

# RÉSZLEGESEN EGYÜTTDOLGOZÓ FA-VASBETON SZERKEZETI ELEMÉK VIZSGÁLATA

*Balogh Jenő\* - Richard Gutkowski\*\**

## RÖVID KIVONAT

Együttműködő fa-vasbeton födém és gerenda szerkezeti elemek kísérleti és numerikus vizsgálata 1995 óta folyamatban van a Colorado State University, Építőmérnöki Tanszékén. Az összefüggő fa réteg és az azon elhelyezkedő vasbeton réteg egy újszerű kapcsolati részlete került kidolgozásra. A kapcsolat felületi (palást) nyomáson keresztül közvetíti a nyírási erőt a kapcsolódó rétegek között. Megelőzően a vizsgálatok kis teherbírású, elsősorban lakás illetve irodacélú szerkezetekben alkalmazható kapcsolati geometriára vonatkoztak. Folytatásként nagyobb teherbírású gerenda/födém rétegelt elemek (ipari épületekhez, hidakhoz, stb.) kísérleti vizsgálatára került sor. A laboratóriumi vizsgálatok kiterjedtek a lehorgonyzó elem kiszakadási, a kapcsolat részlet nyírási (elcsuszási), illetve teljes léptéku kísérletekre üzemi teherszinten. Ez a cikk egy rövid beszámolót kíván adni az idevontakozó kísérleti munkáról.

## 1. BEVEZETŐ

A vasbeton födém szerkezeteknek van néhány szerkezeti és költségi vonatkozású hátrányuk. A húzott oldalon a berepedt beton csökkenti az elem hatékonyságát, és megnövelt lehajlásokhoz vezet a csökkent inercia nyomtaték miatt, míg a repedéseknél a vasbetétek korrozója is felléphet (például hidak esetében). Kutatási eredmények [6] azt mutatják, hogy az együttműködő fa-vasbeton réteges szerkezeti elemek képesek egy hatékony rendszert alkotni. A szerkezetileg hatékony fa képes helyettesíteni a berepedt betont és a költséges acélbetéteket. A fa réteg az építés idején a zsálat szerepét is ellátja, ezáltal is csökkentve a költségeket. A fa és beton rétegek összekapcsolása egy hatékony együttműködő rendszerhez vezet, a beton nagy nyomási ellenállása és a fa nagy húzási ellenállása következtében. A rétegek összekapcsolására egy újszerű megoldás került kifejlesztésre, mely jelentős mértéku részleges együttműködést tud biztosítani. Két fontos nem-technikai elnye van a fa-vasbeton együttműködő rendszernek: 1) költségmegtakarítás egy nem-megújuló anyag, az acél, kiváltása fával, ami tervezhetően megújuló; 2) energia megtakarítás az anyagok gyártásában és az építéskor [17], [20]. Vasbetonról fára történő váltás jelentősen csökkentheti az energia ráfordítást és a széndioxid kibocsátást [18], [19]. Ezek a tények, és az eddigi vizsgálati eredmények bátorítólag hatnak az építési furészárak fa-vasbeton együttműködő szerkezetekben történő alkalmazások felvetéséhez az USA-ban.

---

\* tudományos munkatárs, Department of Civil Engineering, Colorado State University, USA

\*\* professor, Department of Civil Engineering, Colorado State University, USA

## 2. A FOLYÓ KÍSÉRLETEK CÉLJA

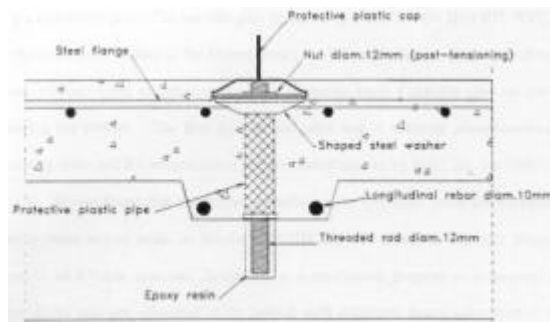
Elozo munkákban a Colorado State University (CSU) kutatói kimutatták a javasolt rétegek közötti kapcsolat hatékonyságát az együttdolgozás magas mértékének biztosításában lakás illetve irodaházi alkalmazások esetén [7], [8], [9], [10], [11]. Kezdetben, egy kísérleti programban teljes léptéku fa-vasbeton gerendákat, azok kapcsolatait, és két lemezszerkezetet vizsgáltak meg [2], [3], [4], [5]. A kapcsolatok kísérleti vizsgálata az ero-megcsúszás (relatív elmozdulás) meghatározását jelentette, melyeket később numerikus modellek kalibrációjához is felhasználtak [21]. A teljes léptéku gerenda kísérletek, egy kedvező költségű módja a nyíró-csap kapcsolatok optimális helyének és geometriájának valamint a lehajlások meghatározásának. A statikus terhelési (monoton növekvő teherrel) kísérleti eredmények mutatták, hogy jelentős együttdolgozási mérték érhető el.

