

OBNOVA GRADA ZAGREBA NAKON POTRESA
Ciklus predavanja: Znanjem za Zagreb (i Hrvatsku) - Zagrebu od Rijeke

Tradicijski drveni stropni sustavi i ojačanja – doprinos potresnoj otpornosti postojećih zidanih zgrada

Adriana Bjelanović

Sveučilište u Rijeci Građevinski fakultet

SAŽETAK

Zastupljenost zidanih zgrada starije gradnje i s **drvenim konstrukcijama tradicijske tipologije** problematizira **ocjene**:

- zatečene potresne otpornosti takvih zgrada
- učinaka koje na globalni potresni odziv imaju zahvati ojačanja drvene konstrukcije i priključci na zidove
- prikladnosti strategije potresne obnove zgrade

KRUTOST drvenih stropnih sustava U RAVNINI i priključci na zid

Analitički postupci i smjernice proračuna

- donekle razrađene za NOVE TIPOLOGIJE KONSTRUKCIJA
- za POSTOJEĆE KONSTRUKCIJE – otvorena i aktualna tema zbog “starih”/povijesnih zgrada i **analogije s krovštima**

Polazište – poznavanje tehnika ojačanja i razumijevanje uloge priključaka na prijenos horiz. sila na zidove i ponašanje u potresu.

Sadržaj

1. Uvod

Postojeće zidane zgrade s tradicijskim drvenim konstrukcijama

2. Učinci povezivanje dijafragmi i ukrućivanja TDK u ravnini

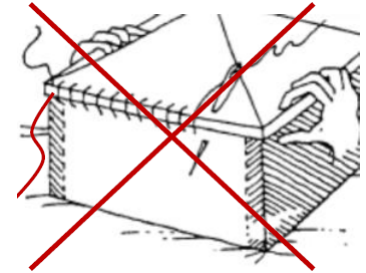
3. Pregled i diskusija tehnika za poboljšanje krutosti TDSK u ravnini

4. Priključci ojačanih drvenih stropnih konstrukcija na zidove

5. Zaključak

1. Uvod – postojeće zidane zgrade s tradicijskim drvenim konstrukcijama

- Opće preporuke za povijesne / "stare" zidane zgrade
- Postupna potresna nadgradnja / obnova (poboljšanje potresne otpornosti) dijela građevinskog fonda („starija gradnja”)
 - **strategija** – prevencija oštećenja / urušavanja na temelju procjene seizmičkog rizika za određeno područje
- RAZREDBA zahvata:
- **Ojačavanje** – projektni zahvati kojima će se osigurati potresna otpornost na razini koju imaju nove zgrade
 - u slučaju rekonstrukcije (izmjene tehničkog rješenja) – većih arhitektonskih izmjena, renoviranja / promjena namjene
- **Popravci** – manje invazivni ili samo lokalni arhitektonski zahvati za otklanjanje kritičnih probleme.

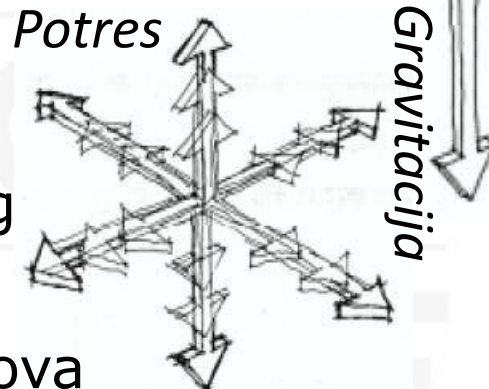
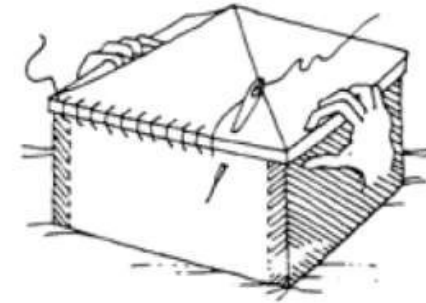


1. UVOD – postojeće zidane zgrade s tradicijskim drvenim konstrukcijama

- Prikupljena iskustva o razlozima oštećenja postojećih zgrada s TDSK (nakon potresa u seizmički aktivnim regijama)
- funkcionalne preinake radi zadovoljenja potreba korisnika s pratećim izmjenama konstrukcije
 - zamjena postojeće TDSK krutom stropnom konstrukcijom (npr. armiranobetonski / masivni stop) ili kruto ojačanje TDSK (sprezanje s armiranobetonskom pločom) bez pratećeg ojačanja nosivih zidova
 - zanemarivanje učinaka nekompatibilnosti materijala / sustava na potresnu otpornost
 - neodgovarajuća izvedba priključaka na zidove
- nesukladnost navedenih zahvata sa zahtjevima potresne otpornosti / neprovjeravanje učinaka zahvata na globalnu potresnu otpornost zgrade

1. UVOD – postojeće zidane zgrade s tradicijskim drvenim konstrukcijama

- Zidane zgrade – “kutijasti” konstrukcijski sustavi vertikalnih i horizontalnih dijelova
- potresni odziv: rezultat i interakcija ZID – ZID i ZID – STROP / KROV



- Uvjet zadovoljavajućeg ponašanja u potresu
- nosivost i krutost zidova U RAVNINI
- spriječeno urušavanje zidova IZVAN RAVNINE
 - ograničena nosivost na savijanje i druge značajke konstrukcije zgrade

Parapet, ornamentation, façade collapse

Wall diaphragm connections

Out-of-plane Instability of face-loaded walls

Diaphragm strength and stability

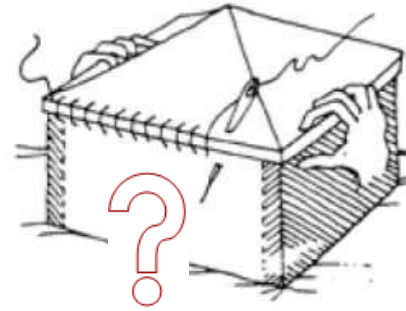
In-plane capacity of walls

Increasing vulnerability

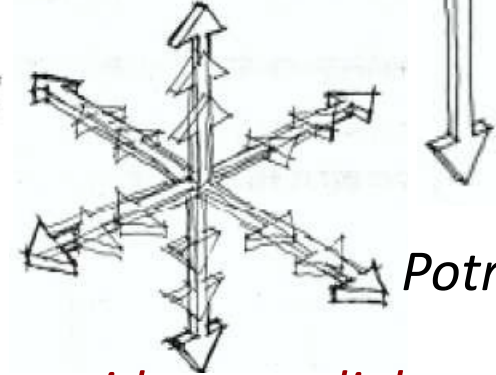
Hijerarhijski lanac osjetljivosti sastavnih komponenti zidanih zgrada na oštećenja u potresu

1. UVOD – postojeće zidane zgrade s tradicijskim drvenim konstrukcijama

- Veliki utjecaj na globalni potresni odziv imaju i:
 - tlocrtna dispozicija (raspored nosivih zidova u oba smjera)
 - pravilnost tlocrta
 - kvaliteta gradnje / građ. materijala
 - lokacija i veličina otvora, ...
 - **krutost stropne konstrukcije**
 - **kvaliteta priključaka / interakcija makro-elemenata konstrukcije**



Vert. djelovanja



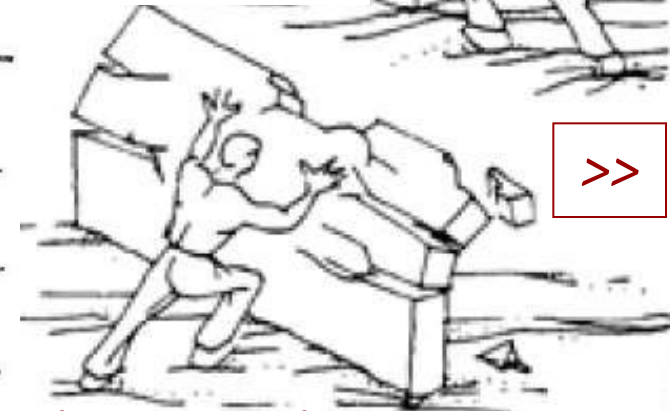
Potres

Otpornost zidova na djelovanja



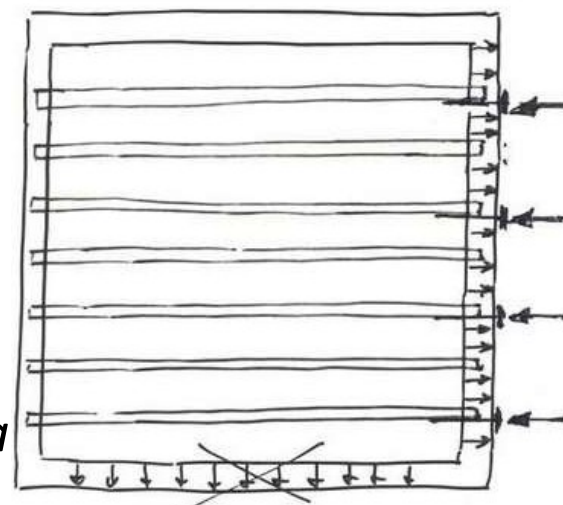
u ravnini

(da Touliatos, 1996)



izvan ravnine

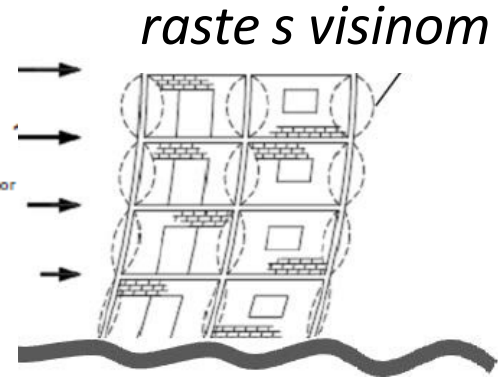
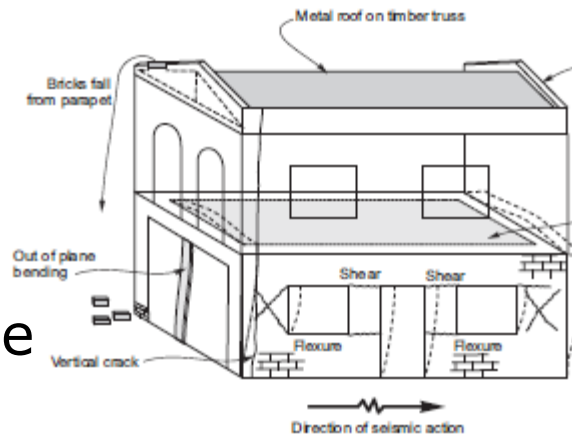
>>



Ortogonalni i ortotropni potresni odziv "mekanih" tradicijskih stropnih sustava

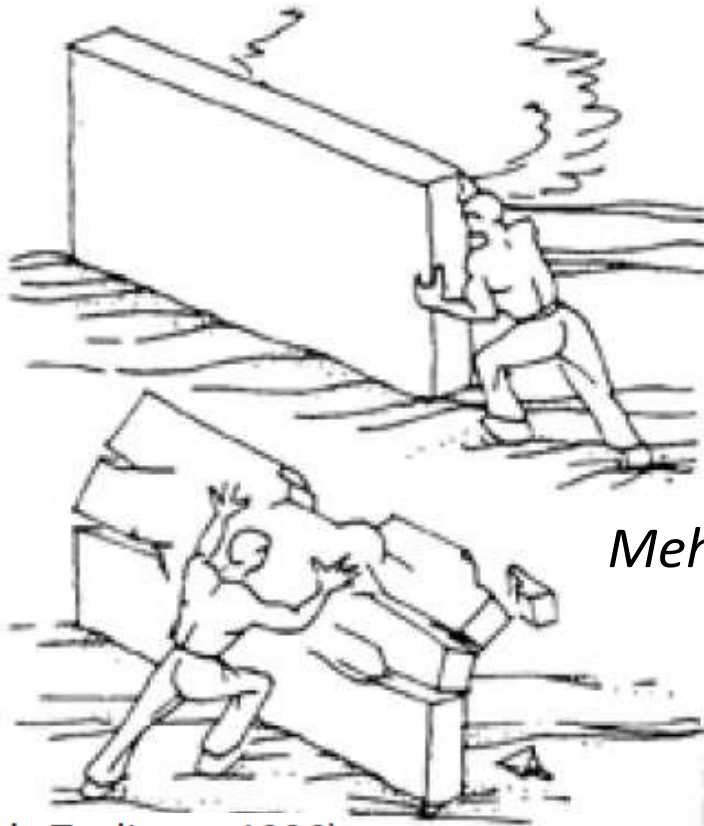
1. UVOD – postojeće zidane zgrade s tradicijskim drvenim konstrukcijama

- Lokalna i globalna oštećenja / slom
- Povezanost makro-elemenata konstrukcije – “sandučasti” odziv

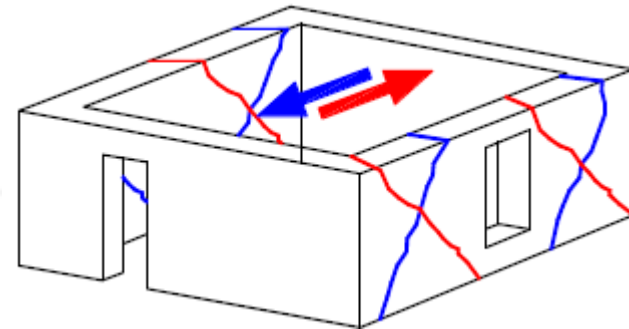


Mehanizmi sloma

Vibracijski odziv izvan ravnine

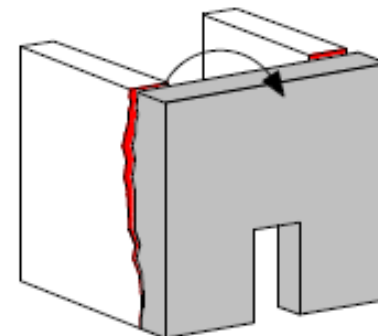


u ravnini



II. oblik

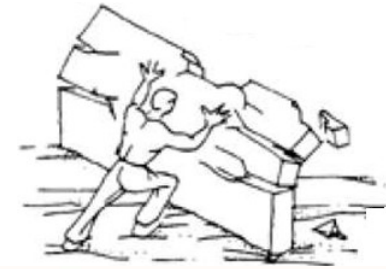
Mehanizmi otkazivanja izvan ravnine



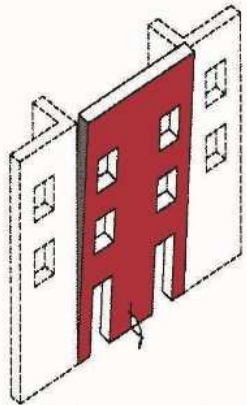
I. oblik

1. UVOD – postojeće zidane zgrade s tradicijskim drvenim konstrukcijama

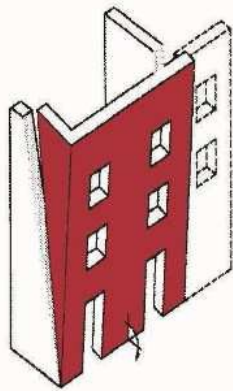
- Nosivost na bočna opterećenja – mehanizmi sloma nosivih zidova izvan ravnine



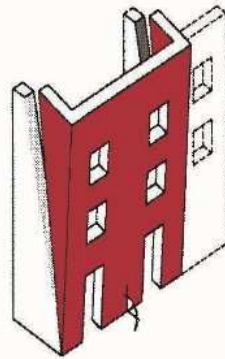
D'Ayala&Speranza 2003.



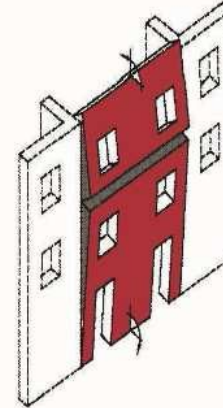
Mechanism type A:
overturning of the façade



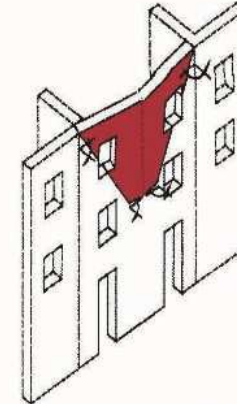
Mechanism type B:
overturning of the façade
and one party wall



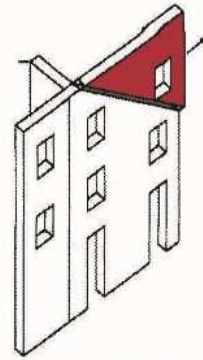
Mechanism type B2:
overturning of the façade
and two party walls



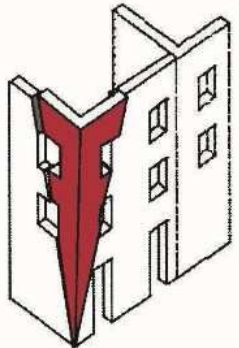
Mechanism type F:
vertical arch effect associated
with ties at the top of the façade



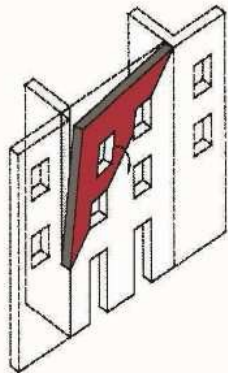
Mechanism type G:
horizontal arch effect



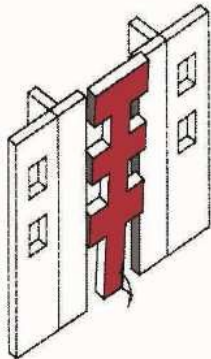
Mechanism type H:
in-plane failure, diagonal crack



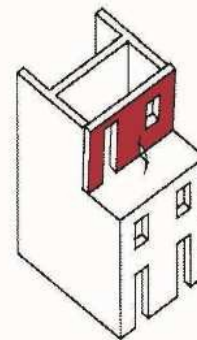
Mechanism type C:
overturning of the corner



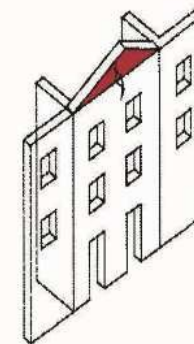
Mechanism type D:
overturning of the façade
with diagonal crack



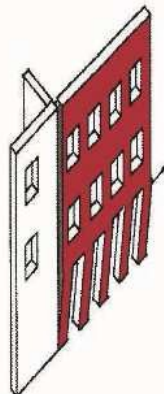
Mechanism type E:
overturning of the façade
with cracks along the
opening alignments



Mechanism type I:
overturning of the façade
of vertical addition



Mechanism type L:
overturning of the gable



Mechanism type M:
lateral overturning of portico

Potresni odziv zidanih zgrada s fleksibilnom SD / KD

- Učinci FLEKSIBILNOSTI SD / KD i neodgovarajućih PRIKLJUČAKA – u potresu su “stalno / vertikalno opterećenje” koje se horizontalno raspoređuje na zidove
- pomaci dijafragme – mogu inicirati velike pomake i oštećenja bočno opterećenih zidova
- fleksibilnost dijafragme – potencijalni uzrok porasta ubrzanja (za sâm stropni sustav i nosive zidove)



Slom bočno opterećenog zida zbog pomaka “mekane” krovne dijafragme

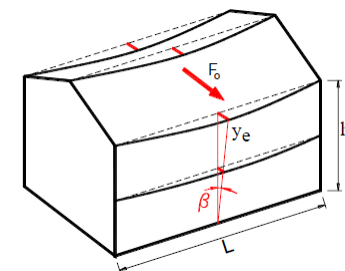
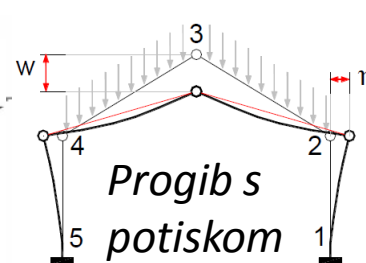
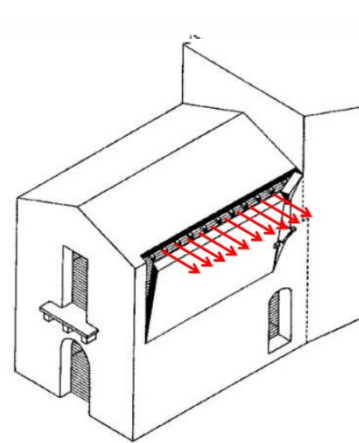
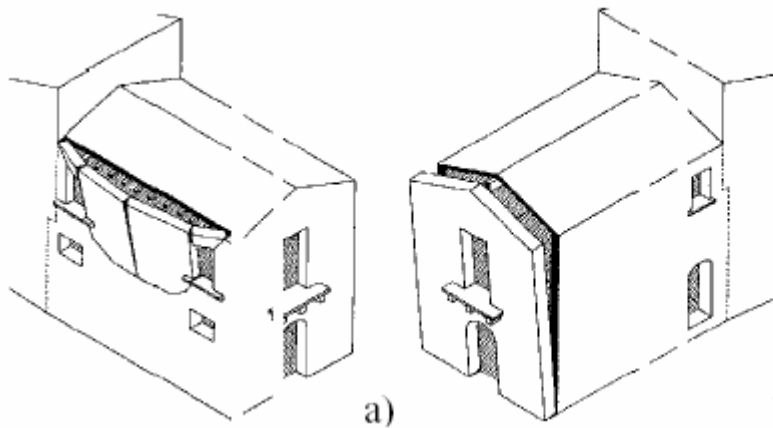


Odlamanje žbuke zbog interakcije zid – strop / prijenos posmika



Potresni odziv zidanih zgrada s fleksibilnom SD / KD

- Ocjena lokalnog i globalnog ponašanja zgrade – uzima u obzir i mehanizme lokalnog urušavanja u ravnini / izvan ravnine

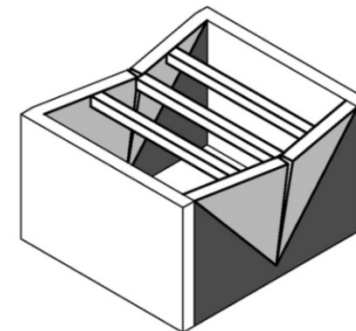
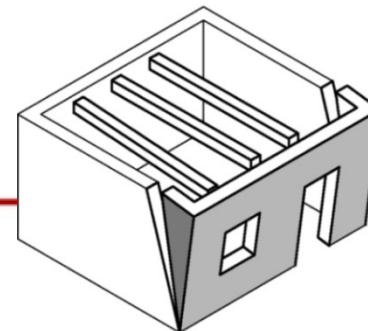
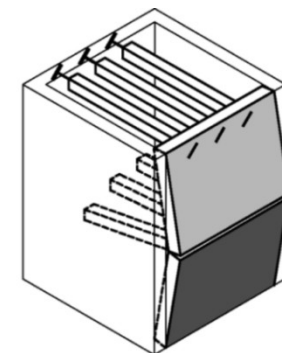
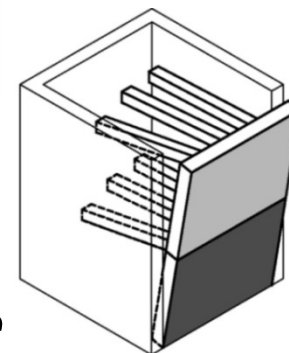


