



## PhD disszertáció

# Bolted end-plate joints for brackets and beam-to-beam connections

Csavarozott, homloklemezkes kapcsolatok vizsgálata  
konzol és gerenda-gerenda kapcsolatokon

Katula Levente

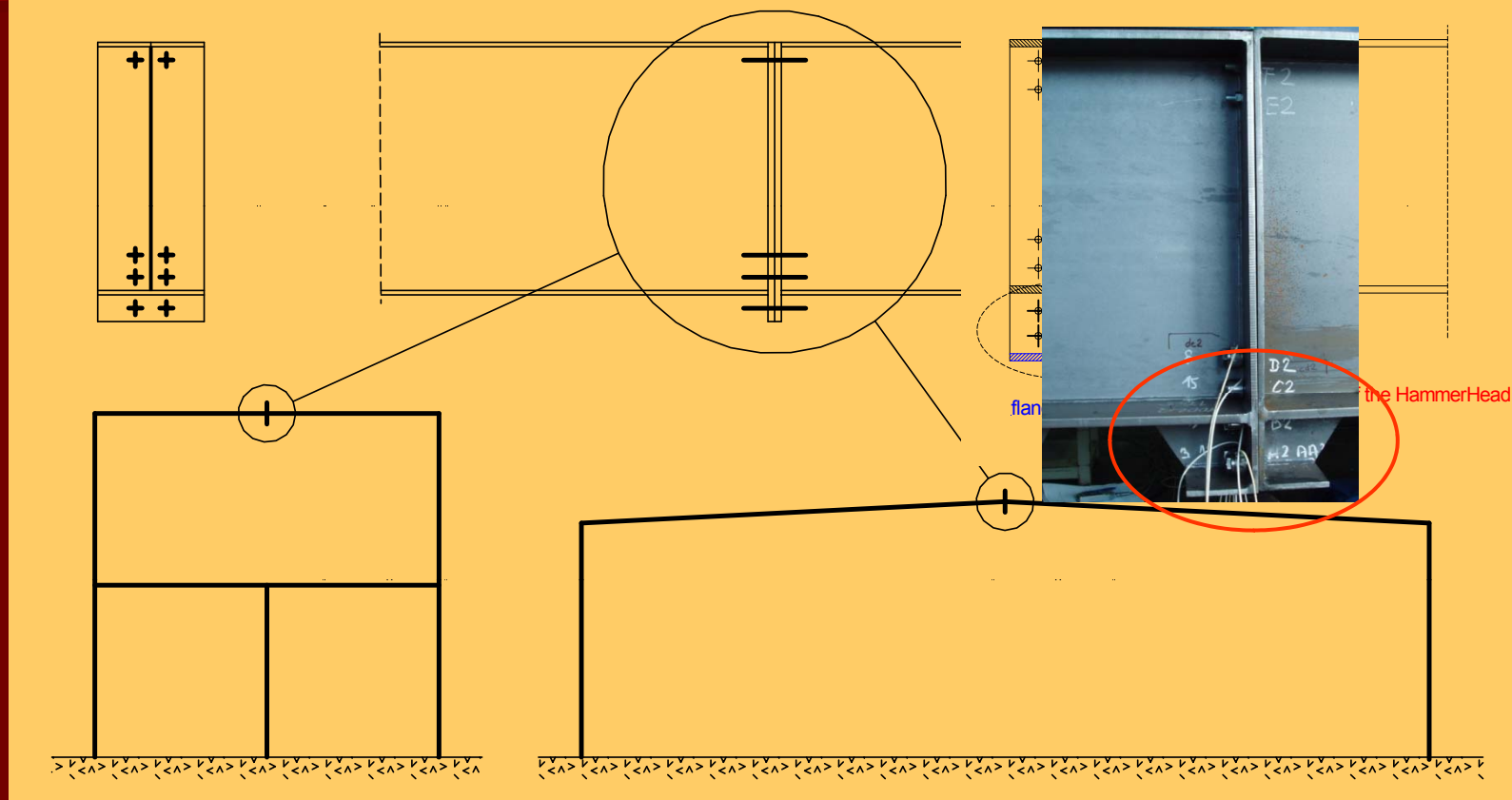
# Tartalom

- Bevezetés
  - Újszerű kapcsolati kialakítások
  - Kutatási stratégia
- Darupályakonzol kapcsolatok
  - Kutatási program
  - Teherbírási vizsgálatok
  - FE-modell
  - Fárasztó vizsgálatok
  - Méretezési módszer
- Gerenda-gerenda kapcsolatok
  - Kutatási program
  - Kísérleti elrendezés
  - Teherbírási vizsgálatok
  - Méretezési módszer
- Új tudományos eredmények

