

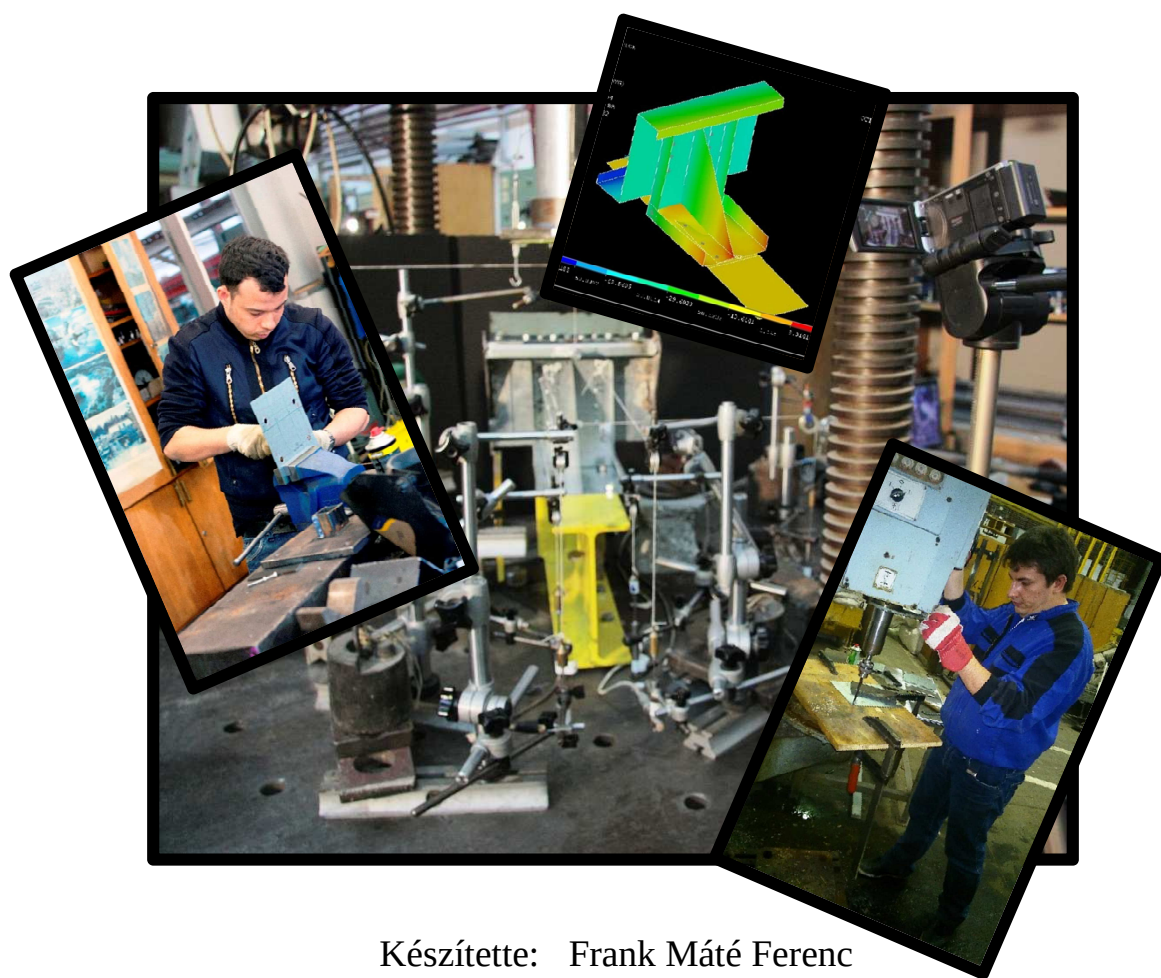


BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

ÉPÍTŐMÉRNÖKI KAR

Hidak és Szerkezetek Tanszéke

Szelementartó bak kísérlettel támogatott tervezése



Készítette: Frank Máté Ferenc
Janik Ottó

Tanszéki konzulens: Dr. Katula Levente Tamás

2014/2015/I. FÉLÉV

Tartalomjegyzék:

Bevezetés.....	4
1. Szelementartó bak tűzihorganyzott vékonylemezekből.....	7
1.1. Korrózióvédelmi megfontolások.....	7
1.2. Szóba jöhető hegesztéstechnológiák.....	8
2. Bakkal szemben támasztott követelmények.....	12
2.1. Teherbírási követelmény.....	12
2.2. Alakváltozási követelmény.....	13
2.2.1. A szelemengerinc elfordulására vonatkozó alakváltozási határérték.....	13
2.2.2. A szelemen felső övére vonatkozó alakváltozási követelmény.....	15
2.3. A szerkezeti elem kialakításával kapcsolatos irányelvek.....	17
3. A brainstormingtól a szerkezettervezésig.....	18
3.1 Brainstorming.....	18
3.1.1. Baktípusok elemzése.....	19
3.2. Technológiai lehetőségek felmérése.....	23
3.3. Döntésmátrix - választott szerkezeti kialakítások.....	23
4. Szelementartó bak tervezése.....	26
4.1. A bakok tervezésével és gyártásával kapcsolatos általános megjegyzések.....	26
4.1.1. Méretkoordináció.....	26
4.1.2. Technológiai korlátok ellenőrzése.....	27
4.1.4. Imperfekciók értelmezése.....	28
4.2. B200-2L12-1AB12 baktípus.....	29
4.3. B200-2U10-1AB10 baktípus.....	30
5. Kísérlettervezés.....	31
5.1 Kísérleti körülmények.....	31
5.2. Szelemengerinc - bakgerinc csavarozott kapcsolatának ellenőrzése.....	34
5.3. Alkalmazott mérőműszerek.....	40
5.4. Mérési hibák.....	42
5.4.1. Elmozdulás mérőrendszer kialakításából adódó hiba.....	42
6. B200-2L12-1AB12 baktípus kísérleti eredményei.....	43
6.1. B200-2L12-1AB12-04 tesztelem kísérlete.....	45
6.2. B200-2L12-1AB12-05 tesztelem kísérlete.....	49
6.3. Eredmények összehasonlítása.....	54
7. B200-2U10-1AB10 baktípus kísérleti eredményei.....	55
7.1. B200-2U10-1AB10-06 tesztelem kísérlete.....	57
7.2. B200-2L12-1AB12-05 tesztelem kísérlete.....	63
7.3. Eredmények összehasonlítása.....	70

8. B200-2U10-1AB10 baktípus numerikus modellezése.....	72
8.1 Numerikus modellel szemben támasztott követelmények.....	72
8.2. Végeselemes vizsgálat.....	72
8.2.1. A modell.....	72
8.2.1.1 A modellezett elemek és globális geometria.....	72
8.2.1.2. Anyagmodellek	76
8.2.1.3. Alkalmazott végeselemek, hálózat	77
8.2.1.4. Kapcsolatok modellezése:	77
8.2.1.4. Támaszok kialakítása	79
8.2.1.5. Teher modellezése.....	80
8.2.2. Szilárdsági vizsgálat.....	81
8.2.2.1. Analízis.....	81
8.2.2.2. Eredmények.....	82
9. A kutatási időszak eredményei, összegzés	83
10. Fejlesztési lehetőségek, tovább lépés	84

Forrásjegyzék

NYILATKOZAT

„Alulírott Frank Máté Ferenc és Janik Ottó a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem hallgatói kijelentjük, hogy az alábbi OTDK-dolgozatot, a mű végén csatolt összes mellékletet és tervrajzot meg nem engedett segítség nélkül, saját magunk készítettük. A műben kizárólag a megadott forrásokat használtuk fel. Minden olyan részt, amelyet szó szerint vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettünk, a források pontos megjelölésével a mű végén tüntettük fel.”

.....

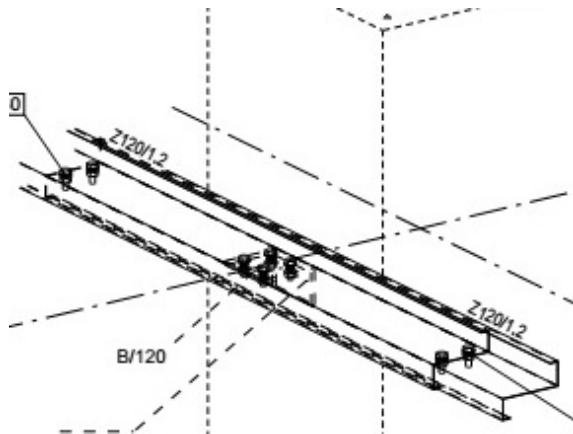
FRANK MÁTÉ FERENC

.....

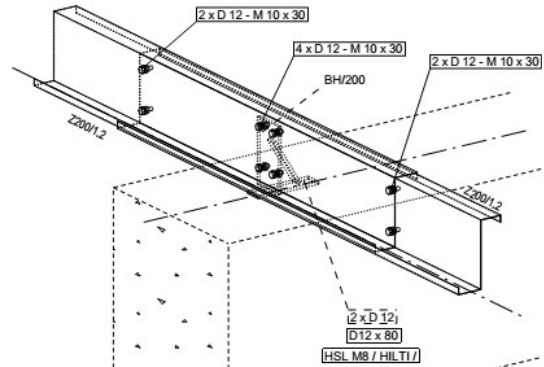
JANIK OTTÓ

Köszönetnyilvánítás

Szeretnénk kifejezni ezúton is köszönetünket Konzulensünknek, Dr. Katula Levente Tamás Úrnak konzulensi feladatainak ellátásáért, aktív segítségnyújtásáért és munkánk folyamatos koordinálásáért. Köszönet illeti Dr. Völgyi István valamint Dr. Zsarnóczy Ádám Urakat értékes tanácsaikért, intenzív segítségnyújtásukért. Hálásak vagyunk Dr. Kotormán István Úrnak (Lindab Hungary Kft.), aki a kísérleti anyagokat biztosította számunkra, ezzel támogatva a kísérletek elvégzésének lehetőségét. Szeretnénk megköszönni Visy Dávid Úrnak a numerikus modellezésben nyújtott olyan szintű segítségét, ami emberileg csak lehetséges, és akinek segítségével a numerikus modellezéssel alig több, mint másfél hónap alatt nem boldogultunk volna. Továbbá Dr. Kaltenbach László Úrnak, Dr. Mansour Kachichan Úrnak a kísérletek elkészítésében és végrehajtásában nyújtott segítségéért, valamint Kálózi Péter, Soltész Atilla és Halász Atilla Uraknak a laboratóriumi munkánk során nyújtott segítségükért.



2. ábra Falvázgerenda rögzítése az oszlophoz*



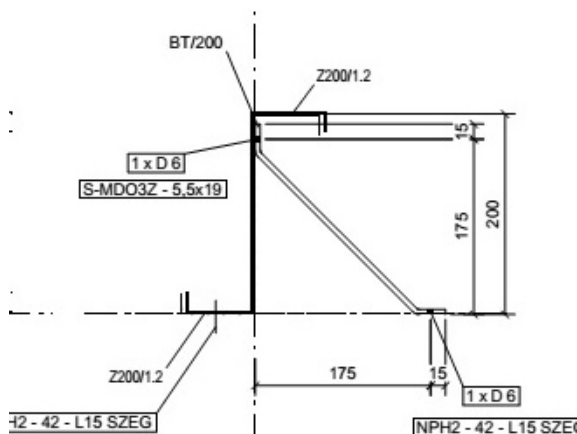
3. ábra Szelementartó bak*

*az ábrák forrása: [2], 14. old., 10. old.

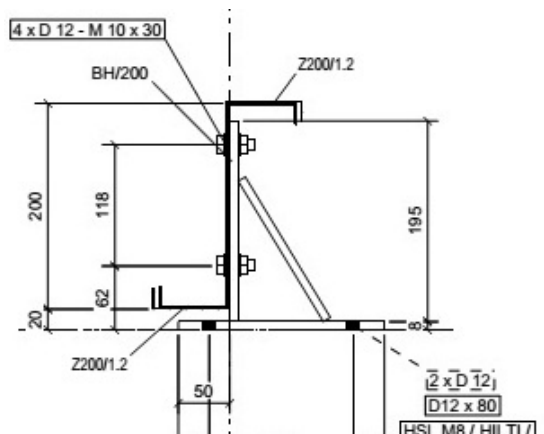
Ebben a tanulmányban a hierarchikus felépítésű csarnokrendszerek utóbb bemutatott szerkezeti elemével, az ún. **szelementartó bakkal** (röviden bak) foglalkozunk.

Jelenleg elterjedt alkalmazások

Vasbeton vázszerkezetű csarnokok esetében alapvetően két típusú bakot különböztethetünk meg. Az első típusnál a bakok hordják a szelemeneket, azaz a szelemen nem ül fel a főtartó felső övére. A második típust a főtartóra felfekvő szelemenekhez fejlesztették ki, mely esetében a bak csupán megtámasztja a szelemen gerincét. Az Lindab Hungary Kft. által jelenleg forgalmazott bakok szerkezeti kialakítását az. **4. és 5. ábrák** illusztrálják. Mindkét típusra elmondható, hogy vastag lemezekből hidegen hajlítják, majd bizonyos típusok esetében az elemeket védőgázos ívhegesztéssel kapcsolják. A szelemeneket önfúró, vagy metrikus csavarokkal rögzítik a bakok gerincére. A bakokat a főtartókra helyszíni szereléstechológiával rögzítik, általában szögbelövőkkel.



4. ábra BT/200 típusbak**



5. ábra BH/200 típusbak**

** képek forrása: [2], 12., 10. oldal

Fémvázas csarnokok esetében melegen vagy hidegen hengerelt U-szelvényeket hegesztenek a főtartók külső öveire. IPE szelvény felső övére hegesztett U-szelvényű szelementartó bakot láthatunk az **1. képen**.



1. kép U-szelvényű szelementtartó bak

A gyártás és szerelés egyszerűsítésében rejlő potenciál

Ilyen szerkezeti elemek gyártásakor a hegesztési varratok kialakítására rendelkezésre álló hely kicsi, ami a varrat minőségének romlásához vezethet. A varratban üregek, zárványok (lunkerek) keletkezhetnek, melyek később ciklikus terhelés hatására - szél dinamikus hatása, daru által okozott rezgések - fáradt repedések kiindulási helyei lehetnek. Közepes méretűnek tekinthető csarnok geometriát feltételezve, mely alatt teoretikusan 6,0 m-es

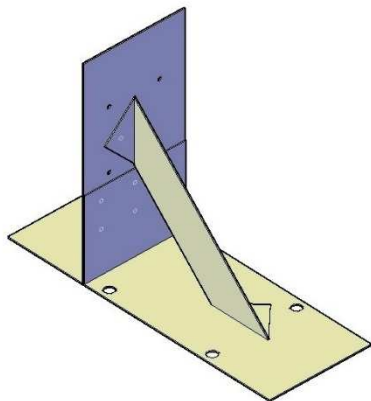
keretállás távolságot, 20 m-es fesztávolságot, 10 m-es taréjmagasságot, 3%-os tetőlejtést és 2,5 m-es szelementávolságot értünk, egy gerendára kb. 5-6 szelementtartó bak kerül.