Efekt "kutije"

Fleksibilna krovna dijafragma (KD) i mehanizmi sloma – prevrtanje zida / zidnih krila / horiz. luk

- Uloga fleksibilnosti SD / KD dijafragme

- Oblici urušavanja zidova (izvan ravnine)
– fleksibilna TDSK i neprikladni priključci

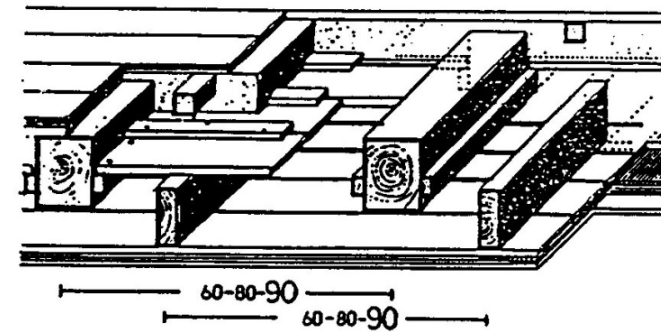
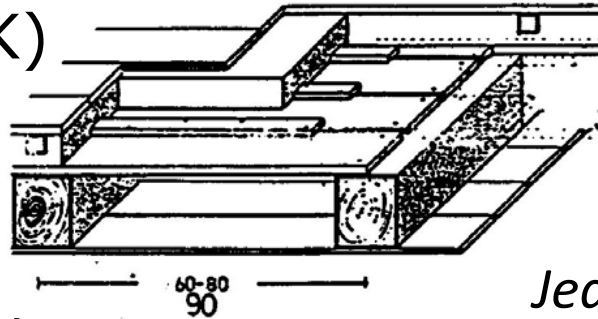


1. UVOD – postojeće zidane zgrade s tradicijskim drvenim konstrukcijama

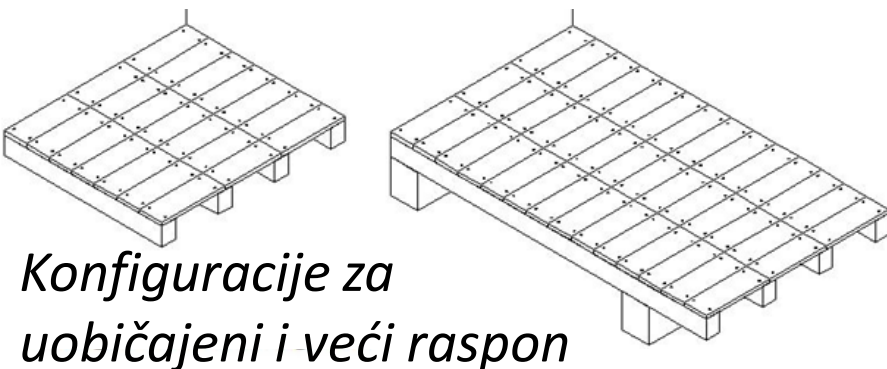
• Tradicijske drvene STROPNE konstrukcije (TDSK)

- Potresni odziv (globalno posmični) – rezultat:

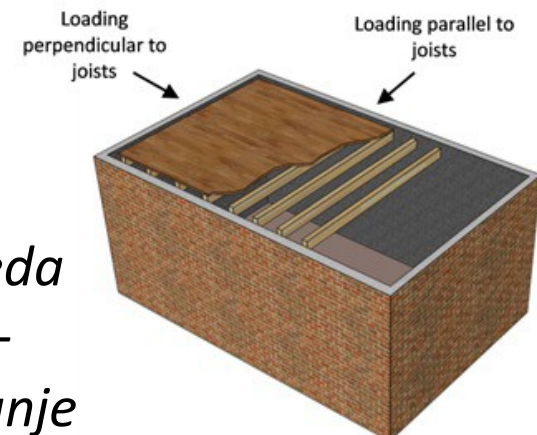
- ponašanja čavlanih veza (pod/greda) i trenja (između dasaka / "utor i pero")
- "ortotropnog" ponašanja i doprinosa slojeva (pod / podgled)
- zatečenog stanja (višegodišnja prosušenost / "otvrdlo" drvo, oštećenja od insekata ili lokalna propadanja (vlaga))
- učinaka prethodnih sanacija.



Jednostruki i dvostruki grednik

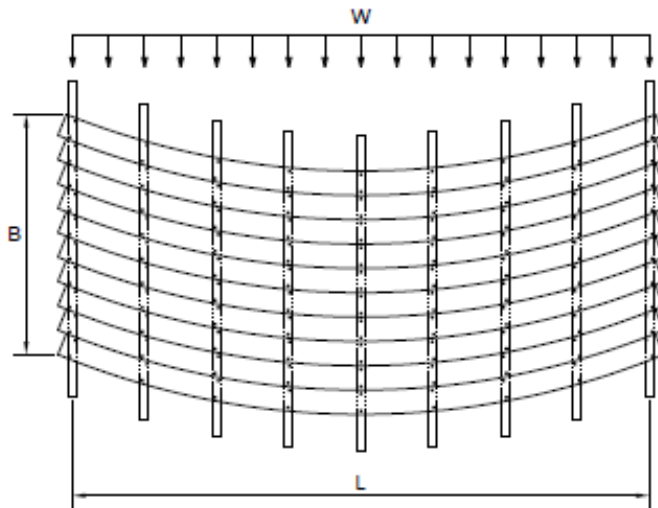


Opterećenje u smjeru drvenih greda i okomito na njih – ortotropno ponašanje

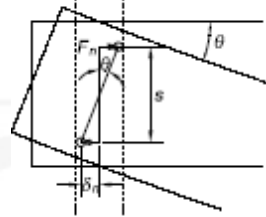


1. UVOD – postojeće zidane zgrade s tradicijskim drvenim konstrukcijama

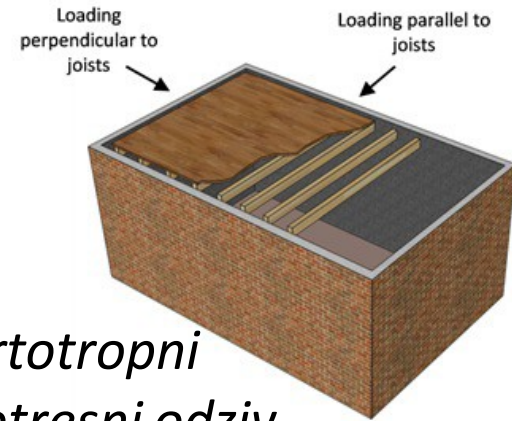
• Opterećenje U SMJERU stropnih greda TDSK



Rotacija 1 para čavala

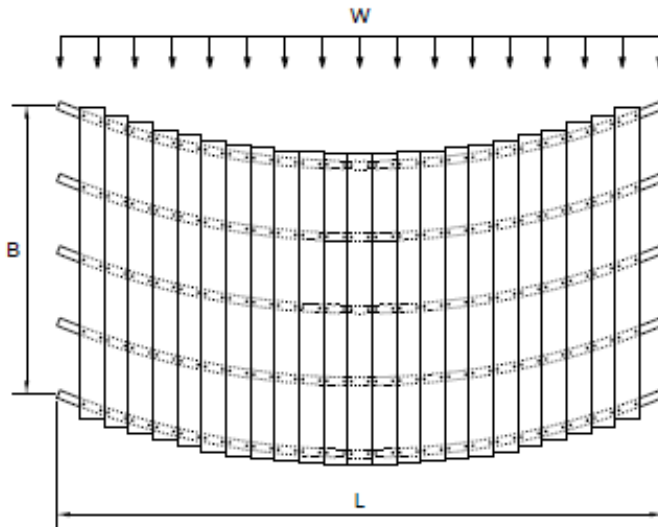


Relativni pomaci greda i savijanje podnih dasaka

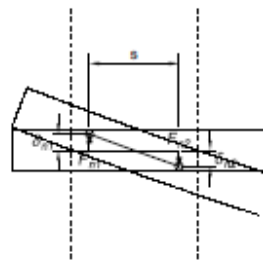


Ortotropni potresni odziv

• Opterećenje OKOMITO NA SMJER stropnih greda



Rotacija 1 para čavala



Savijanje greda i relativni pomaci podnih dasaka

- Pretpostavka ponašanja – priključci na zid
- prevencija globalnog klizanja SK (umjesto deformiranja)
- jamstvo deformiranja zida zajedno s SK

1. UVOD – postojeće zidane zgrade s tradicijskim drvenim konstrukcijama

- Tipični nedostatci TDK i značaj za potresni odziv
 - lokalna oštećenja uslijed biotičkog napada / mehanička oštećenja i statička oštećenja;
 - nedostatak spajala u priključcima (npr. oslonci) ili oštećenja tradicijskih spojeva / krovništa (diskontinuitet);
 - neodgovarajuća krutost stropa / krova u ravnini;
 - neodgovarajući prijenos posmičnih sila između stropne / krovne konstrukcije i zidova (posmik u ravnini zida).



*Emilia
(Italija)
potres,
2012*

Urušavanje vitkog vanjskog zida zbog izostanka stropa i nedostatne krutosti krovništa



a) posljedice loših priključaka krov – zid



b) “mekani” stropni i krovni sustav – posljedice

1. UVOD – postojeće zidane zgrade s tradicijskim drvenim konstrukcijama

- Utjecaj ranijih sanacijskih zahvata TDK na potresni odziv
 - nedostatak standardiziranih postupaka prikladnih za otklanjanje ovih nedostataka
 - nedostatak tehnika ojačavanja koje su **kalibrirane za drvene konstrukcije** i uzimaju u obzir specifične značajke zgrada, zatečeno stanje, potresni rizik, ... i sl.

Emilia (Italija), potres 2012.



Urušavanje zbog loše rekonstrukcije TDSK – nedostaje rubnik za prijenos horizontalnih sila iz novih čeličnih greda na zidove



Urušavanja zbog loše sanacije – teške i krute betonske obodne vezne grede, neodgovarajuće povezane s krovijem i zidovima

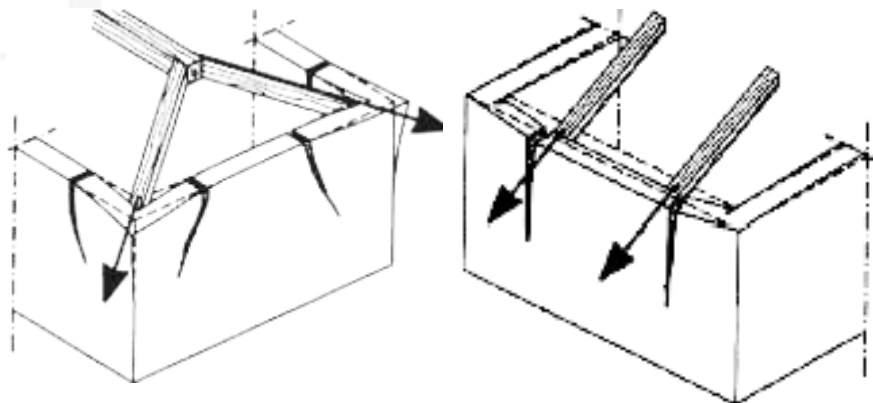
2. Učinci povezivanje dijafragmi i ukrućivanja TDK u ravnini

- Ponašanje u potresu i aktiviranje "sandučastog" odziva
 - povezanost zidova i prikladna bočna pridržanja (strop / krov)
 - zbog transfera posmika se mijenja kinematički mehanizam urušavanja zida (pokreće ga veća energija).



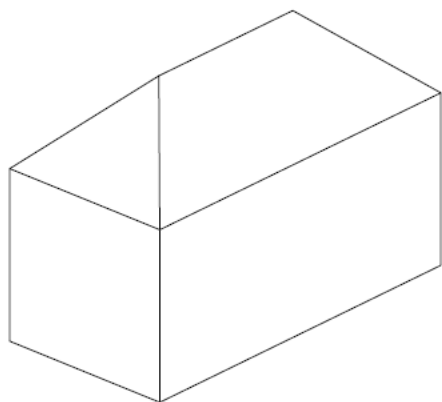
A) nepridržan zid – konzolno urušavanje B) bočno pridržanje – stropni sustav C) i D) analogija za vezu zid – krov

Nagib krovišta i horizontalni potisak na zidove – učinak se pogoršava u potresu

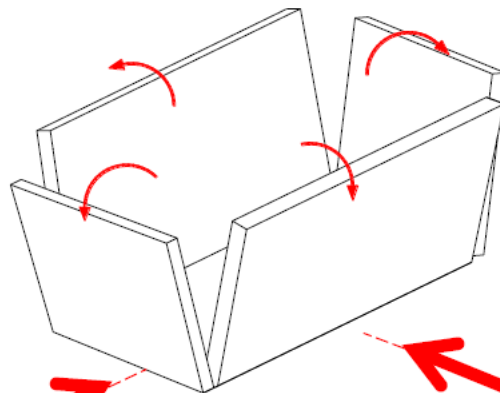
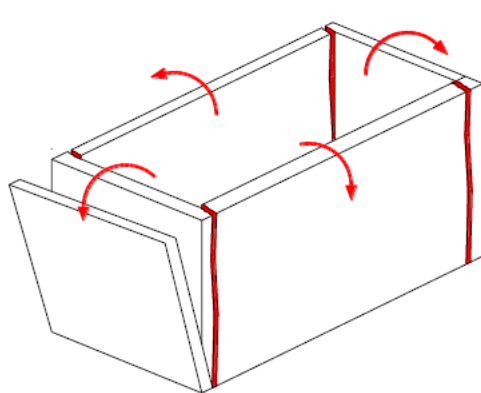
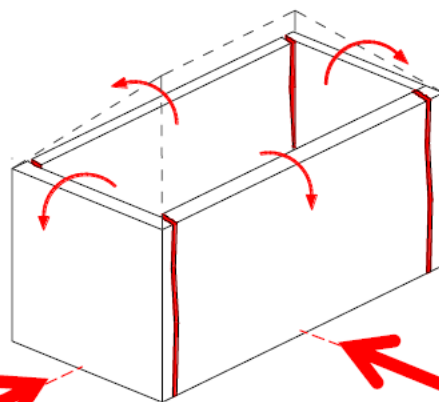


- Tradicijski drveni makro-elementi konstrukcije i priključci – osmišljeni za vertikalna djelovanja
 - zahvate ojačanja treba planirati i s obzirom na potresni odziv

- Mehanizmi otkazivanja izvan ravnine

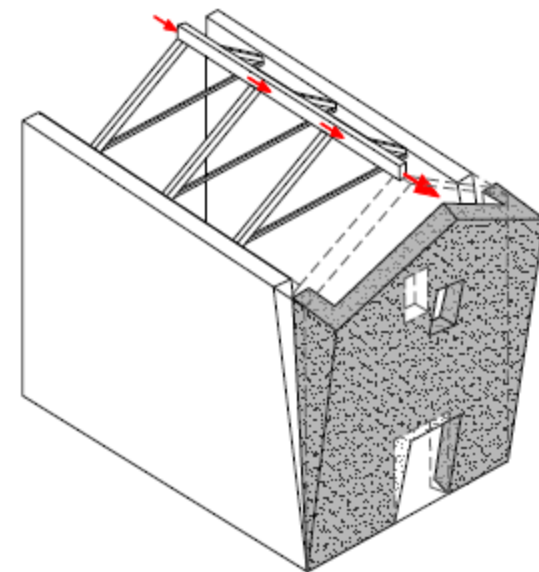


Nepovezani zidovi

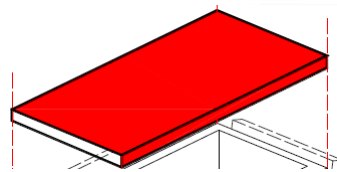
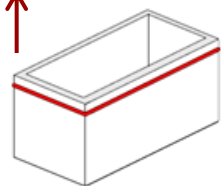
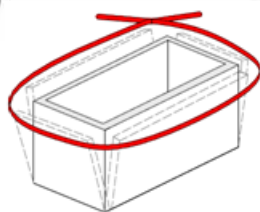
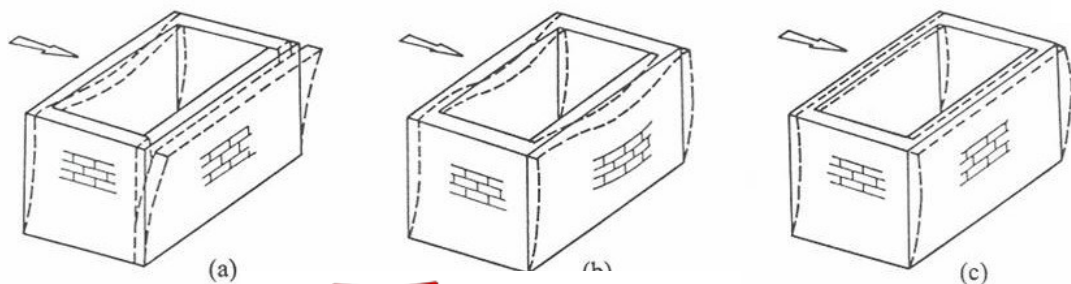
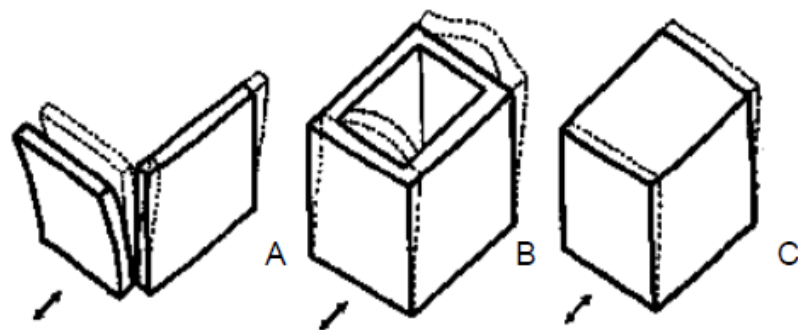


Prevrtnanje – izostaje “kutijasta” konfiguracija

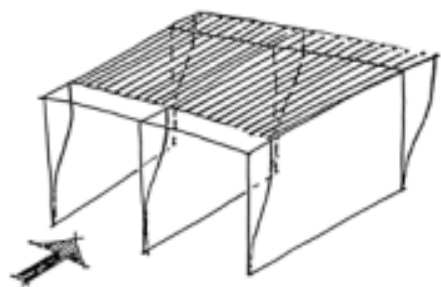
- Prevenzija prevrtanja:
 - povezivanje zid – zid
 - stropne/ krovne dijafragme i priključci na zidove



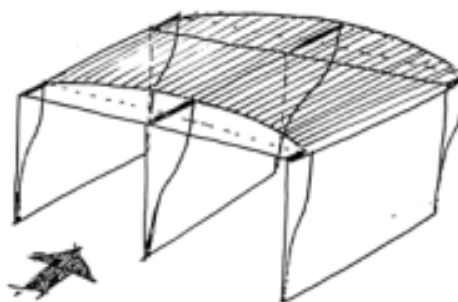
- Uloga priključaka i krutosti stropne dijafragme (SD)



- a) *fleksibilna SD – slaba povezanost zid – zid,*
- b) *fleksibilna SD i obodna vezna greda – dobra povezanost zid – zid*
- c) *kruta SD i dobra povezanost zid – zid*



Kruta SD

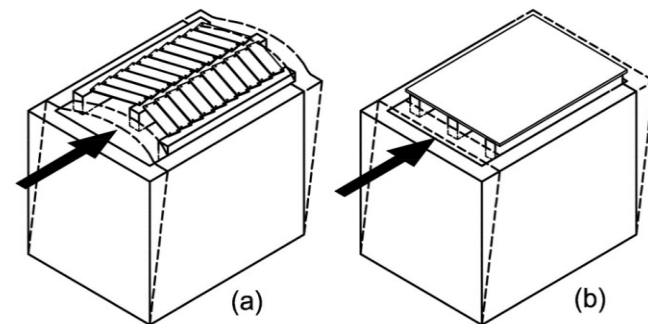


Fleksibilna SD

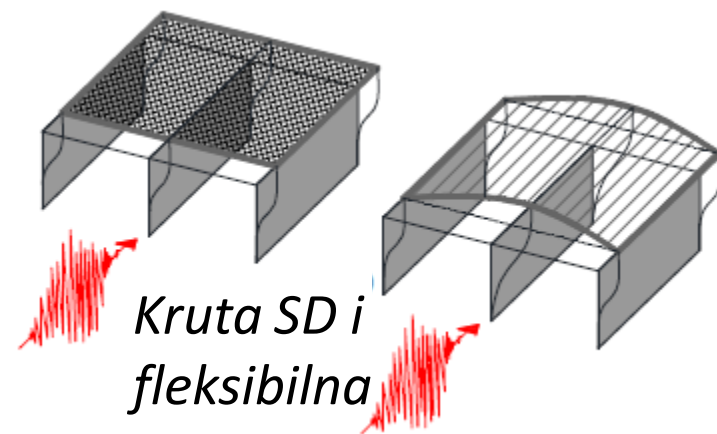
Hiperstatička (kruta SD) i izostatička (fleksibilna SD) raspodjela sila na zidni sustav (otporan na djelovanje potresa)

- Uloga priključaka i krutosti horizontalne dijafragme (SD / KD)

(a) *prevrtanje zida u ravnini okomitoj na smjer potresne sile – nedostatna posmična krutost DSK (veliki pomaci);*



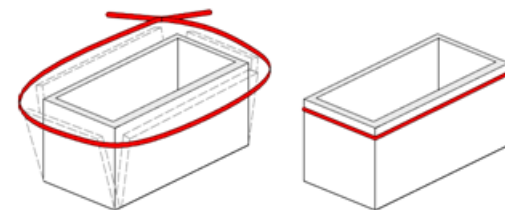
(b) *ukrućena dijafragma i korektno izvedeni priključci – prijenos sile u zidove paralelne smjeru potresne sile*



- Neodgovarajuća kvaliteta gradnje / materijala, prisutnost značajnijih otvora ... – neodgovarajuća prateća ojačanja zidova
- aktiviranje mehanizama otkazivanja u ravnini (II. oblik sloma)
- posmični / klizanje ili ljuljanje

