( $\gamma_M$ ) za osobine materijala

Maksimalno granično stanje	
Osnovne kombinacije	
Drvo i drveni materijali	1.3
Čelik korišćen u spojevima	1.1
Kombinacije sa udesima	1.0
Eksploracijsko granično stanje	1.0

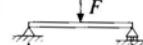
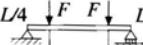
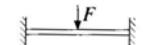
#### Postupak projektovanja prema EUROCODE 5

##### Proračun i određivanje maksimalnog napona

Kako je postupak projektovanja uglavnom zasnovan na kriterijumu napona, treba proračunati sve značajne napone i odrediti gde su oni maksimalni i koliki su ti maksimumi. To može da se izvede na nekoliko načina, uobičajenim jednačinama otpornosti materijala (SOM) ili proračunom konačnim elementima (KE), na pr. za slučajevе koji nisu jednostavni. Posebnu pažnju treba posvetiti geometrijskim singularitetima koji izazivaju koncentraciju napona i koji po pravilu nisu obuhvaćeni klasičnim SOM.

- The service limit states are associated with strains that affect the aspect or the normal use of the structure, vibrations that bring disturbance or damage, any deterioration that may affect the durability of the structure.

Table 3. Equivalent instability moments for different loading and boundary conditions cases.

Shéma statique	Diagramme de moment de flexion	$m$	Moment uniforme équivalent
		1,00	
		0,57	
		0,43	
		0,74	
		0,88	
		0,96	
		0,69	
		0,59	
		0,39	

Following the case in which the design is performed, the kind of material used, and the type of loadings, a partial coefficient applied to the material properties is determined. Table 4 gives some partial coefficients.

Table 4. Partial coefficients ( $\gamma_M$ ) relative to materials properties.

Ultimate limit states	
Basic combinations	
Timber and timber based materials	1.3
Steel used in joints	1.1
Accidental combinations	
Service limit states	1.0

#### The designing procedure following EUROCODE 5

##### Compute and find the maximum stress

As the design process is mainly based on a stress criterion, it is necessary to compute all significant stresses and to find where they are maximal and how much are these maximums. This can be achieved in several ways, by usual strength of materials (SOM) relationships or by finite element (FE) computations, i.e. for non-simple cases. Particular attention should be paid to geometrical singularities that generate stress concentration and that are not generally taken into account in traditional SOM.

##### Provera kriterijuma napona

Kada su određeni maksimumi, oni se porede sa projektним naponima izvedenim iz karakterističnih vrednosti na koje su primenjeni parcijalni koeficijenti. Ako kriterijum nije ispunjen, potrebno je ponoviti postupak projektovanja

uz modifikaciju ovih parametara: opterećenje, dimenzije i ili presek elementa, konstrukcijski materijal.

#### Proračun maksimalnog ugiba grede

Kako je rečeno, osnovni kriterijum u projektovanju je kriterijum napona. Međutim, kada dolazi do savijanja treba proveriti kriterijum ugiba koji garantuje da su sačuvani uslovi normalne eksploatacije konstrukcije. Preporučeni granični ugibi su dati u tabeli 5. Veličina koja se analizira je ukupni ugib ( $u_{net}$ ), uključujući početni ugib (kontra-ugib,  $u_o$ ), ugib zbog trajnog opterećenja ( $u_1$ ) i ugib zbog promenljivog opterećenja ( $u_2$ ).

Tabela 5. Granične vrednosti vertikalnog ugiba grede preko dužine raspona  $l$

Vrsta konstrukcije	$u_{net}$	$u_2$	$u_o$
Nepristupačan krov	1/250	1/250	1/300
Krov dostupan pešacima	1/250	1/300	1/300
Običan pod	1/250	1/300	1/300
Krov ili pod nosećih zidova od krutog ili krtog materijala	1/250	1/350	1/400
Slučaj kada $u_{net}$ može poremetiti namenu zgrade	1/250		

Ugib se računa pomoću uobičajenih jednačina SOM ili pomoću KE, primenom vrednosti  $E_{0,05}$ , a kriterijum se proverava.

#### PROVERA PROJEKTOVANJA PREPORUKAMA EUROCODE 5 ZA SAVIJENU GREDU SA OTVOROM

##### Podaci o problemu

Slučaj analiziran ovde je skraćeno prikazan u prethodnom odeljku *Primer savijanju izložene drvene grede sa kružnim otvorom*. Dimenzije i granični uslovi su prikazani na sl. 1. Postupak projektovanja je ponovljen za 14 odnosa prečnik otvora/visina grede, na pr.  $D/H = 0,1$  do  $0,75$ .

U ovom slučaju je predložena klasa čvrstoće C16 (na pr. meko drvo sa  $f_{m,k} = 16 \text{ N/mm}^2$  i  $E_{0,05} = 5400 \text{ N/mm}^2$ ). Ravnometerno podeljeno opterećenje je  $2 \text{ kN/m}$ , a eksploracijski uslovi odgovaraju klasi 1. Za određivanje projektne čvrstoće na osnovu karakterističnih vrednosti uzimaju se opisani parcijalni faktori. U posmatranom slučaju, uzimajući u obzir uslove opterećenja i okoline konstrukcije, ovi koeficijent se uzimaju kako je dato u tabeli 6.