Acélszerkezetek gyártásakor az építőiparban az általánosan elfogadott tűrés $\pm 1,0$ mm. Tapasztalataink szerint a bakok főtartóra való hegesztésénél 2 szerelő dolgozik, akik közül az egyik fixen tartja a bakot, míg a másik hegeszt. Még gyakorlott szakembereknél is gyakran előfordul, hogy a bakok pár mm-rel arrébb csúsznak hegesztés közben. Jobb esetben még a gyártócsarnokban észre veszik ezeket a hibákat és javítják, vagy szükség esetén cserélik a bakokat. Hazai kivitelezőkkel való beszélgetések alapján, továbbá tapasztalataink szerint néha előfordul, hogy a bakok az üzemben még a kiviteli terveknek megfelelően kerülnek a főtartókra, azonban mivel a bakok a főtartó leggyengébb elemei, szállítás során elferdülnek vagy letörnek. Ilyenkor azokat az építési helyszínen kell a terv szerinti pozíciójukba visszaállítani, mellyel olyan sajátfeszültségeket vihetnek a szelemenrendszerbe is, hogy azok később a tetőszerkezet lokális károsodásának lehetnek kiindulópontjai. Továbbá a bakok építéshelyszíni szerelése technológia és szakemberigényes.

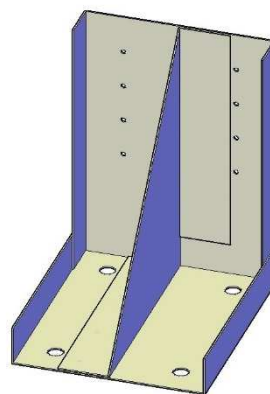
A jelenleg alkalmazott konstrukciók gyártási nehézségeit alapul véve, távlati célként fogalmazódott meg egy olyan kapcsolóelem előállítása, melynek szerelése semmilyen körülmények között nem igényel helyszíni hegesztést, gyártását könnyű automatizálni, alkalmazhatósága sokoldalú.

1. Szelementartó bak tűzihorganyzott vékonylemezekből

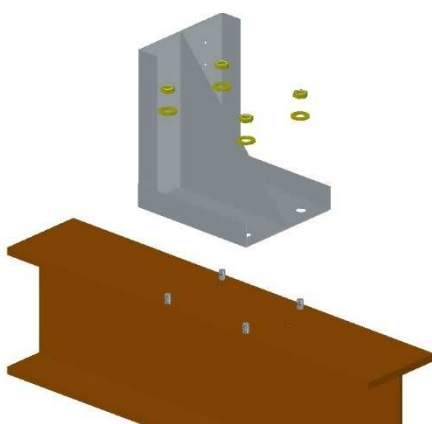
Egy ilyen szerkezeti elem késztermékként jelenne meg a forgalomban és az építéshelyszínen önfúró csavarokkal kerülne a főtartók felső övére. A szelemeneket szintén önfúró csavarokkal rögzítenék a bakok gerincére. Példaképpen szeretnénk bemutatni a brainstormingok során közösen kitalált, a fent említett igényeknek megfelelő új konstrukciókat, melyeknek felépítését a **1.1 és 1.2 ábrák** illusztrálják. A szerelés elvi lépéseit az **1.3 és 1.4 ábrák** mutatják be.



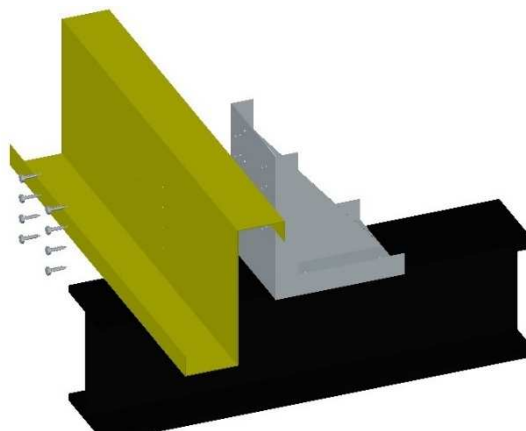
1.1 ábra A téli brainstorming során kitalált baktípus



1.2 ábra Tavaszi brainstorming egyik eredménye



1.3 ábra Bak szerelése a főtartóra



1.4 ábra Szelemen rögzítése a bak gerincére

1.1. Korrózióvédelmi megfontolások

A korrózióvédelmi előírásokat szem előtt tartva előnyös lenne, ha a bak alapanyaga felületvédelemmel lenne ellátva. Különbféle felületvédelmi rendszereket tanulmányozva a tűzihorganyzás technológiája mellett döntöttünk. „A tűzihorganyzás egy olyan technológiai folyamat, ami alatt, az előzőleg lekezelt zsírtalanított, lemaratott fém, ötvöződik és védőréteget alkot, a folyékony cinkkel biztosítva a rozsdamenteséget az alapanyagnak” [4]. Jelenleg az egyik leghatékonyabb rozsdá elleni védekezés, mely tartósabb felületvédelmet biztosít, mint a normál, forgalomban kapható zománcfestékek vagy a lakkozás, továbbá olcsóbb, mert ára rövid időn belül megtérül, ha a szerkezet teljes élettartamát vizsgáljuk.

1.2. Szóba jöhető hegesztéstechnológiák

A gyártás automatizálhatósága érdekében javasolt lenne, ha már az alapanyag tűzihorgany bevonattal lenne ellátva. A legelőnyösebb az volna, ha egyáltalán nem kellene utólagos felületkezelést alkalmazni.

A mobil szerelés megkönnyítése érdekében a baknak minél kisebb tömegűnek kell lennie, így az elemet 1,0-1,5 mm vastagságú lemezekből terveztük megvalósítani.

A felületvédelemmel ellátott szerkezeti elem hegesztésének automatizálása az ellenálláshegesztést hívta segítségül. Az ellenálláshegesztés a sajtolóhegesztés elvén alapuló kötőhegesztés, amellyel két vagy több munkadarabot hő és nyomás alkalmazásával oldhatatlanul egyesítünk. A varratképződéshez szükséges **Q** hőmennyiség egyrészt a **I** villamos áram, másrészt az egyesítendő szerkezeti elemek, valamint az áram és a nyomás átviteléhez szükséges elektródák **R** villamos ellenállása révén fejlődik.

A szerkezetek kialakítása végett (pl. ld. **1.1 és 1.2 ábrákat**) a hegesztett kötések elkészítésére kevés hely áll rendelkezésre. Az elterjedt ellenálláshegesztő berendezések helyigényét, továbbá a rendelkezésünkre álló eszközpark (BME, Szerkezet és Anyagvizsgáló Laboratórium) nyújtotta lehetőségeket vizsgálva az ellenállás-ponthegesztés technológia mellett döntöttünk.

Az ellenállás-ponthegesztés a gépjárműiparban az egyik legjobban elterjedt hegesztéstechnológia. Az **1.1 és 1.2 képeken** a modern ponthegesztés eljárásokról láthatunk egy-egy pillanatképet. Baloldalon egy kézi ponthegesztő, jobb oldalon egy gyártósorba illesztett robotizált ponthegesztő berendezést.

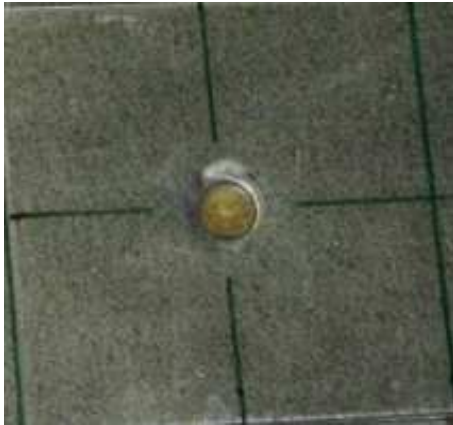


1.1 kép Kézi ellenállás-ponthegesztő berendezés



1.2 kép Gyártósorba illesztett ellenállás-ponthegesztő berendezés

A rendszerezést - kutatómunka jellege miatt - az elektródákat összeszorító erő és elektróda mozgatás szerint célszerű megemlíteni. Az elektróda mozgatása szerint megkülönböztetünk egyenes vonalú, illetve görbe vonalú berendezéseket. Az elektróda összeszorító erő alapján különbséget teszünk mechanikus, pneumatikus, ill. hidraulikus berendezések között. (Az [1] szakirodalom 107. oldalán további rendszerezési kategóriákat olvashatunk.)



Az eljárás hozanyag nélküli hegesztési technológia, melynek eredménye egy pontszerű hegesztett varrat. Egy ilyen ellenállás pontheesztett varratot láthatunk a **1.3 képen**.

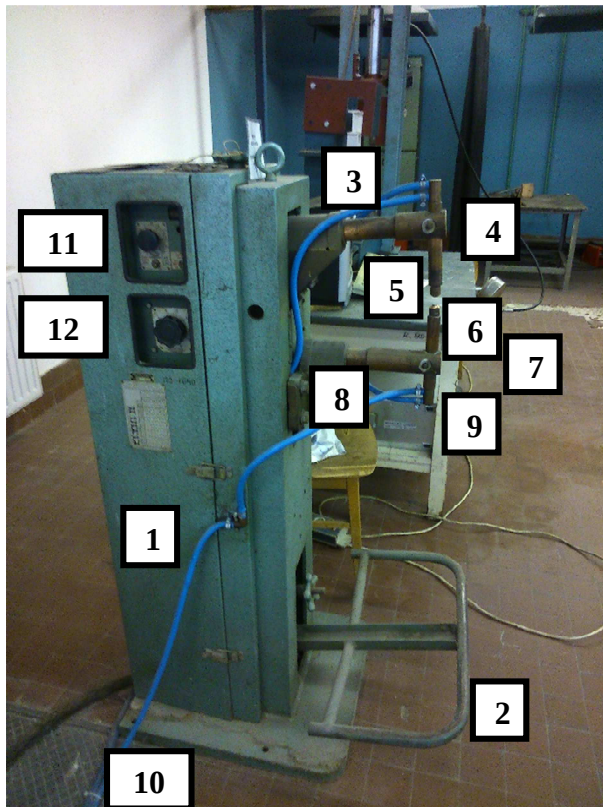
A hegesztés akkor válik gazdaságossá, ha egy optimális mechanikai tulajdonságú pontvarratot minél kevesebb hő befektetésével tudunk létrehozni. A hőmenyiség számítható az alábbi összefüggéssel:

$$Q = 0,239 \times I^2 \times R \times t \quad (1)^*$$

1.3 kép Pontvarrat

***[1]** 3.1.5. alfejezet: (3.7), 81. o

A munkánk során a hegesztett kötéseket egy ún. **helyben maradó ellenállás-pontheesztő géppel** végeztük, melynek elektróda mozgatása görbe vonalú volt. Az elektródaerő létrehozása mechanikusan történt. A hegesztőgépet az **1.4 képen** láthatjuk. A tervezés szempontjából számunkra fontosabb alkatrészeket a képen feltüntettük.



- 1 = géptest
- 2 = elektródatartót mozgató kar
- 3 = felső elektródatartó
- 4 = felső elektróda befogó
- 5 = felső elektróda
- 6 = alsó elektróda
- 7 = alsó elektróda befogó
- 8 = alsó elektródatartó
- 9 = vízhűtés vezetékének rögzítő bilincsei
- 10 = vízhűtés vezetéke
- 11 = hegesztés főidőt vezérlő gomb
- 12 = hegesztési áramerősséget szabályzó gomb

1.4 kép Ellenállás pontheesztő gép

A hegesztett kötés – pontvarrat – minősége az alábbi tényezőktől függ, melyeket hegesztési paramétereknek nevezünk:

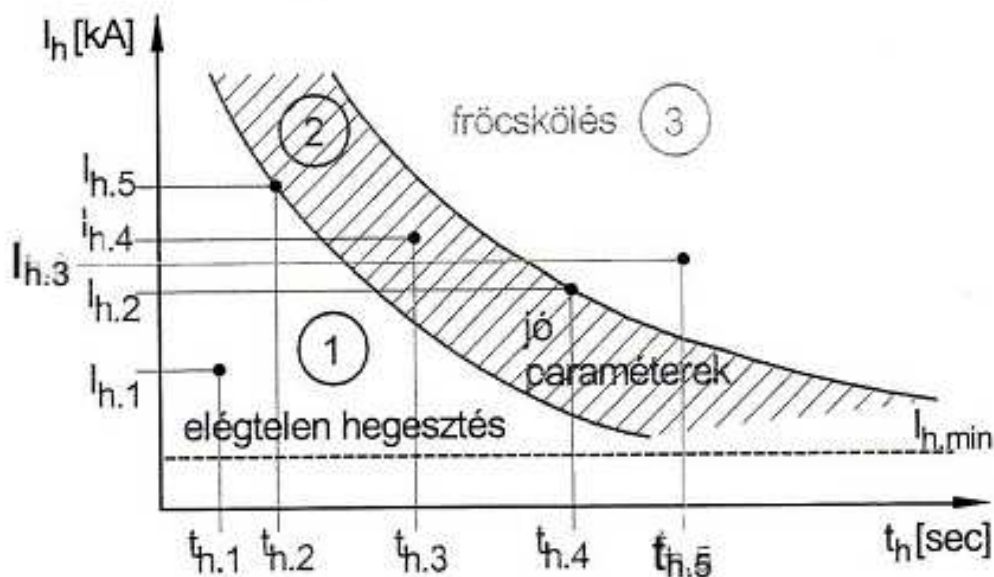
- | | | |
|--|----------|------------------|
| ➤ elektróda összeszorító erő: | F_{el} | [kN] |
| ➤ hegesztési áramerősség: | I | [kA] |
| ➤ áramfolyás ideje (hegesztési főidő): | t | [periódus = per] |

- elektródák belső ellenállása
- hegesztendő lemezek belső ellenállása
- kontakt ellenállás a hegesztendő felületek között
- kontakt ellenállás a hegesztendő felület és az elektródacsúcsok között

}

R

A fent nevezett paraméterek közül az első hármat ún. **fő hegesztési paramétereknek** nevezzük, mert ezek határozzák meg legnagyobb mértékben a pontvarrat minőségét (a fejlődő Joule-hőt). Azonos Joule-hő tehát különböző hegesztő áramerősség, ill. hegesztési főidő értékekkel is létrehozható. Az **1.2 ábra** a hegesztési főidő (t) és áramerősség (I) függvényében mutatja az optimális beállításokat.



1.5 ábra Optimális hegesztési paraméter beállítások

Az **1.5 ábra** a ponthegesztés szempontjából három mezőt határoz meg. Az 1 jelű mezőhöz tartozó hegesztő áramerősség és a hegesztési idő értékekkel nem hozható létre megfelelő kötés. A 3 jelű mezőben túlzottan nagy a fejlődő hőmennyiség, ennek következménye a fröcskölés és az elektróda nagy benyomódása. Megfelelő minőségű pontvarratot a 2 jelű mezőhöz tartozó értékpárokkal lehet készíteni. Látható, hogy a hegesztési paraméterek egymástól is függő tényezők, melyeket egymással összhangban kell meghatározni. A hegesztéshez szükséges hőmennyiséget biztosíthatjuk nagyobb áramerősséggel és rövidebb hegesztési idővel, un. **kemény munkarenddel**, vagy kisebb áramerősséggel és hosszabb hegesztési idővel, **lágymunkarenddel**.

A hegesztés akkor gazdaságos, ha egy adott minőség kevesebb munkával, azaz kevesebb hőmennyiség befektetésével érhető el. Ahhoz, hogy kevesebb hőt keljen befektetni, csökkenteni kell az ellenállásokat ((1) alapján).