# Hagyományos és újszerű kapcsolati kialakítások

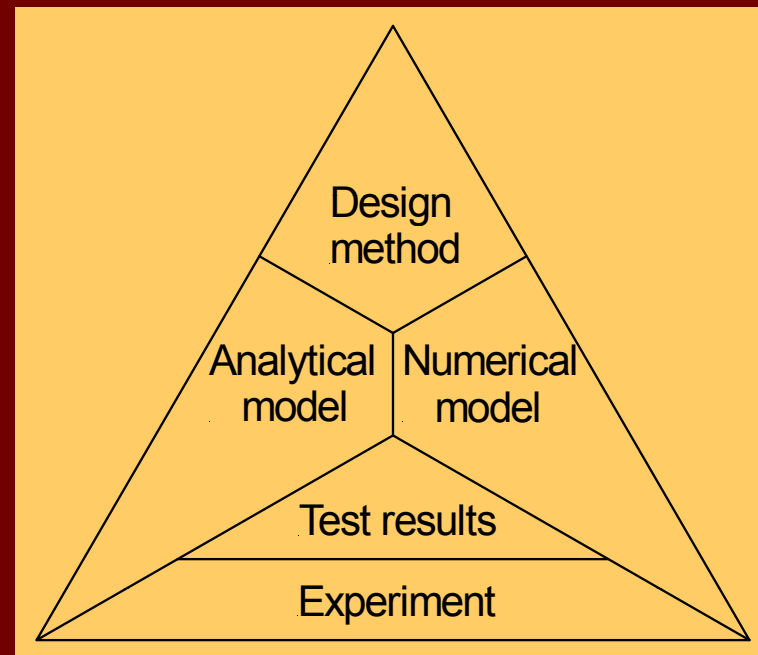
traditional beam-to-beam joint

innovative beam-to-beam joint



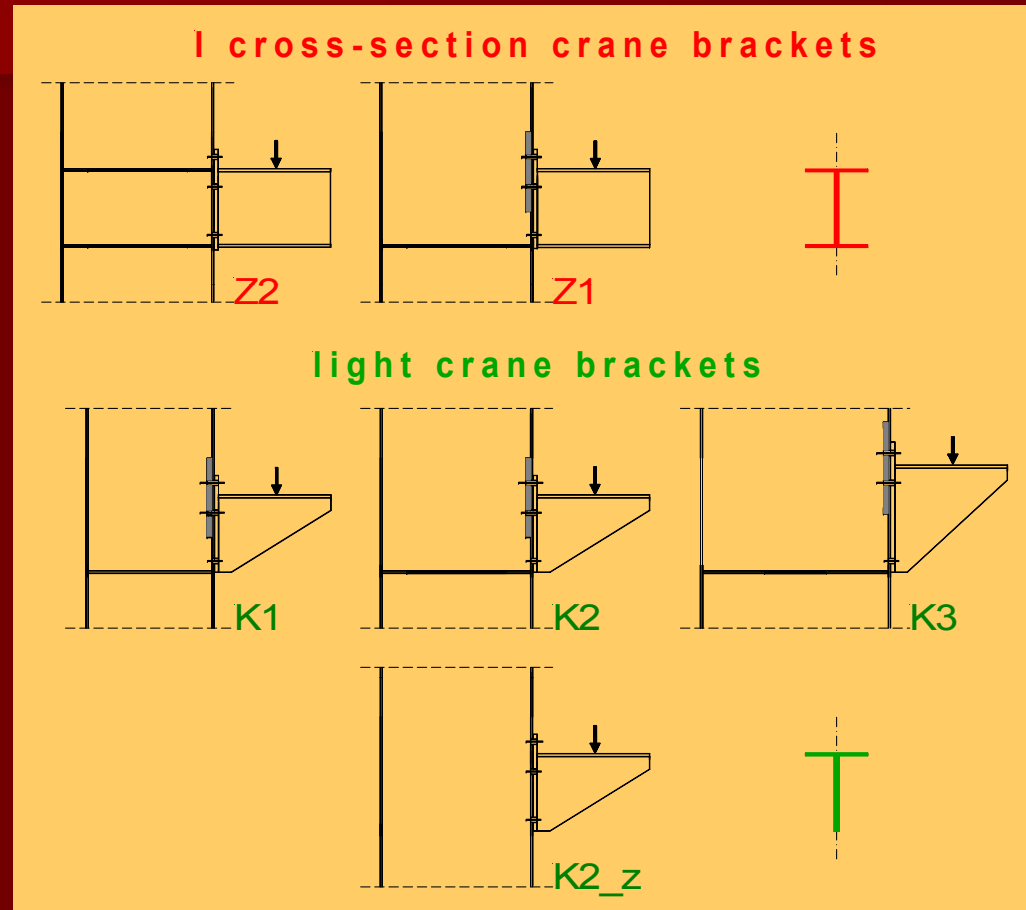
# Kutatási stratégia

Kutatásaimat a fizikai jelenségek vizsgálatára alapoztam, melyekből analitikus és numerikus modellek kidolgozásának eredményeként építettem fel az általam javasolt méretezési eljárásokat.