Tabela 6. Parcijalni koeficijenti za analiziran slučaj

$k_{mod}$	$k_{inst}$	$k_{ls}$	$k_h$	$\gamma_M$
0,8	1,0	1,1	1,0	1,3

Na kraju, jednačina za projektну aksijalnu čvrstoću je:

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} k_{inst} k_{ls} k_h f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,1 \cdot 1,0 \cdot 16}{1,3} = 10,8 \text{ N/mm}^2 \quad (5)$$

##### Verify the stress criterion

When maximums are determined, they are compared with design stresses that are derived from the characteristic values, to which partial coefficients have been applied. If the criterion is not fulfilled, it is necessary to perform the

designing procedure again by modifying one of these parameters: load, dimensions and/or sections of elements, building material.

##### Compute the maximum deflection of the beam

As mentioned before, the main criterion for design is a stress criterion. However, when bending occurs, it is necessary to verify a deflection criterion that guarantees that normal use of the building is preserved. The recommended limited deflections are given in Table 5. The quantity analysed is the total deflection ( $u_{net}$ ) including initial deflection (counter-deflection  $u_o$ ), deflection due to permanent loads ( $u_1$ ) and deflection due to variable loads ( $u_2$ ).

Table 5. Limit values for vertical deflection of beams as a fraction from the span length  $l$ .

Type of construction	$u_{net}$	$u_2$	$u_o$
Non accessible roof	1/250	1/250	1/300
Accessible roof to pedestrians	1/250	1/300	1/300
Usual floor	1/250	1/300	1/300
Roof or floor supporting walls made from stiff or brittle materials	1/250	1/350	1/400
Case where $u_{net}$ may disturb the aspect of the building	1/250		

The deflection is computed with the help of usual SOM relationships or with FE, using the  $E_{0,05}$  value, and the criterion is checked.

#### VERIFICATION OF DESIGN RECOMMENDED BY EUROCODE 5 FOR BENDING BEAM WITH HOLES

##### Problem data

The case here studied is shortly presented in the previous section *Example of a timber beam subjected to bending and with circular holes*. Dimensions and boundary conditions are shown in Fig. 1. The design procedure is repeated for 14 hole diameter/height of the beam ratios, from  $D/H = 0,1$  to  $0,75$ .

In this example, the strength class proposed is C16 (a softwood with  $f_{m,k} = 16 \text{ N/mm}^2$  and  $E_{0,05} = 5400 \text{ N/mm}^2$ ). The uniformly distributed load is  $2 \text{ kN/m}$ , and service conditions correspond to class 1. Determination of the design strength from characteristic values assumes that partial factors described here are determined. In the present case, taking into account loading conditions and the environment of the structure, these coefficients are taken as given in Table 6.

Table 6. Partial coefficients for the studied case.

$k_{mod}$	$k_{inst}$	$k_{ls}$	$k_h$	$\gamma_M$
0,8	1,0	1,1	1,0	1,3

At last, the relationship giving the design axial strength is:

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} k_{inst} k_{ls} k_h f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,1 \cdot 1,0 \cdot 16}{1,3} = 10,8 \text{ N/mm}^2 \quad (5)$$

Ovaj postupak je primenjen na sve projektne karakteristike veličine. Zbog toga, vrednosti koje se koriste u ovom radu su date u tabeli 7.

Tabela 7. Karakteristične i projektne vrednosti primenjene u analizi

	$f_{m,k}$ N/mm <sup>2</sup>	$f_{t,0,k}$ N/mm <sup>2</sup>	$f_{t,90,k}$ N/mm <sup>2</sup>	$f_{c,0,k}$ N/mm <sup>2</sup>	$f_{c,90,k}$ N/mm <sup>2</sup>	$f_{v,k}$ N/mm <sup>2</sup>
Karakteristična vrednost	16	10	0,3	17	4,6	1,8
Projektna vrednost	10,8	6,77	0,20	11,51	3,11	1,22

Predmet ovog rada je provera preporuka za projektovanje datih u /2/. Proračun napona i ugiba je izведен pomoću metode KE. Za proveru tačnosti proračuna prvo je proračunata prosta greda bez otvora i rezultati su upoređeni sa rezultatima dobijenim uobičajenom SOM metodom. Zatim je ista vrsta proračuna primenjena na gredu sa otvorima različitih prečnika. Projektne krive su upoređene sa krivama datim u /4/ i saopštenim u /2/.

#### Proračun konačnim elementima proste grede bez otvora

Trouglasti elementi kvadratne funkcije oblika sa 6 čvora uzeti su za mrežu grede. Granični uslovi su oni koji važe za prostu gredu oslonjenu u čvoru na oba kraja na donjoj strani. Ravnomerno raspodeljeno vertikalno opterećenje predstavljeno je jednakim silama koje deluju u svakom čvoru gornje strane. Svaki krajnji čvor oslonca prima polovinu sile. Model materijala je elastični ortotropni. Elastične karakteristične vrednosti uzete su iz tabele 1, a pretpostavljena je klasa čvrstoće C16. Druge potrebne elastične konstante koje nisu date u tabeli 1 su izvedene is specifične težine pomoću jednačine Žitara /5/ i korigovane stvarnim aksijalnim Jungovim modulom. Svi proračuni su izvedeni primenom programa konačnih elemenata Cast3M. Oni su izvedeni za polovinu grede, jer simetrija dopušta mrežu samo za polovinu konstrukcije.

#### Rezultati

Rezultati su dati za aksijalne napone duž donje strane grede i za ugib u sredini raspona.