A fent részletezett ellenállás típusok közül kontakt ellenállások csökkenthetők, ha a hegesztendő felületeket megtisztítjuk. A varrat egységesebb minőségű lesz, ha az elektródacsúcsok

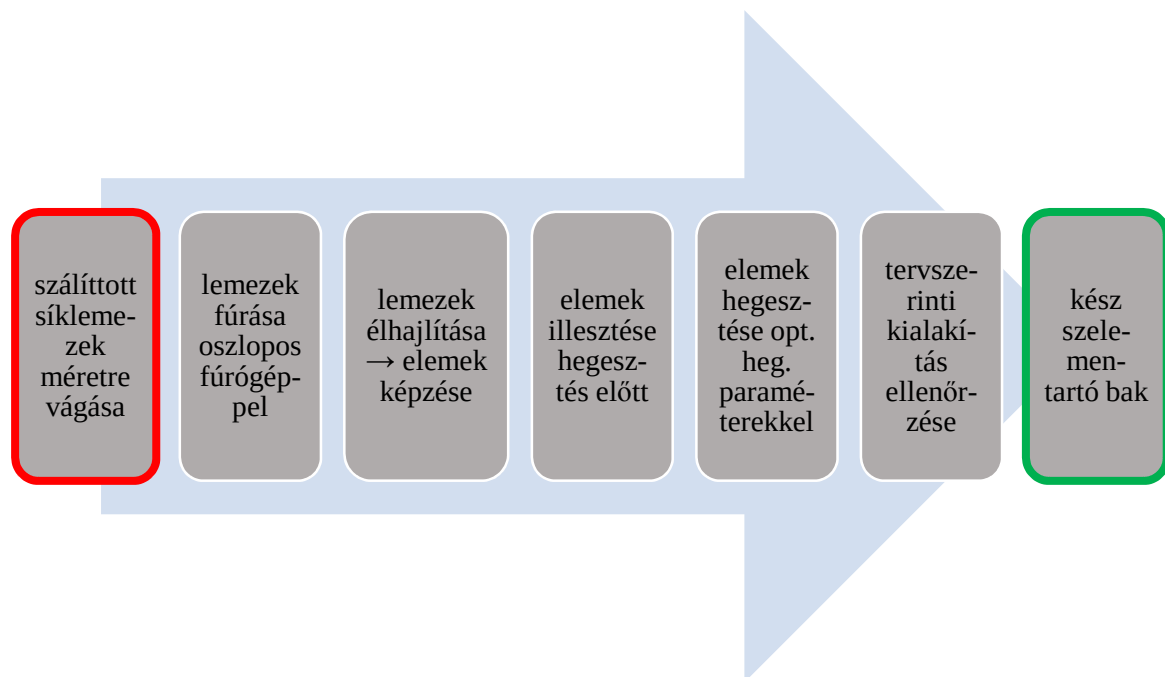
felülete szintén tiszta és sima. Bizonyos számú hegesztés után szükség lehet az elektróda csúcsok tisztítására, újra síkba csiszolására, melyet **elektróda felszabályozásnak** nevezünk. A kontakt ellenállások továbbá függnék az összeszorító erő (F_{el}) nagyságától is.

A hegesztendő lemezek belső (anyagi) ellenállása összefügg az lemezek vastagságával, homogenitásával, fajlagos ellenállásával és a pontvarrat átmérőjével.

Az ellenállás-ponthegesztés alkalmazhatóságának vizsgálata:

Korábban végzett kutatómunkám keretében hegesztési paraméteroptimalizációt végeztem tűzihorganyzott vékonylemezek (1,0; 1,2; 1,5 mm) ellenállás-ponthegesztett kapcsolatait vizsgálva [3]. Tapasztalataim szerint alkalmasan választott hegesztési paraméterek mellett a hőhatásövezetben az alapanyag tűzihorgany bevonata intakt marad. A tervezendő szelementartó bakok esetében ez azt jelenti, hogy az ellenállás-ponthegesztés technológiával utólagos felület kezelés nélkül (horganspray) tudnánk ilyen szerkezeteket kialakítani.

A fentiek összegzéseként bemutatjuk, hogy az általunk elképzelt szelementartó bakot, a rendelkezésünkre álló eszközpark lehetőségein belül maradván, hogyan készítettük el. A bak elkészítésének fontosabb lépéseit az **1.6 ábrán** követhetjük nyomon.

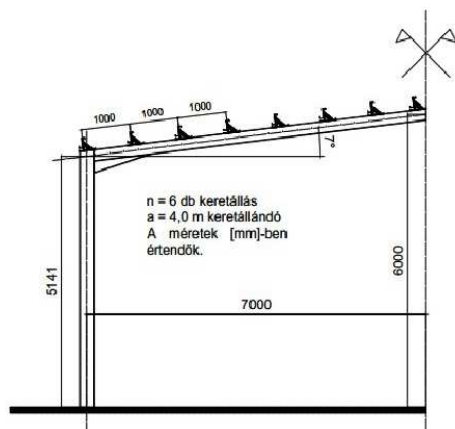


1.6 ábra A bak gyártásának folyamatábrája

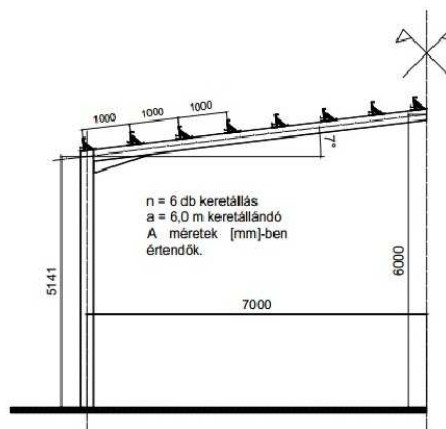
2. Bakkal szemben támasztott követelmények

2.1. Teherbírási követelmény

A bakokkal szemben támasztott teherbírási követelményeket két fiktív mintaépület alapján határoztuk meg, melyeket rendre **I. és II. bázisgeometriának** neveztünk. Az I. bázisgeometria egy kisebb, a II. egy nagyobb teherszintet kielégítő bak tervezési alapjául szolgált. A bázisgeometriák sematikus ábráit a **2.1 és 2.2 ábrákon** láthatjuk.



2.1 ábra I. bázisgeometria



2.2 ábra II. bázisgeometria

A számítás alapját képező csarnok méreteket, az iparban gyakran alkalmazott csarnokgeometriákhoz illesztettük, melyekről információkat az [5] és [6] forrásban találhatunk. A felvett méreteket ipari konzulensünkkel, Dr. Kotormán István Úrral, a LINDAB Magyarország Kft. munkatársával egyeztetettük.

A teherkombinációk felvételénél betartottuk az EN 1991 „Szerkezeti hatások” című szabvány előírásait. A **terheket teherbírási határállapotban (ULS) a tartós és ideiglenes tervezési helyzethez**, valamint a **rendkívüli tervezési helyzethez** tartozó teherkombinációkban határoztuk meg. A terheket ritka teherkombinációban is meghatároztuk a felvett bakok méretezéshez felvett szelemenek lehajlás korlátjának ellenőrzéséhez. A teherkombinációkban terhek karakterisztikus értékével számoltunk. (Az összes parciális tényezőt 1,0-nek vettük, de az egyidejűségi tényezőkkel számoltunk.)

A héjazatról a szelemeneken keresztül a bakra átadódó terheket kéttámaszú átvitelrel határoztuk meg. A bakokra jutó terhelést az I. ill. II. bázisgeometriát tekintve a **2.1 táblázatban** foglaltuk össze.

Teherbírási követelmények		
	I. bázisgeometria	II. bázisgeometria
Keretállandó	4,0 m	6,0 m
Szélső bak	6,592 kN	9,947 kN
Közbenső bak	13,184 kN	19,894 kN

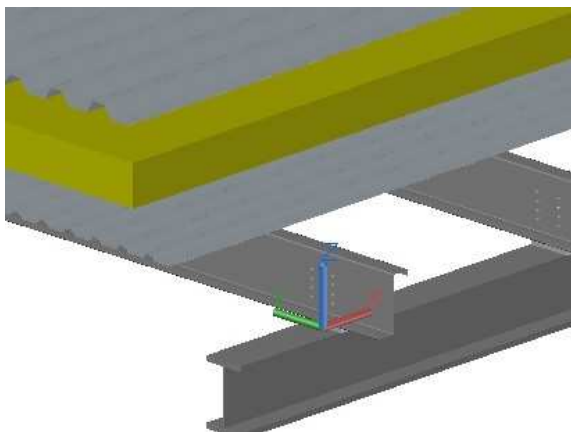
2.1 táblázat Teherbírási követelmények a szelementartó bakkal szemben

A számítás részleteit az [15] **M8-melléklete** tartalmazza.

2.2. Alakváltozási követelmény

2.2.1. A szelemengerinc elfordulására vonatkozó alakváltozási határérték

Lapostetők esetében a tető javasolt minimális lejtése 3%, amennyiben a tetőfelületen nem helyezünk el közbenső összefolyókat, vágákat. Az ennél kisebb tetőhajlás vízzárósági problémákat vethet fel. A tervezéskor alapul vett, fiktív minta rétegrendet a **2.1 ábra** illusztrálja.

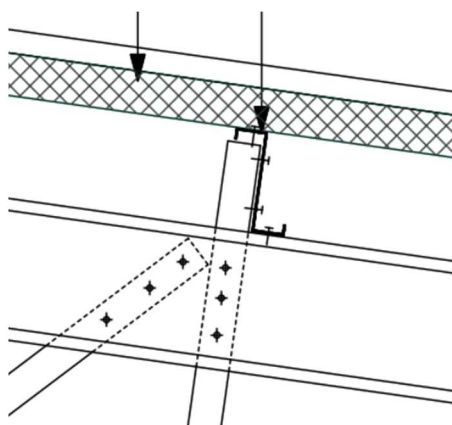


2.1 ábra Tervezésénél alapul vett rétegrend

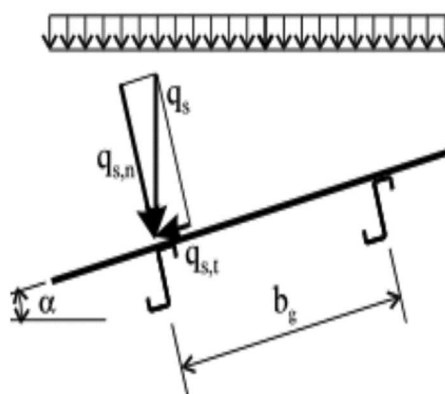
A Z200-as szelemen felső öve elméletileg párhuzamos a tetősíkkal. Az alakváltozási korlát meghatározásánál az egyszerűsítéssel élünk, hogy a vékonyfalú gerenda a külső terhek hatására alakváltozás nélkül, merevtestszerűen fordul el a bak gerincének talp-pontja körül. A Z200-as oly mértékű elfordulásához illesztettük a bakra vonatkoztatott **alakváltozási korlátot**, melynél a **tető lejtése eléri a vízzáróság szempontjából kritikus 2%-ot**.

Az így meghatározott ún. **talppont körüli elfordulásból** (β) visszszámoltuk a bak gerincének a **mérési pontokban keletkező „x”-irányú elmozdulásait**, melyet az adott **baktípus 1. alakváltozási korlátjának** nevezünk. A számítás során feltételeztük, hogy a szelement a főtartótól 50 mm-rel elemelik.

A **2.3 ábrán** a LINDAB Truss könnyűszerkezetes rácsostartójának egy részletét láthatjuk, mellyel bemutatjuk a tetőszelemen és a főtartó egymáshoz képesti helyzetét. Mellette a szelemen tehermodelljét a **2.4 ábra** illusztrálja.



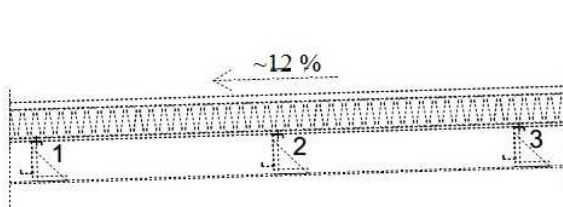
2.3 ábra Szelemen és a főtartó relatív helyzete (Kép forrása: [12] 10. old)



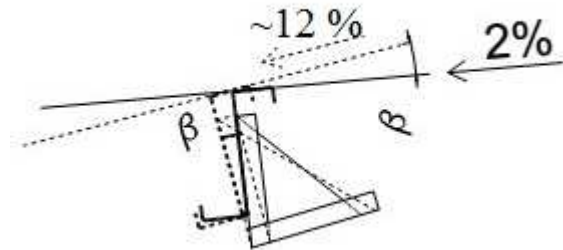
2.4 ábra A tetőszelemen tehermodellje (Kép forrása: [11] 19. old)

A számítás során feltételeztük, hogy a **10%-os lejtésváltozás** lokálisan jelentkezik. (A bázisgeometriákban 7°-os tetőhajlást vettünk fel, ez megfelel ~12%-os lejtésnek.) Ezzel a vizsgált bak mellett lévő „szomszédos bakok” alakváltozását elhanyagoltuk. A **2.5 ábrán** a tervezett tőrszerkezeti részletet, a **2.6 ábrán** a lejtésváltozás sematikus ábráját láthatjuk. Az alakváltozási

korlát meghatározásánál azt feltételeztük, hogy csak a **2.5 ábrán** „2”-es számmal jelezett bak mozdul el, az „1” és „3”-as bak a helyén marad.



2.5 ábra A tervezés során alapul vett tető-szerkezeti részlet



2.6 ábra A lejtésváltozás nagyított ábrája („2”-es bak)

A kritikus gerinclemez elfordulás:

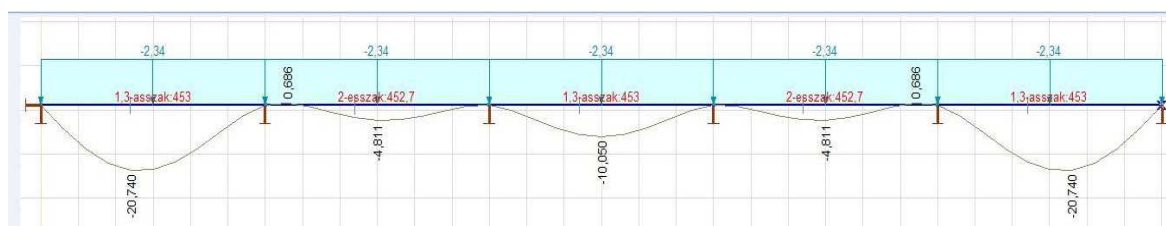
$$\beta = \arctg(0,12) - \arctg(0,02) = 5^{\circ} 41'$$

2.2.2. A szelemen felső övére vonatkozó alakváltozási követelmény

A bakok függőleges elmozdulási korlátjának előírásánál abból az alapvetésből indultunk ki, hogy a szelementartó bakok a folytatólagos több támaszú tartóként modellezett szelemenek támaszai. Azt vizsgáltuk, hogy egy ilyen tartó esetén a középső megtámasztások támaszsüllyedése hogyan befolyásolja a tartó lehajlásait és igénybevételeit.

A többtámaszú Z-szelement különböző végeselemes programokban modelleztük és a teherbírási követelményeknél, használhatósági határállapotban számított terheken kívül különböző támaszelmozdulásokat működtettünk a tartón. Azt a támaszsüllyedést, melynél a szelemen eléri az $L/200$ -hoz tartozó határértéket, a szelementartó bak **függőleges elmozdulás korlátjának** nevezzük.