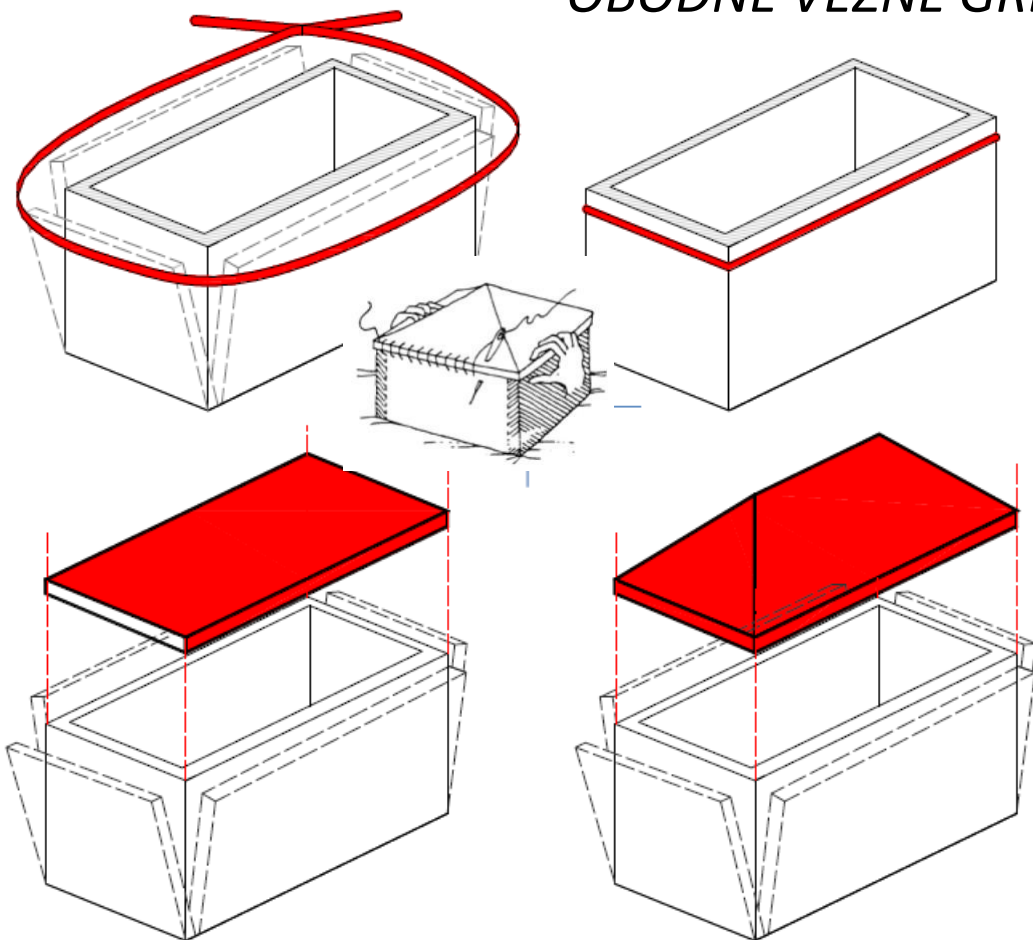
2. Učinci povezivanja dijafragmi i ukrućivanja TDK u ravnini

- Povezivanje dijafragmi i ukrućivanje fleksibilnih TDK – “stare” zidane zgrade
 - zamjena za djelotvorniji zahvat potresne obnove ugradnjom neovisnih konstrukcija okvira
- Zahvati ojačanja – pojedinačni ili kombinirani:
 - ugradnja obodnih veznih greda ili ekvivalenta (npr. trake, “remani”, kablovi, ...); sidra, dijafragme (parc./totalne), ...
 - čelične / željezne zatege ili drvene obodne vezne grede – nasljeđe tradicijske / povijesne arhitekture
 - ukrućivanje fleksibilnih TDK
- Djelotvornost obodnih veznih greda – do potresa s ubrzanjem tla $> 0,3$ ($0,35$) g (nakon otvaranja postojećih i pojave novih pukotine te aktiviranja pomaka):
 - povećava konstrukcijsko prigušenje zbog histereze trenja preko pukotina
 - smanjuje frekvencija odziva zbog ljuljanja zida.

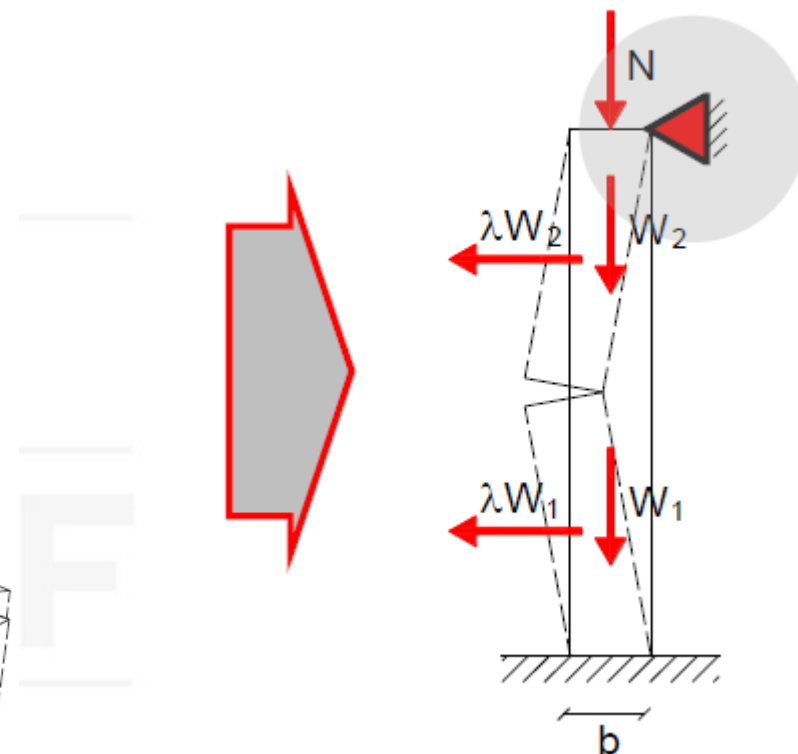


2. Učinci povezivanja dijafragmi i ukrućivanja TDK u ravni

OBODNE VEZNE GREDE



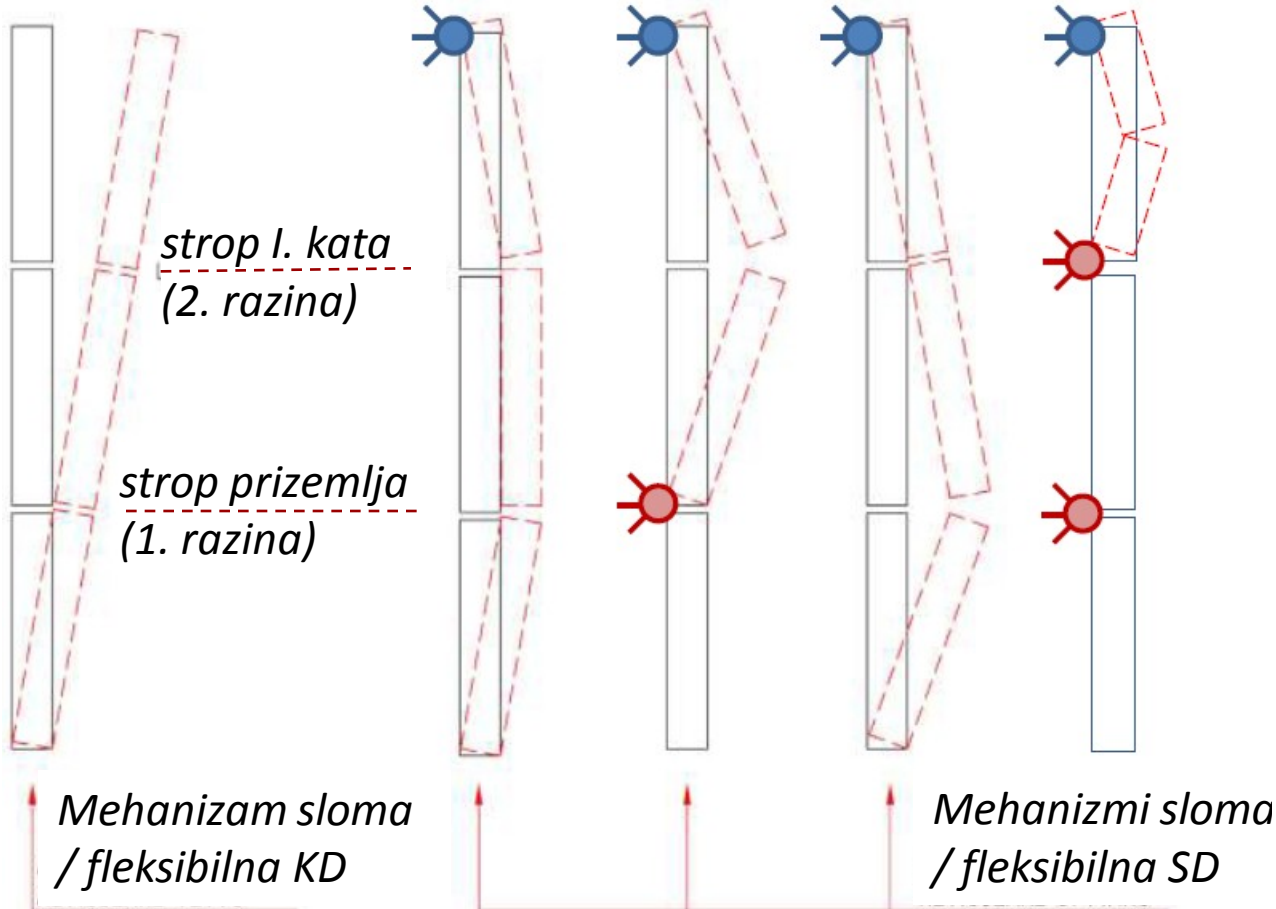
STROPNE / KROVNE DIJAFRAGME



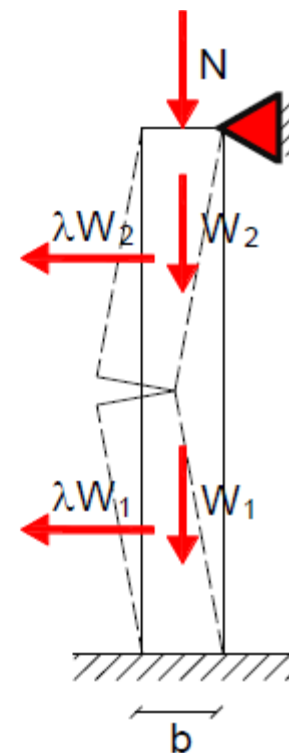
Učinci ojačanja – izmjena mehanizma sloma (rubni uvjeti)

2. Učinci povezivanja dijafragmi i ukrućivanja TDK u ravnini

OBODNE VEZNE GREDE



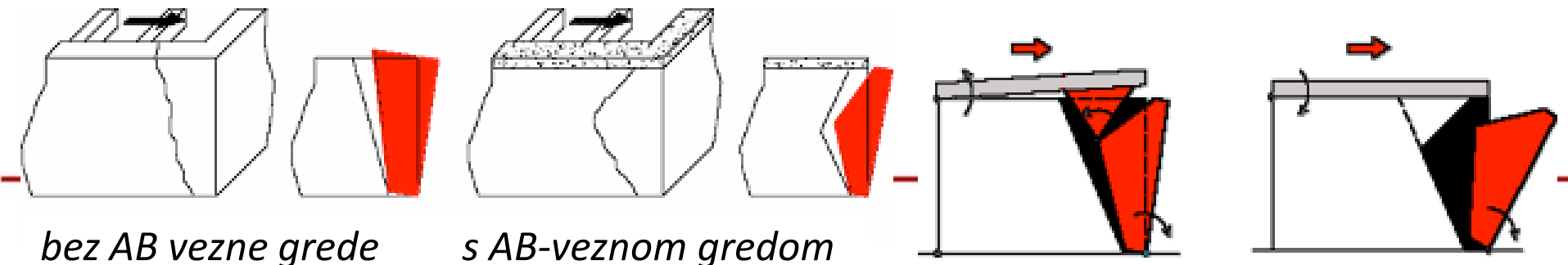
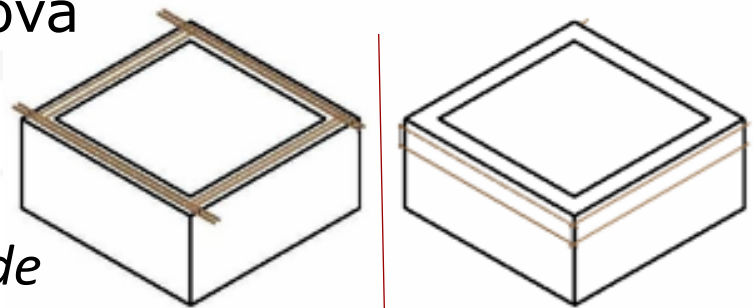
*Učinci ojačanja –
izmjena rubnih uvjeta i
mehanizma sloma*



$0,01g - 0,05g \dashrightarrow 0,30g - 0,35g$

- Ojačanja "starih" zidanih zgrada – OBODNE VEZNE GREDE
- Materijal – armirani beton (rjeđe u kombinaciji s TDSK) i drvo
- Funkcija – stabilizacija bočno opterećenih zidova i djelotvornija raspodjela opterećenja dijafragme po duljini zida
 - povezivanje zid – zid (okomiti zidovi) i unutar zida (u ravnini)
 - povezivanje vertikalnih presjeka po debljini dvoslojnog zida
 - povezivanje uzdužnih i zabatnih zidova
 - osnova za priključke krovnog / stropnog konstrukcijskog sustava

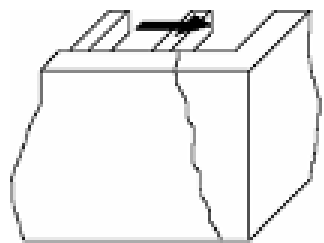
Drvene obodne vezne grede



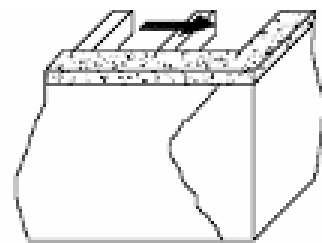
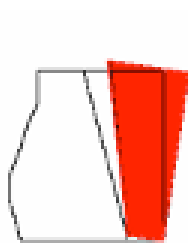
bez AB vezne grede

s AB-veznom gredom

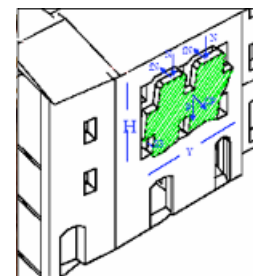
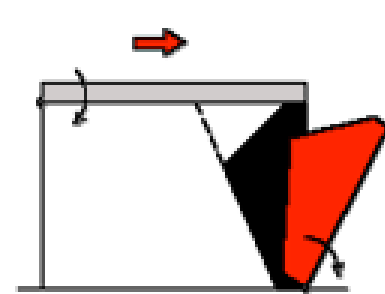
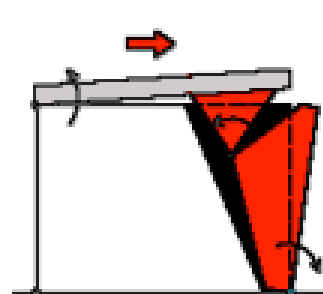
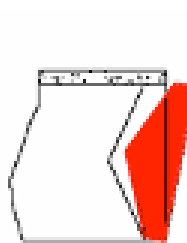
- Ojačanja "starih" zidanih zgrada – OBODNE VEZNE GREDE
- **Armiranobetonske obodne vezne grede**
 - primjena – manje uobičajena za fleksibilne TDSK
- Iskustva iz ranijih potresnih događaja:
 - nisu učinkovite u prijenosu horiz. sila na nearmirane zidove
 - očekivani mehanizam urušavanja nije posmični / u ravnini (kao nakon ojačanja ukrućenjem stropne konstrukcije)
 - djelomično se prevrće vanjsko zidno krilo
 - nisu djelotvorne u povezivanju dvaju krila – jedno ostaje slobodno / rotacija i prevrtanje
 - nisu prevencija mehanizma sloma izvan ravnine – mijenja se tek oblik oštećene zone



bez AB vezne grede



s AB-veznom gredom



- Ojačanja "starih" zidanih zgrada – OBODNE VEZNE GREDE

- Armiranobetonske obodne vezne grede

- Ugradnja

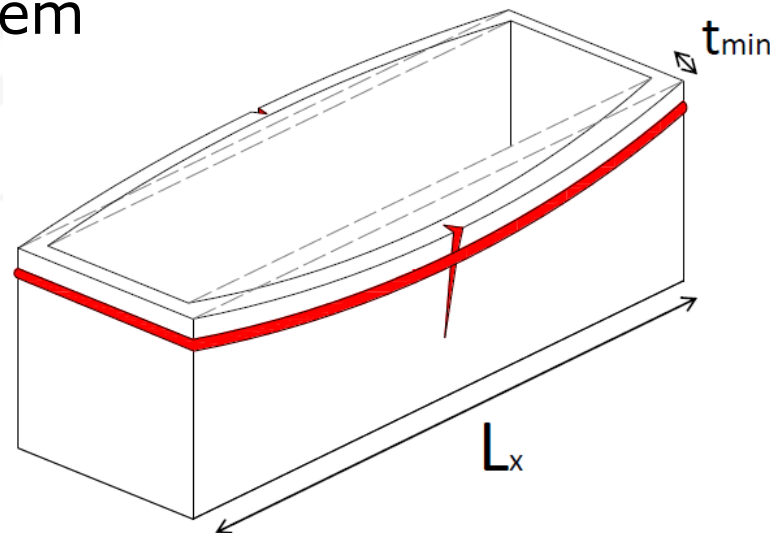
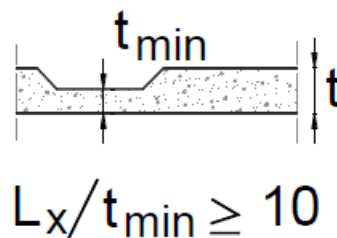
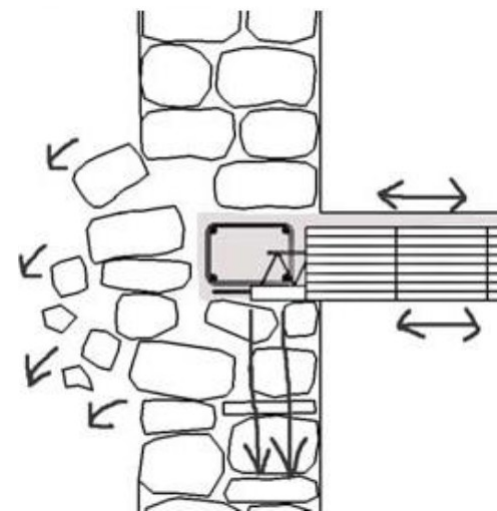
- na cijeloj debljini zida – krovne

- dijelu debljine zida – stropne

- moguća su oštećenja zidova

- ekscentricitet / potencijalni problem

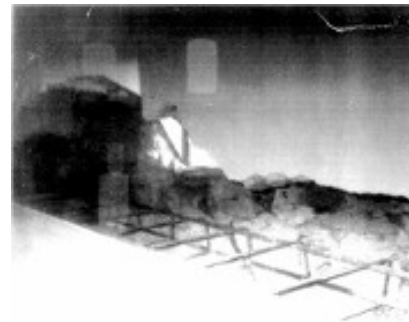
- nisu djelotvoran zahvat ojačanja ako su zidovi vitki



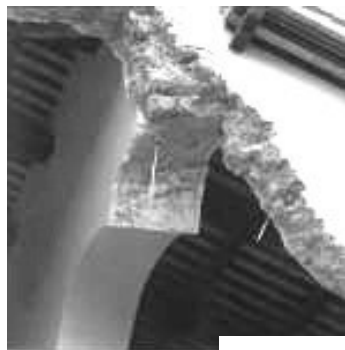
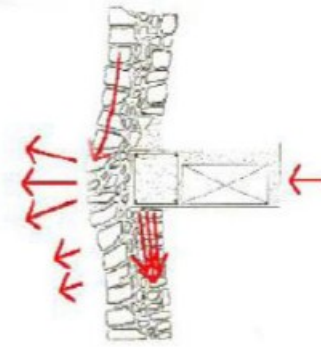
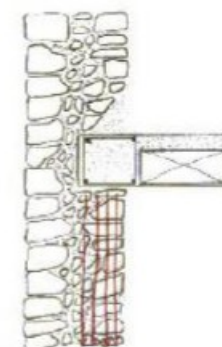
2. Učinci povezivanja dijafragmi i ukrućivanja TDK u ravnini

- **Armiranobetonske obodne vezne grede**

- problematični aspekti primjene
 - djelomični ekscentricitet – oštećenja zidova prati nepovoljna preraspodjela sila u slučaju dinamičke pobude
 - povezanost sa zidovima

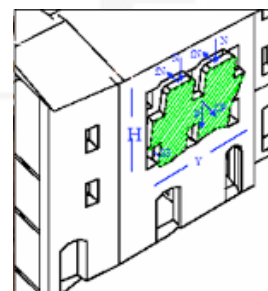


Ugradnja i učinak ekscentriciteta na mehanizam sloma

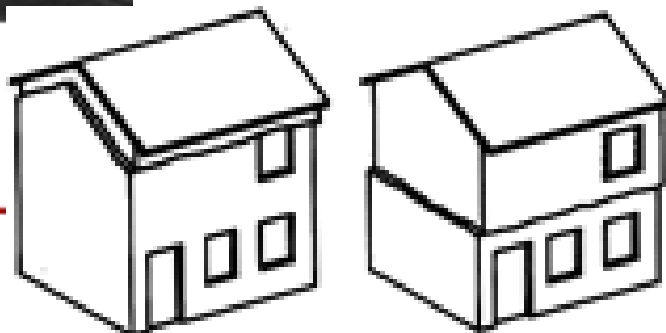


Veza krovne obodne vezne grede i zida

Problematična veza vezne grede i zida



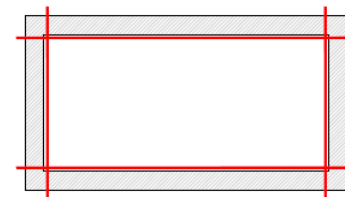
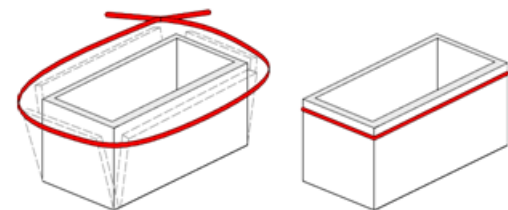
Mehanizam sloma izvan ravnine