Promena aksijalnog napona savijanja na donjoj strani grede prikazana je na sl. 2. Proračun KE upoređen je sa proračunom SOM. Jasno je da se obe krive dobro slažu u većem delu grede. Velika razlika se javlja u blizini oslonih tačaka. To je zbog činjenice da uslovi na krajevima korišćeni u proračunu KE ne predstavljaju tačno stvarne uslove oslanjanja. Ovaj deo je zanemaren u postupku projektovanja, jer ne utiče na ukupno ponašanje grede. Osim toga, jasno je da je proračun KE važeći, sa ovog gledišta.

Maksimalni ugib računat pomoću KE je 22,8 mm, a pomoću SOM je 21,7 mm. Ova mala razlika je zbog toga što proračun KE uključuje deo ugiba od napona smicanja, koji ne postoji u proračunu SOM.

Razmatranjem ova dva rezultata kao važeći usvojen je proračun KE. Prema tome, ista vrsta mreže i isti podaci o materijalu će biti korišćeni za proračun grede sa otvorom.

This procedure is applied to all design characteristic values. Therefore, the values that are used in this work are given in Table 7.

Table 7. Characteristic and design values used for this study.

	$f_{m,k}$ N/mm <sup>2</sup>	$f_{t,0,k}$ N/mm <sup>2</sup>	$f_{t,90,k}$ N/mm <sup>2</sup>	$f_{c,0,k}$ N/mm <sup>2</sup>	$f_{c,90,k}$ N/mm <sup>2</sup>	$f_{v,k}$ N/mm <sup>2</sup>
Characteristic value	16	10	0,3	17	4,6	1,8
Design value	10.8	6.77	0.20	11.51	3.11	1.22

The object of the paper is to check the design recommendations given in /2/. We achieve stress and deflection computations by a FE method. To check the rightness of the computation, the simple beam without holes is first computed and the results are compared to that given by usual SOM method. Then the same kind of computation is applied to the beam with holes of varying diameter. The design curve is compared to that given in /4/ and reported in /2/.

#### Finite element calculation of a simple beam without holes

The beam is meshed with triangular quadratic elements having 6 nodes. The boundary conditions are those for a simply supported beam on the node at each end on the lower face. The uniformly distributed vertical load is represented by equal forces acting on each node on the upper face. Each end node supports only half the force. The model for the material is an elastic orthotropic material. Elastic characteristic values are taken from Table 1, as the strength class is assumed to be C16. Other necessary elastic constants which are not listed in Table 1 are derived from the specific gravity using relationships given by Guitard /5/ and corrected by the actual axial Young's modulus. All the computations are made using the Cast3M finite element programme. They have been achieved for a half beam, since symmetry allows meshing only half of the structure.

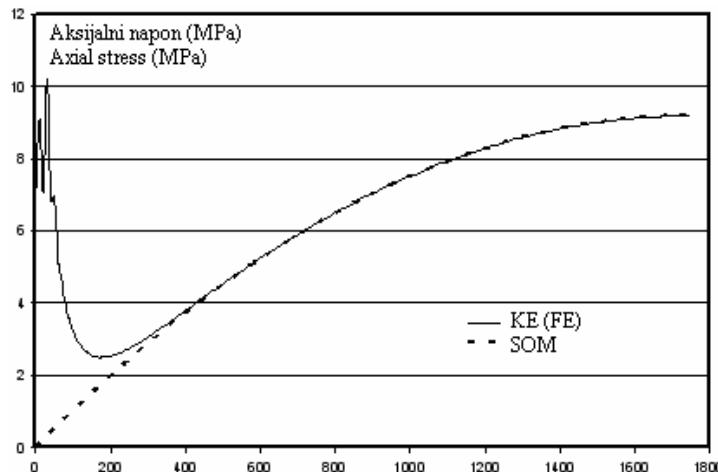
#### Results

Results are given in terms of axial stress along the lower face of the beam and for the deflection at mid span.

The variation of axial bending stress on the lower beam face is shown in Fig. 2. FE computations are compared with SOM computations. It is clear that both curves fit very well on the most part of the beam. A great difference appears in the vicinity of the supporting point. This is due to the fact that the end condition used in FE computation does not represent exactly the actual supporting condition. This part will be ignored in the design procedure, as it has no influence on the global behaviour of the beam. Otherwise, it is clear that FE computation is valid from this point of view.

The maximum deflection computed by FE is 22.8 mm and 21.7 mm by SOM. This little difference is due to the fact that FE computation includes a part of the deflection due to shear stress which does not exist in SOM computation.

Considering these two results, the FE computation is assumed to be valid. Consequently, the same kind of mesh and the same material data will be used for the computation of the beam with a hole.



Slika 2. Promena aksijalnog napona duž donje strane grede (prikazana je samo jedna polovina grede)  
Figure 2. Variation of the axial stress along the lower face of the beam (only a half beam is presented).

### Proračun grede sa otvorima metodom KE

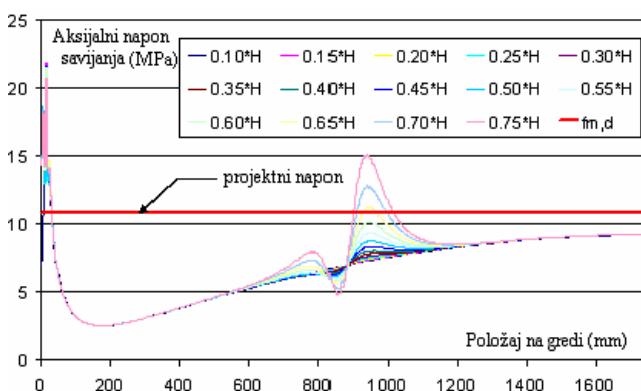
U ovom delu su sračunati isti napon i ugib. Međutim, kako je otvor koncentrator napona, sračunati su različiti naponi oko konture otvora. Položaj vruće tačke pretpostavlja se negde na toj konturi.