A *Lindab Dimroof* (a továbbiakban: Dimroof) program segítségével meghatároztuk a Z200/2-es szelemen lehajlási értékeit **karakterisztikus teherkombinációra**. A legnagyobb lehajlás a szélső mezőkben, 20,74 mm-re adódott. A használhatósági korlátozás - $L/200$ - pedig 30 mm. Ebben a programban nem lehet támaszsüllyedést, mint terhet működtetni, így ezt az *AxisVM* (a továbbiakban: Axis) programmal határoztuk meg úgy, hogy első lépésben létrehoztunk egy akkora inerciával rendelkező keresztmetszetet, amely megegyezik azzal, amivel a Dimroof program számol. Ennek hatására az Axis-ban és a Dimroof-ban kapott lehajlási értékek ugyanolyan teher hatására megegyeztek. Ezt a számítást láthatjuk a **2.7 ábrán**. Ezután különböző terhekre kipróbáltuk a módszert és százados pontosságú eltéréseket tapasztaltunk. A számított értékeket megfelelő pontosságúnak tekintettük.



2.7 ábra

Az Axis-ban készítettünk egy 5x6m-es folytatólagos többtámaszú tartót a fent említett inerciával, amin először működtettük a karakterisztikus teherkombinációból kapott terhet, majd egy másik modellen a támaszsüllyedéseket. A két tartón, az azonos támasznál lévő támaszerőket előjelhelyesen összegeztük, majd a Dimroof-ban egy 5 x 6,0 m = 30,0 m hosszú kéttámaszú tartóra az eredeti támaszok helyén reakcióerőként működtettük. Továbbá a kéttámaszú tartón működtettük a karakterisztikus teherkombinációból származó megoszló erőt is.

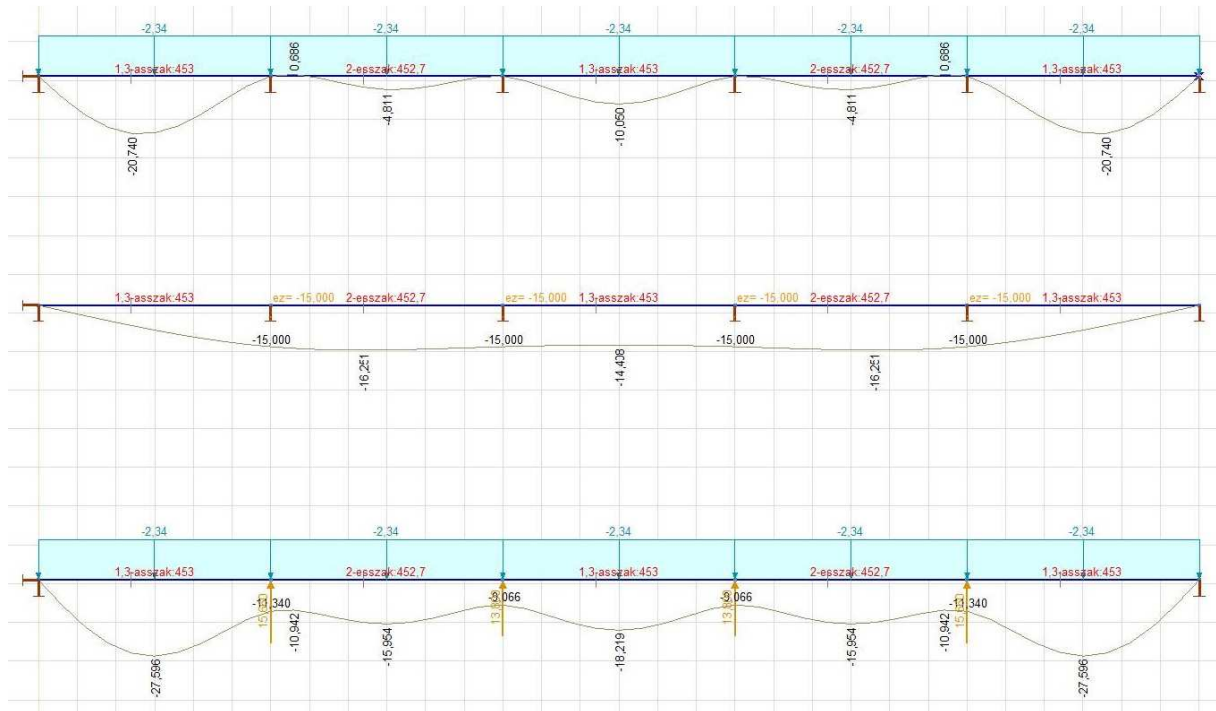
Különböző nagyságú támaszsüllyedésekre megvizsgáltuk a modellt, és összevetettük az értékeket a Dimroof-ban és Axis-ban futtatott modellekkel. Azt tapasztaltuk, hogy a 2 program között 0,16-0,18mm-es eltérések adódnak.

Eredetileg a Z szelemen a támaszok felett 60 cm-es átlapolással kerül beépítésre, a Teherfelvételnél is így ellenőriztük le. A fenti modellben ezt az átlapolásos kapcsolat kialakítást nem tudtuk modellezni, ami a szelemen támaszoknál lévő merevségnövekedésének elhanyagolásával járt. Továbbá nem vizsgáltuk azt, hogy a Z szelemben, és a szelemen tartó bakban milyen extra igénybevételek keletkeznek a támaszsüllyedésből.

A fentiek alapján a modell csupán tájékoztató jellegű eredményeket szolgáltat **függőleges elmozdulási korlát meghatározására**. Egy pontosabb modell elkészítése meghaladta volna

TDK-dolgozat terjedelmi korlátait, ezért ebben a kutatási időszakban nem foglalkoztunk vele részletesebben.

A számítás menetét a **2.8 ábra** illusztrálja.



2.8 ábra

A közelítő vizsgálat eredménye szerint, 15mm-es támaszsüllyedés hatására, szélső mezőben a Z szelemenen 27,6mm-es süllyedést eredményez. Így **a 15mm-t tekintjük a bak függőleges elmozdulási korlátjának (ez,korl).**

2.3. A szerkezeti elem kialakításával kapcsolatos irányelvek

- **méretkoordináció:** Szelementtartó bakok esetén a baknak a Z-szelemen gerincét minél nagyobb felületen lenne előnyös megtámasztani. A szelement a főtartótól 50 mm-rel elemelik.
- **rögzítésmód:** a szelemen a terhet **nyírt, önfúró csavarokon** keresztül adja át a baknak. (Hazánkban előfordul, hogy metrikus kötőelemeket használnak, külföldön az önfúró csavarok használata terjedt el jobban.)
- **egyszerű és gyors gyárthatóság:** kevés elemből álljon össze a bak. Az elemeken minél kevesebb élhajlítást, fúrást, vágást, bemetszést stb. keljen végre hajtani. Törekedni kell arra, hogy a szerkezeti elem tengely vagy pontszimmetrikus legyen, mert ez csökkenti az elem szerelési bonyolultságát.
- **rögzítéstechnika - könnyű, kényelmes szerelhetőség:** bizonyos fokú mozgulattervezés a bak szerelését illetően, miközben a szerelési korlátokat is ellenőrizni kell. (Például a csavarok behajtása kivitelezhető legyen anélkül, hogy imperfekciót vinnénk a szerkezeti elembe.)
- **kis szerkezeti tömeg és kis méretű alkatrészek:** automatizált gyártásban a 300 mm-nél nagyobb méretű alkatrészek szerelése nehezebb feladatot jelenthet
- **összeszerelendő alkatrészek számának csökkentése:** az olyan alkatrészek, melyek elkerülhetőek lettek volna felesleges raktárterületet, szállítóeszközt és többletszerelési időt igényelnek. A sok alkatrész a szerelési méretláncot bonyolítja és ezen keresztül a minőséget és a pontosságot is csökkenti
- **törekedni kell az illesztési műveletek csökkentésére:** ez a hegesztési folyamat legkritikusabb része a pontvarrat tervezett pozíciójának kialakítását illetően
- **a gyártmány minél több szabályos elemet és tipizált egységet tartalmazzon:** a tárolást, szállítást, gyártást egyszerűbbé teszi
- **arra kell törekedni, hogy gyártmány felületvédelme már a gyártás előtt megtörténjen, annak utólagos felületkezelésére ne legyen szükség (fényes szerelés irányelve)**
- **forgatási műveletek csökkentése gyártás közben**

3. A brainstormingtól a szerkezettervezésig

Miután összefoglaltuk a bakkal szemben támasztott teherbírési és alakváltozási követelményeket a kutatási időszak következő szakaszában a szelementartó bakok kialakításának lehetőségein gondolkodtunk.

3.1 Brainstorming

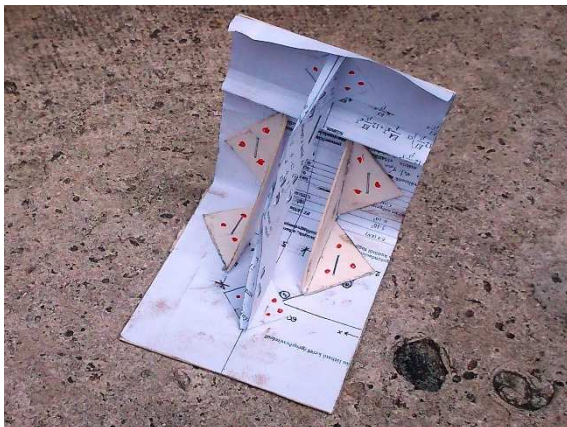
Több brainstorming keretében különböző kialakítású baktípusokat elemeztünk. A konstrukciókat a 3.1-3.6 képek szemléltetik.



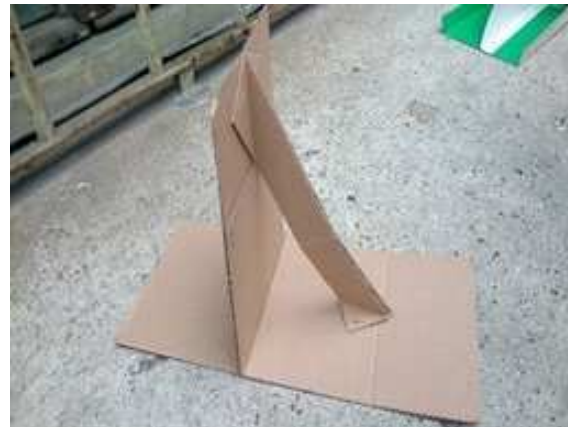
3.1 kép B200-1G10-2AB10



3.2 kép B200-1G10-1ÖB10



3.3 kép B100-1G10-4AB10



3.4 kép B200-2L12-2AB12



3.5 kép B200-2U10-1AB10



3.6 kép B200-1U12

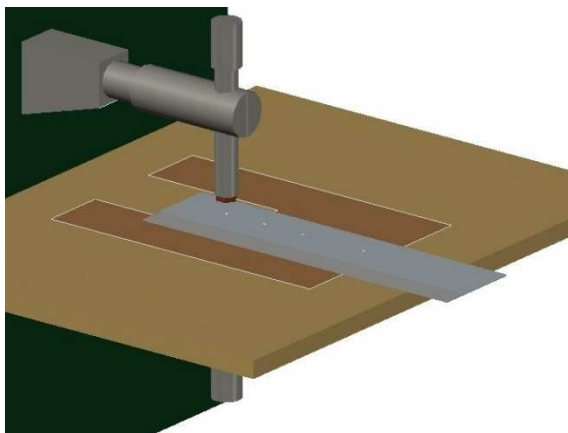
3.1.1. Baktípusok elemzése

Alapfogalmak

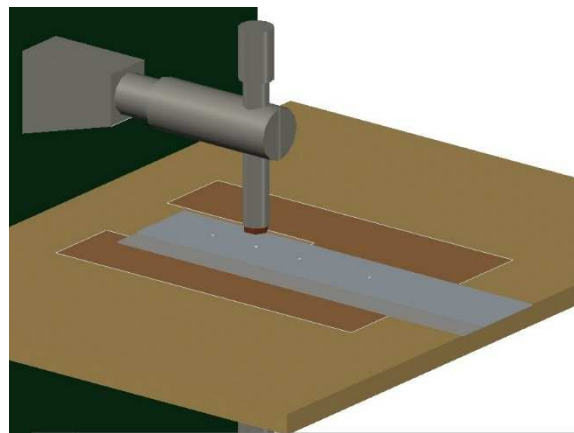
A **szelementartó bakra** (röviden **bak**) más néven **szerkezeti elemként** hivatkozunk. A bak (vagy szerkezeti elem) ún. **szerkezeti egységekből** áll, melyeket rövidebben **alkotóelemeknek** nevezünk (pl. gerinc, alaplemez, borda). Az alkotóelemek síklemezekből kerülnek kialakításra és attól függően, hogy a síklemezek milyen átalakításon mennek keresztül, az **alkotóelemeknek további részeit** különböztetjük meg (pl. élbordák, gerinclemez, bordagerinc, (borda) fül, stb.). Az azonos kialakítású bakokat összefoglaló néven **baktípusnak** hívjuk. Egy adott baktípusból elkészített próbatestekre **tesztelemként** hivatkozunk.

„Egymás után azonos pozícionálások száma”:

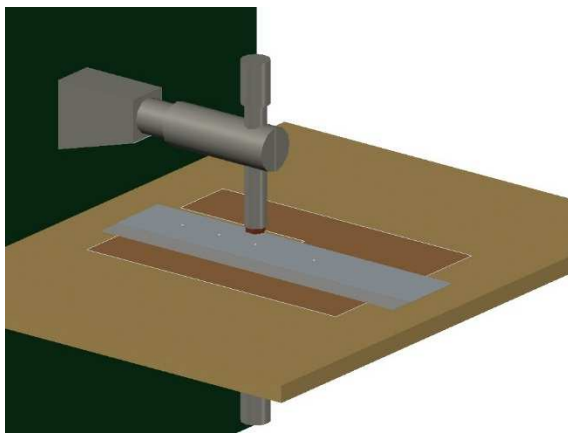
Hány azonos pontvarrat távolság van anélkül, hogy a hegesztendő elemeket (vagy elemet) fel kellene emelni a gépasztal munkalapjáról. Példaként tekintsük a **3.1, 3.2 és 3.3 ábrákat**.



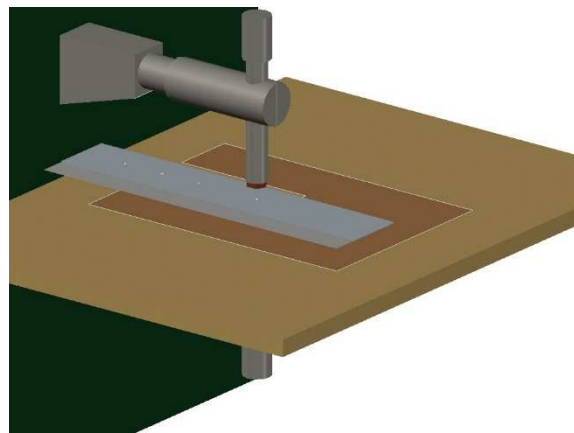
3.1 ábra 1. pontvarrat hegesztése



3.2 ábra 2. pontvarrat hegesztése



3.3 ábra 3. pontvarrat hegesztése



3.4 ábra 4. pontvarrat hegesztése

Legyen a feladat az, hogy két darab síklemezen 4 db, egy sorban lévő pontvarratot kell hegesztetni. Az első három pont egymástól 50 mm távolságra, a 4. a 3.-tól számítva 80 mm-re helyezkedik el.