A kísérleti program célja, egy teljes léptéku, kis fesztávú (<6 m) fa-vasbeton hídszerkezet (lemezek) probatestek konfigurálása és kísérleti vizsgálata. A nyíró-csap kapcsolat geometriája a nagyobb terhelés figyelembevételével lett módosítva.

A kísérleti program jelenlegi szakaszban, a vastag lemez kísérleteket megelőzően, vastag gerenda kísérletek kerültek végrehajtásra. Négy gerenda készült el, ebből mostanáig kettő lett vizsgálva. A gerendák két szélleésben, és kétfajta kapcsoló elemet használva készültek el. Mivel a környezeti hatások jelentősen befolyásolhatják az elemek viselkedését, klímakamrás kísérletekre is sor kerül, ahol a hőmérséklet és páratartalom szélső kombinációinak hatását vizsgáljuk.

## 3. A NYÍRÓ-CSAP KAPCSOLATI RÉSZLETE

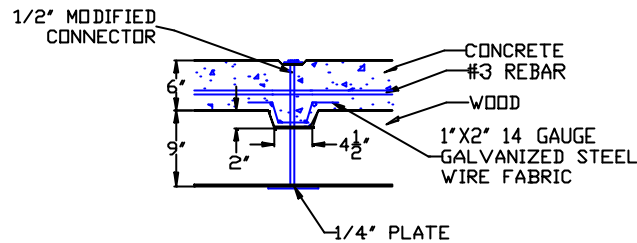
A nyíró-csap lehorgonyzó csavarral (1. ábra) Európában lett kifejlesztve [12], [13], [14].



1. ábra: Nyíró-csap, lehorgonyzó csavar részlet

Jelentős mértéku együttdolgozás eléréséhez a rétegek relatív csúszásának alacsony tartására van szükség. Egy lehorgonyzó csavar van a fába, egy menetes furatba, ragasztással (Hilti HIT HY 150 epoxy ragasztó felhasználásával) rögzítve. Egy műanyag cső védi a csavart a betontól. A vasbeton megkötése közben, a száradás és zsugorodás következtében a rétegek szétválhatnak, amit a beton megkötése után a csavar meghúzásával lehet újra kontaktusba hozni. Az alacsony relatív csúszás a kapcsolati erők felületi (palást) nyomáson keresztüli átadásával érhető el. A lehorgonyzó csavar nincs elfeszítve. Belsőteri alkalmazásokhoz, a

lehorgonyzó csavar teljesen a fa rétegen belül helyezkedik el, tűzvédelmi okokból és az alsó felület borításának a zavartalan biztosításához (ez általában elmaradhat, hisz a fa kellemes látványt biztosít). Hidak esetében e korlátozások nincsenek. Ennek megfelelően, egy módosított kapcsolat is alkalmazva lett (2. ábra).