### Postupak projektovanja sa vrućom tačkom

Kada je vruća tačka (HS) locirana, njena vrednost je upoređena sa odgovarajućom projektnom čvrstocom (DS). Ako je odnos  $HS/DS > 1$ , moguć je lom i delujuće opterećenje treba da se smanji da bi se obezbedio integritet. Kako su svi proračuni izvedeni pod pretpostavkom elastičnog ponašanja, faktor smanjenja je jednostavno recipročna vrednost prethodnog odnosa. To je parcijalni koeficijent  $k_{hol}$ .

### Aksijalni napon na donjoj strani grede

Kao i ranije, promena aksijalnog napona je prikazana na sl. 3. Na toj slici se vidi da je opšti oblik promene vrlo sličan onom prikazanom na sl. 2. Ali se jasno iskazuje uticaj otvora i efekt koncentracije napona je očigledan. Prava deblja linija predstavlja vrednost projektnog aksijalnog napona koji je prevaziđen za najveće odnose  $D/H$ . Ovo čini jedan od projektnih kriterijuma.



Slika 3. Promena aksijalnog napona savijanja na donjem delu grede za otvore različitih prečnika

### FE computations on beams with holes

In this part the same stress and deflection are computed. However, as the hole serves as a stress concentrator, the different stresses around the contour of the hole are also computed. The hot spot is suspected to be located somewhere on this contour.

### Procedure for design with hot-spot

When the hot-spot (HS) is localised, its value is compared to the corresponding design strength (DS). If the ratio  $HS/DS > 1$ , fracture is probable and applied load should be reduced to ensure integrity. As all computations are made in the elastic behaviour assumption, the reduction factor is simply the reverse of the previous ratio. It is the partial coefficient  $k_{hol}$ .

### Axial stress on the lower face of the beam

As before, the variation of the axial stress is shown in Fig. 3. It can be seen in this figure that the general shape of the variation is very similar to that shown in Fig. 2. But the influence of the hole appears clearly, and the stress concentration effect is evident. The bold straight line represents the design axial stress value and is exceeded for the highest  $D/H$  ratios. This constitutes one of the design criteria.

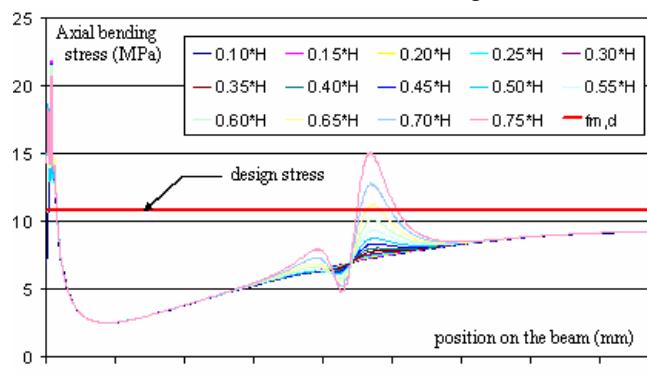


Figure 3. Variation of axial bending stress on the lower part of the beam for different holes diameters.

### Glavni naponi oko otvora

Kako je pretpostavljeno, zbog postojanja otvora, vruća tačka se nalazi negde na konturi otvora, i tu su sračunati glavni naponi.

Drvo smatra ortotropnim materijalom, a čvrstoća je anizotropna. Prema tome, provera čvrstoće konstrukcije upućuje na proveru čvrstoće u svakoj tački u aksijalnom i u transverzalnom pravcu. To može da se postigne i ispitivanjem glavnih napona u odnosu na jedinstveni kriterijum loma, koji je kombinacija čvrstoće za dve ose simetrije. Često se predlaže Hankinsonova jednačina /6/:

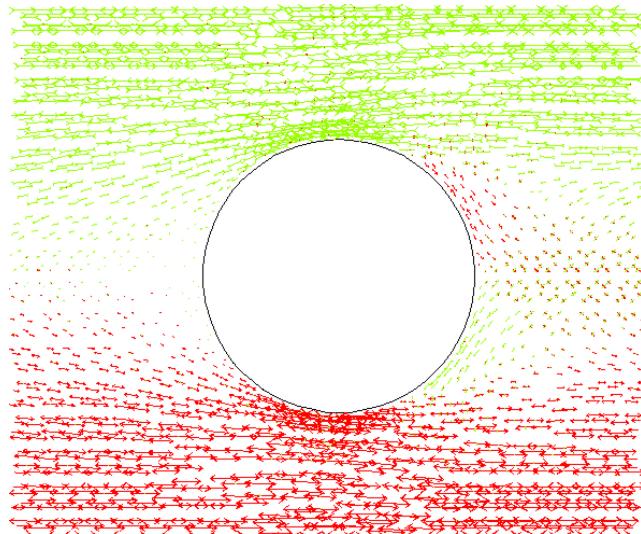
$$f_{\alpha,k} = \frac{f_{t,0,k} \cdot f_{t,90,k}}{f_{t,0,k} \cdot \sin^n \alpha + f_{t,90,k} \cdot \cos^n \alpha} \quad (6)$$

gde je  $\alpha$  ugao između pravca koji se ispituje i aksijalnog pravca, a  $n$  se obično uzima kao 2. U našem slučaju, glavni pravci u svakoj proračunskoj tački su određeni zajedno sa odgovarajućim glavnim naponima, a zatim je izvedena projektna čvrstoća.