Ehhez a párhuzamvonalzókat (ld. **M2-melléklet** 2.7, 2.8 kép, 6. old.) a lemez méreteinek megfelelően beállítjuk. A lemezeket ütköztetjük a vonalzókkal. Ezt a folyamatot nevezzük a „**hegesztő gépasztal állításai számának**”. Az ütköztetés révén a pontvarratok a tervezett pozícióba fognak kerülni. Elkészítjük az első varratot (**3.1 ábra**). Áttoljuk a már összehegesztett elemet a 2. pont helyére – 50 mm-es eltolás. Ezt az állást mutatja a **3.2 ábra**. Kiképezzük a 2. pontvarratot. Eltoljuk az elemet a 3. pontvarrat pozíciójába 50mm-rel, majd hegesztünk (**3.3 ábra**). S végül megint eltoljuk a vonalzó mentén, de ezúttal 80 mm-rel, melyet a **3.4 ábra** illusztrál.

Sok pont, ill. tesztelem készítése során, nagyobb a hibázás kockázata, ha a pontvarratok távolsága különböző, ezért ennek vizsgálatát a tervezés releváns tényezőjének tekintettük.

A példában az egymás után azonos pozícionálások száma: 2 db

„Elemforgatások száma”:

Elemforgatásnak nevezzük azt, ha egy pontvarrat pozícionáláshoz az elemet fel kell emelni a gépasztal munkalapjáról. A példában az elemforgatások száma: 0 db, mert az elemet csúsztatjuk a munkalapon és ahhoz nem kell azt felemelni.

Az elemzés során figyelembe vettük a rendelkezésre álló eszközpark technológiai korlátait, melyet **M1-mellékletben** részleteztünk.

Baktípusok

B200-1G10-2AB10

- alkotóelemek száma: 4 db
- 4 téglalapalakú alkotóelemből kialakítható, ezek közül 2-2 azonos geometriájú
- duplázott merevített gerincborda
- a borda a gerincet viszonylag hosszan megtámasztja
- a borda tetején a bak hossz tengelyére szimmetrikusan élbordák helyezkednek el
- a gerinc alján a gerinc dupla falvastagságú
- az borda élbordái miatt a szelemenekhez való szerelésre rendelkezésre álló hely csökken
- élhajlítások száma: 12 db
- pontvarratok száma: 18 db
- egymás után azonos pozícionálások száma: 6 db
- hegesztő gépasztal állításainak száma: 5 db

B200-1G10-1ÖB10

- alkotóelemek száma: 4 db
- az alkotóelemek téglalap alakúak, közülük 2 db azonos méretű
- a borda kis területű füleken keresztül kapcsolódik a gerinc -és alaplemezhez
- a borda csak a gerinc felső területét támasztja meg
- a szerkezeti elem egységei élbordákat nem tartalmaznak
- a szelemenek rögzítésére rendelkezésre álló hely kicsi
- élhajlítások száma: 7 db
- pontvarratok száma: 26 db
- egymás után azonos pozícionálások száma: 8 db
- elemforgatások száma: 11 db
- hegesztő gépasztal állításainak száma: 5 db

B100-1G10-4AB10

- alkotóelemek száma: 5 db
- alkotóelemek téglalap kialakításúak, közülük 2-2 azonos geometriájú
- a gerinclemezen elhelyezett vízszintes borda sajtolás gyártástechnológiát igényel, alkalmazása révén az alap- és gerinclemezt összekötő alsó (kisebb) gerincbordák illesztése pontosabb lehet
- a gerinclemez a 3 relatív nagy területű fül révén erősen megtámasztott
- a felső gerincbordákon élbordák helyezkednek el
- a gerinclemez tetején kialakított élborda a hegesztéstechnológiát egyszerűsíti (kevesebb pozícionálási mozdulat)
- a szelemenrögzítésre a gerinclemez-mező közel fele rendelkezésre áll, de ennek nagy része a felső területre koncentrálódik
- sajtolás száma: 1 db
- élhajlítások száma: 12 db
- pontvarratok száma: 24 db
- egymás után azonos pozícionálások száma: 8 db
- elemforgatás: 10 db
- gépasztal állásainak száma: 1 db

B200-2L12-2AB12

- alkotóelemek száma: 3 db
- alkotóelemek téglalap kialakításúak, közülük 2 azonos geometriájú
- a gerincborda 2-2 füllel kapcsolódik a gerinclemez felső területéhez és az alaplemezhez
- a gerinclemez tetején kialakított élborda a hegesztéstechnológiát egyszerűsíti (kevesebb pozícionálási mozdulat)
- mindenhol 2 azonos vastagságú lemezt hegesztünk össze
- a szelemenrögzítésre rendelkezésre álló hely nagy
- a gerinc alsó, a gerincborda által merevítetlen része duplázott falvastagságú
- sajtolás száma: 0 db
- élhajlítások száma: 7 db
- pontvarratok száma: 13 db (1-1 a füleken, 3-3 a gerinc alsó területén)
- egymás után azonos pozícionálások száma: 3 db
- elemforgatás: 4 db
- gépasztal állásainak száma: 2 db

B200-2U10-1AB10

- alkotóelemek száma: 3 db
- alkotóelemek közül 2 téglalap kialakítású
- a gerincborda kialakításához sarokcsiszoló alkalmazása szükséges
- a gerincborda 1-1 füllel kapcsolódik a gerinc- és alaplemezhez
- a borda a gerinc közbenső területét a teljes magasság mentén megtámasztja
- a gerinc és alaplemez 2-2 élbordával merevített
- mindenhol 2 azonos vastagságú lemezt hegesztünk össze
- a szelemenrögzítésre rendelkezésre álló hely az él- és gerincbordák miatt korlátozott

- pontos élhajlításra van szükség, hogy a gerinc és alaplemez egymással kompatibilis legyen (az alaplemez illeszkedik a gerinc-élbordái közé, ezáltal a gerinc feltud támaszkodni a főtartó felső övére, melynek eredményekén a statikai váz egy 3 él mentén befo-gott tárcsa (függőleges terhekre)), mely még középen a borda is merevít
- sajtolás száma: 0 db
- élhajlítások száma: 6 db
- pontvarratok száma: 10 db (4-4 a füleken, 1-1 az élbordákon)
- egymás után azonos pozícionálások száma: 6 db
- elemforgatás: 3 db
- gépasztal állásainak száma: 2 db

B200-1U10

- alkotóelemek száma: 1 db
- alkotóelemek közül 1 téglalap kialakítású
- az elem kialakításához sarokcsiszoló alkalmazása szükséges
- nincs gerincborda
- a gerinc és alaplemez 2-2 élbordával merevített
- mindenhol 2 azonos vastagságú lemezt hegesztünk össze
- a szelemenrögzítésre rendelkezésre álló helyet csak az élbordák magassága korlátozza
- pontos élhajlításra van szükség, hogy a gerinc és alaplemez egymással kompatibilis le-gyen
- az élbordák füleinek kialakítása külön segédberendezést igényel, a rendelkezésre álló élhajlítógépekkel közvetlenül nem lehet kialakítani
- sajtolás száma: 0 db
- élhajlítások száma: 4 db
- pontvarratok száma: 2 db (1-1 a füleken)
- egymás után azonos pozícionálások száma: 1 db
- elemforgatás: 1 db
- gépasztal állásainak száma: 1 db

3.2. Technológiai lehetőségek felmérése

A realitástól olykor elrugaszkodó kialakítású szerkezetek makettezése után a megalapozott döntéshozatalhoz felmértük a rendelkezésünkre álló eszközpark technológiai korlátait. A szerkezeti elemek elkészítéséhez használható eszközöket a **3.1. táblázatban** foglaltuk össze.

S.sz.	Megnevezés	Típus	Leírás	Technológiai korlát
1	Lemezvágó gép	OL-3-1250	1500 mm hosszú vágóél	✓
2	Sarokcsiszoló	MAKITA 9565HZ1	115 mm vágótárcsás	✓
3	Lemezhajlítógép			✓
4	Ellenállás ponthegesztő berendezés	ARO M302-A		✓
5	Hegesztő pad	-	-	✓
6	Fúró és csavarozó gép	BOSCH PSR 14.4 V	75 mm szabad tokmány átmérő	✓
7	Pontozó	-	-	-
8	Kalapács	-	-	-

3.1. táblázat A baktípusok elkészítéséhez szükséges eszközök összefoglalása

Az eszközök és a tervezés során figyelembe vett technológiai korlátok elemzését az **M1-mel** **lékletben** részleteztük.

3.3. Döntésmátrix - választott szerkezeti kialakítások

Kritérium osztály: GYÁRTÁS

Kritériumok

Alkotóelemek formája: Ebben a kritériumban azt foglaljuk össze, hogy a síklemez, amiből az alkotóelem készül milyen alakú. Mennyire hosszú idő belőle kimunkálni az elemet. Szerepe van benne az élhajlítások és a vágások számának.

Egységek megmunkálhatósága: Ezzel a kritériummal azt fejezzük ki, hogy az alkotóelemek elkészítéséhez milyen gyártóeszközökre, szerszámgépekre van szükség. Ez tartalmazza azt az időt, amíg a gépek között közlekedünk, továbbá, hogy az eszközpark e gépének milyen a szabad kapacitása. (A fúrógépet a laboratórium munkatársai napi rendszerességgel használják, csakúgy, mint a köszörűgépeket, esztergapadokat, viszont a lemezvágógép és az élhajlító gépeket csak ritkán.)

Egységek előkészítésnek gyorsasága: Hegesztés előtt a felületeket sebbenzinnel tisztítani kell. A tisztításhoz egy szivacsot alkalmazunk. Minden olyan felületet tisztítunk, amin hegesztési varratot alakítunk ki. Minden tisztítandó felületen kétszer húzzuk végig a sebbenzinnel átitatott szivacsot és minden új felületnél újra kicsavarjuk. Ezzel a kritériummal azt fejezzük ki, hogy hányszor kell megfordítani az elemet, hogy hozzáférjünk egy tisztítandó felülethez.

Elemek összetettsége: Az alkotóelemek számát és azok egymáshoz illesztésének bonyolultságát jelenti. Hányszor kell a hegesztő gépasztallal átállni.

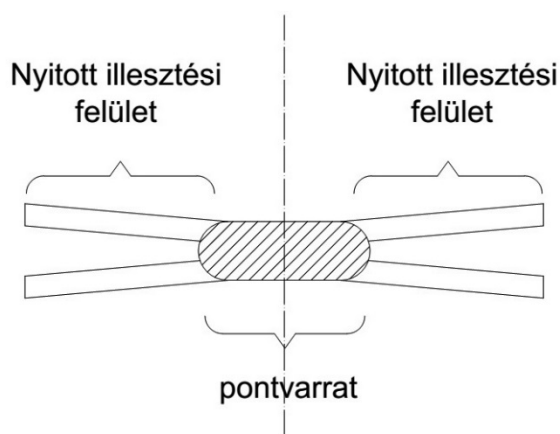
Illesztések bonyolultsága: Általa felmérjük, hogy a hegesztő gépasztal párhuzamvonalzóit hányszor kell átállítani, mennyi ideig tart a pontos tervszerinti pozicionálás. Mennyire nehéz tervszerinti illesztéseket létrehozni a rendelkezésre álló hegesztő berendezéssel.

Egymás utáni hegesztések száma: Megmutatja, hogy mennyi különböző hegesztési távolságot kell megjegyezni - vagy tervről leolvasni – a tesztelem elkészítéséhez.

Gyártás ellenőrzés: Egy tesztelem elkészítése után meddig tarthat az ellenőrzés, valamint a törési kísérletindításához szükséges jelölések felhordása a mérési pontokon.

Kritérium osztály: FELÜLETVÉDELEM

Korrózió megindulásának kockázata: ebben a kritérium osztályban mindegyik kritérium ennek a hatásnak az elemzését veszi figyelembe. A korrózió a pontvarrat környezetében indulhat meg legkönnyebben. Ezt, jelenleg még mindig folyó kutatási tevékenységünkre alapoztuk, melynek keretében ellenállás-ponthegesztett kapcsolatok gyorsított korróziós eljárását végeztük. A két azonos vastagságú lemezekből álló kapcsolatokat különböző koncentrációjú só-oldatokban áztattuk. Heti rendszerességgel mértük egy szabványos réteg vastagságmérő műszerrel a kapcsolat környezetében a tűzihorganyréteg vastagságát. Az brainstorming lezárásának végéig úgy tűnt, hogy a horganyréteg fogyásának gyorsasága a pontvarrat környezetében gyorsabb, mint a kapcsolattól távolabb.



3.5 ábra Nyitott illesztési felületek értelmezése ellenállás-pontheg. kapcsolat esetén

Nyitott illesztési felületek nagysága: ebben a kritériumban azt értékeljük, hogy a lencseszerű pontvarrat széle és a csatlakozó elemek szélei között mekkora a távolság. Az olyan lemezillesztéseket, melyek széle nincsen lezárva nyitott illesztési felületnek nevezzük, melyet a **3.5 ábra** illusztrál. Ellenállás-ponthegesztett kapcsolatok esetében, mindig keletkeznek nyitott illesztési felületek és annak nagysága attól függ, mekkora varrat - elemszéltávolságot alkalmazunk a hegesztés során.

Elemek sebeinek mennyisége: A lemezek darabolása során a vágási élek mentén ún. nyílt sebek keletkeznek. Az ilyen területeken a korrózió megindulásának helyei lehetnek. Ebben a kritériumban foglaljuk össze, hogy az alkatrészalkotóelemek mennyi szabad, felületvédelem nélküli éllel rendelkeznek.

Kritérium osztály: HELYSZÍNI SZERELÉS

Szerelhetőség szabadsága: ebben a kritériumban azt értékeljük, hogy a szelemen rögzítésére mennyi hely áll rendelkezésre. Azaz az alkatrészalkotóelemeken elhelyezett élbordák, továbbá a gerinc és alaplemez között elhelyezett gerincbordák milyen mértékben korlátozzák a csavarkapcsolat kialakítását.

Kezelhetőség: a terméktervezés során fontosnak tekintettük annak vizsgálatát, hogy a szerkezeti elemet mennyire körülményes beépíteni. A gyártmány szerelése körülményesebb, ha az hegyes sarkokkal, éles peremekkel rendelkezik. Egy ilyen elemet nehezebb megfogni, szereléséhez esetlegesen (pl. műanyag) élvédők ideiglenes elhelyezésére lehet szükség.

A kritérium osztályokat a döntésmátrixban fontosság szerint csökkenő sorrendben ábrázoltuk. Ebben a kutatómunkában a bakok kialakításának tervezésénél a bak elkészítésének idejét tartottuk legfontosabbnak. A felületvédelem és a helyszíni szerelés fontossága alacsonyabb rendű, ezért kisebb súlyszámokat rendeltünk e kritériumokhoz.

A döntésmátrixot a **3.2 táblázat** mutatja be.