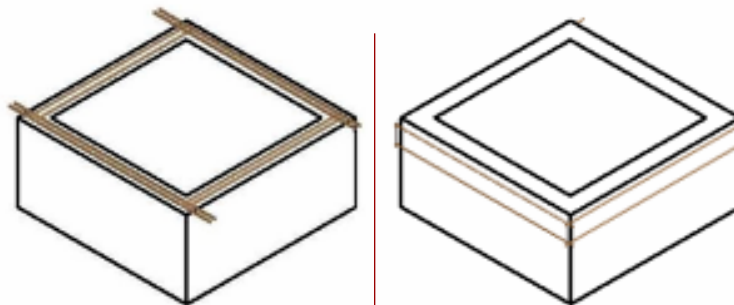
• Ojačanja "starih" zidanih zgrada – OBODNE VEZNE GREDE

• Drvene obodne vezne grede

- manje invazivna metoda ojačanja – prikladna i za zgrade povijesnog značaja
- zanemariv učinak na dinamičko ponašanje zidova u elastičnom području
- povoljan utjecaj na ponašanje zidova izvan ravnine nakon otvaranja pukotina
- rezultati ispitivanja (Getty Seismic Adobe Project, 2006)
 - čvrstoća i krutost drvene obodne vezne grede – dostatne za prijenos opterećenja na zidove u ravnini potresnog djelovanja



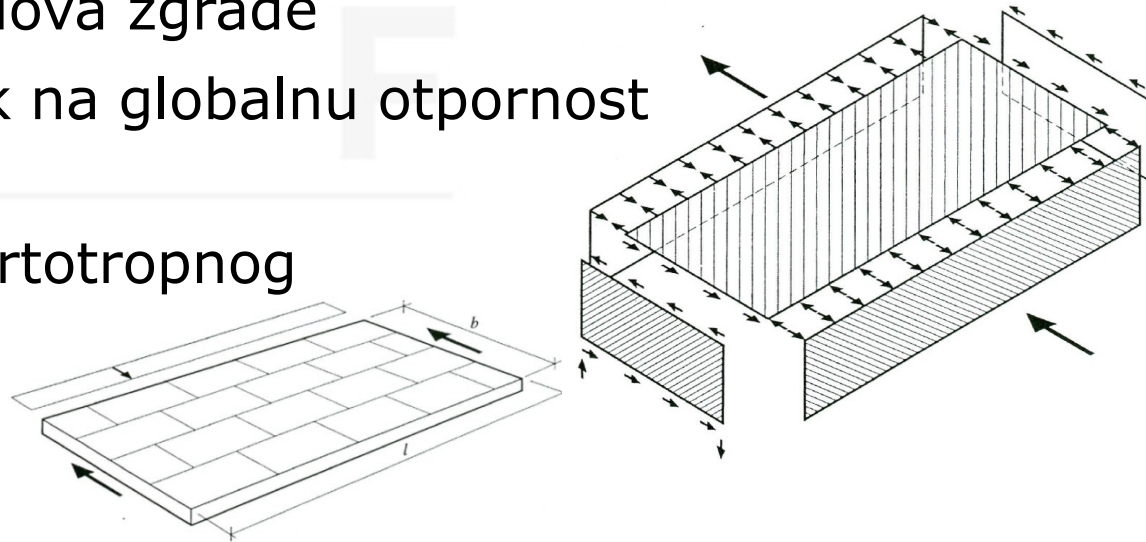
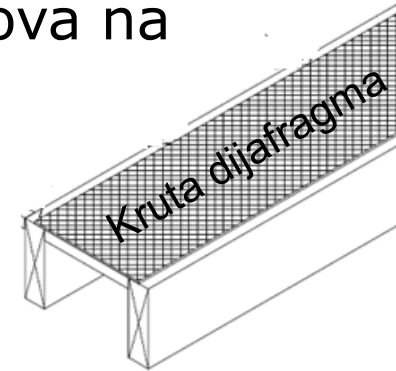
– Drvene vezne grede /
tradicijska konfiguracija



*Varijanta nepalske
narodne tehnike –
uključuje i dodatne
vertikalne drvene
zatege u svakom uglu*

Potresni odziv zidanih zgrada s fleksibilnom / ukrućenom SD

- Poželjni "sandučasti" mehanizam odziva – prijenos horizontalnih sila u smjeru pobude (otpornost zidova na bočne sile nije velika)
- UKRUĆIVANJE TDSK u ravnini (posmično) i odgovarajući priključci na obodno zide
 - omogućavaju distribuciju potresnog djelovanja između vertikalnih zidova zgrade
 - imaju povoljan učinak na globalnu otpornost i robusnost zgrade
 - umanjuje se učinak ortotropnog potresnog odziva konstrukcije stropa



Ukrućene stropne dijafragme – prijenos posmika od horiz. djelovanja na zidove

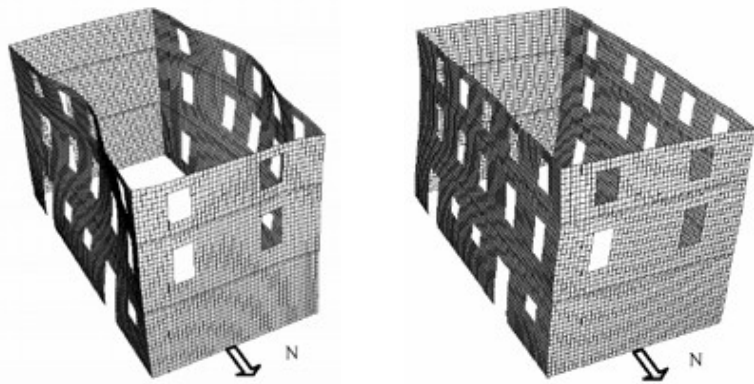
Potresni odziv zidanih zgrada s fleksibilnom / ukrućenom SD

- Transformacija fleksibilnog stropnog sustava u sustav koji je krut u ravnini – mijenja preraspodjelu horizontalnih djelovanja preko zidova
- učinci su pozitivni ili negativni – ovisno o geometriji i tipologiji konstrukcije te o mehaničkim svojstvima materijala
- Uzroci nepovoljnih učinaka:
 - ukrućenje TDSK bez pratećeg ojačanja / poboljšanja mehaničkih karakteristika nosivih zidova.
 - kombiniranje materijala vrlo različitih krutosti (nekompatibilni) – uzrok abnormalnog i krkog ponašanja pri dinamičkoj pobudi (potres).

Potresni odziv zidanih zgrada s fleksibilnom / ukrućenom SD

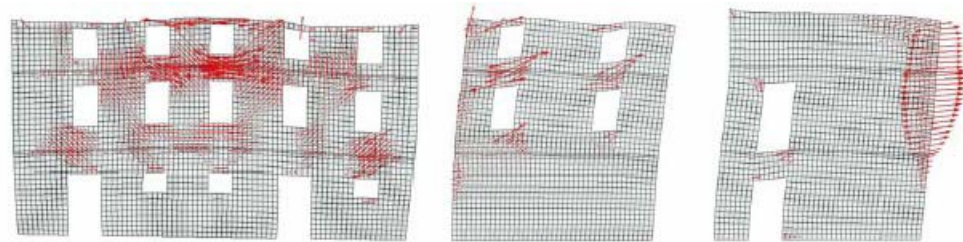
Uloga horizontalne dijafragme i priključaka na zidove u razvoju lokalnih / globalnih mehanizama otkazivanja

Numeričke simulacije ponašanja – mehanizmi otkazivanja zidova u ravnini (paralelno potresnoj sili)

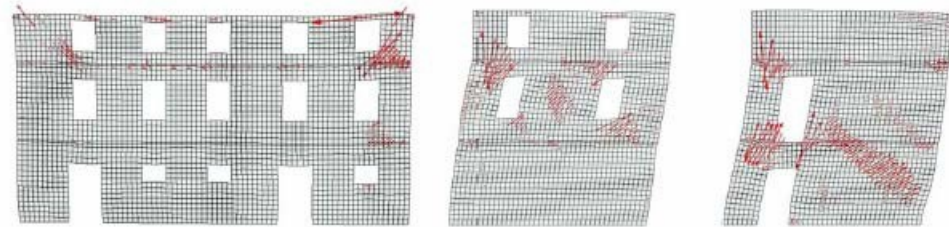


a) *Fleksibilna SD* b) *Ukrućena SD*

Ukrućivanje dijafragme ali bez pratećeg ojačanja zidova – (“drugi mod sloma”)



c) *za fleksibilnu stropnu dijafragmu*

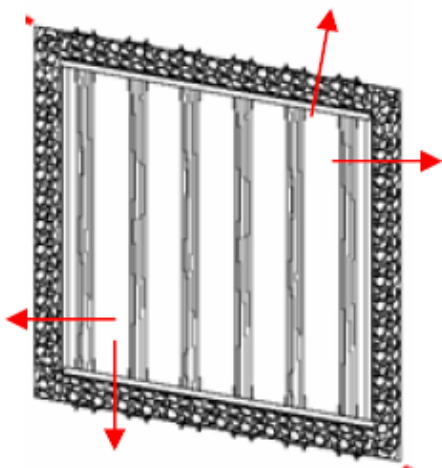


d) *za ukrućenu stropnu dijafragmu*

Potresni odziv zidanih zgrada s krutom SD

- Posljedice kombinacije krute stropne dijafragme i loše veze sa zidovima – aktivacija torzijskih mehanizama urušavanja
- ovisno o ekscentričnosti između težišta i središta krutosti

Rezultat ograničene rotacije Uglovno deformiranje zidova i izbijanje uglova zidova izvan ravnine



a) koncentracija vanjskih sila u uglovima

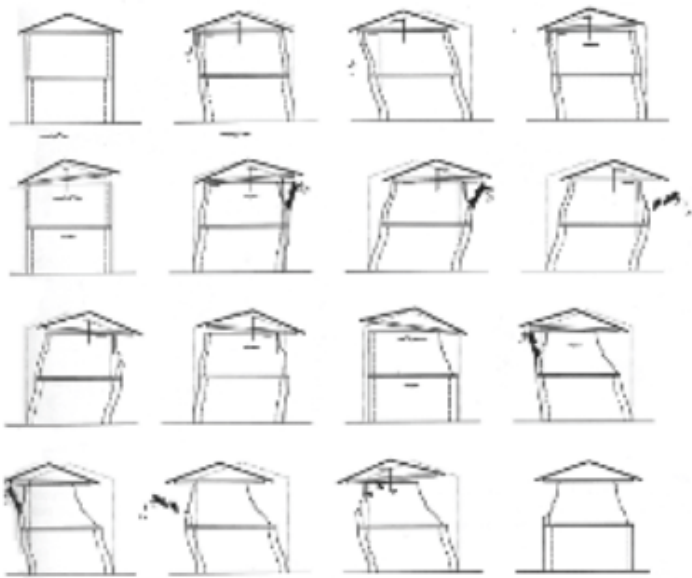


b) nepoželjni mehanizmi urušavanja – izbijanje uglova zgrade



2. Učinci povezivanja dijafragmi i ukrućivanja TDK u ravnini

- Povećanje težine i krutosti stropa / krova – uzrok povećanja horizontalnih potresnih sila i pratećeg urušavanja zidova
- poremećaj prirodnog / vlastitog dinamičkog odziva zida (kruta krovna obodna vezna greda) – uzrok porasta naprezanja u zidu
- nekompatibilne krutosti dijelova konstrukcije zgrade



Primjeri posljedica ojačanja s krutim stropnim / krovnim dijafragmama i neodgovarajućim priključcima na zidove (Umbria-Marche, potres 1997.)

Potresni odziv zidanih zgrada s fleksibilnom SK

- Analogija ojačavanja tradicijskih drvenih krovišta
 - transformacija krovnih ploha u dijafragme – “sandučasti” odziv
 - prilagodba oslonaca – elastično oslanjanje na zidove koje će:
 - (1) apsorbirati horizontalne potiske – prenositi samo vertikalna opterećenja na ravninu zida,
 - (2) raspodijeliti moguća koncentrirana opterećenja;
 - (3) spriječiti aktiviranje mehanizma prevrtanja zidova izvan ravnine



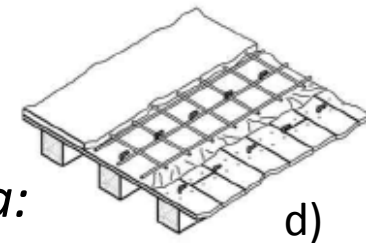
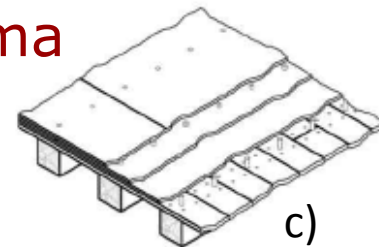
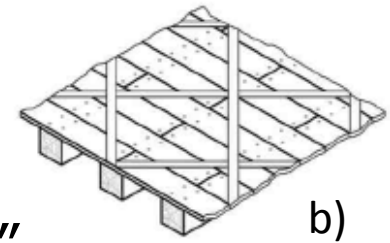
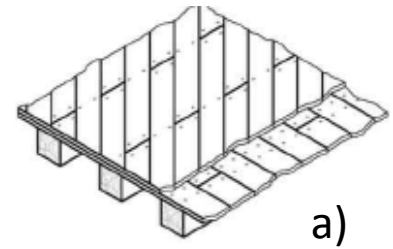
Emilia (2012) i L'Aquila (2009)



Urušavanje zbog: a) neuravnoteženja horiz. potiska krovišta, b) fleksibilnosti krovišta / ne aktivira se “sandučasti” odziv

3. Pregled i diskusija zahvata i tehnika za poboljšanje krutosti TDSK u ravnini (posmična)

- Krutost TDSK u ravnini – OPĆE NAPOMENE
- Poboljšanja SAVOJNE krutosti (izvan ravnine) – uporište u teoriji kompozita drvo – drvo/beton
- **Ocjena i poboljšanje krutosti U RAVNINI**
 - analitički postupci i smjernice – **donekle razrađeni** za NOVE TIPOLOGIJE KONSTRUKCIJA
 - za POSTOJEĆE KONSTRUKCIJE (posebno “stare” / povijesne i graditeljsku baštinu) – **otvorena tema i aktualna zbog učinka na potresnu otpornost**
- Tehnike ojačanja TDSK – ireverzibilne i reverzibilne (prednost za povijesne zgrade i baštinu)



Reverzibilne (od a) – do c)) i ireverzibilne (d) tehnike ojačanja:

a) križno ili okomito daskanje na postojeće podne daske

b) čelične ili FRP križne trake (s mogućim dodatkom gornjeg sloja dasaka);

c) troslojne drvene ploče (furnirske / OSB); d) arm.betonska ploča

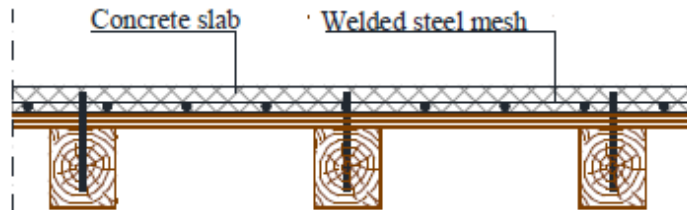
• Konstrukcijski zahvati / tehnike ojačanja

Vrsta intervencije – ojačanje TDSK	Reverzibilna	Tehnologija	Vrsta konstrukcije	Poboljšanje konstrukcijskih značajki i ponašanja	
				izvan ravnine* (nosivost na savijanje i krutost)	u ravnini** (posmično)
s armiranobetonskom pločom	NE	VLAŽNA	STROPNA	DA	DA
s prirodnim hidrauličnim vapnom (NHL) i FRP mrežom	DA	VLAŽNA	Stropna / krovna	NE	DA
s dodatnim daščanim slojem	DA	SUHA	Stropna / krovna	DA	DA
s višeslojnim drvnim pločama	DA	SUHA	Stropna / krovna	DA	DA
s čeličnim profilima	DA	SUHA	Stropna / krovna	DA	DA
s FRP-om	DA	VLAŽNO – SUHO	Stropna / krovna	DA	DA
*	nedostatna krutost greda na savijanje, vidljivi progibi, pretjerane vibracija (strop) / GSU, nedostatna nosivost zbog uočenih oštećenja sustava / elemenata / spojeva (mehanička, propadanje materijala i sl.) / GSN				
**	nedostatna krutost i nosivost / sposobnost prijenosa potresnih sila na zidove				

2. Pregled i diskusija zahvata i tehnika za poboljšanje krutosti TDSK u ravnini

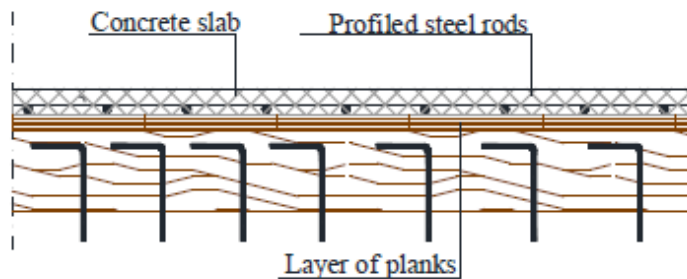
• Zahvati i tehnike – sprezanje s arm.betonskom pločom

Cross section:

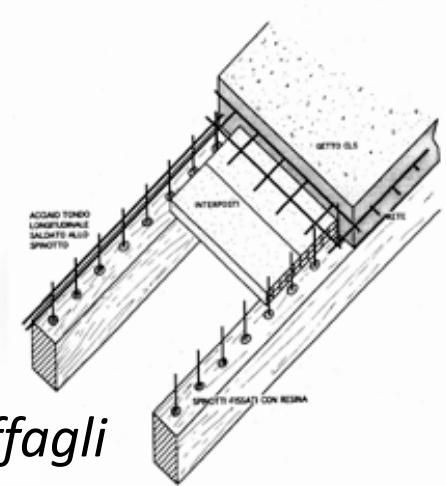
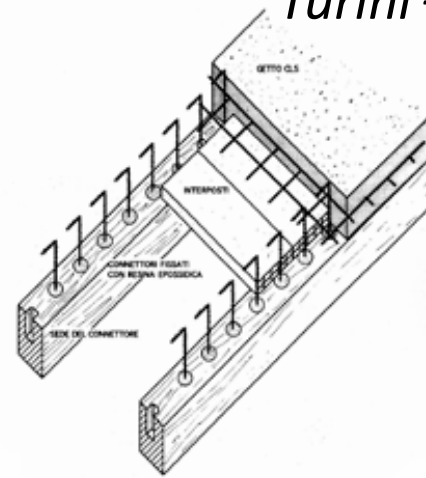


EN 1995

Longitudinal section:

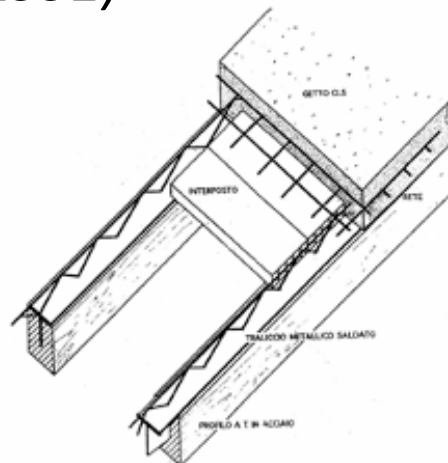
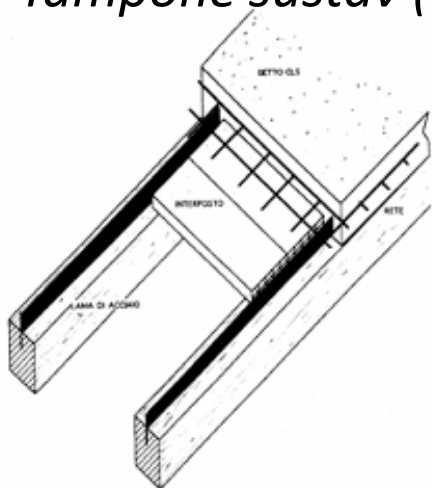


Turini – Piazza tehnika (1983)



Alessi, Lamorgini, Raffagli sistem (1989)

Tampone sustav (1992)

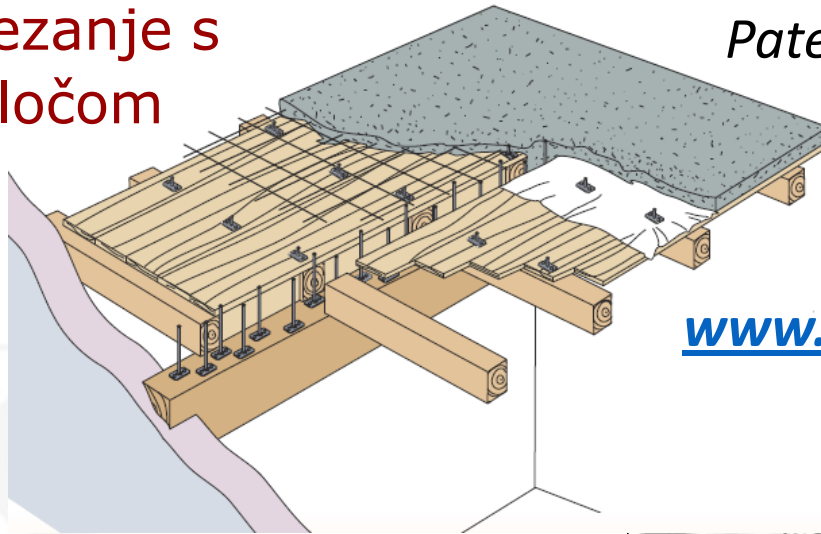
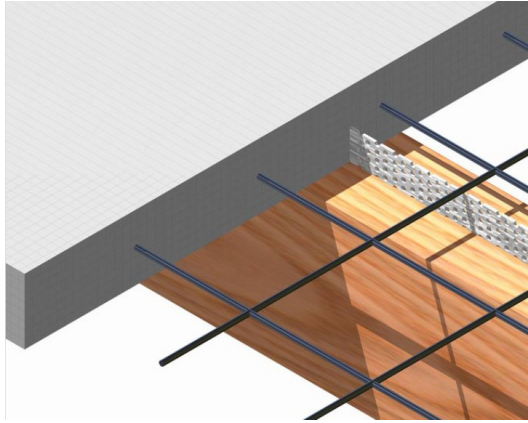


- Učinke primjene treba procijeniti i s obzirom na raspodjelu opterećenja na zidove (ojačanja zidova i temelja) te povećanja vlastite težine stropne konstrukcije i na porast potresnih sila.