Glavni naponi su izvedeni proračunom KE i prikazani su na sl. 4.

Područje koncentracije napona i orijentacija napona zatezanja je jasno vidljivo. Prikaz raspodele maksimalnih napona dat je na sl. 5.

Sa te slike se može videti da napon zatezanja prevazilazi projektnu čvrstoću u više tačaka. U sledećem koraku određuje se vruća tačka, tj. tačka u kojoj je odnos proračunatog glavnog napona i proračunate čvrstoće maksimalan. Ta tačka je locirana blizu ugla  $\theta = 240^\circ$ . Ugao  $\theta$  se meri u pravcu kretanja kazaljke sata, sa dna otvora.



Slika 4. Glavni naponi oko otvora. Oblast ispod otvora = napon zatezanja; oblast iznad otvora = napon pritiska

Figure 4. Principal stresses around the hole. Area below the hole = tensile stress; area above the hole = compressive stress.

Provera ovog rezultata izvedena je korišćenjem aksijalnog  $\sigma_{xx}$  i transverzalnog  $\sigma_{yy}$  napona, koji su upoređeni sa merodavnim projektnim naponom u tim prvcima. Dobijen je vrlo sličan rezultat. U takvim uslovima postupak određivanja vruće tačke je izведен za svaki odnos  $D/H$  korišćenjem krivih  $\sigma_{xx}$  i  $\sigma_{yy}$ . Rezultati proračuna su dati na sl. 6 i 7.

### Principal stresses around the hole

As it is suspected, due to presence of a hole the hot spot could be somewhere on the contour of the hole and the principal stresses are computed there.

Wood is considered an orthotropic material, the strength is anisotropic. Consequently, checking the strength of a structure implies checking strength at each point in the axial and transversal direction. This is also achieved by examination of principal stresses with respect to a single fracture criterion which is a combination of strength in two axes of symmetry. Usually, the Hankinson relation is proposed /6/:

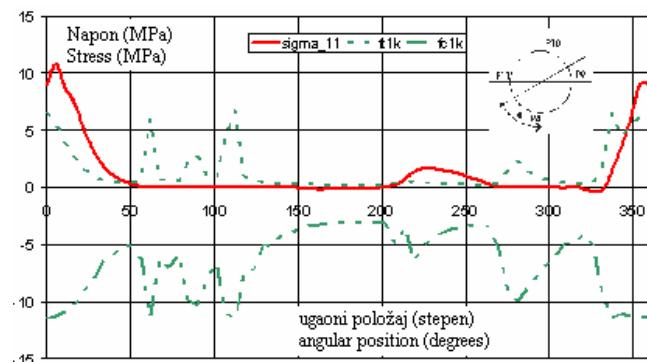
$$f_{\alpha,k} = \frac{f_{t,0,k} \cdot f_{t,90,k}}{f_{t,0,k} \cdot \sin^n \alpha + f_{t,90,k} \cdot \cos^n \alpha} \quad (6)$$

where  $\alpha$  is the angle between the direction examined and the axial direction, while  $n$  is generally taken as 2. In our case, the principal direction on each computing point is determined together with corresponding principal stresses and the design strength is then derived.

Principal stresses are derived from FE computation and are represented in Fig. 4.

The stress concentration area and the orientations of the tensile stress are clearly visible. The representation of the evolution of maximum stress is given in Fig. 5.

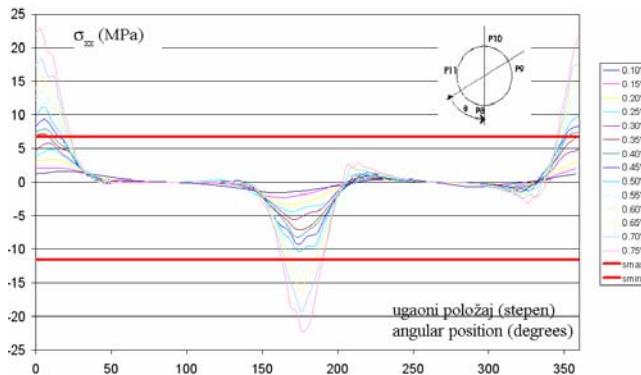
From Fig. 5 it can be seen that the tensile stress exceeds the design strength at several points. The next step is to determine the hot spot, say the point where the ratio between computed main stress and computed strength is maximal. This point has been found near an angle  $\theta = 240^\circ$ . Angle  $\theta$  is measured clockwise from the bottom of the hole.



Slika 5. Raspodela maksimalnog napona duž konture u funkciji proračunate zatezne i projektnie pritisne vrednosti prema relaciji Hankinsona

Figure 5. Evolution of the maximum stress along the contour with respect to the computed tensile and compressive design value with Hankinson relationship.

A verification of this result has been made using axial  $\sigma_{xx}$  and transverse  $\sigma_{yy}$  stresses that are compared to respective design stresses in these directions. Very similar results have been obtained. In these conditions the procedure for determining the hot-spot has been performed on each  $D/H$  ratio using  $\sigma_{xx}$  and  $\sigma_{yy}$  curves. Computational results are shown in Figs. 6 and 7.