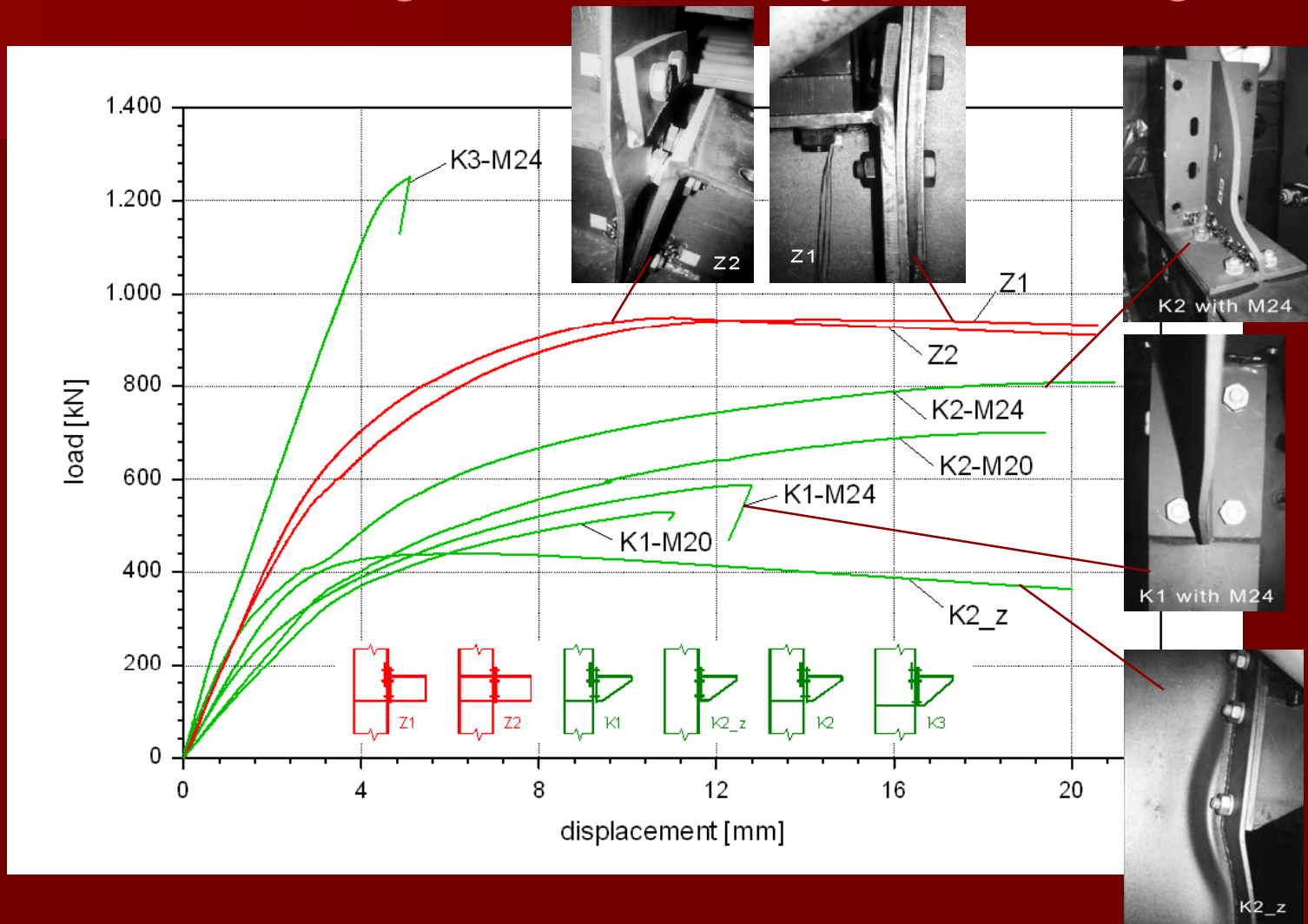
# Darupályakonzolok

## Kísérleti program

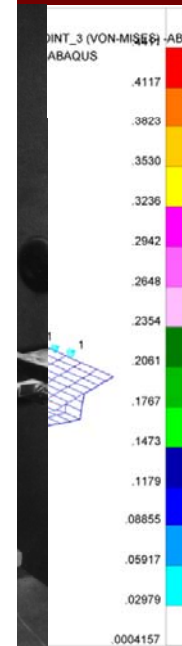
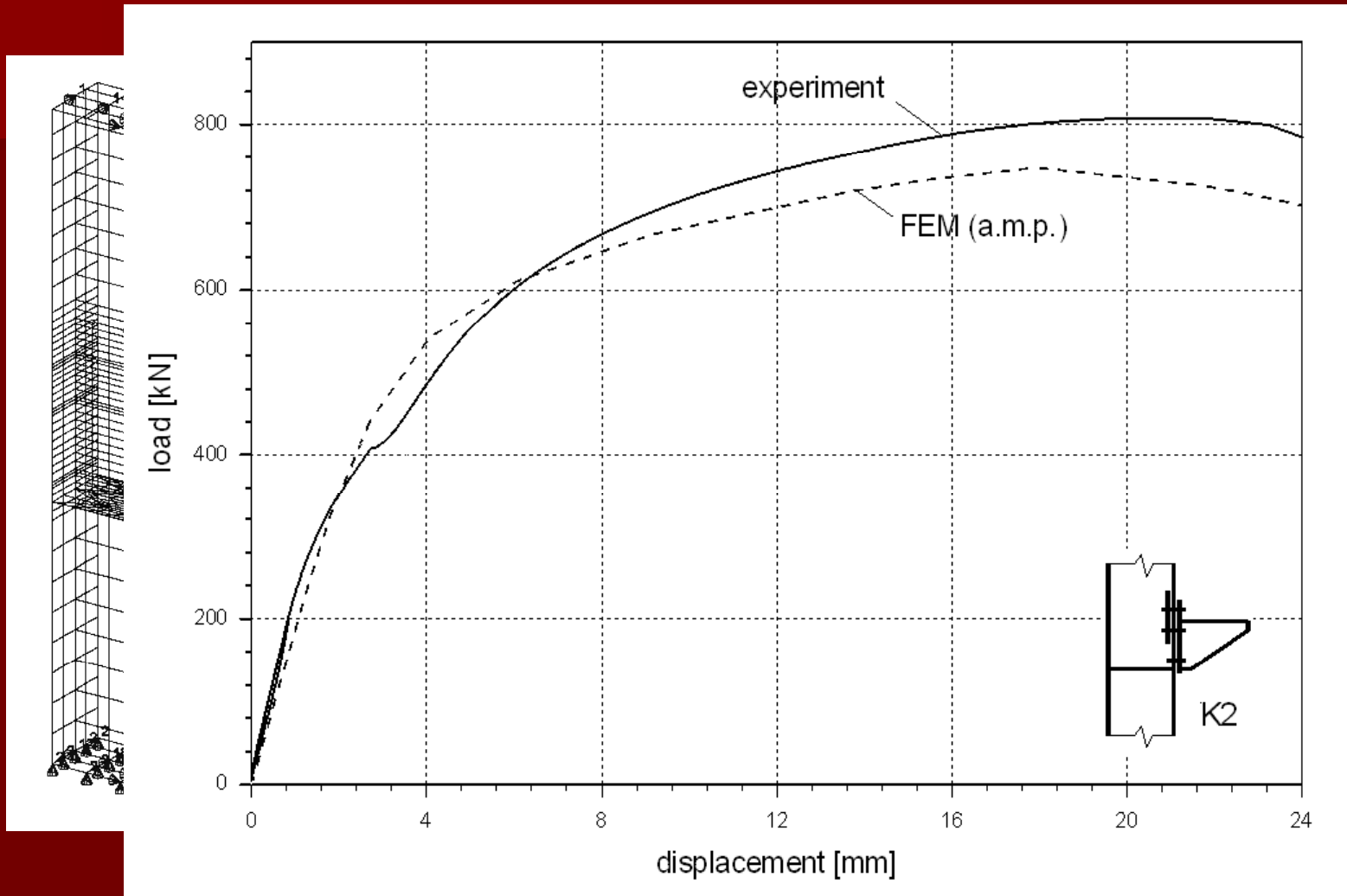