Kritérium osztályok	Kritériumok	Súlyszámok (0-3)	Alternatívák (0-10)					
			B200-1G10-2AB10	B200-1G10-1ÖB10	B100-1G10-4AB10	B200-2L12-2AB12	B200-2U10-1AB10	B200-1U12
Gyártás	alkotóelemek formája	2,2	8	8	4	8	7	9
	egységek megmunkálhatósága	2,6	5	9	1	9	7	2
	egységek előkészítésnek gyorsasága	2,3	4	8	6	9	7	2
	elemek összetettsége	2,1	3	8	7	8	7	9
	illsztések bonyolultsága	2,9	3	1,5	2	6	6	8
	egymás utáni hegesztések száma	2,4	7	5	7	2	10	9
	gyártás ellenőrzés	2,3	4	1	2	6,5	7	10
Felületvédelem	korrozó megindulásának kockázata	0,9	4	4	4	4	4	4
	nyitott illesztési felületek nagysága	0,3	6	7	3	5	9	2
	elemek sebeinek mennyisége	0,6	8	8	4	6	6	2
Helyszíni szerelés	szerelhetőség szabadsága	1,6	2	3	5	9	7	8
	kezelhetőség	1,3	2	3	8	6	9	8,5
ÖSSZPONTSZÁM			94,4	114,05	92,4	146,55	154,7	145,55

3.2 táblázat Döntésmátrix baktípusok kiválasztásához

A döntésmátrixban bemutatott alternatívák közül mi a **B200-2U10-1AB10** illetve a **B200-2L12-1AB12** baktípus mellett döntöttünk.

A gyártástechnológia korlátok ellenőrzése során kiderült, hogy az utóbbi baktípus bordája nem készíthető el a rendelkezésre álló szerszámgépekkel, illetőleg a borda hajlítása egy speciális készüléket igényelne, ezért az eredetileg elképzelt borda helyett más kialakítást választottunk (ld. 4.2. alfejezet).

Az előző alfejezetben bemutatott baktípusokon kívül más ötleteink is voltak a bakok kialakítására vonatkozóan, de ezek a két kiválasztott baktípus első kísérleteinek eredményei alapján születtek. A módosított kialakítások azonosítói:

B200-2L12-1AB12 → **B200-2L10-1AB10-MOD**

B200-2U10-1AB10 → **B200-1U10-1AB10**

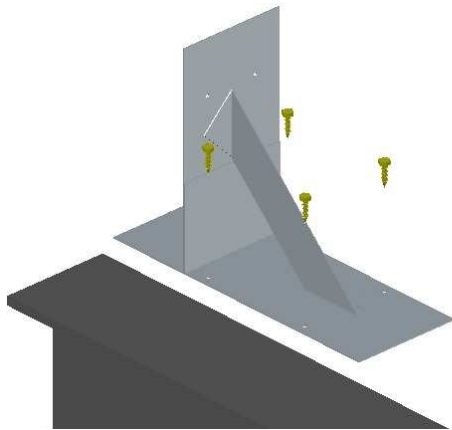
Az első kísérleteket módosított baktípusok esetén is elvégeztük, de azok értékelésével még részletesen nem foglalkoztunk. A gyártási jegyzőkönyvek megtekinthetők a [15] **M3-mellékletében**, a kísérleti jegyzőkönyveket az **M7-melléklet** tartalmazza.

4. Szelementartó bak tervezése

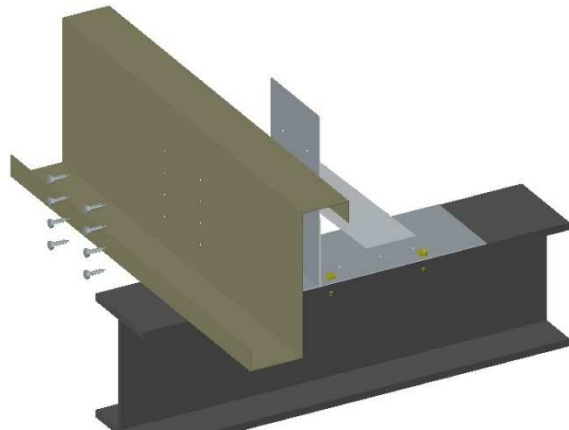
Ebben a fejezetben mutatjuk be a bakok tervezésnek lépéseit, a tervezésnél figyelembe vett a gyártó és szabványok által megfogalmazott igényeket, javaslatokat. Először bemutatjuk, hogy elképzelésünk szerint hogyan építenék be a szerkezeti elemet az épületbe.

Ezután röviden kitérünk a tervezési lépcsőkre és a gyártás részfolyamatokra, s végül megadjuk a gyártás során keletkezett imperfekciók értelmezését.

Az elképzelt szereléstechológia szerint a bakot a főtartó felső övére, illetve a tetőszelement a bak gerincére önfúró csavarokkal rögzítik. A szerelés folyamatát a B200-2L12-1AB12 baktípus esetében a **4.1 és 4.2 ábrán** mutatjuk be. (A többi baktípus esetén a szerelés hasonlóan történne.)



4.1 ábra A szerelés elvi folyamata – szelemenbak rögzítése a főtartóra



4.2 ábra A szerelés elvi folyamata – szelemen rögzítése a szelemenbakra

4.1. A bakok tervezésével és gyártásával kapcsolatos általános megjegyzések

4.1.1. Méretkoordináció

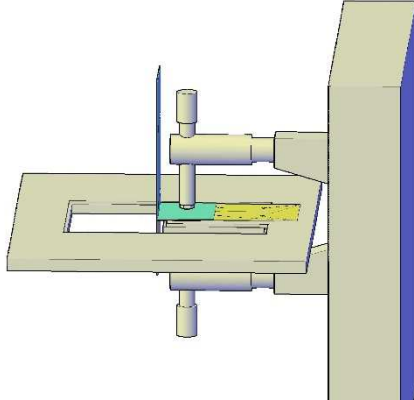
A bak méreteinek felvétele két lépcsőben történt.

1. A **bak**, mint alkotóelemekből álló, szerkezeti elem **globális méretfelvétele** (magasság, szélesség, hosszúság).
2. Az **alkotóelemek** kialakításának **részlettervezése** (pl. élbordák, fülek mérete, pontvarratok pozíciója, mérete, csavarok elhelyezkedése stb.).

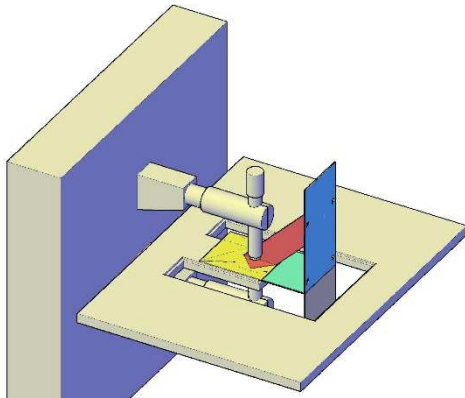
A bak magasságát a Z200 szelemen magasságához illesztettük, ügyelve arra, hogy a szelement a főtartótól 50 mm-rel elemeljük. Javasolt, hogy a bak gerince a Z200-as szelement minél nagyobb felületen támasztja meg. Az alkotóelemek méretfelvételénél figyelembe vettük a rendelkezésre álló eszközpark nyújtotta lehetőségeket, továbbá az **[1]** és **[13]** források által javasolt elem-és széltávolságokat a hegesztett kötések kialakítását illetően. A tervezésnél betartottuk az önfúró csavarok elhelyezésére vonatkozó javaslatokat **[14]**.

4.1.2. Technológiai korlátok ellenőrzése

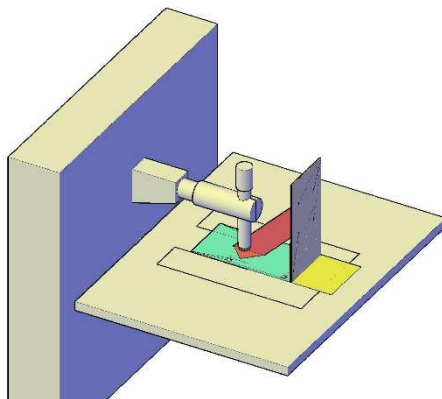
A kezdetben felvett méretek sorozatos iteráláson mentek keresztül, amint ellenőriztük az ún. **gyártási korlátokat** a gyártógépek elkészített, élethű virtuális modelljein. Az ellenőrzés elvi lépéseit a B200-2L12-1AB12 esetében **4.3-4.5 ábrákon** láthatjuk.



4.3 ábra Alaplemez - gerinc kapcsolat: felső elektródatartó férjen el az alaplemez mellett



4.4 ábra Gerinclemez - borda kapcsolat: felső elektródatartó férjen el a borda mellett



4.5 ábra Alaplemez - borda kapcsolat: felső elektródatartó férjen el a borda mellett



A rendelkezésre álló eszközpark gépei által támasztott gyártási korlátokat az **M1-melléklet** tartalmazza.

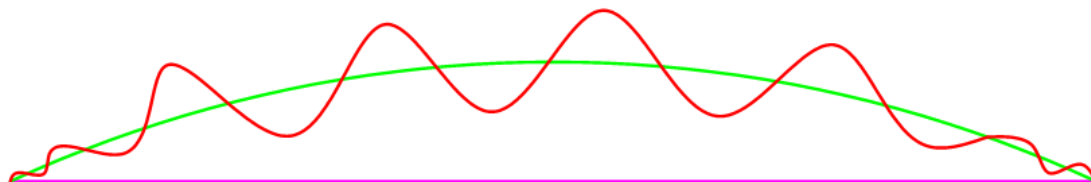
4.1.4. Imperfekciók értelmezése

A tesztelemek készítése során a megmunkáló gépekkel és a kézi szerszámokkal, még felügyelt, tervszerinti gyártás mellett is **globális és lokális imperfekciókat** okoztunk a szerkezeti elemekben.

Globális imperfekciónak nevezzük a bakot alkotó elemeknek a tökéletes síkfelülettől való eltérését („lemez görbültség”), illetve ha az elemek nem a terv szerinti pozíciójukban kerültek összehegesztésre. (Elméleti 90° helyett $87-93^\circ$ -ra való hajlítás.)

Lokális imperfekciónak nevezzük az alkotóelemeken belüli görbeségeket, melyek kialakulhatnak például a hegesztés okozta lemezelhúzóadás miatt a pontvarrat hőhatásövezetében, vagy fúrás járulékos következményeként. Továbbá ide soroljuk a hegesztési varratok és a furatok tervezettől eltérő pozícióját, melyet furat ill. varratkülpontosságnak nevezünk.

A lokális és globális imperfekciók közötti különbséget és azok kapcsolatát a **4.6 ábrán** szemléltetjük.



Elméleti (tökéletes) sík felület (metszete)

4.6 ábra Lokális és globális imperfekciók ábrázolása egy metszeten

■ tökéletesen sík geometria ■ globális imperfekció ■ lokális imperfekció

A tesztelemek gyártása után mértük az elemek globális imperfekcióját. Tolómérővel ellenőriztük a furatok és pontvarratok átmérőjét, valamint eltérésüket a terv szerinti pozíciójukhoz képest.

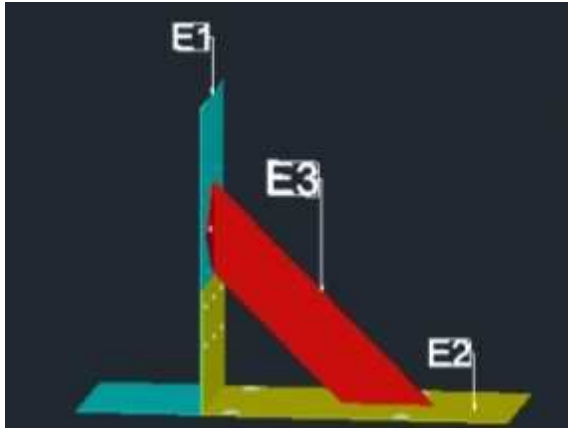
A gyártási imperfekciók felvételének két oka volt:

1. A hegesztő-gépasztal (ld. **M2-melléklet**) precizitásának, hatékonyságának vizsgálata; meggyőződés, hogy a bakokat a terv szerinti kivitelben, tűréshatárokon belül maradvá sikerült elkészíteni → a kísérleti eredmények összehasonlíthatóak legyenek. A bakok elkészítésével szemben támasztott tűréshatárokat az **M2-melléklet 1. alfejezete** tartalmazza.
2. A numerikus modell verifikálása imperfekt geometria definiálása által.

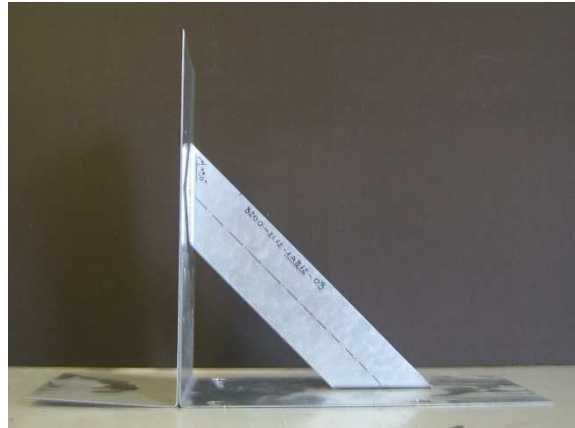
A baktípus részletes **gyártási folyamatát** és a tesztelemek **gyártási jegyzőkönyveit** (GYJ) az **M3-melléklet** tartalmazza.

4.2. B200-2L12-1AB12 baktípus

A **B200-2L12-1AB12** nevű baktípus két azonos méretű, L-alakban meghajlított alkotóelemből és egy élére állított **bordából (E3)** áll. A bak sematikus ábráját a **4.7 ábra**, a gyártmányterveknek megfelelő szerkezeti elemet a **4.1 kép** illusztrálja.



4.7 ábra Axonometrikus ábra a bakról, az elemek megnevezésével



4.1 kép A gyártási terveknek megfelelő szerkezeti elem

Alkotóelemek jelölésrendszere:

E1 = gerinclemez (gerinc)

E2 = alaplemez

E3 = gerincborda (borda)

A **gerinc** és **alaplemez** azonos méretű és kialakítású elem. Egymáshoz 2 sorban elhelyezett 3-3 pontvarrattal kapcsolódik, de ezek közül a baktípus optimalizálása során néhány a későbbiekben igény szerint elhagyható lehet. A **borda** a gerincet és az alaplemezt kapcsolja össze; azokhoz egy-egy pontvarrattal kapcsolódik. A lemezek vastagsága 1,2 mm. A **4.1 ábrán** bemutatott kialakításnál mindenhol két azonos vastagságú elemet hegesztünk egymáshoz. Ha a hegesztendő lemezek vastagsága megegyezik, lehetséges olyan magas szilárdságú pontvarrat kialakítása, melynél a hegesztés helyén a tűzihorgany réteg intakt marad.

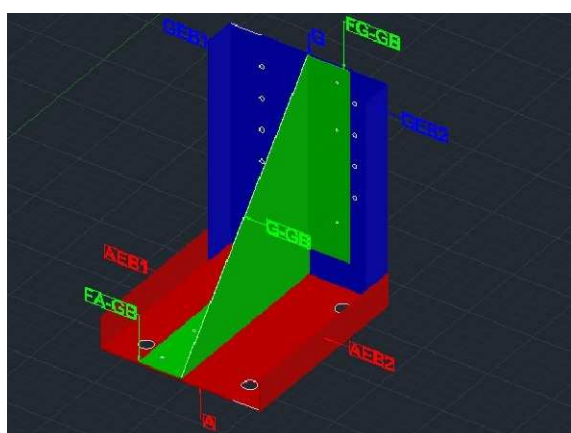
A konstrukciót további, numerikus vizsgálatokra javasoljuk, amennyiben a kisebb teherbírási és alakváltozási követelménynek megfelel (ld. 2.1. alfejezet, 2.1. táblázat: $R_{bak,közbenső,d} = 13,184 \text{ kN}$).