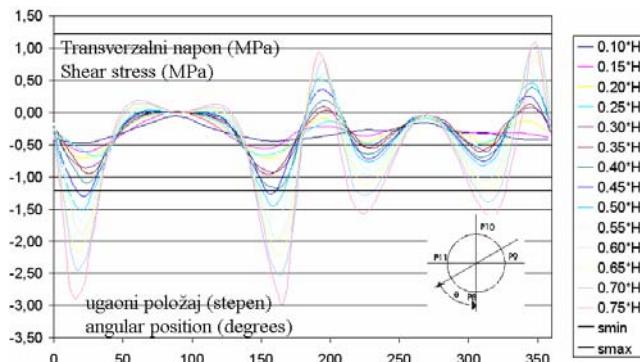
Slika 6. Promena napona  $\sigma_{xx}$  duž konture otvora  
Figure 6. Evolution of  $\sigma_{xx}$  stresses along the contour of the hole.

### Naponi smicanja

U FE proračunu mogu se izdvojiti naponi smicanja oko otvora. Oni su upoređeni sa karakterističnim vrednostima projektne smicajne čvrstoće. Rezultati su prikazani na sl. 8. Može se videti da smicajni napon za neke vrednosti  $D/H$  prevazilazi projektnu vrednost. Primjenjen je postupak "vruće tačke" i odgovarajući odnos napona.

### Globalni rezultati

Ovaj postupak određivanja vruće tačke ponovljen je za svaki odnos  $D/H$  i, prema odeljku *Postupak projektovanja sa vrućom tačkom*, određen je  $k_{hol}$ . Rezultati su prikazani na sl. 8; 9 i 10.



Slika 8. Raspodela smicajnog napona duž konture otvora  
Figure 8. Evolution of shear stresses along the contour of the hole.

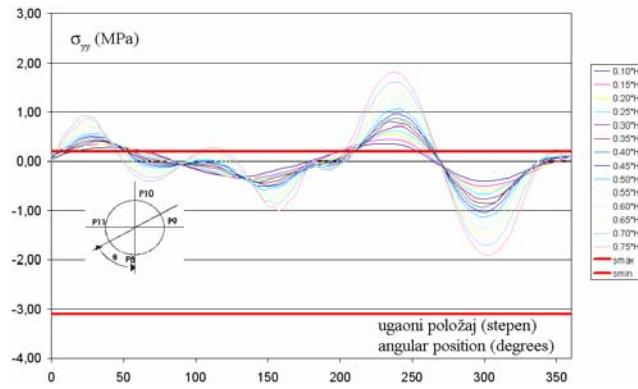
### PREPORUKE EUROCODE 5 ZA GREDE SA OTVORIMA

#### Postupak projektovanja

Postupak projektovanja grede sa otvorima koja je opterećena na savijanje sledi istu shemu kao i za gredu bez otvora, sem što se uvodi posebni koeficijent  $k_{hol}$  za smicajnu čvrstoću. Vrednosti  $k_{hol}$  su date sledećim zavisnostima:

$$\begin{aligned} \text{za } D/h \leq 0,1 : k_{hol} &= 1 - 555(D/h)^3 \\ \text{za } D/h > 0,1 : k_{hol} &= 1,62/(1,8 + D/h)^2 \end{aligned} \quad (7)$$

Parcijalni koeficijent dobijen na ovaj način se koristi za projektnu vrednost  $f_{v,k}$  sračunatu u tabeli 7. On je predstavljen na sl. 9.



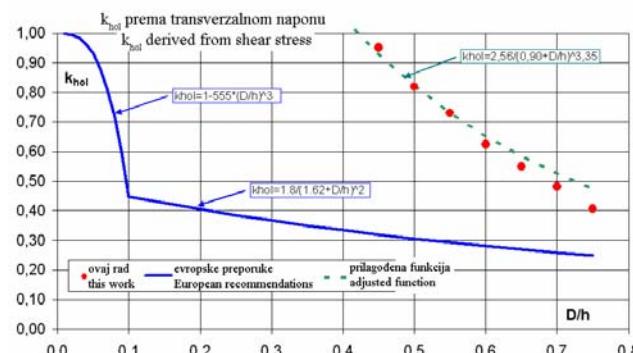
Slika 7. Promena napona  $\sigma_{yy}$  duž konture otvora  
Figure 7. Evolution of  $\sigma_{yy}$  stresses along the contour of the hole.

### Shear stresses

From FE computation, shear stresses around the hole are extracted. They are compared with the design shear strength characteristic values. The results are shown in Fig. 8. It can be seen that shear stress, for some values of  $D/H$ , exceeds the design value. A procedure for determining "hot-spot" and corresponding stress ratio is applied.

### Globalni rezultati

This procedure of hot-spot determination was repeated for each  $D/H$  ratio and following the section *Procedure for design with hot-spot*, the  $k_{hol}$  is determined. The results are presented in Figs. 8, 9 and 10.



Slika 9. Potencijalni koeficijent  $k_{hol}$  na osnovu smicajnog napona i poređenje sa krivom datom u  $/4/$   
Figure 9. Partial coefficient  $k_{hol}$  based on shear stress and comparison with the curve given in  $/4/$ .