2. Pregled i diskusija zahvata i tehnika za poboljšanje krutosti TDSK u ravnini

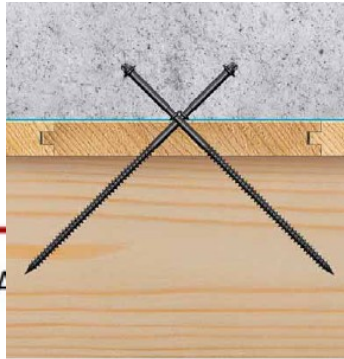
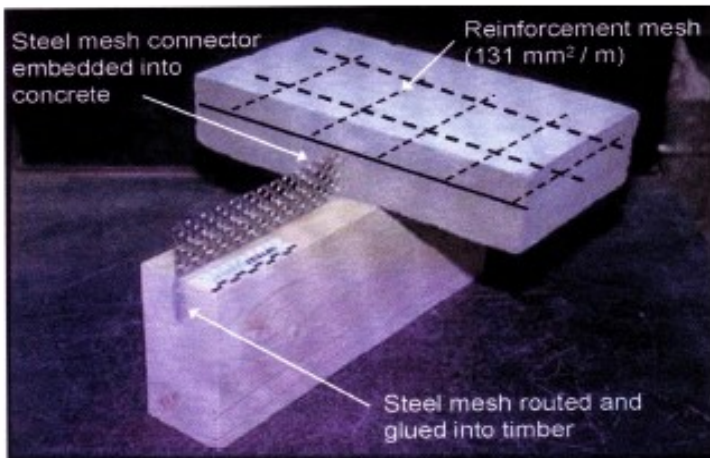
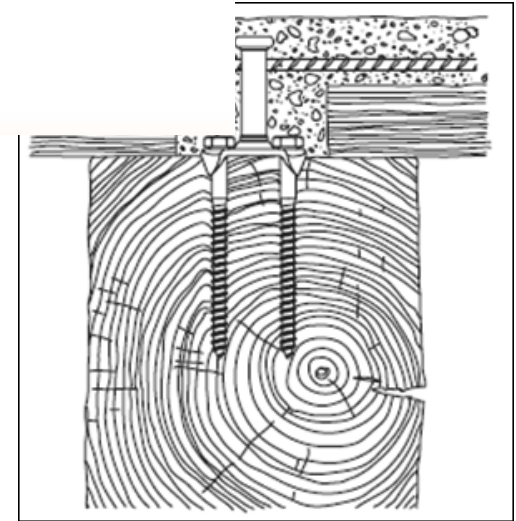
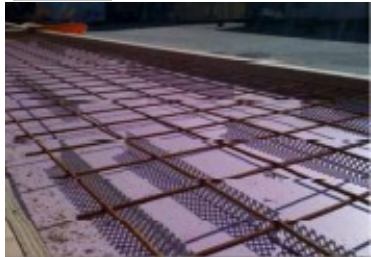
- Zahvati i tehnike – sprezanje s armirano-betonskom pločom

HBV® - Systeme
Innovationen in Holz-Verbundbauweise



Patentirani sustavi
– prikladni i za
„in situ”
izvedbu

www.tecnaria.com

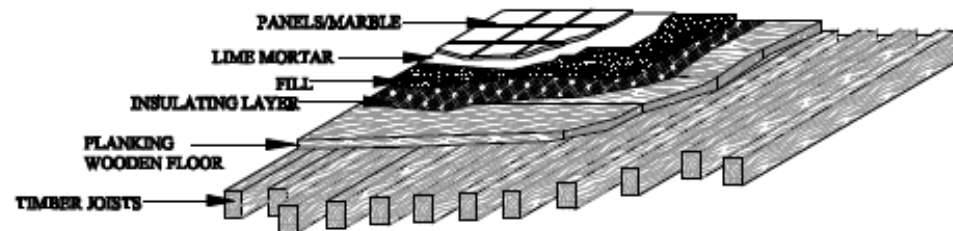


VB sustav

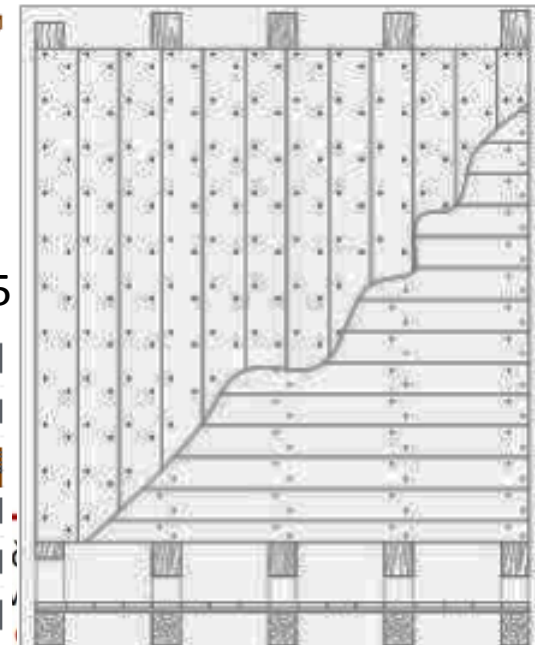
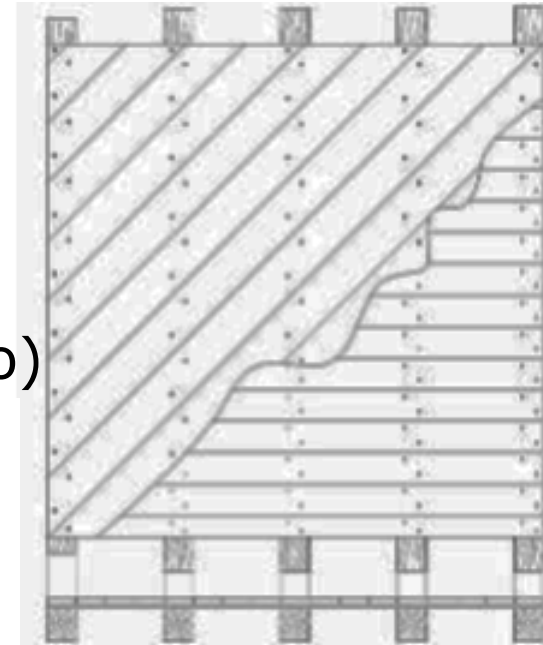
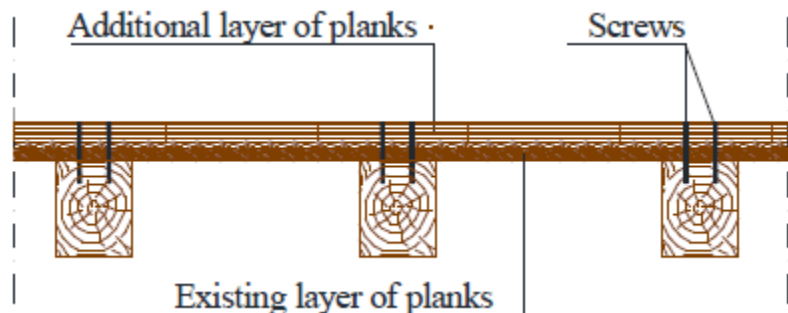
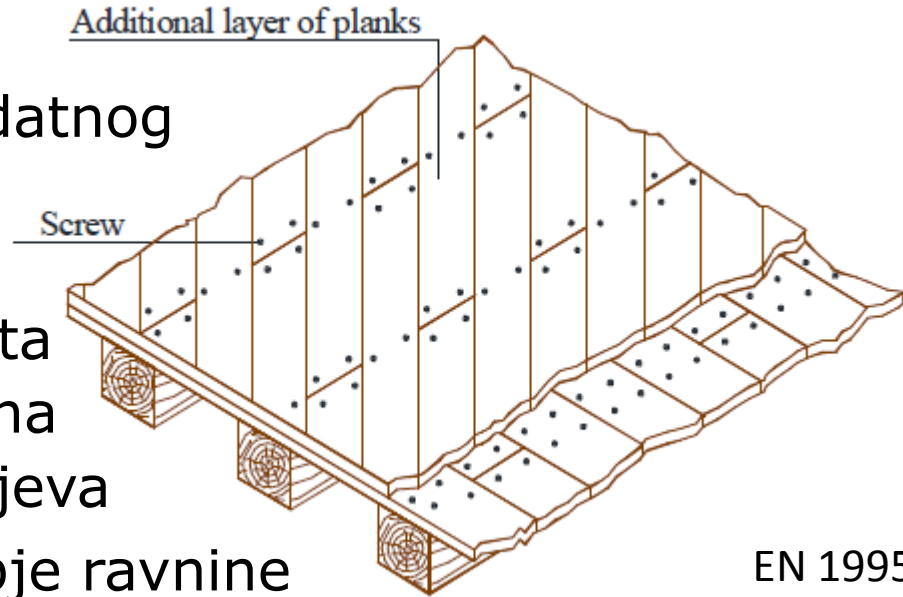
www.sfsintec.biz

2. Pregled i diskusija zahvata i tehnika za poboljšanje krutosti TDSK u ravnini

- Zahvati i tehnike – ojačanje s armiranom NHL pločom (mort s prirodnim hidrauličnim vapnom)
- Usporedba sa tehnikom sprezanja s arm.betonskom pločom
 - manje invazivna / reverzibilna i kompatibilnija s izvornom SK
 - prikladna je i za ojačanja stropnih konstrukcija u zgradama koje su graditeljska baština te za ojačanja krovišta
 - armatura mora biti otporna na alkalni sastav morta
 - spajala za sprezanja s postojećim drvenim gredama – manji promjer (zbog prevencije izvijanja tlačnog sloja morta)
 - debljina sloja morta – od 3 cm do 4 cm
- Mehanička svojstva (nakon očvršćavanja): $f(28)c \approx 15 \text{ Mpa}$; $E28 \approx 16000 \text{ MPa}$
- kad se zahtijeva povećanje nosivosti i krutosti na savijanje tehnika se mora kombinirati s nekim drugom neinvazivnom tehnikom



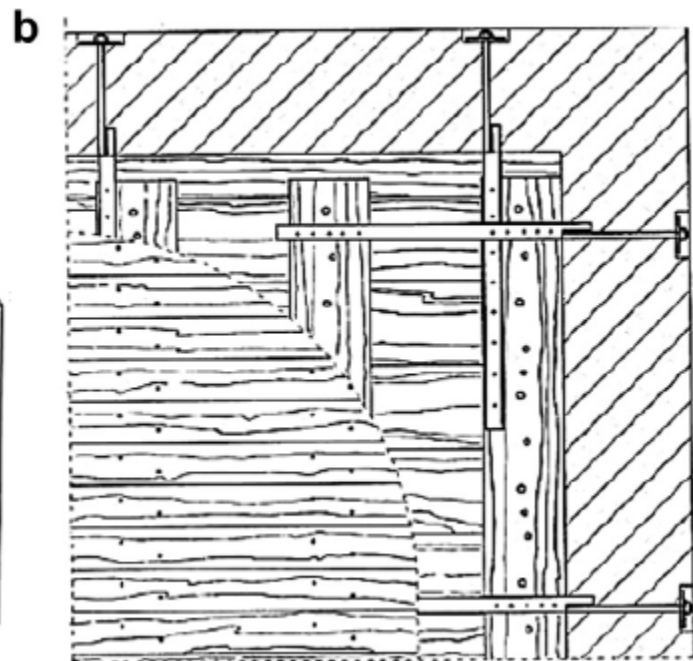
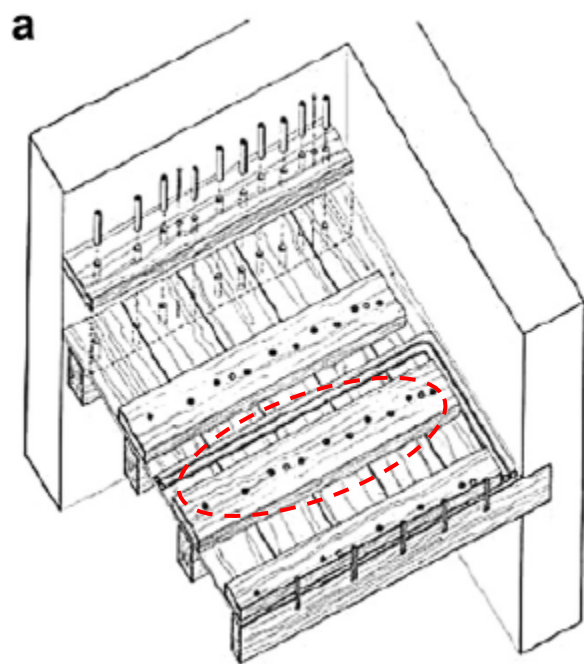
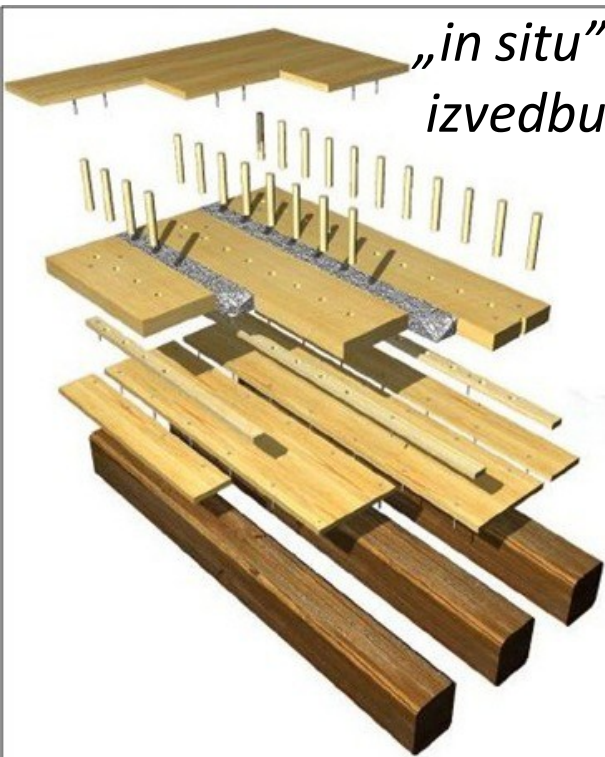
- Zahvati i tehnike – ojačavanje TDSK primjenom DRVA I DRVNIH PLOČA
- Dodatni sloj daska (suhe / impregnirane) debljine min. 30 (40) mm iznad postojećeg daščanog poda (efekt T-presjeka drvo – drvo)
- Dijagonalni raspored dodatnog sloja – bolja tlačna otpornost, ista tlačno / vlačna nosivost spojeva
- Krutosti u obje ravnine – bolje u odnosu na ojačanja čel. dijagonalnim trakama



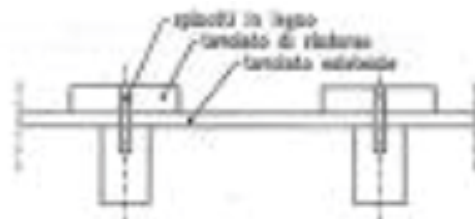
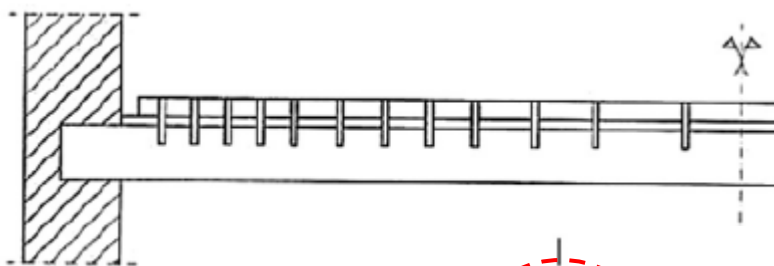
2. Pregled i diskusija zahvata i tehnika za poboljšanje krutosti TDSK u ravnini

- Zahvati i tehnike – ojačavanje TDSK primjenom DRVA

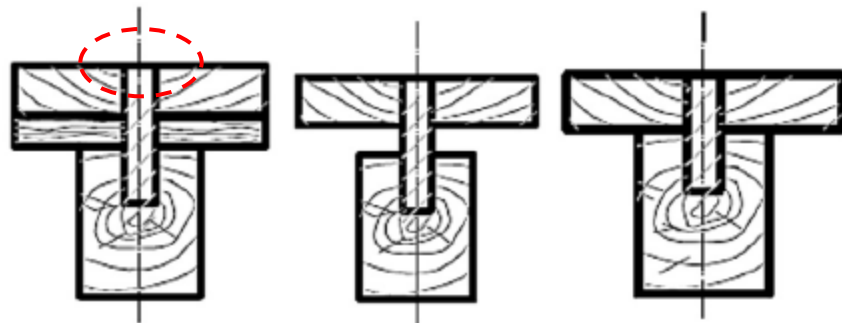
Patentirani sustavi za „in situ” izvedbu



www.unibs.it/centrosismo/schede



EN 1995



Metalni trnovi ili od tvrdog drva – poprečni presjeci i opterećenje na spajala

- Zahvati i tehnike – **ojačavanje TDSK višeslojnim DRVNIM PLOČAMA**

- Višeslojne drvene ploče iznad postojećeg daščanog poda

- OSB i furnirske ploče debljine 15 mm – 30 mm

- povezivanje ploča – čelične trake, vijci za drvo, profilirani čavli

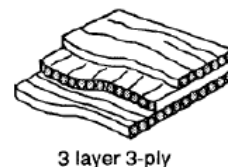
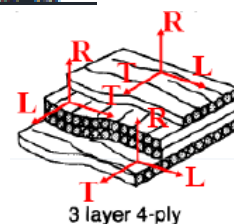
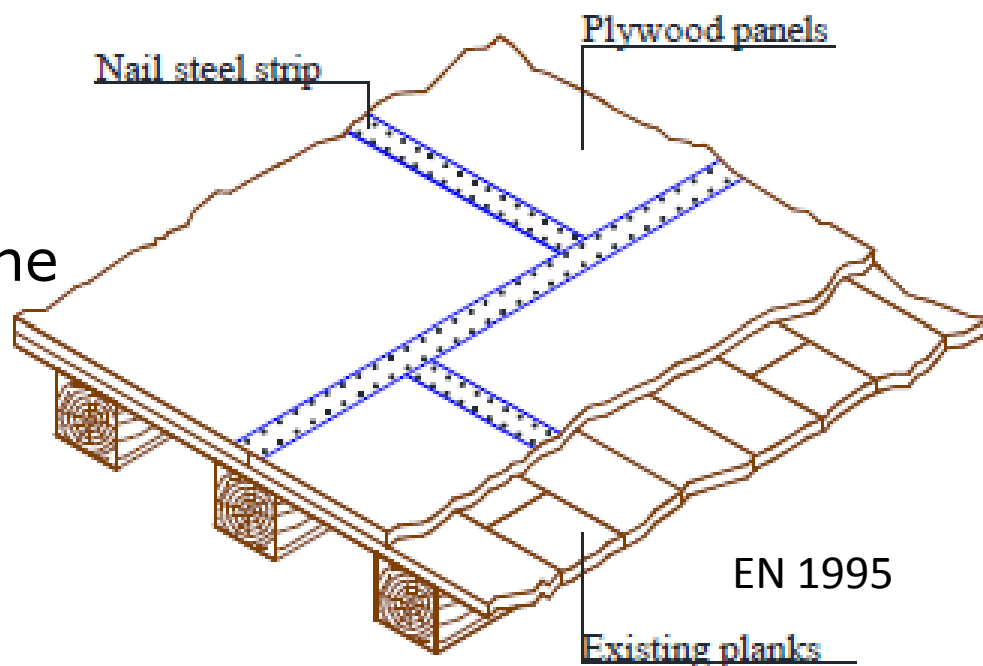
- Prednosti su:

- brzina polaganja / vlastita težina, neinvazivnost

- ukrućenje u obje ravnine

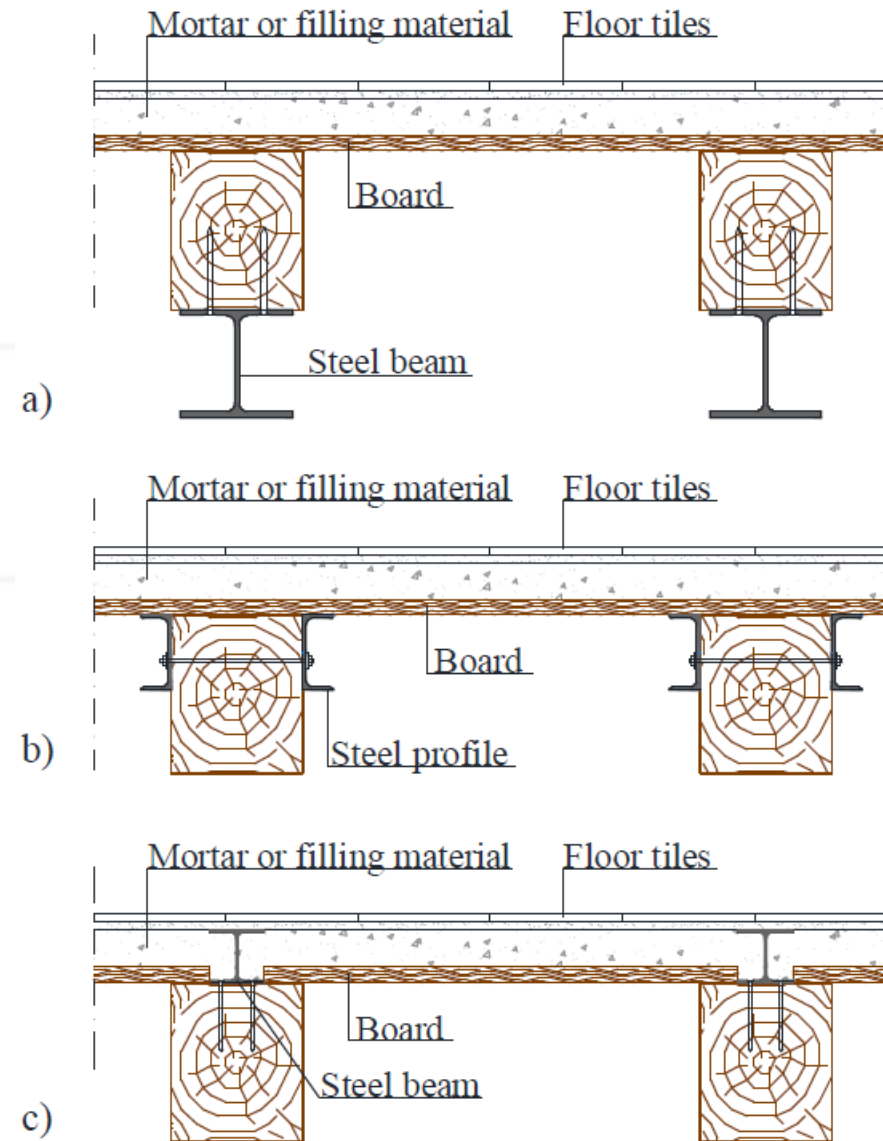
- prilagodljivost i za stropne i krovne sustave