A baktípus gyártmánytervének elkészítése után ellenőriztük a technológiai korlátokat. A gyártmánytervet az **M3-melléklet** végén csatoltuk.

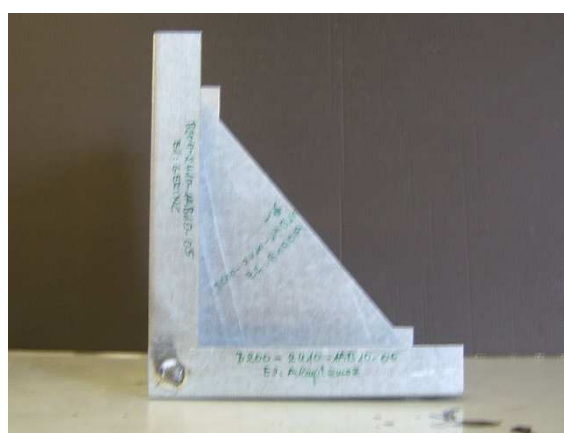
4.3. B200-2U10-1AB10 baktípus

A **B200-2U10-1AB10** nevű baktípus két U-alakban hajlított és egy élére állított, a bak szimmetria tengelyében elhelyezett **szerkezeti egységből** áll. A függőleges U-elemet a **bak gerincének (G)** nevezzük. Ehhez az elemhez csavarozzák a Z-szelement. A bakot a főtartó felső övéhez a fekvő U-elemen keresztül kapcsoljuk, melyet a **bak alaplemezének (A)** nevezünk. Az U-alakú hajlításnak köszönhetően az alaplemez és a gerinclemez is **élbordákkal** rendelkezik. Az alaplemez és a gerinc között egy élére állított lemez helyezkedik el, melyet a bak **bordájának** nevezünk. A borda derékszögben kihajtott ún. **füleken** keresztül kapcsolódik a gerinc-hez, illetve az alaplemezhez. A fülek a bak szimmetriatengelyére nézve aszimmetrikusan helyezkednek el. A gerinchez kapcsolódó fület „FG-GB”-vel, az alaplemezhez kapcsolódót „FA-GB”-vel jelöltük.

A bak sematikus ábráját a **4.8 ábra**, a gyártmányterveknek megfelelő szerkezeti elemet a **4.2 kép** illusztrálja.



4.8 ábra Axonometrikus ábra a bakról, az elemek megnevezésével



4.2 kép A gyártási terveknek megfelelő szerkezeti elem

Alkotóelemek és részelemeik jelöléseinek jelentését a **4.1. táblázatban** foglaltuk össze.

	Jelölés	Megnevezés	Jelölés	Megnevezés	Jelölés	Megnevezés
Alkotóelem neve	A	Alaplemez-elem	G	Gerinc-elem	GB	Gerincborda-elem
Alkotóelemek részeneinek neve	AEB1	Alaplemez élbordája	GEB1	Gerinc-elem élbordái	FG-GB	Gerincen fekvő füle
	AEB2	Alaplemez élbordája	GEB2	Gerinc-elem élbordái	FA-GB	Alaplemezen fekvő füle
	AL	Lemez	GL	Gerinclemez	G-GB	Gerincborda gerinclemeze

4.1 táblázat Alkotóelemek jelölésrendszere

A gerinc és alaplemez azonos méretű és kialakítású elem. Egymáshoz 2 sorban elhelyezett 3-3 pontvarrattal kapcsolódik, de ezek közül az elem optimalizálása során néhány a későbbiekben igény szerint elhagyható lehet. A borda a gerincet és az alaplemezt kapcsolja össze egy-egy pontvarrattal. A lemezek vastagsága 1,2 mm. Az **5.1 ábrán** bemutatott kialakításnál mindenhol két azonos vastagságú elemet hegesztünk egymáshoz. Ilyen feltételek mellett elérhető optimális szilárdságú varrat kialakítása, miközben a tűzihorgany réteg is intakt marad.

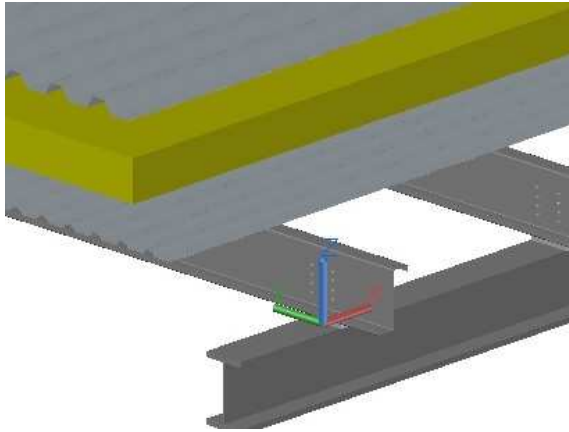
A konstrukciót további, numerikus vizsgálatokra javasoljuk, amennyiben a nagyobb teherbírási és alakváltozási követelménynek megfelel (ld. 2.1. alfejezet, $R_{bak, I, min} = 19,9$ kN).

A baktípus gyártási korlátainak ellenőrzése után elkészítettük a konstrukció gyártmánytervét, melyet az **M3-melléklet** végén csatoltunk.

5. Kísérlettervezés

5.1 Kísérleti körülmények

A kísérlettervezés során a **5.1 ábrán** bemutatott rétegterv esetén létrejövő terhelési viszonyokat modelleztük.



5.1 ábra A vizsgált rétegtér

Rétegtér:

- külső trapézlemez
- páraáteresztő fólia
- közetgyapot hőszigetelés
- párazáró fólia
- belső trapézlemez

Kísérletben szimulált tehermodell

A baknak a tetősíkra merőleges irányú, ún. **normálirányú terhelésre** mutatott viselkedését vizsgáltuk meg (ld. **M8-melléklet** 5. old.). Ennek oka, hogy a kísérleti eredményeket eredendően a numerikus modell verifikálása céljából végeztük.



5.1 kép Kísérleti összeállítás

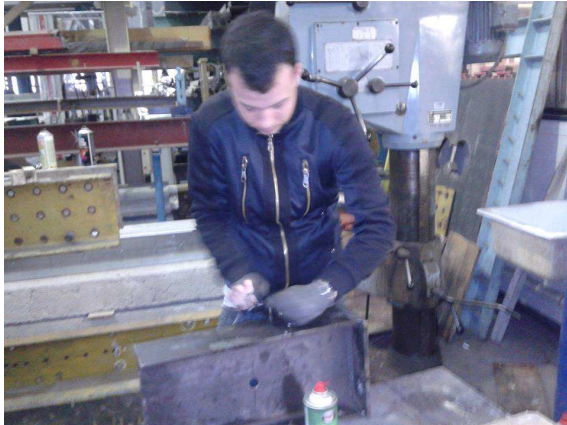
A terhelési segédberendezés (TSB ld. **M4-melléklet**) átalakítása, mellyel a kísérletben tetőhajlás hatását is figyelembe lehet venni, olyan nagy munkaráfordítást igényelt volna, ami nem fért bele az ütemtervünkbe. (A terhelési segédberendezés átalakítását a következő kutatási időszak egyik céljaként tűztük ki.)

A bak mechanikai viselkedésének vizsgálatához kísérleti összeállítást terveztünk, melynek részleteit a **KET-1** rajzjelű terven láthatjuk (**M4-melléklet**). A kísérleti összeállítás kialakítását az **5.1 kép** illusztrálja.

A bakot a képen látható terhelőasztalra rögzítettük. Az asztalon álló állványzat alátámaszt egy ún. terhelőhidat, melynek függőleges pozíciója egy elektromotorral állítható. A híd közepére egy hidraulikus sajtó kapcsolódott. A sajtóhoz kapcsolódó olajpumpa segítségével tudtuk a terhelő erőt változtatni. A terhelés **elmozdulás vezérelt** volt.

Mivel a bakot az asztalra közvetlenül nem tudtuk leerősíteni, ezért az őszi kutatási időszakban tervezett és elkészített terhelési segédberendezést (TSB) használtuk most is. A TSB egy olyan I-szelvényből átalakított segédberendezés, melynek felső övéhez a bakokat M10 csavarokkal lehetett rögzíteni. A téli kutatási időszakban némiképp átalakítottuk a készüléket. Az átalakítás eredményeként az I-szelvény felső övéből a csavarok kivethetőek, mellyel nem zártuk ki a TSB

esetleges gyors átalakításának lehetőségét, továbbá ezzel a tesztelemek gyártási idejét is csökkenteni tudtuk. Az átalakítás néhány pillanatát az **5.2 és 5.3 képek** illusztrálják.

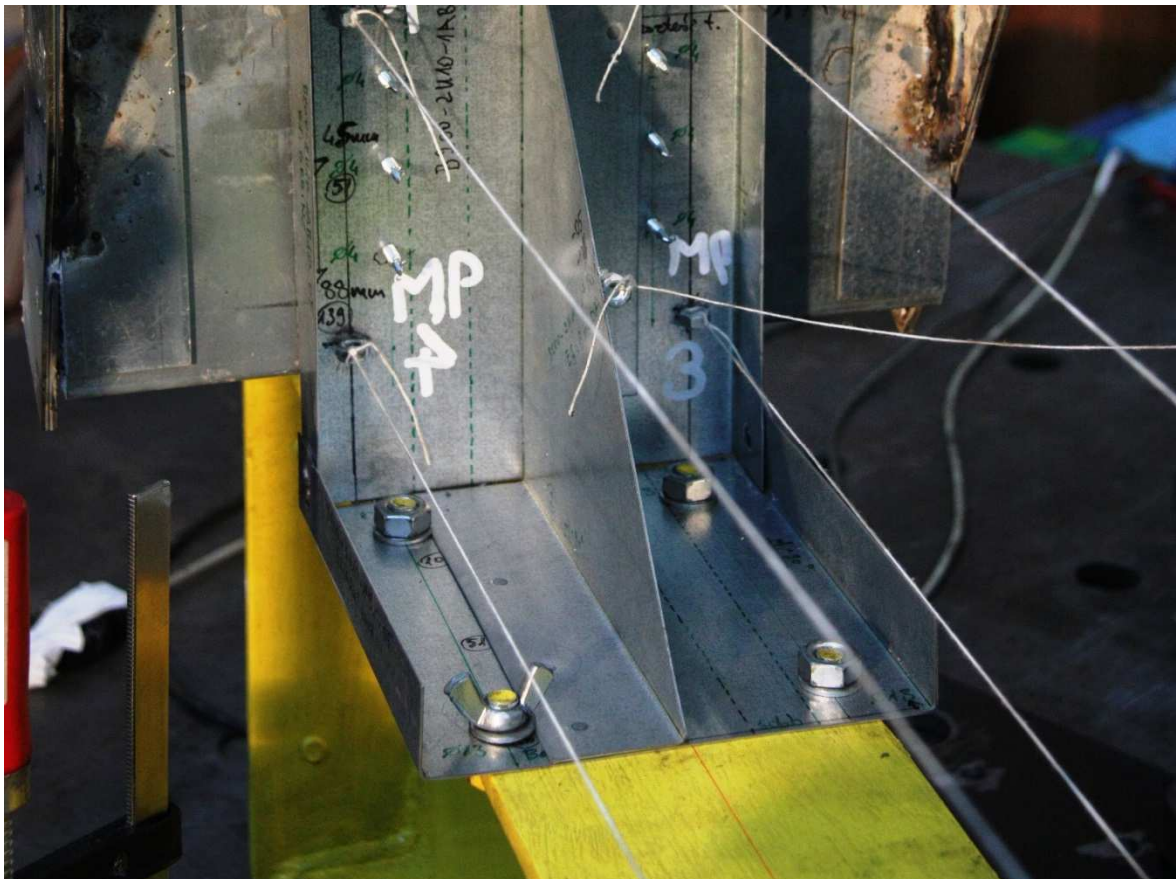


5.2 kép Menetmetszés a felső övbe



5.3 kép IPE 240 festés közben

A bak TSB-re rögzítésének módját az **5.4 képen** láthatjuk.



5.4 kép Bak rögzítése a terhelési segédberendezésre

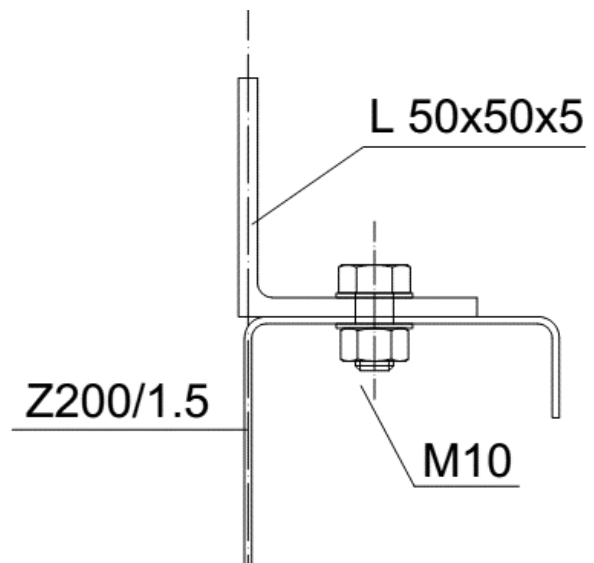
A terhelési viszonyok tervezésénél figyelembe vettük azt a hatást, hogy a valóságban a Z-szelemen gerince merevíti a bak gerincét, illetve azok szoros interakcióban állnak egymással. Ezért a kísérletekben egy 300 mm hosszú Z200/1,5 szelemendarabot csavaroztunk a bak gerincére.

A szelemen végeire 5,0 mm vastag véglemezeket hegesztettünk, ezzel merevítve a szelemen felső övét horpadás ellen. A valóságban a szelemenek hossza 3-6 m, vagyis az erőbevezetés környezetét a támadásponttól távol eső lemezrészecskék is merevítik. A merevítés révén elkerültünk olyan tönkremeneteli formákat, amik a valóságban nem következnek be. Például a koncentrált erő bevezetése miatt a szelemen gerince beroppan.

A **2.1. alfejezetben** bemutatott tehermodellnek megfelelően (ld. **2. alfejezet 2.4 ábra**) a terhelést a szelemen gerincén vezettük be. Ehhez a szelemen felső övére egy szögacélt csavaroztunk úgy, hogy a szögacél övének középvonala a szelemen gerincének középvonalával essen egybe. A szögacélt a szelemen felső övére 9 db M8 csavarral rögzítettük. Az erőbevezetés megvalósítását az **5.5 képen**, illetve az **5.2 ábrán** láthatjuk.