kísérlet jele	M20	M24
Z1	-	statikus és fárasztó kísérlet
Z2	-	statikus és fárasztó kísérlet
K1	statikus és fárasztó kísérlet	statikus és fárasztó kísérlet
K2_z	-	statikus és fárasztó kísérlet
K2	statikus és fárasztó kísérlet	statikus és 2 fárasztó kísérlet
K3	fárasztó kísérlet	statikus és 3 fárasztó kísérlet

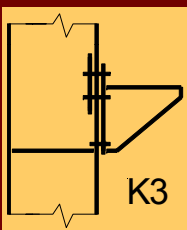
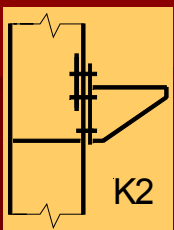
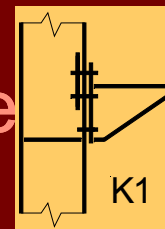
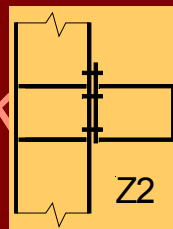
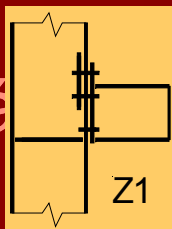
# Teherbírásvizsgálati eredmények összefoglalása



# FE-modell



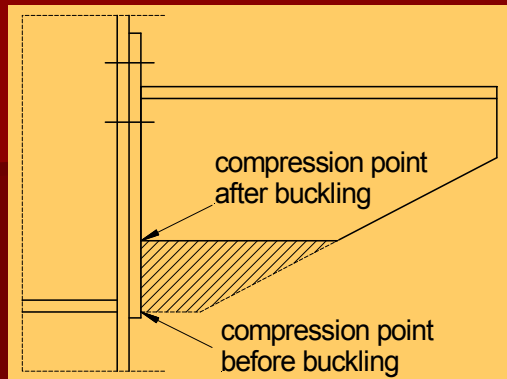
Fá...



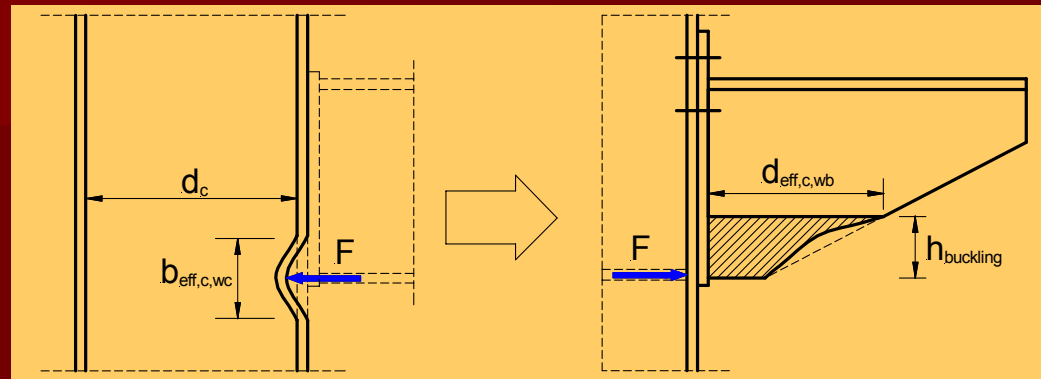
ért statikus eherbírás [kN]	teherlépcsők [kN]	teherismétlés- szám	tönkre- meneteli mód
950	665 / 628 / 569 / (483)	ca. 13,000	homloklemez
950	665 / 628 / 569 / (483)	ca. 8,000	homloklemez
530	371 / 350 / 318 / 270	ca. 109,000	homloklemez
590	413 / 390 / 354 / 300	ca. 42,000	homloklemez
<b>K2-M20</b>	700	ca. 13,000	csavartörés
<b>K2-M24 (*)</b>	805	ca. 24,000	homloklemez
<b>K2-M24 (**)</b>	805	ca. 293,000	oszlopperinc
<b>K2_z</b>	437	ca. 170,000	homloklemez
<b>K3-M20</b>	840	ca. 26,000	csavartörés
<b>K3-M24 (*)</b>	1,350	ca. 13,000	homloklemez
<b>K3-M24 (**)</b>	1,350	ca. 154,000	homloklemez
<b>K3-M24 (***)</b>	1,350	ca. 563,000	nincs törés