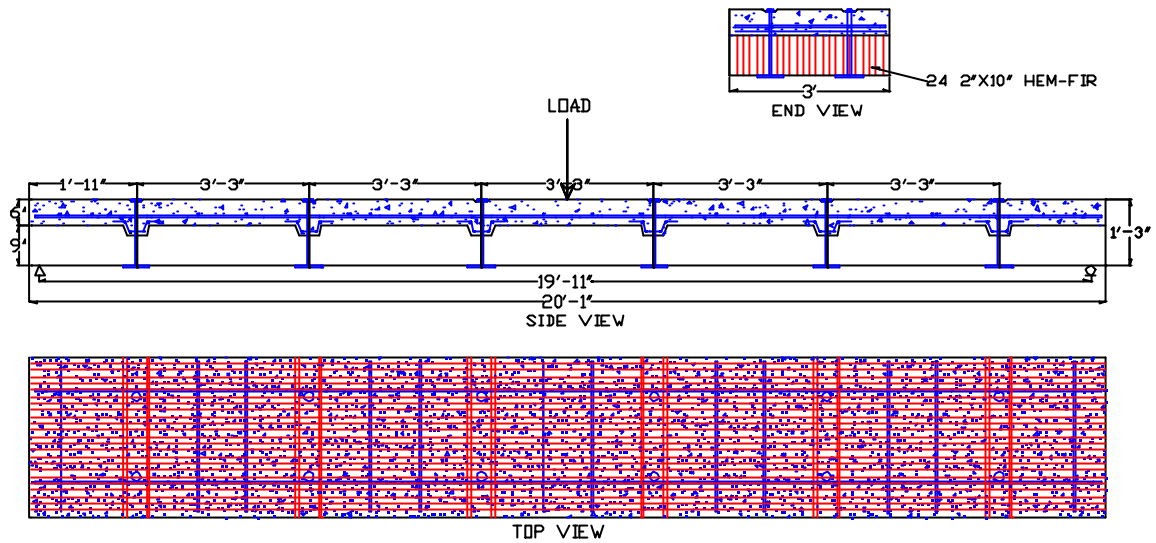
2. ábra: Módosított nyíró-csap kapcsolat

A lényeges különbség, hogy a csavar át van vezetve teljesen a fa rétegen. Egy acél lemez van a csavarhoz rögzítve (hegesztve), ami alulról a fához van szegezve, így tartva magát a beton réteg megkötéséig. Az egyik potenciális elony a ragasztó használatának a kiiktatása, aminek a tulajdonságai nagyon érzékenyek a környezeti viszonyokra amint ez korábban megállapításra került [3].

#### 4. PRÓBATESTEK LEÍRÁSA ÉS A KÍSÉRLETEK VÉGREHAJTÁSA

Amint az említésre került, a gerendák úgy vannak felvéve, mint a híd lemez egy adott szélességű szakasza. Két 0,6 m és két 0,9 m széles, 6,07 m (19'-11") hosszú próbatest készült el, melyek egy hagyományos (ragasztós) és egy módosított kapcsolati részlettel. A 3. ábra mutatja a próbatestek méreteit, a nyíró-csapok és a teher helyzetét. A lehorgonyzó csavarok rögzítéséhez használt Hilti HIT HY 150 epoxy ragasztót előzőekben kizakító kísérletek eredményei alapján lett kiválasztva. A alkalmazott fa anyag Hem-Fir No. 2, felület száraz, 38x235 mm (1.5"x9.25") méretű furész áru. Egy átlagos 7.1% nedvesség tartalom (MC) lett meghatározva. Az eddig vizsgált két gerenda keresztmetszete 0,9-m (3') széles, melyet egyenként 24 függőleges fa elem alkot. A fa elemek oldalról rétegenként lettek összeszegezve, (a szegek 406 mm (16") közönként a rúd hossza mentén két váltakozó sorban vannak elhelyezve) 101 mm (4") hosszúságú galvanizált szegekkel. Hat nyíró-csap kapcsolat 990 mm (39") tengelyközi távolsággal lett kiképezve minden gerendában (lásd 3. ábrát). A lehorgonyzó csavarok 12,7 mm (1/2") átméretűek. A ragasztással rögzített lehorgonyzó csavarok előfúrt és nagyobb 16 mm átméretű menettel ellátott 101 mm (4") mely lyukakba kerültek beépítésre, HIT-HY 150-epoxy ragasztó felhasználásával. A csavarok keresztirányban 457 mm (18") tengelyközi távolságra vannak a gerenda hossz tengelyéhez képest szimmetrikusan. Az átvezetett csavarok fém lapja egyenként négy facsavar segítségével lettek rögzítve a gerenda alján (a fém lemezbe megfelelő lyukak voltak előfúrva). Zsugorodási vasalás az ACI 318-99 vasbeton szabvány [1] alapján lett elhelyezve (lásd a 4. ábrát).