- Priključak na zidove – elastično, preko čeličnih L-profila



- Zahvati i tehnike – ojačavanje TDSK dodatnim ČELIČNIM ELEMENTIMA
- Opcije ojačavanja postojećih stropnih greda s čeličnim profilima (npr. HE, IPE, UPN, ...)
- poboljšanje nosivosti za vertikalna djelovanja (uporabno opterećenje)

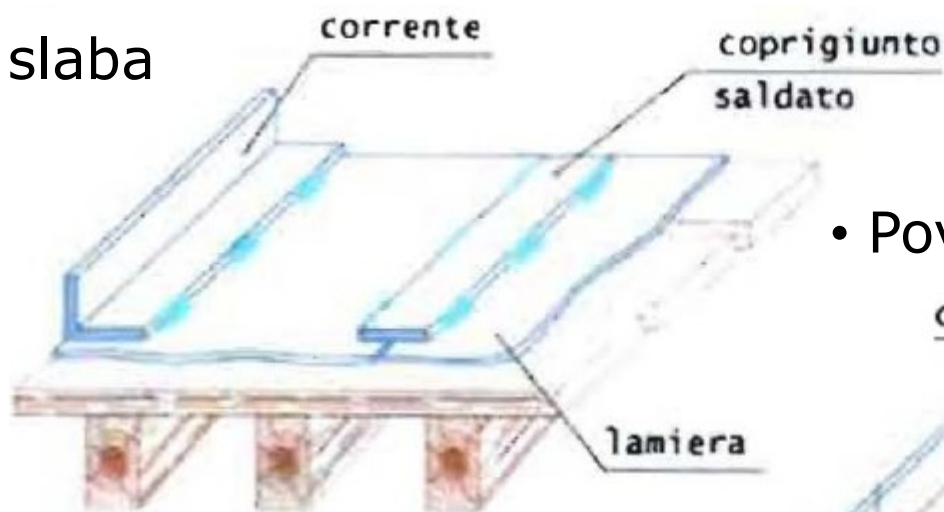
Priključci čeličnih profila – intrados / ekstrados stropnih greda i bočno



- Zahvati i tehnike – ojačavanje TDSK dodatnim ČELIČNIM ELEMENTIMA

- Spojevi – dodatna slaba točka

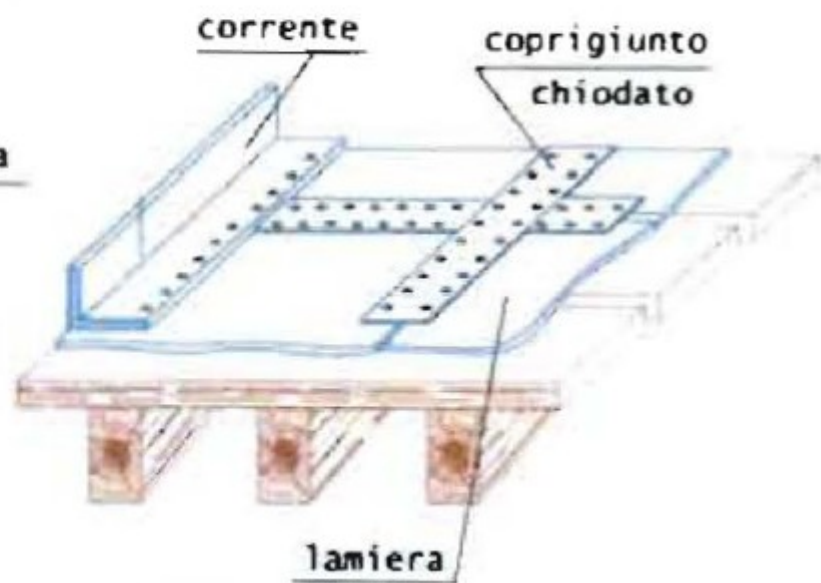
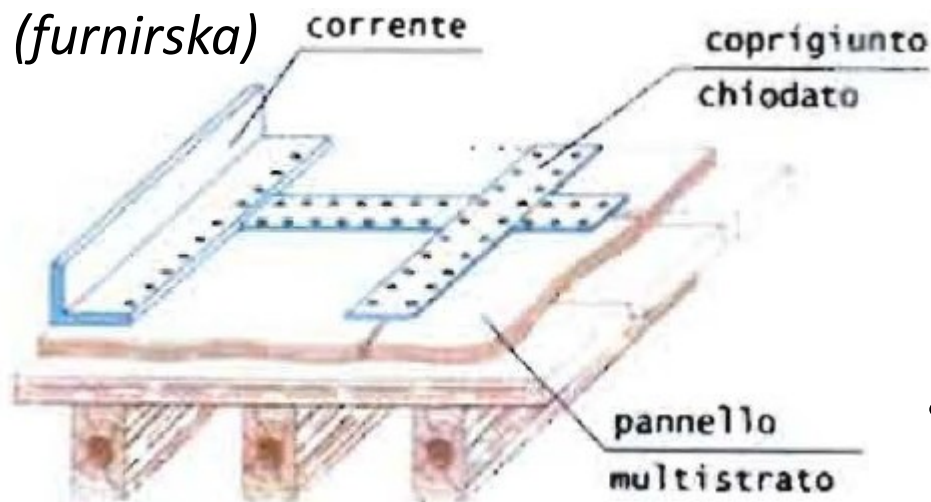
Čelične ploče čavlane na daske TDSK i dodatne čelične trake – zavarene / čavlane (Giuriani & Plizzari, 2003)



- Neekonomična tehnika

- Povećana vlastita težina

Racionalnije rješenje s višeslojnom drvnom pločom (furnirska)

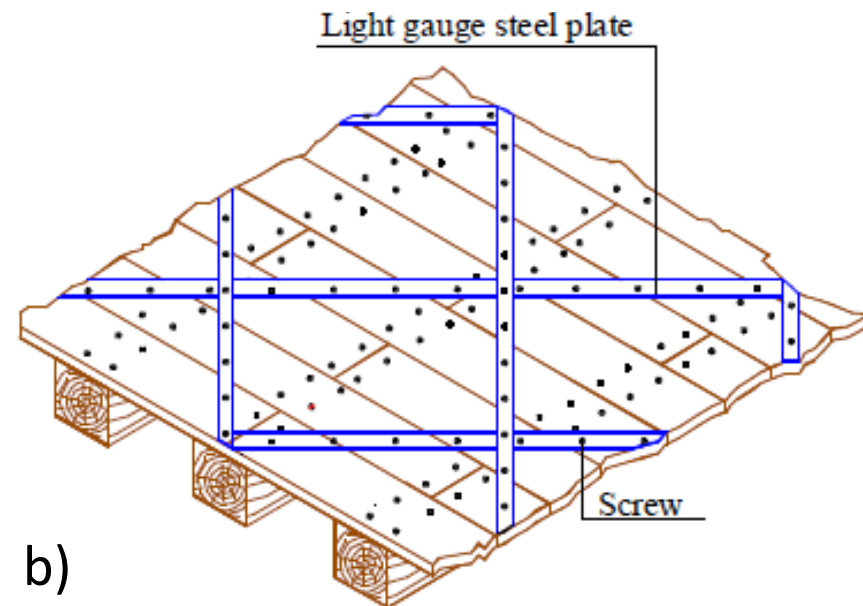
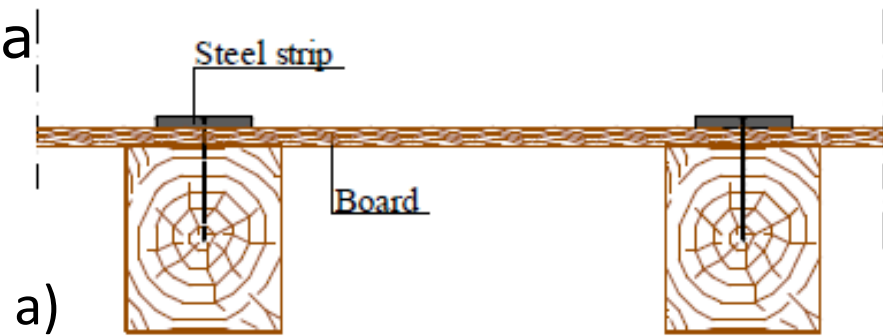


- Prikladno samo za pravilne / jednostavne geometrije

2. Pregled i diskusija zahvata i tehnika za poboljšanje krutosti TDSK u ravnini

- Zahvati i tehnike – ojačavanje TDSK dodatnim ČELIČNIM ELEM.
- Ojačanja s križnim čeličnim trakama
 - ekonomična ojačanja / nisu jako invazivna / reverzibilna su i brzo se izvode – balans učinka ojačanja i povećanja vl. težine
 - trake – efekt rešetkastog sprega
 - $MoE_{st} \gg MoE_{drva}$ (spajala !!!)

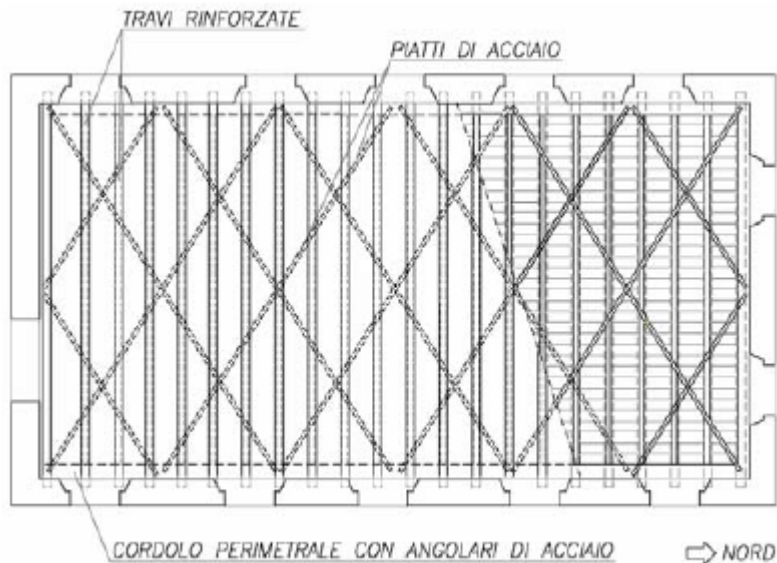
Trnovi zabijeni u grede i zavareni na čel. trake $\neq 10$ mm (Gattesco, 2006)



– Ortogonalne trake ($\neq 2$ (3) / 80 mm, 45°)
– čavlane ili spojene vijcima za drvo

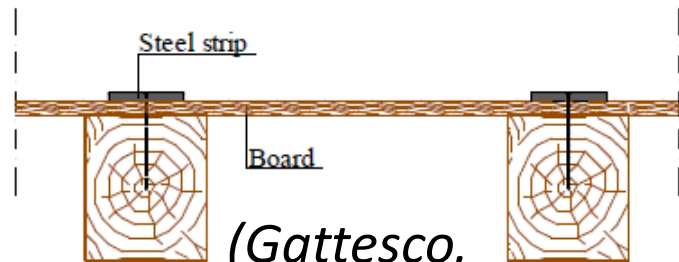
2. Pregled i diskusija zahvata i tehnika za poboljšanje krutosti TDSK u ravnini

- Zahvati i tehnike – ojačavanje TDSK dodatnim ČELIČNIM ELEMENTIMA

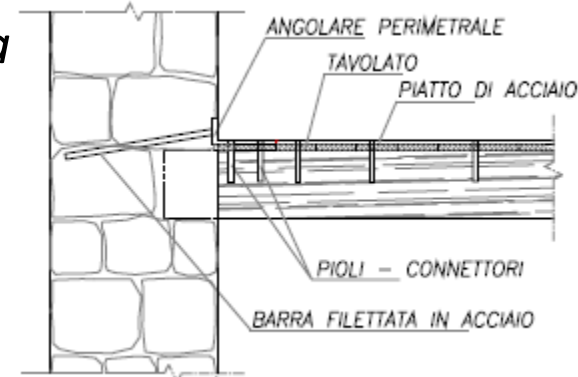


- Ojačanja s križnim čeličnim trakama

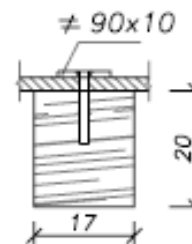
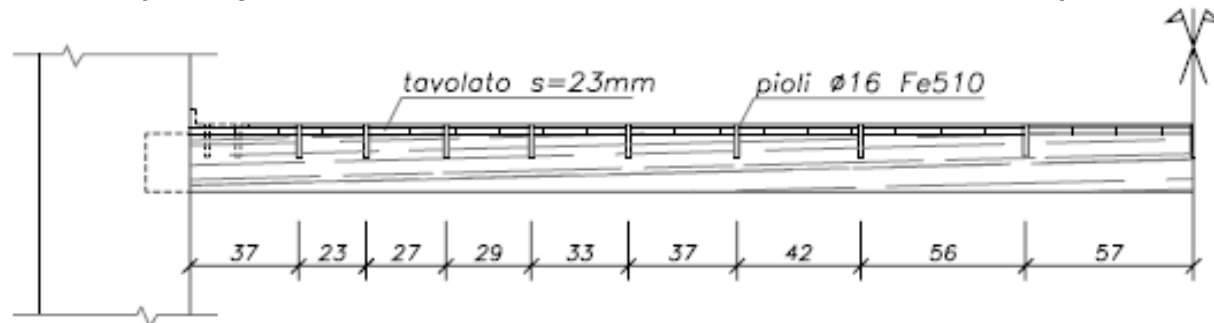
Podatljivi T-presjek:
čelična ploča – greda
sprezanje trnovima
($t \geq 7d$, u gredi)



(Gattesco, 2006)



- Čelični L-rubnik s navarenim trakama – čeličnim šipkama pričvršćen za zid / rupe u zidu ispunjene cementnim mortom s kompenziranom skupljanjem.



- Daščani pod – distancer (bez učinka na kompozit)

- Zahvati i tehnike – ojačavanje TDSK dodatnim ČELIČNIM ELEMENTIMA

- Konfiguracije ojačanja s križnim čeličnim trakama:

- dijagonalne ortogonalne trake ($\neq 80/2$ mm); $MoE_{st} \gg MoE_{drva}$

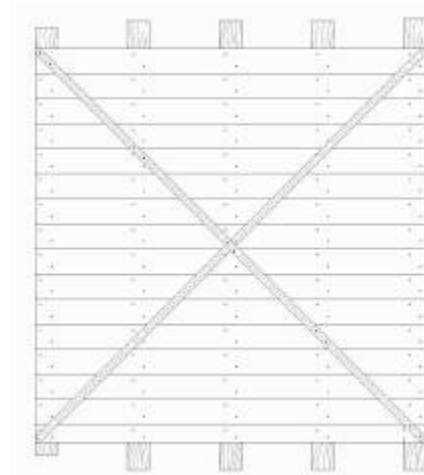
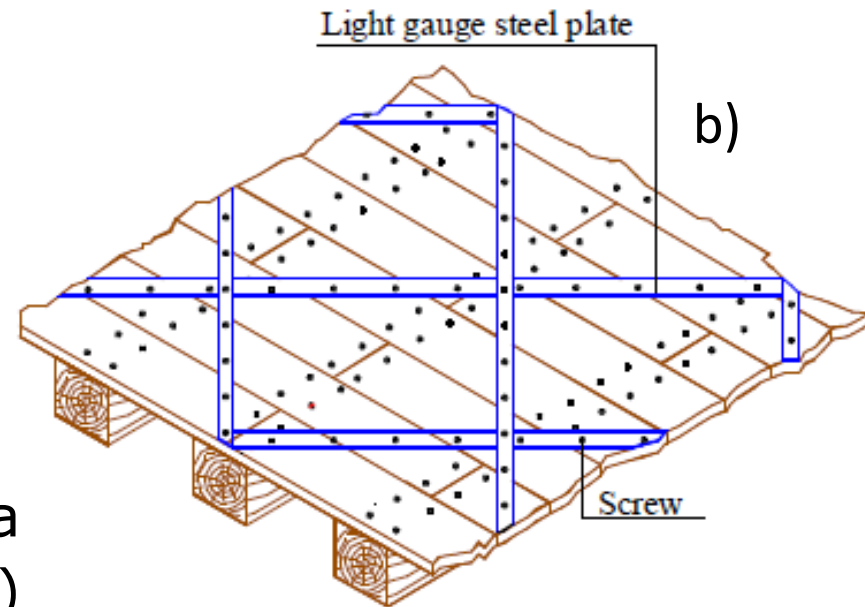
- spajala – vijci za drvo / čavli (apsorbiraju sile od deformiranja dijagonala / kruće su od dasaka)

- obvezna fiksiranja iznad greda – duktilnost ili absorpcija energije (nuspojave ojačanja)

- tehnika omogućava trošenje velike količine energije bez značajnog smanjenja otpornosti

- poboljšanje krutosti ojačane stropne konstrukcije na savijanje – zanemarivo

- moguća je i kombinacija s dodatnim slojem daske / pod



2. Pregled i diskusija zahvata i tehnika za poboljšanje krutosti TDSK u ravnini

- Zahvati i tehnike – ojačavanje FRP-om

- Vrste / tipologija:

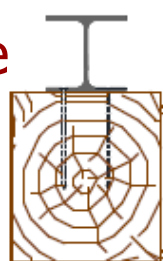
- pultruzijski oblici (staklena vlakna) – zahtijevaju sustav pričvršćenja sličan sustavu za čelične profile

- šipke i trake (ugljikova ili staklena vlakna) – lijepe se epoxy smolom

- Ojačani konstrukcijski elementi

- visoki omjeri:

- čvrstoća / vlastita težina
- krutost / vlastita težina

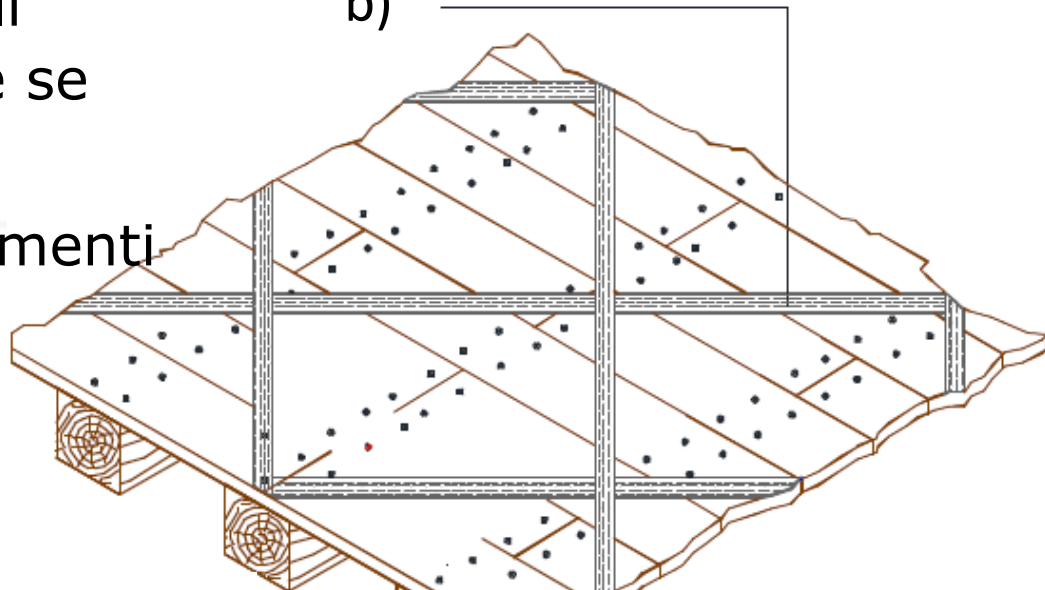


a)



b)

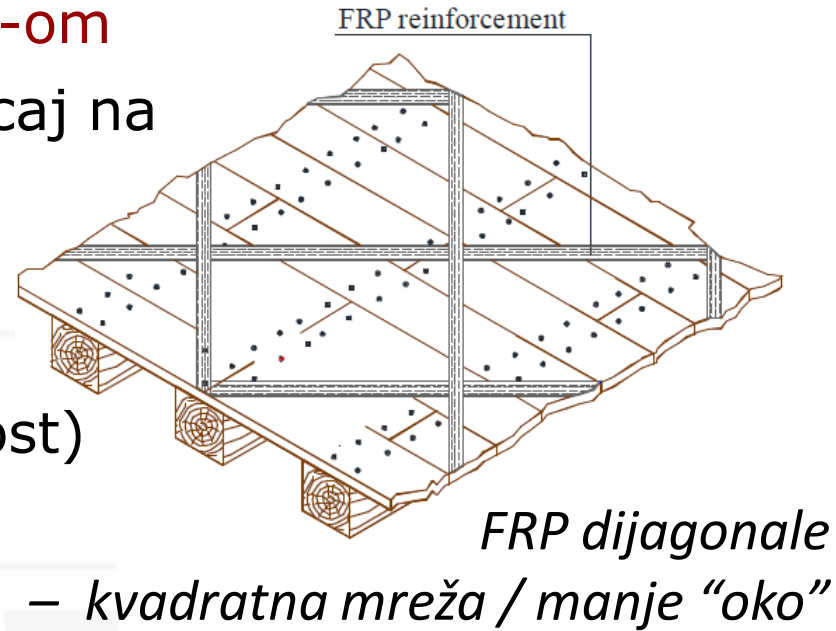
FRP reinforcement



“rešetkasto načelo”
– vlak (trake) / tlak (daske)

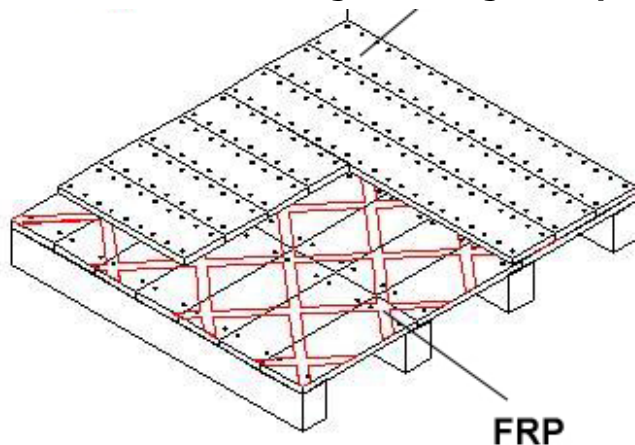
Tipične sheme za ojačanje FRP-om: a) izvan ravnine (savijanje greda); b) u ravnini SK

- Zahvati i tehnike – **ojačavanje FRP-om**
- Posebnosti primjene za drvo i utjecaj na mehaničko ponašanje kompozita:
 - lokalni utjecaj lijepljenog sučelja
 - odljepljivanje, ljuštenje ...
 - uvjeti okruženja (relativna vlažnost)
 - do 12% (10%) MC drva
 - dimenzijske promjene drva
 - prijanjanje,
 - trajnost polimernih smola
- Konfiguracija mreže
 - manji razmaci FRP traka – balans čvrstoće i krutosti
 - drveni dio kompozita – vlakna sloja samo u jednom smjeru, dostatna osna krutost i deformabilnost izvan ravnine