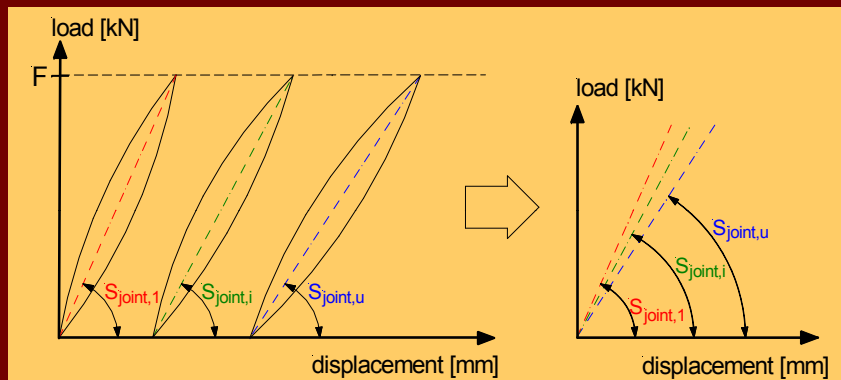
# Méretezési módszer



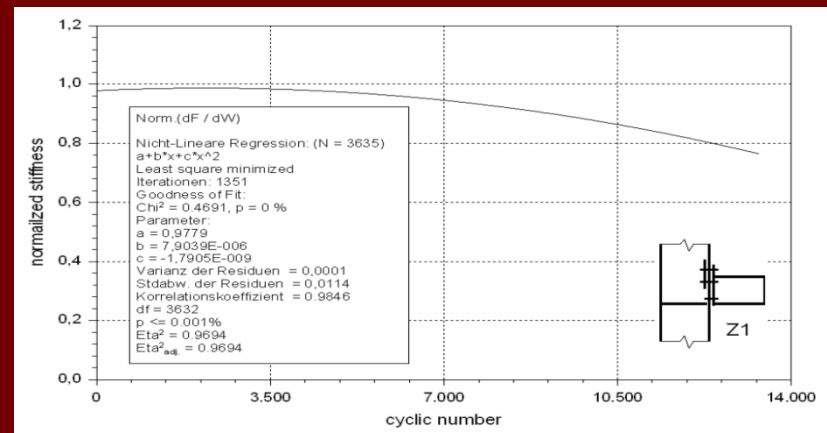
Analitikus méretezési eljárást dolgoztam ki nyomott öv nélküli konzolok teherbírásának meghatározására.



Bevezettem egy új merevségi tényezőt a kapcsolat kezdeti merevségének számításához.

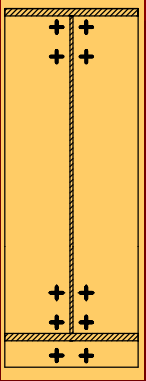
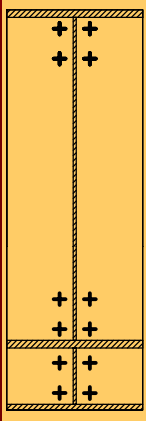
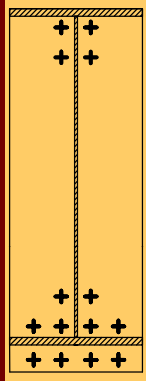
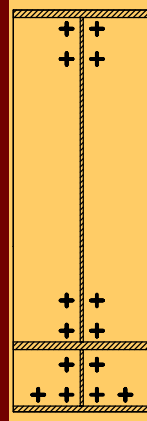
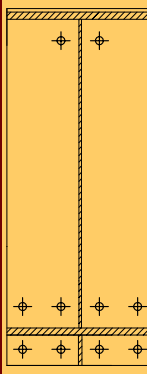


A terhelés alatti merevségváltozás jellemzésére bevezettem egy másodfokú közelítést, és kísérleti eredményekből meghatároztam a közelítő függvény paramétereit.



# Gerenda-gerenda kapcsolatok

## Kísérleti program

				
a.) standard kapcsolati kialakítás	b.) kalapácsfej kialakítású kapcsolat	c.) a túlnyúlásban és a második csavarsorban négy csavart alkalmazó kapcsolati kialakítás	d.) kalapácsfejes kapcsolati kialakítás négy csavarral az első csavarsorban	e.) a túlnyúlásban és a második csavarsorban négy csavart alkalmazó kapcsolati kialakítás merevítővel

# Kísérleti próbadarabok

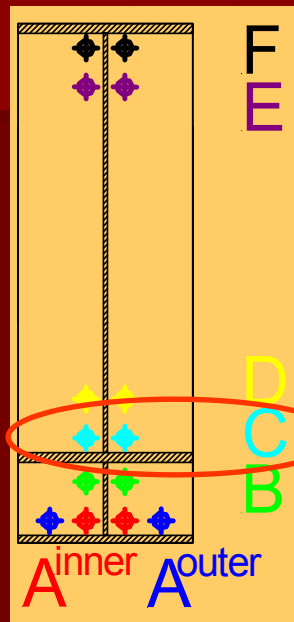
homloklemez kialakítása												
kapcsolat típusa	I			II			III			IV		
kísérlet megnevez.	TB2	TB6	TB10	TB3	TB7	TB11	TB4	TB8	TB12	TB5	TB9	TB13
homloklemez vastagság $t_{ep}$ [mm]	12	15	20	12	15	20	12	15	20	12	15	20

homloklemez kialakítása												
kísérlet megnevez.	TA	TB	TC		TD		TE	TF				
homloklemez vastagság $t_{ep}$ [mm]	16	20	20		16		20	24				