RECOMMENDATION OF EUROCODE 5 FOR BEAMS WITH HOLES

#### Design procedure

The design procedure for a beam with hole loaded in bending follows the same scheme of a beam without hole, except in an extra partial coefficient  $k_{hol}$  applied to the shear strength. Values for  $k_{hol}$  are given by following relations:

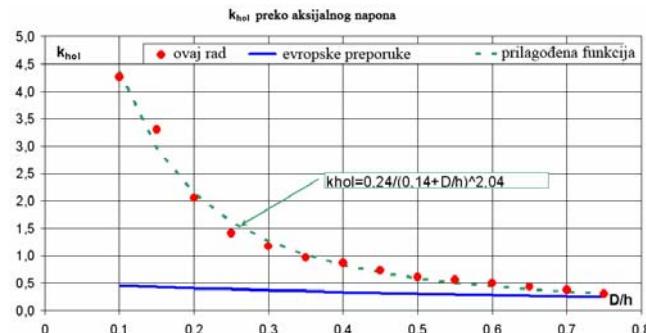
$$\begin{aligned} \text{for } D/h \leq 0,1 : k_{hol} &= 1 - 555(D/h)^3 \\ \text{for } D/h > 0,1 : k_{hol} &= 1,62/(1,8 + D/h)^2 \end{aligned} \quad (7)$$

The partial coefficient obtained in this way is applied to the design value  $f_{v,k}$  computed in Table 7. It is represented in Fig. 9.

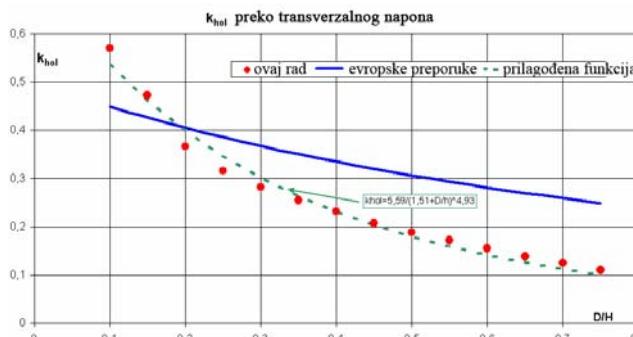
Različiti naponi (maksimalni aksijalni napon savijanja, maksimalni smicajni napon) su sračunati pomoću uobičajenih zavisnosti SOM. Sledeći istu shemu proračuna, maksimalni ugib grede je takođe sračunat pomoću SOM.

#### Poređenje sa sračunatim stvarnim naponima

Poređenje projektovanja sa parcijalnim koeficijentom  $k_{hol}$  dano je na sl. 9–11. Sigurno projektovanje upućuje na primenu najstrožijih koeficijenata. Sa sl. 11 je jasno da treba da se koristi parcijalni koeficijent  $k_{hol}$  izведен iz analize transverzalnih napona, umesto onog koji predlaže preporuke EC5. Za najveće vrednosti  $D/h$  razlika je oko 60%.



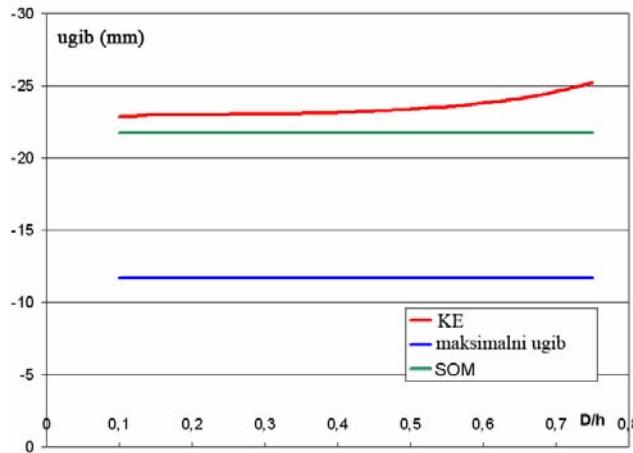
Slika 10. Parcijalni koeficijent  $k_{hol}$  na osnovu aksijalnih napona



Slika 11. Parcijalni koeficijent  $k_{hol}$  na osnovu transverzalnih napona

#### Analiza ugiba grede

Rezultati za ugib grede dati su na sl. 12.



Slika 12. Raspodela ugiba u srednjoj tački u funkciji  $D/H$

Different stresses (maximal axial bending stress, maximal shear stress) are computed using usual SOM relationships. Following the same computing scheme, the maximal beam deflection is also computed using SOM.

#### Comparison with computed actual stresses

Comparison of design with partial coefficient  $k_{hol}$  is given in Figs. 9–11. Safe design implies using the most severe coefficient. It is clear in Fig. 11 that the  $k_{hol}$  partial coefficient derived from transverse stress analysis should be used instead of that proposed by EC5 recommendations. The difference, for highest  $D/h$  values, is about 60%.

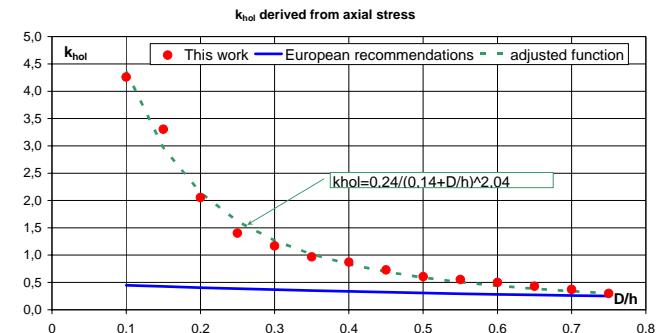


Figure 10. Partial coefficient  $k_{hol}$  based on axial stresses.