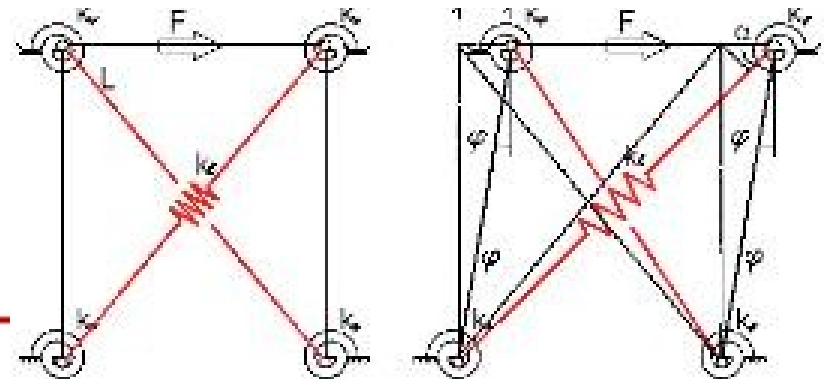


2. Pregled i diskusija zahvata i tehnika za poboljšanje krutosti TDSK u ravnini

- Zahvati i tehnike – ojačavanje FRP-om
- Praktična primjena – preporuke za drvene konstrukcije
- Materijal – GFRP (relativno malen MoE)
 - prikladan zbog "rada" drva i očekivanih pomaka stopa – nema pratećeg prekomjernog porasta naprezanja (lijepljeno sučelje)
- Proizvod – tkanina (prethodno impregnirana / role)
- "Zatvaranje" gornjim daščanim slojem
 - prevencija nestabilnosti tlačnog dijela kompozita, ujednačavanje ponašanja u oba glavna smjera
 - zaštita ojačanja i poboljšano prijanjanje

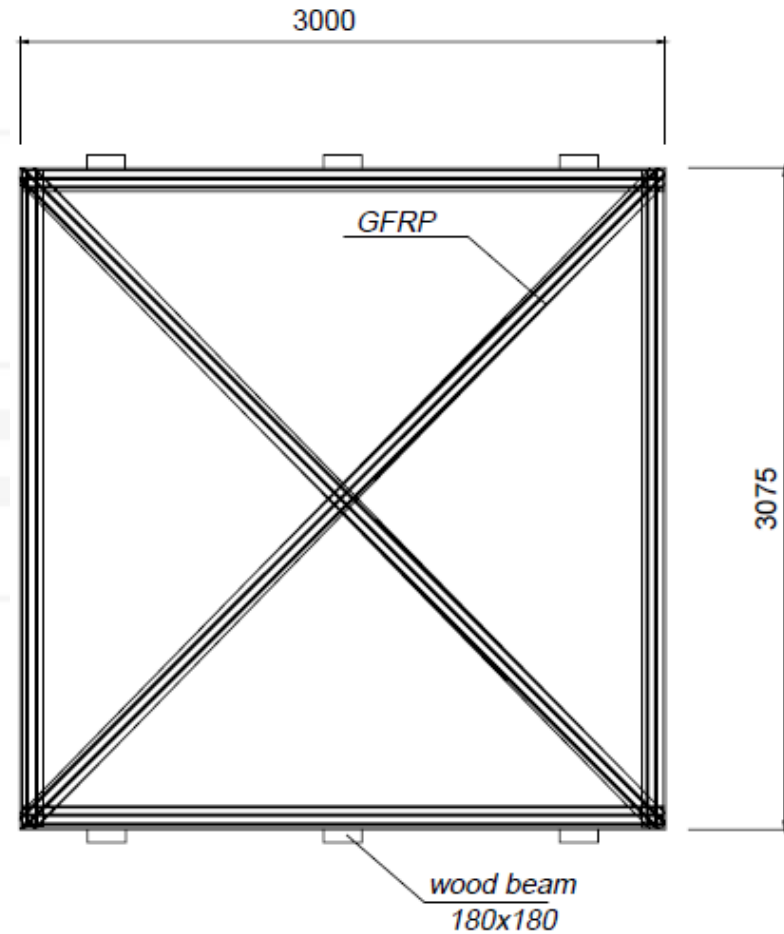
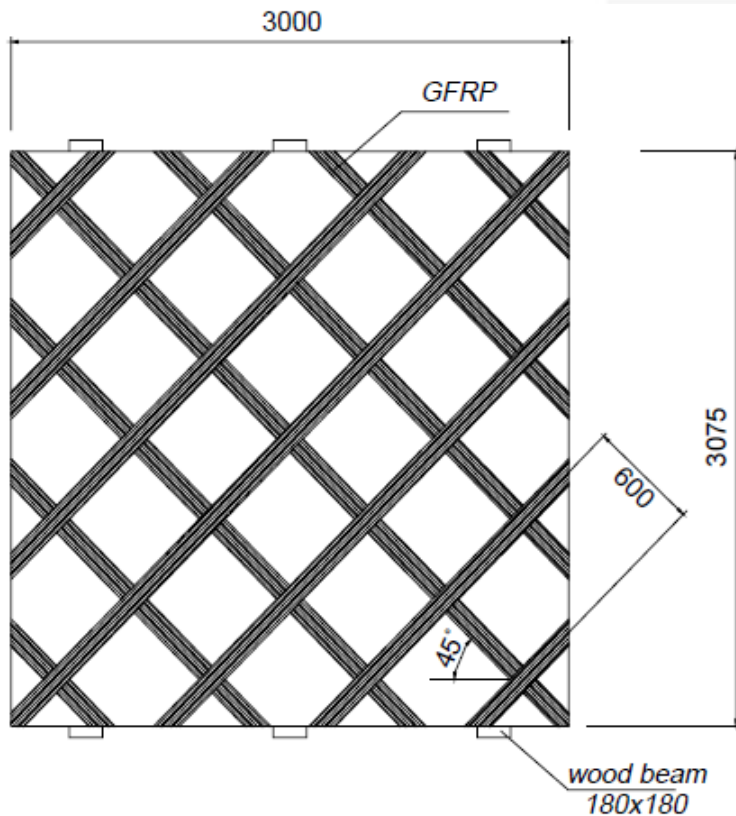


*TDSK ojačana
FRP-om*



Proračunski model

- Zahvati i tehnike – ojačavanje FRP-om
- Primjer primjene GFRP (Borri, 2004)
 - GFRP trake i dvo-komponentno epoxy ljepilo



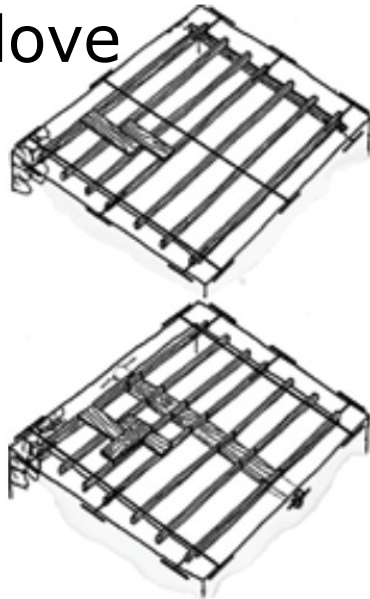
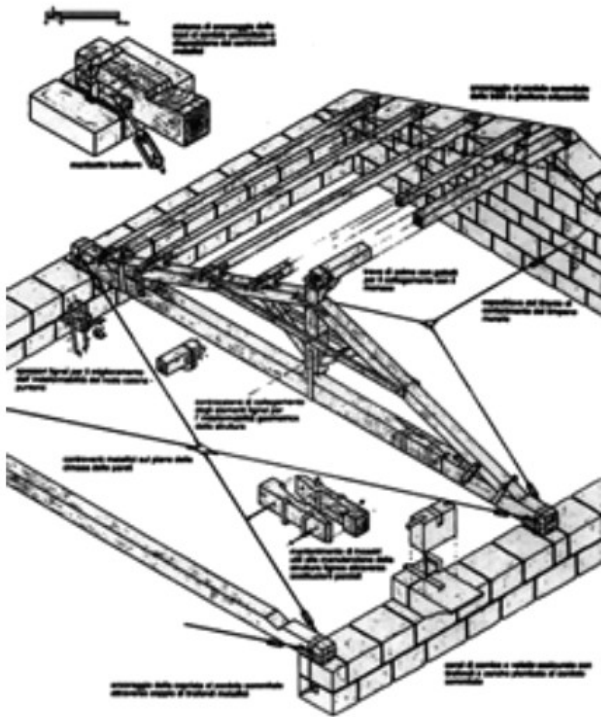
- Zahvati ojačanja – zaključne napomene
- **OCJENA DOPRINOSA POBOLJŠANJU POTRESNOG ODZIVA u odnosu na izvorno tradicijsku konfiguraciju** (Mirra i sur., 2020)
- Različite tehnike ojačavanja i materijali – dodatni sloj iznad postojećeg daščanog poda
 - od 3 – 10x za CLT (spoj vijcima) ili OSB (spojena čavlima ili vijcima za drvo)
 - od 5 to 15 x za primjenu tankih čeličnih traka (križne)
 - od 5 to 20 x za dodatni daščani sloj pod kutom od 45°
 - od 5 do 20 x za furnirsku ploču (čavli ili vijci za drvo)
 - od 25 do 100 x za primjenu FRP (GFRP) traka
 - Od 75 do 200 x za ojačanje armiranobetonskom pločom
- **NAPOMENA:** podatci prikupljeni iz recentnije literature: varijacije su rezultat iskazanih vrijednosti od strane autora, karakteristika izvorne konstrukcije, konfiguracije ojačanih uzoraka ispitivanja te pristupa i postupaka ocjene krutosti (nisu jednoznačni).

4. Priključci tradicijskih i ojačanih drvenih stropnih konstrukcija na zidove postojećih zidanih zgrada

4. Priključci tradicionalnih i ojačanih drvenih stropnih konstrukcija na zidove

- PRIKLJUČCI stropne / krovne konstrukcije na zidove
- Tradicijske tehnike

TETTI LIGNEI MIGLIORAMENTO DI TETTI CON STRUTTURA DI CAPINATE E TEMPANI MURARI



- Inženjerske tehnike
- Postojeće drvene grede – dijelovi dijafragmi

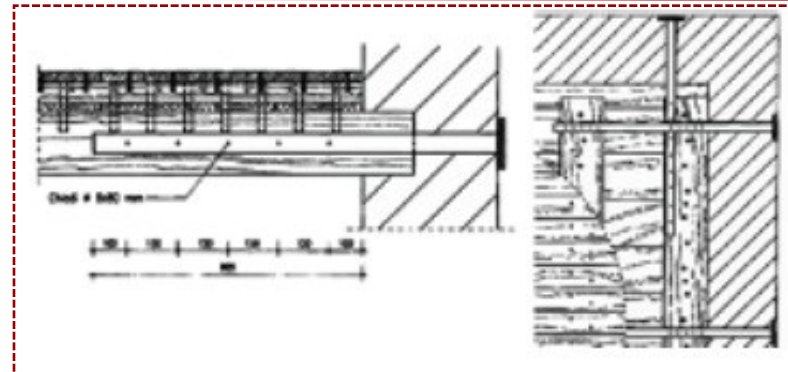


Fig. 261.

Fig. 262.

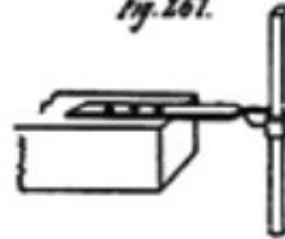
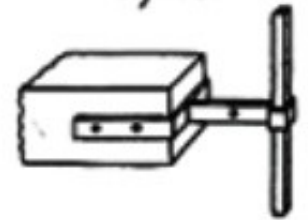
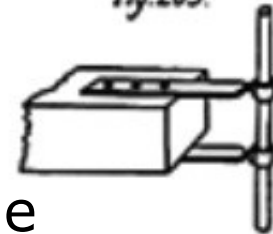


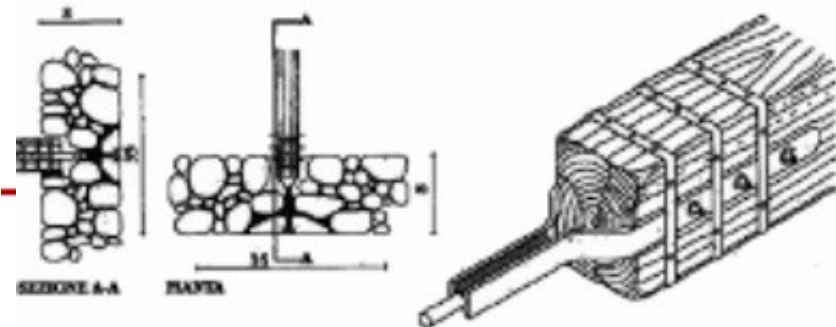
Fig. 263.

Fig. 264.



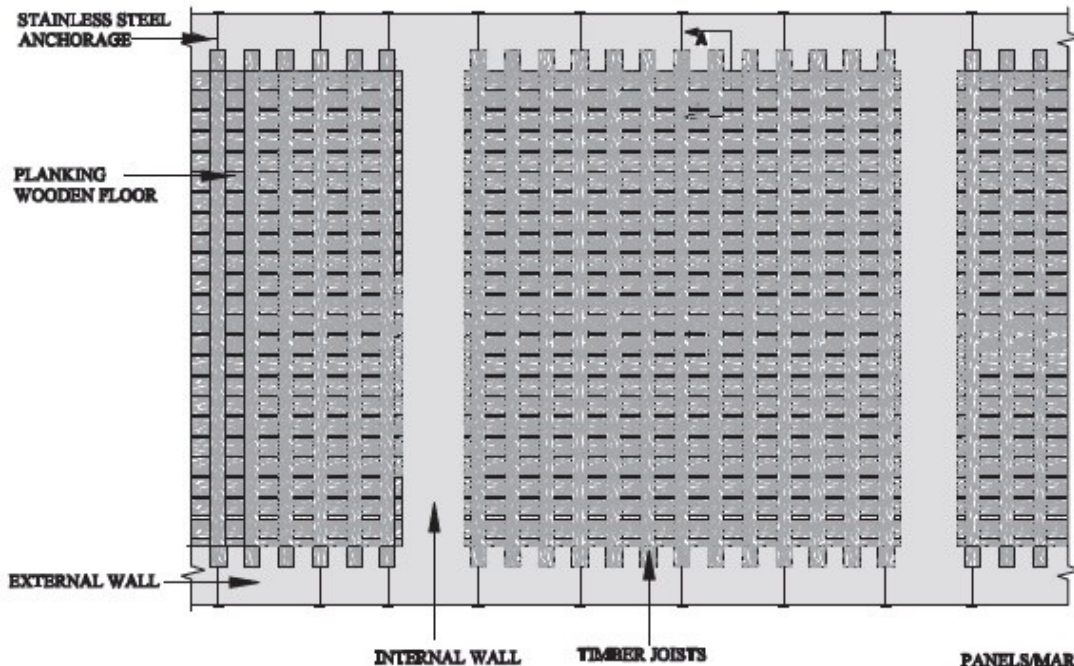
(Cordeau 1898)

- Priključci drvenih greda dijafragmi – osuvremenjene tradicijske tehnike sidrenja u zidove



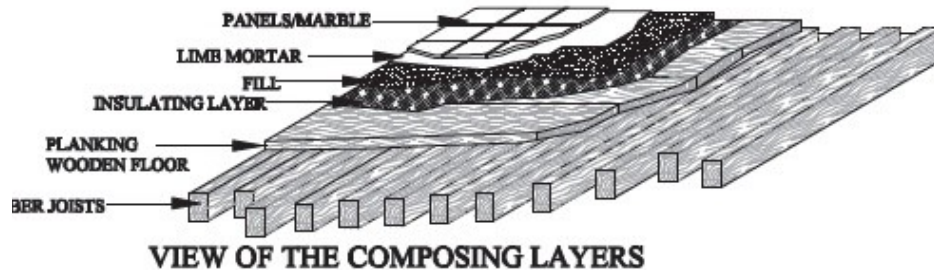
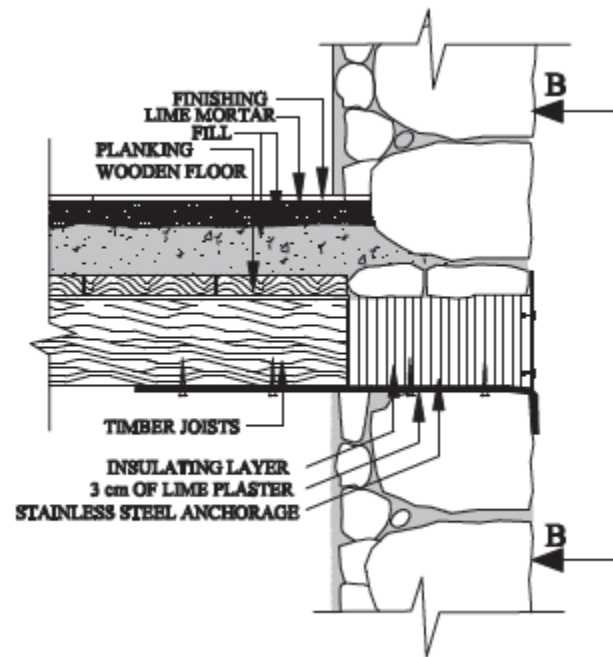
4. Priključci tradicionalnih i ojačanih drvenih stropnih konstrukcija na zidove

- PRIKLJUČCI stropne konstrukcije na zidove
- Sidrenje drvenih greda ojačane drvene stropne konstrukcije
- Inženjerske tehnike



TYPICAL PLAN

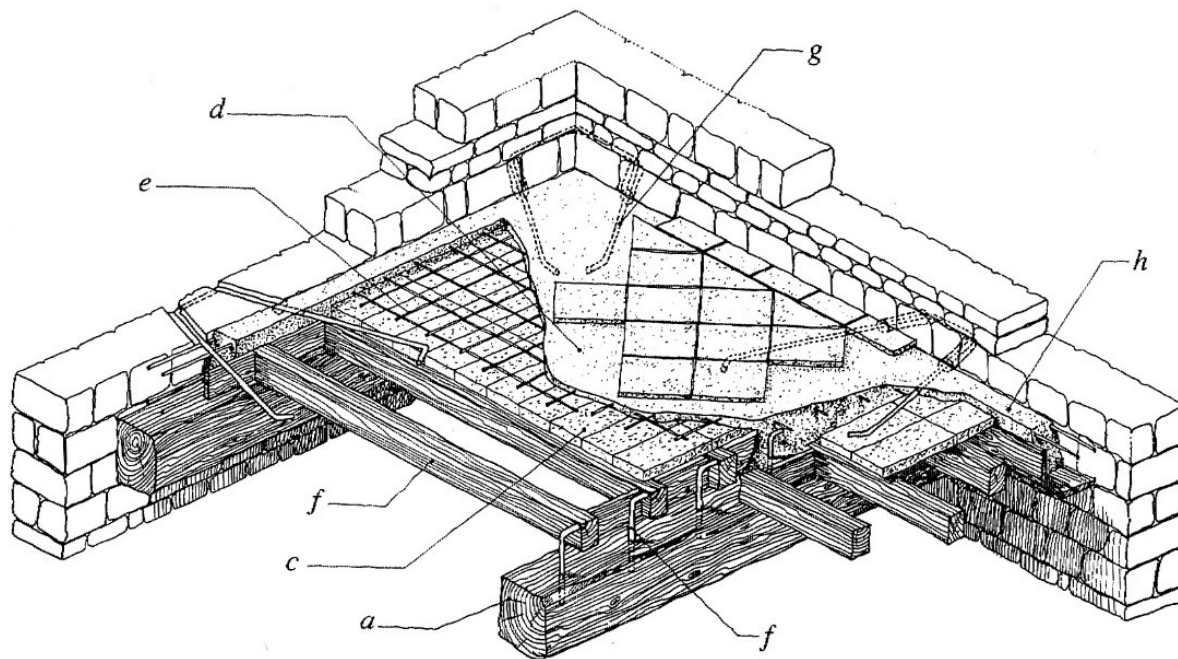
Sidra od nehrđajućeg čelika



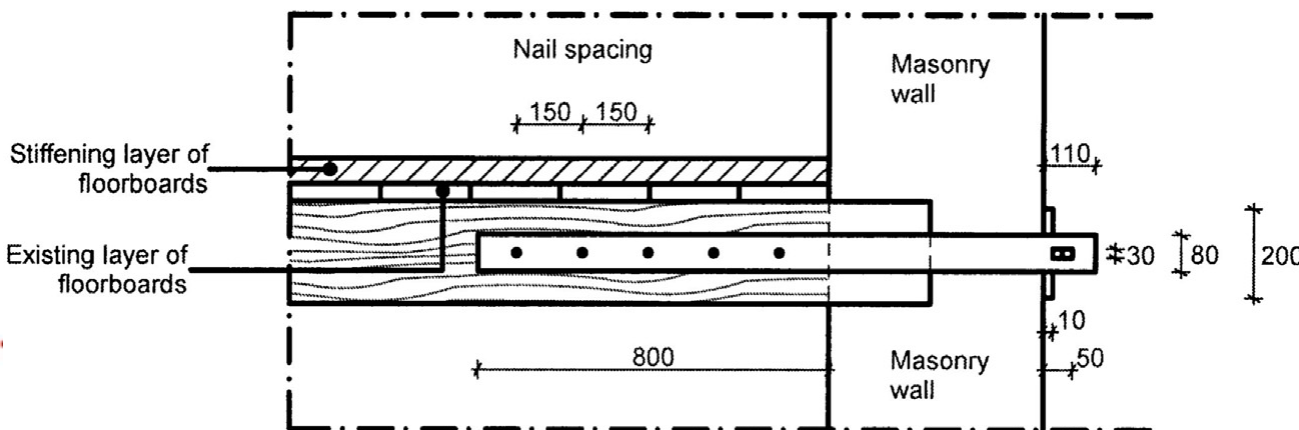
VIEW OF THE COMPOSING LAYERS

4. Priključci tradicionalnih i ojačanih drvenih stropnih konstrukcija na zidove

• PRIKLJUČCI stropne konstrukcije na zidove



Viličasta sidra – ojačanje sprežanjem s armirano-betonskom pločom



Čelični stremen – veza drvenih greda / TDSK ojačan dodatnim daščanim slojem

- **PRIKLJUČCI** stropne konstrukcije na zidove
- **Slom rozeta, lom sidrenih šipki i posmični slom zida pri proboju** – česte pojave