# Kísérleti elrendezés



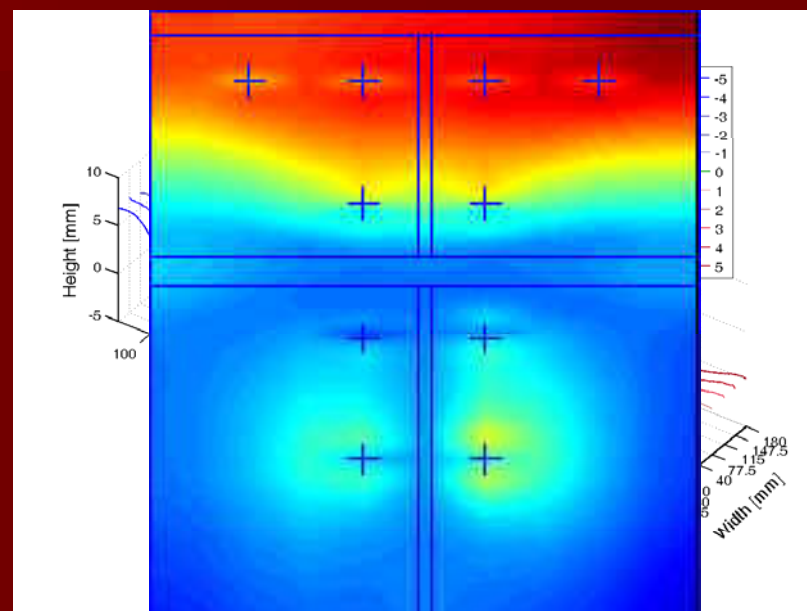
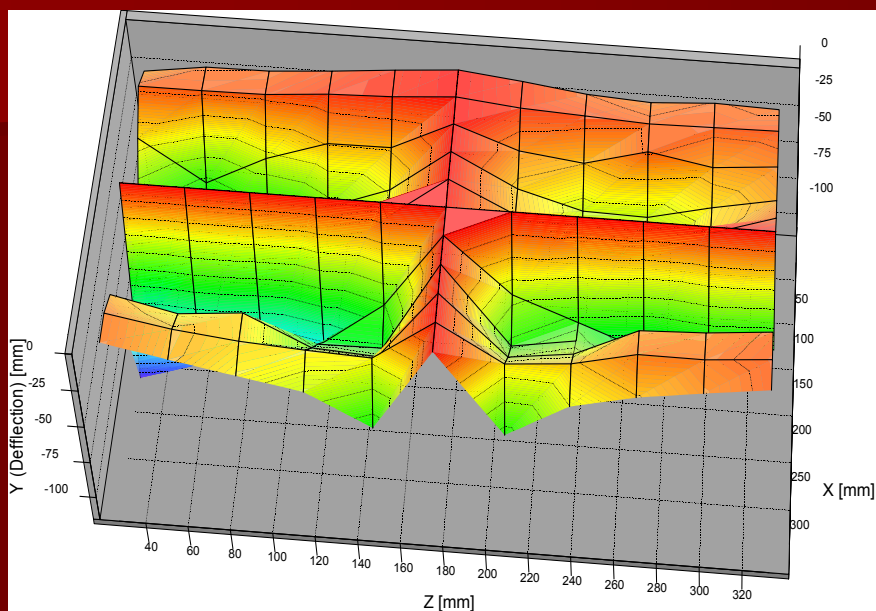
# Csavarerők eloszlása és a tönkremeneteli mód



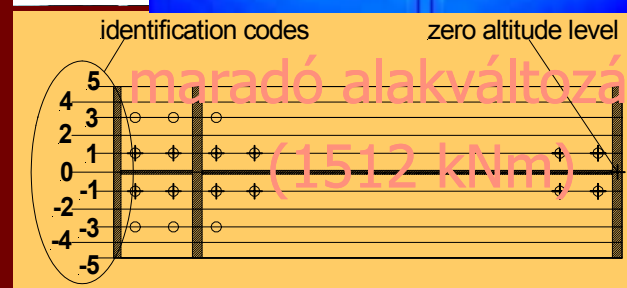
TB3 ( $t_{ep} = 12 \text{ mm}$ ) próbatest

[test\\_TB3.exe](#)