A csavarok rugalmassági modulusza,  $E = 210000 \text{ N/mm}^2$  (30500 ksi), és folyás határa,  $f_y = 460 \text{ N/mm}^2$  (65.3 ksi). A fa rugalmassági modulusza,  $E_d$ , ultrahangos vizsgálattal lett meghatározva mintavételezéssel,  $8730 \text{ N/mm}^2$  ( $1.27 \times 10^6$  psi) átlagos értéket megállapítva.



3. ábra: Gerenda próbatestek fontosabb méretei



4. ábra: Vasalás és zsaluzat kiképzése



5. ábra: Együttdolgozó fa-vasbeton próbatestek

A betont egy betonkevero autó kézbesítette mint 24.15 Mpa (3500 psi) 28 napos szilárdságút. A beton vibrálással lett tömörítve, és a szükséges páratartalom mesterségesen volt fenntartva. A csavarok 70 Nm (50 lb.ft) nyomatékkal lettek meghúzva a beton megkötése nyomán. A terhelés egy hidraulikus sajtó segítségével lett kifejtve, a gerenda közepén, 178 kN szintig (40 kips), 17.8 kN/perc (4 kips/min) sebességgel. A lehajlások rugós potencióméterekkel lettek mérve a fesztáv közepén és a negyedekben. Hasonló módon lettek meghatározva, valamennyi nyíró csap tengelyében, a beton relatív elmozdulásai a fához képest (megcsúszás).

## 5. EREDMÉNYEK

A részlegesen együttdolgozó gerendák (5. ábra) hatásfokát az alábbi méroszámmal fejezzük ki [15]:

$$Efficiency = 100 \left( \frac{(D_N - D_I)}{(D_N - D_C)} \right) \quad (1)$$

ahol,  $D_C$  a tökéletesen együttdolgozó (mereven kapcsolódó) réteges gerenda lehajlása,  $D_N$  az egymásra felfekvő ideálisan elcsúszni tudó réteges gerenda lehajlása, és  $D_I$  a részlegesen együttdolgozó réteges gerenda kísérletileg meghatározott lehajlása.

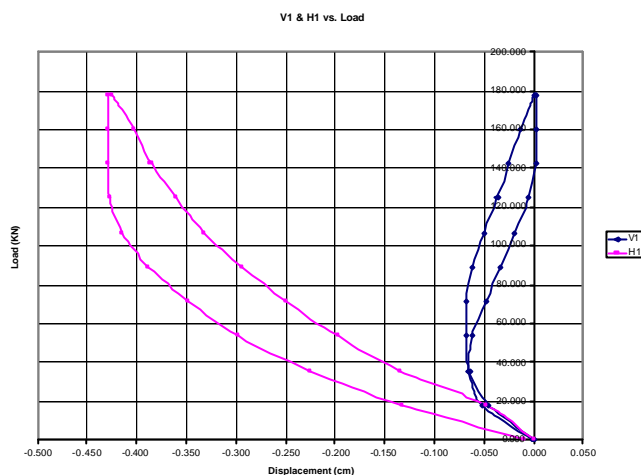
Az 1. táblázatban a mért és egy numerikus modellen számított eredmények vannak összehasonlítva a hagyományos és a módosított nyíró-csap kapcsolatok esetére. A numerikus modell [9] merevebb eredményt adott. Az eredmények részletes kiértékelése jelenleg is folyik. Ezen eredmények alapján, az együttdolgozási hatásfok, a fenti definíció alapján körülbelül 60%.

1. táblázat: Középpont lehajlása 178 kN terhelésnél

Numerikus modellen számított	Mért (hagyományos kapcsolat)	Mért (módosított kapcsolat)
3.23 cm	3.53 cm	3.55 cm

Tipikus ero-relatív elmozdulás (vízszintes, H, és függőleges, V) karakterisztika látható egy terhelési ciklusra vonatkozóan a 7. ábrán. Ezek alapján kerültek meghatározásra a numerikus modell kapcsolatra vonatkozó bemenő paraméterei. A legfontosabb paraméter a kapcsolat merevsége a szerkezeti elem hossz tengelyével párhuzamosan (H). Általában ez külön kísérletben határozható meg. Jelen esetben a keresztmetszet méretei miatt nem volt lehetséges a rendelkezésre álló laboratóriumi eszközökkel ezt végrehajtani. Ebben az esetben a kapcsolatok elcsúszási merevsége egy közelítő globális numerikus modell és a mért ero – vízszintes relatív elmozdulás karakterisztikából került megállapításra.