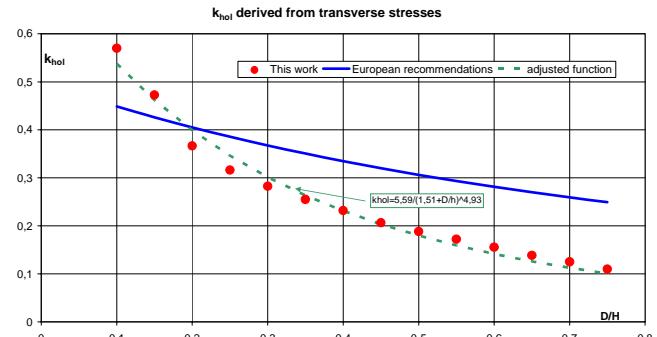


Figure 11. Partial coefficient  $k_{hol}$  based on transversal stresses.

#### Study of the deflection of the beam

Beam deflection results are given in Fig. 12.

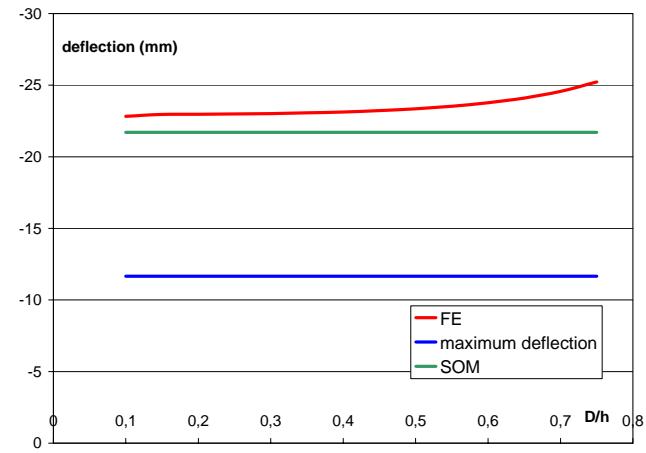


Figure 12. Evolution of deflection at mid point with  $D/H$ .

Može se videti da su proračuni SOM i KE sasvim slični, ali daju rezultat koji je oko dva puta veći od dopuštenog. To može da odgovara parcijalnom koeficijentu od oko 0,5, ali kao što je prikazano na sl. 11, koeficijent  $k_{hol}$  dobijen iz transverzalnog napona je mnogo strožiji. Zbog toga, kada se primenjuje, uslov maksimalnog ugiba treba poštovati.

## ZAKLJUČAK

U radu je opisan postupak projektovanja savijene grede za oslanjanje poda, koja ima dva simetrična otvora, prime-nom postupka EC5 i pridruženih dokumenata. Iako treba da verujemo u pravila EC5, izvesna pažnja mora biti posvećena pridruženim preporukama, kao što su one za otvore u savijenim gredama. Predložena je projektna jednačina za parcijalni koeficijent  $k_{hol}$ :

$$k_{hol} = \frac{5,59}{(1,51 + D/h)^{4,93}} \quad (8)$$

Numerička provera se pokazala prvim interesantnim pristupom. Međutim, eksperimentalna provera treba da bude drugi neophodan korak. Takođe je potrebno upotpuniti ovaj rad analizom zavisnosti elastičnih svojstava drveta od konstanti u izrazu [8].

## LITERATURA – REFERENCES

1. EUROCODE 5 – CALCUL DES OUVRAGES EN BOIS – 1ère partie: Règles générales et Règles applicables au bâtiment. Document d'Application Nationale. DAN-ENV 1995 Partie 1.1.
2. Structures en bois aux états limites – Introduction à l'Eurocode 5 – STEP 1 Matériaux et Bases de Calcul. P. Racher, J.-P. Biger, F. Rouger, G. Sagot, G. Vidon. Editor: Sedibois. Union nationale française de charpente, menuiserie, parquets. (1996)
3. NF EN 338 Septembre 2003 – Bois de Structure Classe de Résistance.
4. Carling, O., Johannesson, B., *Limträhandboken (Glelam manual)*, Svenskt limträ, Stockholm. (1988)
5. Guitard, D., *Comportement mécanique du Bois*, in 'Le Bois Matériau d'Ingénierie', ARBOLOR, Ph. Jodin éditeur, pp. 92-125. (1994)
6. Hankinson, R.L., *Investigation of crushing strength of spruce at varying angles of grain*. Air Service Inform. Circular III, No. 259. US Air Service, Washington DC, USA. (1921)

It can be seen that SOM and FE calculations are quite similar, but give a result that is about two times higher than that allowed. This would correspond to a partial coefficient of about 0.5, but as shown in Fig. 11, the  $k_{hol}$  factor obtained from transversal stress is more severe. Thus when applied, the maximal deflection condition will be respected.

## CONCLUSION

This work has described the design procedure for a bending beam supporting a floor and with two symmetrical holes, by using EC5 procedure and connected documents. If we could trust EC5 rules, some caution should be paid to connected recommendations as for holes in bending beams. A design equation for partial coefficient  $k_{hol}$  is proposed:

$$k_{hol} = \frac{5,59}{(1,51 + D/h)^{4,93}} \quad (8)$$

Numerical verification has been shown as a first interesting approach. But experimental verification would be a second necessary step. It is also necessary to complete this work by analysing the dependency of constants in Eq. [8] on elastic properties of the wood.