# Homloklemez alakváltozásainak mérése



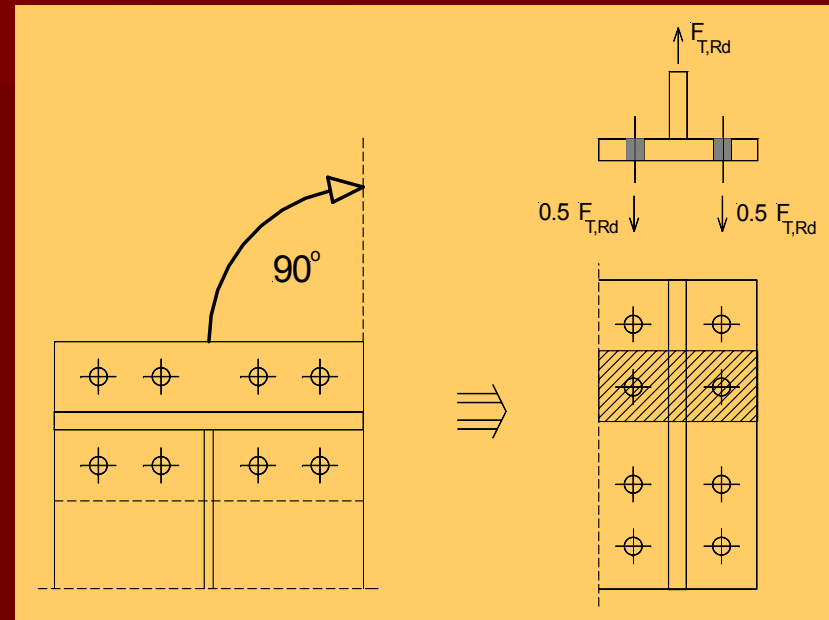
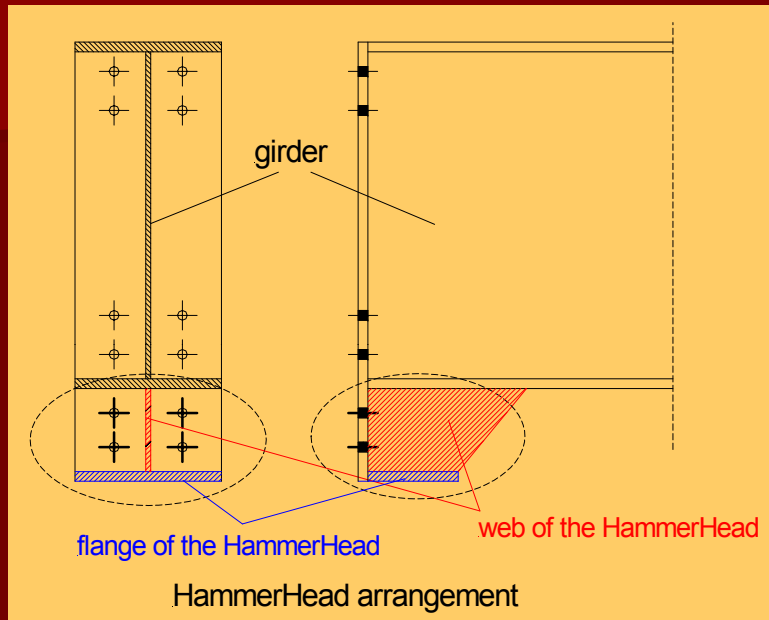
alakváltozások 1050 kNm  
terhelésnél



maradó alakváltozások  
(1512 kNm) jában

TB3 ( $t_{ep} = 12 \text{ mm}$ ) próbatest

# Méretezési módszer



Analitikus eljárást dolgoztam ki az EC3 komponensmódszerét felhasználva:

- kalapácsfej kialakítású kapcsolatok nyomatéki ellenállásának számítására
- egy csavarsorban két és/vagy négy csavart tartalmazó homloklemez-es kapcsolatok nyomatéki ellenállásának meghatározására

# Új tudományos eredmények

## 1. tézis

Megterveztem és végrehajtottam egy kísérleti programot acélszerkezetű, homloklemez, csavarozott, könnyű darupályakonzolok (nyomott öv nélküli kialakítás) statikus és fárasztó nyomatéki terhelés alkalmazásával történő vizsgálatára, a szerkezeti kialakítás statikus teherbírásának és fáradási viselkedésének meghatározása céljából.

A kísérleti eredmények alapján a következőképpen határoztam meg a kapcsolatok statikus és fáradási viselkedési módját:

- Meghatároztam a vizsgált kapcsolatok statikus teherbírását, és jellemeztem a különböző tönkremeneteli módokat (gerinchorpadás és homloklemeztörés). Az eredményekre támaszkodva leírtam a csavarátmérő és az alkalmazott merevítési kialakítások (gerincmerevítés, övhizlaló lemez) hatását.
- Meghatároztam a fárasztó igénybevételhez tartozó tönkremeneteli módokat, és jellemeztem az ellenállást és a merevséget, illetve az ezek leépülését befolyásoló főbb tényezőket (csavarátmérő, gerincvastagság, kapcsolat merevítettségének módja).
- A terhelés alatti merevségváltozás jellemzésére bevezettem egy másodfokú közelítést, és kísérleti eredményekből meghatároztam a közelítő függvény paramétereit.



# Új tudományos eredmények

## 2. tézis

Analitikus vizsgálatokat végeztem a könnyű darupályakonzolok vizsgálata során nyert eredmények alapján:

- A konzol innovatív kialakítása következtében (nincs nyomott öv) az Eurocode 3 szabvány nem tartalmaz eljárást a statikus teherbírás és a gerinclemez merevségének számítására. Kifejlesztettem egy analitikus számítási módszert a statikus teherbírás meghatározására, valamint bevezettem egy új merevségi tényezőt a kapcsolat kezdeti merevségének számításához. A kísérleti eredmények felhasználásával ellenőriztem és igazoltam a kifejlesztett számítási módszert.
- Kidolgoztam és ellenőriztem egy nemlineáris vége-selemes modellt csavarozott, homloklemez, könnyű darupályakonzolok számítására. A kifejlesztett modellt felhasználtam a statikus teherbírás és a várható tönkremeneteli mód kísérleteket megelőző meghatározására. A kísérletek elvégzése után összehasonlítottam a számított és a mért eredményeket, és igazoltam a modell helyességét.

# Új tudományos eredmények

## 3. tézis

Megterveztem és végrehajtottam egy kísérleti programot acélszerkezetű, homloklemez, csavarozott gerenda-gerenda kapcsolatok statikus teherbírási vizsgálatára, valamint az erő-alakváltozás viszony meghatározására nyomatéki terhelés alkalmazása mellett. A kísérletekben vizsgált kapcsolatok a csavarsorok között kiegészítő merevítőkkal ellátott, valamint úgynevezett kalapácsfej ("HammerHead") kialakításúak voltak, illetve soronként négy csavart tartalmaztak. Ezek a kapcsolati kialakítások kívül esnek az Eurocode 3 szabvány által lefedett területen.