A kapcsolati részlet vége-selemes modellezése a tönkremeneteli módok jobb megértéséhez vezethet. Eddigi paraméteres vizsgálatok [21] eredményei azt mutatják, hogy a ténylegesen létrejött elcsúszási merevségek a merev korláthoz állnak közelebb, és döntő szerepük van a tönkremeneteli mód kialakulásában (ezek tárgyalása meghaladja e cikk terjedelmi keretét).



6. ábra: Tipikus erő-relatív elmozdulás kapcsolati karakterisztika

## 6. KÖVETKEZTETÉSEK

Az itt bemutatott kutatás elsődleges célja teljes léptéku próbatestek konfigurálása és kísérleti vizsgálata, melyek alkalmazhatók kis fesztávú (<6 m) hidak esetén. Másodlagosan, két nyíró-csap kapcsolat típus került alkalmazásra, azzal, hogy összehasonlításra kerüljenek (ezt megelőzően mnkákban kizárólag a hagyományos ragasztott nyíró-csap kapcsolat volt alkalmazva).

Az első célkitűzés 60% együttműködési mértékhez vezetett, ami átlagosnak tekinthető. Az alkalmazott kapcsolatok összehasonlítása azt mutatja, hogy a módosított (a fa rétegen teljesen átvezetett lehorgonyzó csavaros) megoldás a hagyományoshoz hasonló eredményt mutatott, így használatra alkalmasnak mutatkozik. A ragasztó kiiktatása jelentős előrelépést jelent az egyenletes minőség szavatolhatóságában, és egyszerűsítést a kivitelezésben, noha a véglemez elkészítése megnöveli az alkatrész árát.

További kutatásokra van szükség, az ismétlődő terhelés és a szélsőséges illetve ciklikus környezeti hatások a tartósságra gyakorolt befolyásának kiértékelésére. A közelmúltban, egy kiterjedt támogatott kutatási program kezdődött el, ami e kérdéseket kívánja kivizsgálni.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Kezdeti munkákat kereskedelmi és lakásépítési alkalmazásokhoz a U.S. Department of Agriculture, a National Research Initiative Competitive Grants Program, Grant 95083803 támogatta. A környezet és ciklikus terhelés hatásának vizsgálatához az előzőleg említett hivatal a Grant 2001-35504-10043-en keresztül nyújt további támogatást. Az U.S. Department of Transportation támogatta a hidakra történő esetleges alkalmazások tanulmányozását, a Mountain Plains Consortium (MPC), mely federálisan szponzorált a University Transportation Centers Program-on keresztül. A CSU a Structural Engineering Laboratory of the Engineering Research Center rendelkezésre bocsátásával közreműködött mint költség viselő. Az itt bemutatott tartalom, kizárólag a szerzők véleményét fejezi ki. Az U.S. kormánya nem vállal

felelősséget a tartalomért illetve annak felhasználásáért.