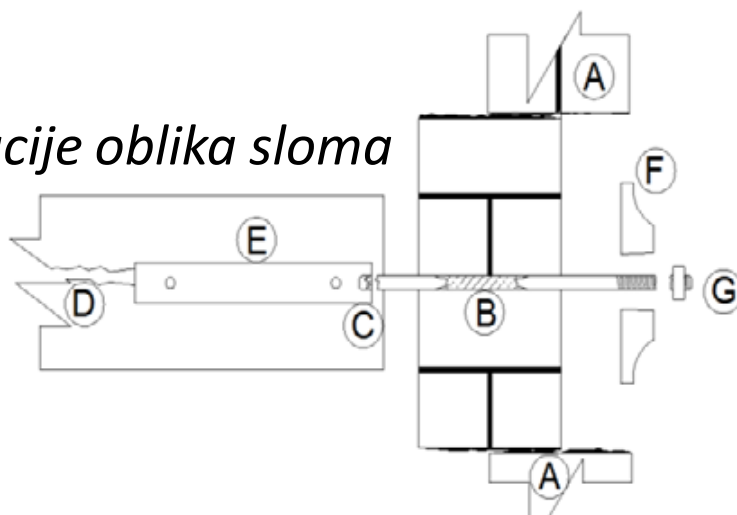
- slom sloja morta i dodirne spojnice – prate površinu sloma po obodu ploče sidra



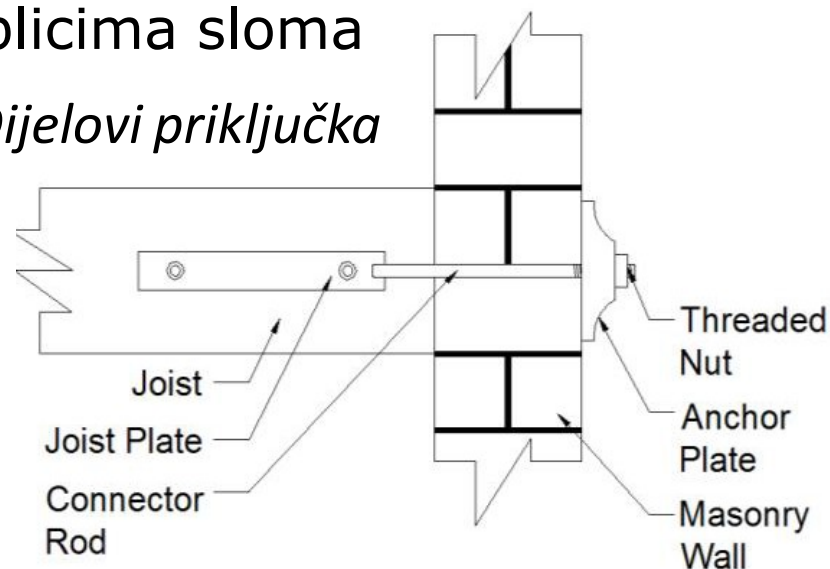
Ploča sidra na rubu površine s posmičnim slomom zida zbog proboja (Dizhur, 2011)

- Ploče sidara – podložne raznim oblicima sloma

Lokacije oblika sloma

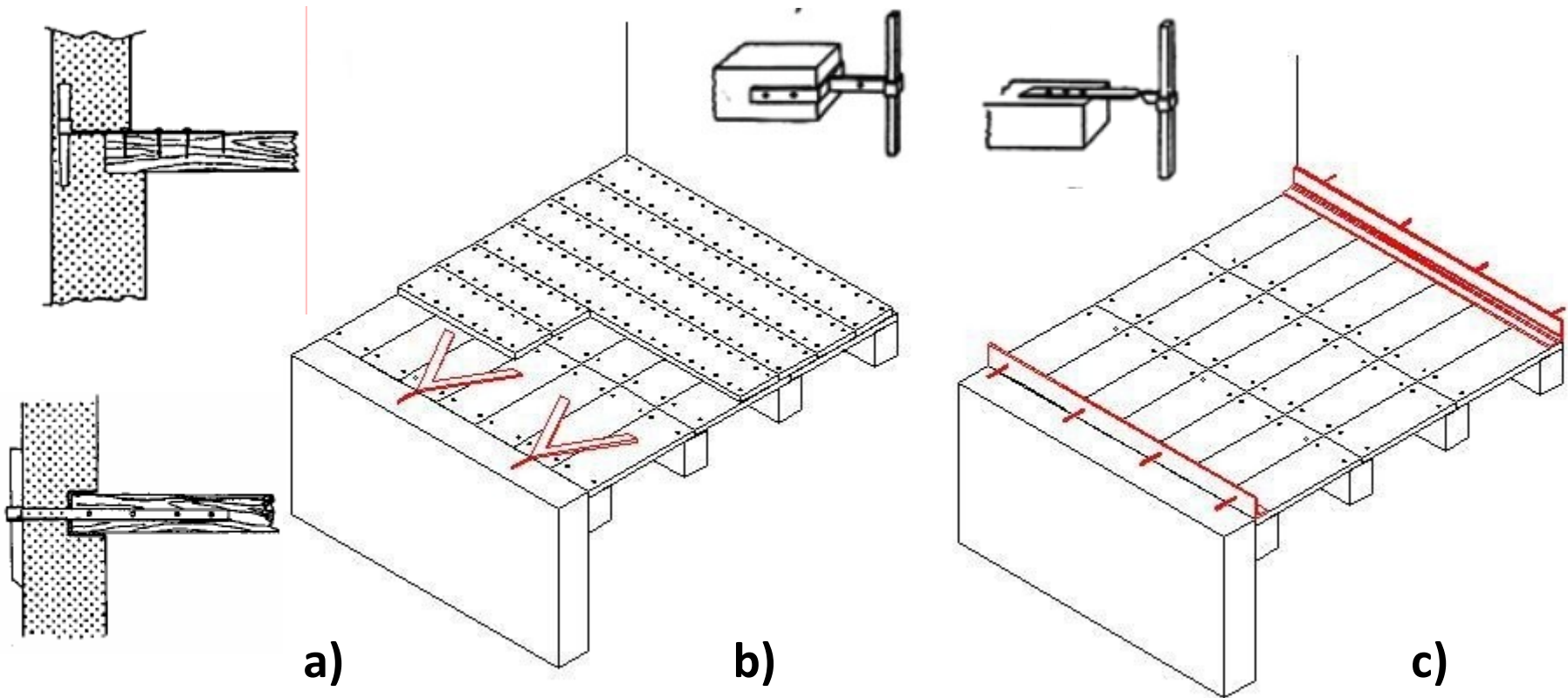


Dijelovi priključka



- **PRIKLJUČCI** stropne konstrukcije na zidove
- **Adhezijska sidra** imaju dugu i raširenu primjenu
 - Navojne šipke koje se kemijski ugrađuju u prethodno izbušene rupe – punilo su cementna žbuka ili epoxy ljepilo
- Uzroci slomova uočenih nakon potresa:
 - slom opeke (vlačni, pri savijanju – npr. stražnje strane parapeta) – iako je sidro korektno ugrađeno
 - loša ugradnja
 - manjak adheziva (ili ga nema)
 - izbušena rupa nije dobro očišćena od prašine pri bušenju – neprimjereno vezivanje za površinu opeke
 - nedovoljna duljina sidra
 - dobra ugradnja u opeku / slom u mortu po obimu opeke

- PRIKLJUČCI stropne / krovne konstrukcije na zidove
- Inženjerske tehnike

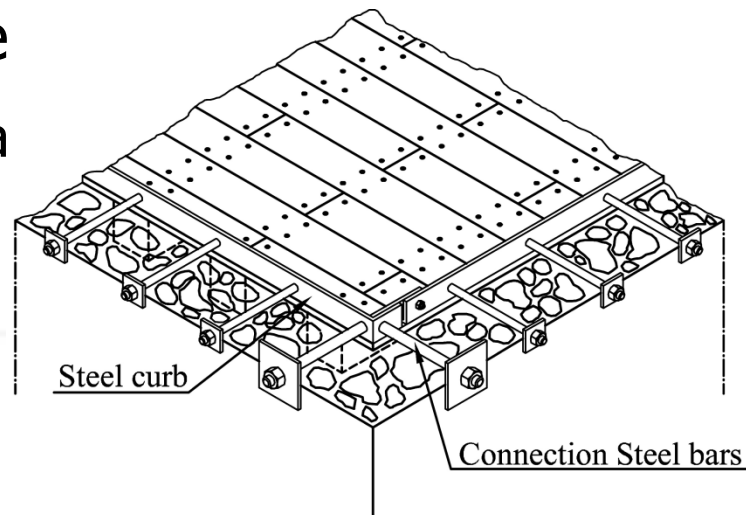


Primjeri priključka na zidove: a) i b) čelične zatege – okomito na smjer greda; c) Čelični L-profil (rubnik) i točkasti raspored sidara (elastična veza)

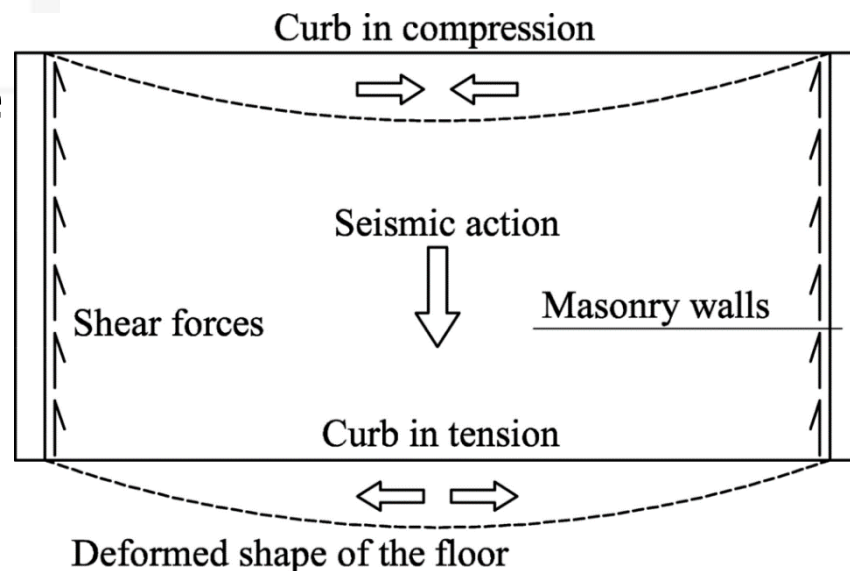
4. Priključci tradicionalnih i ojačanih drvenih stropnih konstrukcija na zidove

- PRIKLJUČCI stropne konstrukcije
- Čelični L-profil – rubnik spojen vijcima za drvo na drvene grede i sidren u zid
- progib stropne dijafragme u ravnini – prateća tlačna i vlačna naprezanja
- tlačna naprezanja može prihvatiti daščani dio stropne konstrukcije
- dvojna uloga čeličnog L-rubnika
 - prihvaćanje vlačnih naprezanja
 - prijenos posmičnih sila na zidove

Nosivi mehanizam stropne dijafragme (SD) u potresu i funkcija čeličnog rubnika u prijenosu posmika

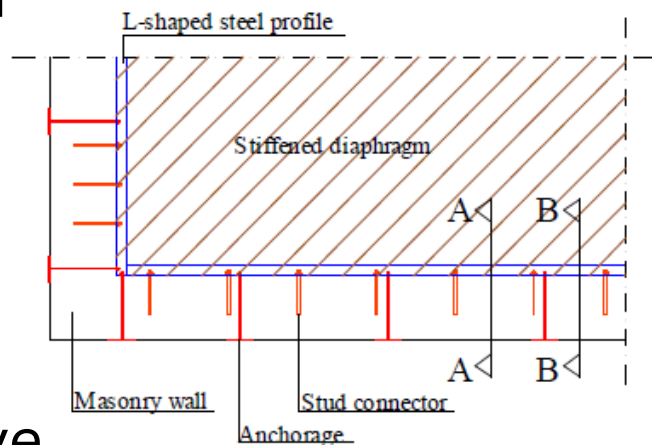


Čelični rubnik (L-profil) / prsten i sidrenje ojačane SD u zidove

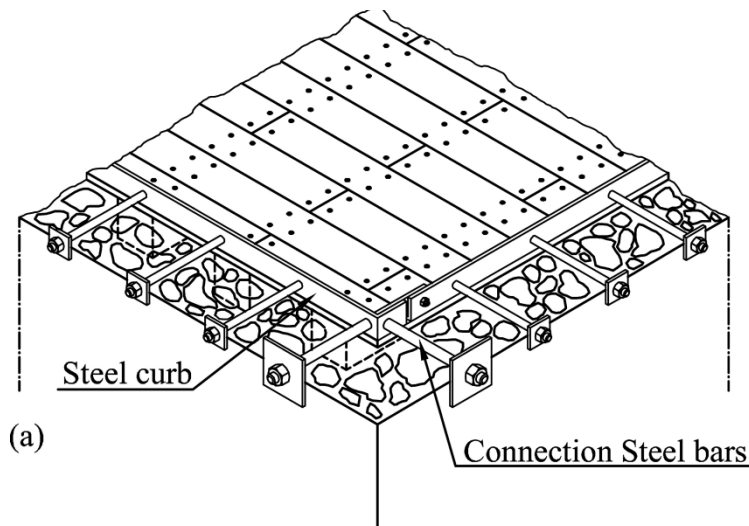


PRIKLJUČCI stropne konstrukcije

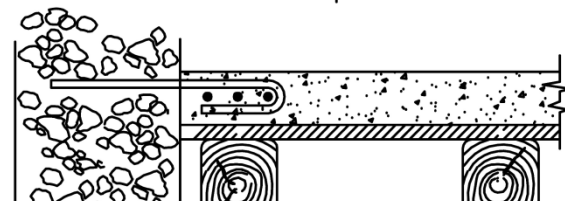
- Čelični L-profil – rubnik spojen vijcima za drvo na drvene grede i čeličnim šipkama s navojem (20 – 30 mm) na zidove (mehanički ili kemijski)
- po obodu su moguća i dodatna spajala za prijenos posmičnih sila na zidove
- za stropne konstrukcije ojačane sprežanjem s arm. bet. pločom – dodatne čelične šipke kao zamjena za "umetanje" betonskog prstena u zid (i oslabljenje zida).



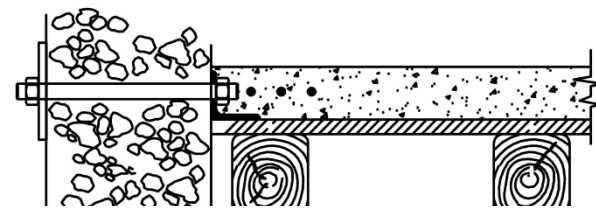
(a) Čelični L-profil / rubnik sidren u zidove



(a)



b) Veza betonskog rubnika i zida

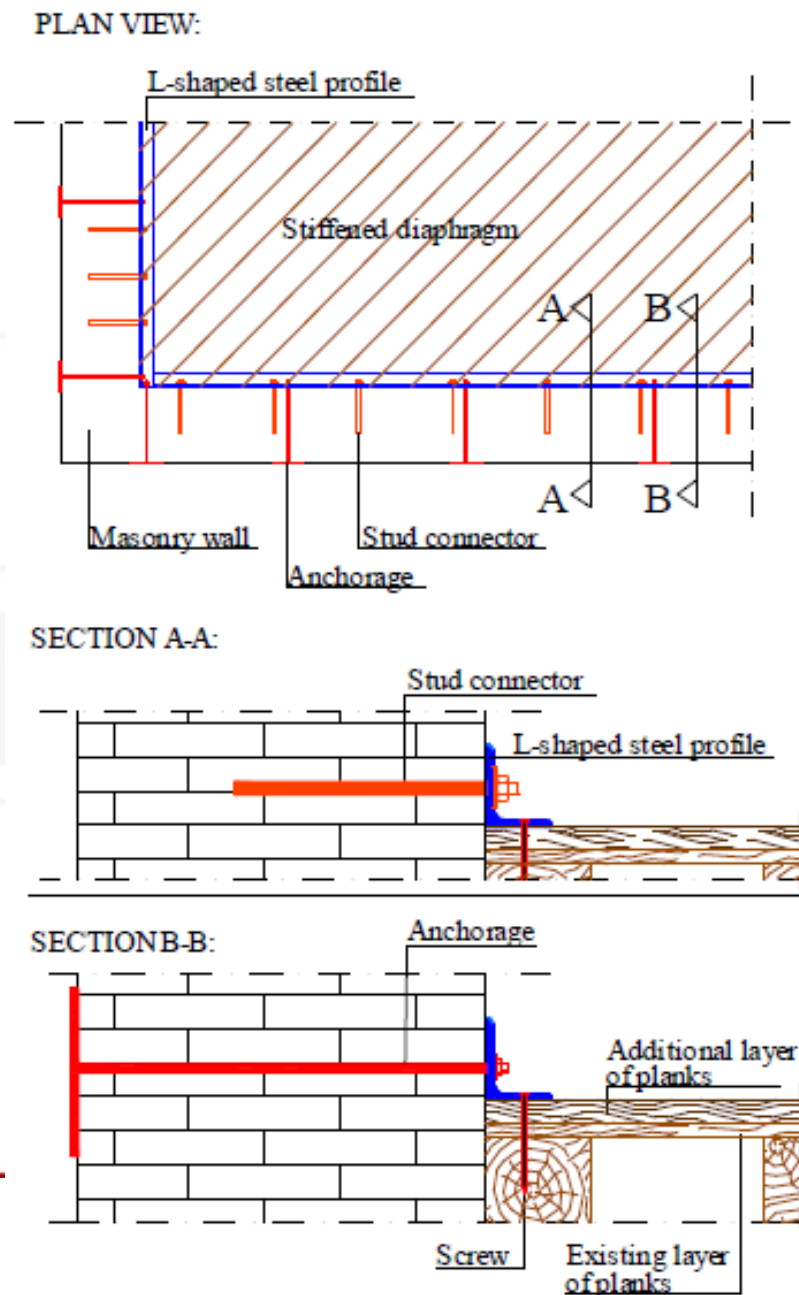


c) Veza čeličnog rubnika i zida

4. Priključci tradicionalnih i ojačanih drvenih stropnih konstrukcija na zidove

- PRIKLJUČCI stropne konstrukcije
- Čelični L-profil i pravilni raspored sidara
 - \approx jednolika raspodjela posmičnih naprezanja u zidove – bez oštećenja zidova
- **Suha ugradnja sidara** – brza i reverzibilna
 - usporedba sa spojevima s injektiranim vezivom: približno jednaka posmična nosivost, manja nosivost na izvlačenje

Čelični rubnik (L-profil) i priključci strop / zid



- **PRIKLJUČCI** stropne konstrukcije – diskusija
- Nosivost sidara – otvoreni problem /
 - promjer šipke / sidro
 - dubina ugradnje
 - rubni uvjeti
 - veličina podložne pločice
 - sila pred-opterećenja sidra (pritezanje)
- Literatura – relativno malo dostupnih podataka i analitičkih formulacija za proračun
- Rezultati terenskih ispitivanja – opcija

5. ZAKLJUČNE PREPORUKE

- Tradicijske drvene konstrukcije u postojećim zidanim zgradama ("starije" / povijesne) – osmišljeni za prihvat vert. djelovanja.
 - zahvati za poboljšanje krutosti u ravnini i povezanosti sa zidovima – neizostavni zbog učinka na globalni potresni odziv.
- Ukrućivanje fleksibilne konstrukcije može imati dvojne učinke:
 - negativni učinci – izraziti za nekompatibilnu komb. materijala / kruto ojačanje drvene konstrukcije ne prati i ojačanje zidova.
- Tradicijske konstrukcije i tehnike gradnje – dio identiteta:
 - teško je prikupiti sveobuhvatne podatke o konstr. odzivu.
- Krutost u ravnini i priključci na zidove – aktualne teme:
 - nedostaju analitički izrazi i smjernica za proračun i izvođenje – kalibrirani za drvene konstrukcije
- Ciljevi istraživanja u području potresne otpornosti TDK u postojećim / povijesnim zidanim zgradama:
 - odrediti kriterije izbora tehnike ojačanja
 - izraditi smjernice proračuna za kvantitativnu ocjenu učinka zahvata na poboljšanje potresne otpornosti.

- [1] MBIE-NZSEE. 2017. The Seismic Assessment of Existing Buildings. New Zealand: New Zealand Society for Earthquake Engineering.
- [2] FEMA 547 (2006) Techniques for the seismic rehabilitation of existing buildings
- [3] A. Wilson, P.J.H. Quenneville, J.M. Ingham (2014): *In-Plane Orthotropic Behavior of Timber Floor Diaphragms in Unreinforced Masonry Buildings*, J Structural Engineering, 140
- [4] M.R. Valluzzi, E. Garbin, M. Dalla Benetta, C. Modena (2010): *In-Plane Strengthening of Timber Floors for the Seismic Improvement of Masonry Buildings*, 11th World Conference on Timber Engineering, Riva del Garda
- [5] M.Mirra, G. Ravenshorst, J.M. van de Kuilen (2020): *Experimental and analytical evaluation of the in-plane behaviour of as-built and strengthened traditional wooden floors*, Eng. Structures, Vol. 211
- [6] J.M. Barrow, D. Porter D, S. Farneth, E.L. Tolles E.L. (2009). *Proceedings of the Getty Seismic Adobe Project 2006 Colloquium*. The Getty Conservation Institute, pp. 165-174.
- [7] A. Gubana (2015): *State-of-the-Art Report on high reversible timber to timber strengthening interventions on wooden floors*, Construction and Building Materials 97

- [8] M.A. Parisi , M. Piazza (2015): *Seismic strengthening and seismic improvement of timber structures*, Construction and Building Materials 97
- [9] E. Giuriani, A. Marini (2008): A. Wooden roof box structure for the anti-seismic strengthening of historic buildings. J Archit Heritage ;2(3)
- [10] E. Giuriani (2004): *L'organizzazione degli impalcati per gli edifici storici*. L'Edilizia, Speciale Legno Strutturale, 134
- [11] E. Giuriani (2012): *Consolidamento degli edifici storici*, UTET
- [12] F. Doglioni (2000): *Handbook (guidelines) for the design of adjustment interventions, seismic strengthening and renewal of architectural treasures damaged during the Umbria-Marche earthquake in 1997*. Official Bulletin of Marche Region, Ancona.
- [13] M. Corradi, E. Speranzini, A. Borri, A. Vignoli (2006): *In-plane shear reinforcement of wood beam floors with FRP*. Composites Part B, 37
- [14] D.F. D'Ayala, S. Paganoni S (2011): *Assessment and analysis of damage in L'Aquila historic city centre after 6th April 2009*. Bulletin of Earthquake Engineering 9(1)
- [15] M. Piazza (1994): *Restoration of timber floors via a composite timber-timber solution*. In: Proceedings of the technical workshop RILEM timber: a structural material from the past to the future, Trento



Zahvaljujem na pozornosti !