Kiértékeltem és jellemeztem a statikus terhelés során mért kapcsolati viselkedést, és a mérési eredmények alapján az alábbi megállapításokat tettem:

- A mért csavarerők és homloklemez-alakváltozások alapján kimutattam, hogy a kapcsolaton belüli merevségeloszlás jelentősen befolyásolja a csavarokban ébredő erőket.
- Módszert dolgoztam ki a homloklemez alakváltozásainak mérésére a lemez rugalmas és képlékeny állapotában.
- A mérési eredményeket felhasználva kimutattam, hogy a tönkremenetelhez tartozó homloklemez-deformációk már a rugalmas zónában felismerhetőek.

# Új tudományos eredmények

## 4. tézis

Mivel az Eurocode 3 nem tesz ajánlást a teherbírás meghatározására kalapácsfej típusú kapcsolatokra, valamint nem tartalmaz explicit eljárást csavarok között elhelyezett merevítőkre, illetve az egy csavarsorban négy csavart tartalmazó kapcsolatokra, kidolgoztam egy analitikus eljárást ilyen kapcsolati kialakításokra a szabvány komponensmódszerét felhasználva. Az analitikus vizsgálatok eredményeit az alábbiakban foglalom össze:

- Kidolgoztam egy méretezési eljárást csavarok között kiegészítő merevítőket tartalmazó kapcsolatok nyomatéki ellenállásának számításra. A mérési eredmények segítségével ellenőriztem és igazoltam a kidolgozott eljárás helyességét.
- Kidolgoztam egy méretezési eljárást kalapácsfej típusú kapcsolatok nyomatéki ellenállásának számítására. A méretezési eljárást a mérési eredmények segítségével igazoltam és megmutattam a modell alkalmazási határait.
- Kifejlesztettem egy Eurocode 3-alapú méretezési eljárást az egy csavarsorban négy csavart tartalmazó homloklemez-es kapcsolatok számítására. A kidolgozott eljárás alkalmazásával az egy csavarsorban két és/vagy négy csavart tartalmazó homloklemez-es kapcsolatok nyomatéki ellenállása határozható meg. Az eljárást a mért és a számított csavarerők összehasonlításával ellenőriztem, majd az eredményekre támaszkodva igazoltam a kidolgozott eljárás helyességét.

# Új tudományos eredmények

## 5. tézis

Az analitikus vizsgálatok és a kísérleti eredmények összehasonlítása alapján tervezési szabályokat határoztam meg, melyek kedvező fáradási és statikus viselkedésű, valamint ellenállású kialakításokat tesznek lehetővé.

- - Kimutattam, hogy a statikusan terhelt csavarozott darupályakonzolok teherbírása és merevsége kiegészítő merevítőkkal, bizonyos határok között, növelhető. Amennyiben azonban a terhelés fárasztó jellegű, a teherbírás növelésének célszerű útja a befoglaló méretek növelése, semmint kiegészítő merevítők alkalmazása.
  - Rámutattam fárasztó terhelésnek kitett kapcsolatoknál a kapcsolat duktilitásának jelentős szerepére, a merevítések elhagyásának kedvező hatására. A kísérleti eredmények igazolták, hogy a nagyobb merevségű kapcsolatok alacsonyabb ismétlésszámnál mennek tönkre. Fárasztó igénybevételeknek kitett kapcsolatoknál a hirtelen, idő előtt bekövetkező tönkremeneteleket, mint a csavartörés, kerülni kell.
  - A darupályakonzolokon végzett kísérletek eredményei alapján megmutattam, hogy az övhizláló lemezes kialakítás fárasztó terhelés esetén előnyösebben viselkedik, mint a behegesztett gerincmerevítéseket tartalmazó megoldás.
- - Kalapácsfej kialakítású kapcsolatoknál kimutattam, hogy a csavarokat, a lehetőségek szerint, a „mrev” kapcsolati elemek közelében, azaz a húzott öv közelében kell elhelyezni.
  - Az elvégzett kísérletek eredményei alapján megmutattam, hogy az egy sorban négy csavart tartalmazó kapcsolatok megfelelően megválasztott csavarkiosztás mellett a kapcsolati teherbírás szempontjából versenyképes megoldást nyújtanak például a kapcsolat újratervelésével, vagy a gerenda befoglaló méreteinek növelésével szemben. A kísérleti eredményekre támaszkodva a húzott övre szimmetrikus csavarképet javasoltam, mellyel a csavarok előnyös kihasználtsága érhető el.
  - Kísérleti eredményekkel igazolva kimutattam a háromszög alakú merevtők hatékonyságát, melyek alkalmazásával meggátolható a csavarok csoportos tönkremenetele, és növelhető a gerinc húzási ellenállása.

# Köszönetnyilvánítás

Megköszönöm témavezetőm, Dunai László professzor úr segítségét, melyet a kutatási munkám ideje alatt nyújtott. Köszönöm neki és a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Hidak és Szerkezetek Tanszékének Szerkezetvizsgáló Laboratóriumában dolgozó munkatársaknak a segítséget, melyet a kísérletek összeállítása és végrehajtása során nyújtottak nekem.

Szeretném kifejezni köszönetemet Hartmut Pasternak professzor úrnak azért a segítségét, melyet cottbusi tartózkodásom alatt nyújtott. Köszönöm neki és a Cottbusi Műszaki Egyetem Acélszerkezetek Tanszékén, valamint a Laboratóriumban dolgozó munkatársaknak, hogy segítettek a kísérletek összeállítása és végrehajtása során.

Köszönöm a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Hidak és Szerkezetek Tanszékén dolgozó minden kollega segítségét és tanácsait, melyeket a disszertációm kidolgozása alatt nyújtottak.

Köszönetemet szeretném kifejezni mindazon személyeknek, akik munkám során együttműködésükkel és értékes tanácsaikkal hozzásegítettek dolgozatom elkészítéséhez.