## HIVATKOZÁSOK

- [1] American Concrete Institute (1999) Building Code Requirements for Structural Concrete, ACI 318-99.
- [2] Brown, K. T. (1998) Testing of a Shear Key/Anchor in Layered Wood/Concrete Beams, M. S. Thesis, Department of Civil Engineering, Colorado State University, Fort Collins, CO, U.S.A.
- [3] Brown, K. T., Gutkowski, R. M., Criswell, M. E., and Peterson, M. L. (1998) Testing of a shear key/anchor in layered wood/concrete beams, Structural Research Report No. 76, Civil Engineering Department, Colorado State University, Ft. Collins, CO, U.S.A.
- [4] Etournaud, P.A. (1998) Loads Tests of Composite Wood-Concrete Deckings Under Point Loads, M. S. Thesis, Department of Civil Engineering, Colorado State University, Fort Collins, CO, U.S.A.
- [5] Etournaud, P.A., Gutkowski, R. M., Peterson, M. L. and Criswell, M. E. (1998) Loads tests of composite wood-concrete deckings under point loads, *Structural Research Report No. 81*, Civil Engineering Department, Colorado State University, Ft. Collins, CO.
- [6] Gutkowski, R. M. and Chen, T.M. (1996) Tests and analysis of mixed concrete-wood beams, *Proc. Int. Wood Engineering Conference*, New Orleans, La, USA, Omnipress, Madison, WI, USA, 3: 436-442.
- [7] Gutkowski, R.M., W. Thompson, K. Brown, P. Etournaud, A. Shigidi, J. Natterer (1999) Laboratory Tests of Composite Wood-Concrete Beam and Deck Specimens, *Proceedings of 1999 RILEM Symposium on Timber Engineering*, Stockholm, Sweden, 263-272.
- [8] Gutkowski, R.M., W. E. Koike, P.J.F. Etournaud, J. Natterer. (1999) Laboratory Tests of Composite Wood-Concrete Beam & Deck Specimens, *Proceedings of STRUCTURAL FAULTS+REPAIR-99, 8th International Conference and Exhibition*, London, England
- [9] Gutkowski, R. M., Balogh, J., Natterer, J., Brown, K., Koike, E., and Etournaud, P. (2000) Laboratory Tests of Composite Wood-Concrete Beam & Floor Specimens, *Proceedings of the World Conference on Timber Engineering-2000*, Whistler Resort, Vancouver, Canada.
- [10] Koike, E. (1998) Analysis of composite wood-concrete layered beams. M. S. Thesis, Department of Civil Engineering, Colorado State University, Fort Collins, CO, U.S.A.
- [11] Koike, E., Gutkowski, R. M., Peterson, M. L. and Criswell, M. E. (1998) Analysis of composite wood-concrete layered beams, *Structural Research Report No. 79*, Civil Engineering Department, Colorado State University, Ft. Collins, CO.
- [12] Natterer, J., Edited by Gutkowski, R. and Winnicki, T. (1997) Sustainable Economy of Forestry and Value Added Utilization of Forests: The only chance to save the forests of the world. State-of-the-Art Paper in Restoration of Forests - Environmental Challenges in Central and Eastern Europe, *Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on "Science and Technology to Save and Better Utilize*

- Central and Eastern Europe's Forests"*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, 97-118.
- [13] Natterer, J. (1998) Wood Utilization Using New Technologies for Timber Engineers, *Proceedings of the Fifth World Conference on Timber Engineering (presented as a Plenary Session)*, Montreux, Switzerland, Vol. 1, pp. 1-7 to 1-15, Presse polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, Switzerland.
  - [14] Natterer, J., Hamm, J. and Favre, P. (1996) Composite wood-concrete floors for multi-story buildings, *Proc. Int. Wood Engineering Conference - Vol. 3*, New Orleans, La., 3:431-435, Omnipress, Madison, WI, U.S.A.
  - [15] Pault, J. D. and Gutkowski, R. M. (1977) Composite action in glulam timber bridge systems, *Structural Research Report No. 17B*, Civil Engineering Department, Colorado State University, Ft. Collins, CO, U.S.A.
  - [16] Thompson, W. (1997) Shear tests of wood-concrete composites, M.S. Independent Study Report, Department of Civil Engineering, Colorado State University, Fort Collins, CO, U.S.A.
  - [17] Weber, T., Edited by R. M. Gutkowski and T. Winnicki (1997) The Bavarian Program for Using Renewable Energies Restoration of Forests - Environmental Challenges in Central and Eastern Europe, *NATO ASI Series 2, Environment - Vol. 30*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands
  - [18] Wegener, G., Edited by R. M. Gutkowski and T. Winnicki (1997) Sustainable economy of forestry and value added utilization of forests. *Restoration of Forests - Environmental Challenges in Central and Eastern Europe*, NATO ASI Series 2, Environment - Vol. 30. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands
  - [19] Wegener, W. and Zimmer, B. (1998) The ecological benefits of increased timber utilization, *Proc. 5th World Conference on Timber Engineering*, Montreux, Switzerland, Vol. 1, Presse polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, Switzerland, 1:656-663
  - [20] Winter, W. (1998) Economical and Ecological Aspects of Multistory Timber Buildings in Europe, *Proceedings of the 5th World Conference on Timber Engineering*, Montreux, Switzerland, Vol. 1, Presse polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, Switzerland, 1:656-663
  - [21] Wieligmann, M. (2002) Stress-Strain Behavior of Dowel Connections for Partially Composite Wood-Concrete Floors and Decks, Diploma Thesis, Technical University of Dresden- Colorado State University, Fort Collins, Colorado, USA