5.5 kép Z200/1,5 szelemen merevítése



5.2 ábra Teherosztó szögacél szelemen gerinchez képesti pozíciója

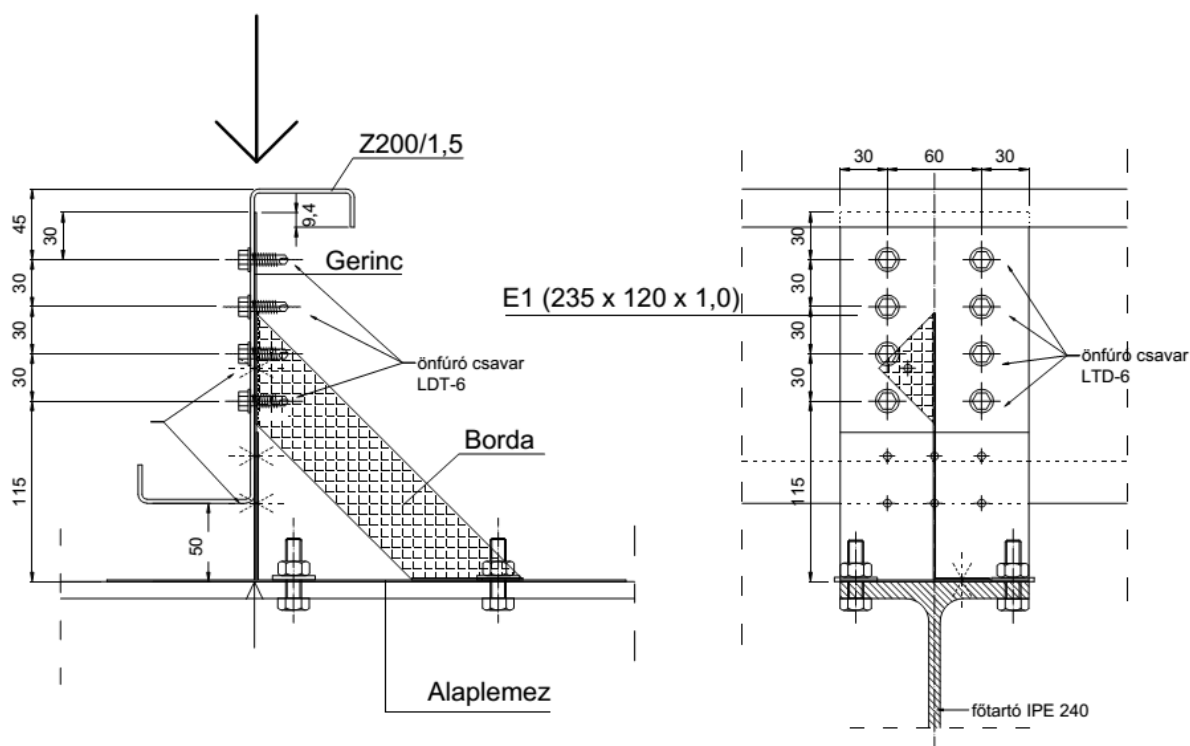
A terhelésmodell fejlődése a korábban végzett kísérleti eredmények bemutatásán keresztül tekinthető meg az **M7-mellékletben**.

5.2. Szelemengerinc - bakgerinc csavarozott kapcsolatának ellenőrzése

A B200-2L12-1AB12 baktípust az I. bázisgeometriájú fiktív mintaépületben való alkalmazásra vizsgáljuk. Ennél a típusnál a kisebb teherbírasi követelményre ellenőriztük a kísérletben alkalmazott csavar kapcsolatot ($R_{bak,közbenső;d} = 13,184 \text{ kN}$).

A B200-2U10-1AB10 baktípust a II. bázisgeometriájú fiktív mintaépületbe való beépítésre vizsgáljuk, ezért ennél a típusnál a nagyobb teherbírasi követelményre ellenőriztük a kísérletben alkalmazott csavarkapcsolatot ($R_{bak,közbenső;d} = 19,894 \text{ kN}$).

A szelemen és bak gerince közötti húzott-nyírt csavarkapcsolatot a B200-2L12-1AB12 baktípus esetén az 5.3 ábrán láthatjuk.



5.3 ábra Alkalmazott csavarkapcsolat sematikus ábrája

Az ellenőrzés során használt jelöléseket az 5.1 táblázatban foglaltuk össze. Az ellenőrzést az MSZ EN 1993-1-3 szabvány utasításai alapján hajtottuk végre.

Jelölés	Megnevezés	Mértékegység
e1	széltávolság terhelés irányában	mm
e2	széltávolság terhelés irányára merőlegesen	mm
p1	csavarok közötti távolság terhelés irányában	mm
p2	csavarok közötti távolság terhelés irányára merőlegesen	mm
d	csavar néveleges átmérője	mm
d.w	alátét átmérője	mm
f _y	alapanyag folyáshatára	N/mm ²
f _u	alapanyag szakítószilárdsága	N/mm ²
t	lemezvastagság	mm
t1	a kapcsolt lemezek közül a vastagabbik lemeze vastagsága	mm
t _{cor}	acéllemez bevonat nélküli vastagsága	mm
t _{sup}	összekapcsolt lemezek tervezési falvastagsága közül a nagyobbik	mm
s	menetemelkedés	mm
α1	lemezvastagságtól függő tényező	-
α	lemezvastagságtól függő tényező	-
F _{b,Rk} 1	palástnyomási ellenállás egy csavarra vonatkozóan	kN
F _{b,Rk}	csavarcsoport palástnyomási ellenállása	kN

5.1 táblázat A csavarcsoport teherbírásának számításához használt jelölések

Feltételezések:

1. A csavar két lemezt kapcsol össze
2. A csavarfej alatt alátét helyezkedik el, és az megfelelően merev ahhoz, hogy a csavarfej ne húzódjon át rajta

Minimális csavartávolságok ellenőrzése:

$$e_1 = 30 \text{ mm} > 3 * d = 3 * 4,2 \text{ mm} = 12,6 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

$$e_2 = 30 \text{ mm} > 3 * d = 3 * 4,2 \text{ mm} = 12,6 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

$$p_1 = 30 \text{ mm} > 3 * d = 3 * 4,2 \text{ mm} = 12,6 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

$$p_2 = 60 \text{ mm} > 3 * d = 3 * 4,2 \text{ mm} = 12,6 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

A fent nevezett szabvány képletei alkalmazhatóak, amennyiben:

$$f_u = 510 \text{ N/mm}^2 < 550 \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK}$$

$$3,0 \text{ mm} < d = 4,2 \text{ mm} < 8,0 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

$$t_{\text{cor}} = 0,96 \text{ mm} \quad (\text{névleges lemez vtg.} - 2 * \text{horgany rtg. vtg.})$$

(A horganyréteg vastagság a lemezek szállítólevele alapján 0,02 mm.)

Egy csavar palástnyomási ellenállása:

$$t = 1,0 \text{ mm} \text{ és } t_1 = 1,5 \text{ mm} < 2,5 * t = 2,5 * 1,0 = 2,5 \text{ mm} \quad \text{ekkor}$$

$$\alpha_1 = \min(3,2 * \sqrt{\frac{t}{d}}; 2,1) = \min(3,2 * \sqrt{\frac{1,0}{4,2}}; 2,1) = 1,561 \text{ mm}$$

$$\alpha = \alpha_1 + \frac{(2,1 - \alpha_1) * (t_1 - t)}{1,5 * t} = 1,561 + \frac{(2,1 - 1,561) * (1,5 - 1,0)}{1,5 * 1,0} = 1,7410$$

$$F_{b,Rk.1} = \alpha * f_u * d * t = 1,7410 * 510 * 4,2 * 1,0 = 3729,14 \text{ N} = 3,729 \text{ kN}$$

Csavarcsoport palástnyomási ellenállása:

6 db csavar (alsó csavarsor elhagyása esetén)

$$F_{b,Rk.6} = 6 * F_{b,Rk.1} = 6 * 3,729 = 22,375 \text{ kN}$$

8 db csavar (teljes csavarcsoport)

$$F_{b,Rk.8} = 8 * F_{b,Rk.1} = 8 * 3,729 = 29,833 \text{ kN}$$

Egy csavar kigombolódási ellenállása:

$$d_w = 12 \text{ mm}$$

$$F_{p,Rk.1} = d_w * t * f_u = 12 * 1,0 * 510 = 6120 \text{ N} = 6,120 \text{ kN}$$

Teljes csavarkép kigombolódási ellenállása:

$$6 \text{ db csavar:} \quad F_{p,Rk.6} = 6 * F_{p,Rk.1} = 6 * 6,120 \text{ kN} = 36,720 \text{ kN}$$

$$8 \text{ db csavar:} \quad F_{p,Rk.8} = 8 * F_{p,Rk.1} = 8 * 6,120 \text{ kN} = 48,960 \text{ kN}$$

Egy csavar kihúzóerős ellenállása:

$$F_{o,Rk} = 0,65 * d * t_{\text{sup}} * f_{u,\text{sup}} = 0,65 * 4,2 * 1,46 * 510 = 2506,14 \text{ N} = 2,033 \text{ kN}$$

ahol $t_{\text{sup}} = t - 2 * 0,02 = 1,5 - 2 * 0,02 = 1,46 \text{ mm}$, mert a tűzhorgany réteg a szállítólevelek alapján mindkét oldalon 0,02 mm, továbbá az alapanyag vastagságának toleranciája (tol) kisebb, mint 5%.

Teljes csavarkép kihúzódnási ellenállása:

$$6 \text{ db csavar: } F_{0.Rk.6} = 6 * F_{0.Rk} = 6 * 2,033 \text{ kN} = 12,197 \text{ kN}$$

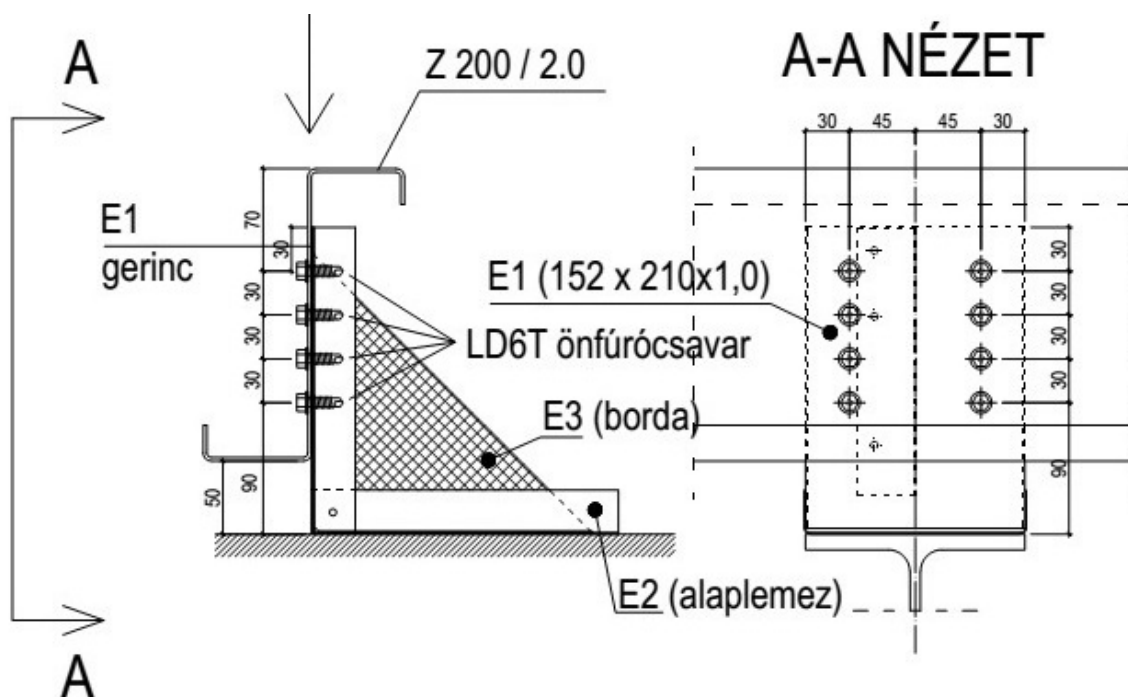
$$\mathbf{8 \text{ db csavar: } F_{0.Rk.8} = 8 * F_{0.Rk} = 8 * 2,033 \text{ kN} = 16,26 \text{ kN}}$$

$$\mathbf{F_{0.Rk.8} = 16,26 \text{ kN} > R_{bak,szélő,d} = 13,184 \text{ kN}}$$

Megfelel!

A B200-2L12-1AB12 esetén 8 db csavar alkalmazása mellett döntöttünk.

A **B200-2U10-1AB10** baktípus esetén a csavarkapcsolat méretezését az imént bemutatott eljárás szerint végeztük el. Az alkalmazott csavarkapcsolat sematikus ábráját **5.4 ábra** illusztrálja.



5.4 ábra A B200-2U10-1AB10 baktípus esetén alkalmazott csavarkapcsolat

Az számítás input adatait az **5.2. táblázatban** foglaltuk össze.

Adat megnevezése	Jel	Érték	M.e.
Csavarok átmérője	d	4,20	mm
Csavarok száma	n	8,00	db
Csavar alátét mérete	d.w	12,00	mm
Bak alapanyag szakítószilárdsága	fu	510,00	N/mm ²
Bak lemezének vastagsága	t	1,00	mm
Horgany réteg vastagsága	t.horg	0,02	mm
Rétegvastagsággal korrigált lemezvastagság	t.cor	0,96	mm
Z200-as szelemen névleges falvastagsága	t1	2,00	mm
Csavar középpont elemszél távolság terheléssel párhuzamos irányba	e1	30,00	mm
Csavar középpont elemszél távolság terhelésre merőleges irányban	e2	30,00	mm
Csavar középpontok közbenső távolsága terheléssel párhuzamosan	p1	30,00	mm
Csavar középpontok közbenső távolsága terhelésre merőlegesen	p2	90,00	mm
A kapcsolat vastagabb lemezének tervezési ellenállása	t.sup	1,96	mm

5.2. táblázat A számítás kiindulási adatai

A számítás eredményeit az 5.3. és 5.4. táblázatokban foglaltuk össze.

Minimális csavartávolságok ellenőrzése					
e1	30,00	e1.min	12,60	mm	OK
e2	30,00	e2.min	12,60	mm	OK
p1	30,00	p1.min	12,60	mm	OK
p2	90,00	p2.min	12,60	mm	OK

Az alábbi képletek alkalmazhatósága									
fu	510,00	N/mm ²	fu.ell	550,00	N/mm ²				OK
d	4,20	mm	d.min	3,00	mm	d.max	8,00	mm	OK

Egy csavar palástnyomási ellenállása									
t	1,00	mm	t1	2,00	mm	t.ell	2,50	mm	OK

Segédtevézők meghatározása				
α_1	1,561	α	1,9205	

Egy csavar palástnyomási ellenállása			
F.b.Rk.1	4,114	kN	

Csavarcsoporthalasztnyomási ellenállása			
n	8,00	db	
F.bRk.8	32,909	kN	

5.3 táblázat A csavarkapcsolat teherbírásiának számítása a B200-2U10-1AB10 baktípus esetén

Egy csavar kigombolódási ellenállása			
d.w	12,00	mm	
F.p.Rk.1	6,120	kN	
Csavarcsoport kigombolódási ellenállása			
n	8,00	db	
F.p.Rk.8	48,960	kN	
Egy csavar kihúzódnási ellenállása			
t.sup	1,96	mm	
F.0.Rk	2,729	kN	
Csavarcsoport kihúzódnási ellenállása			
n	8,00	db	
F.0.Rk.8	21,831	kN	

5.4 táblázat Csavarkapcsolat teherbírásának számítása B200-2U10-1AB10 baktípus esetén

A számítási eredmények összegzése:

Csavarcsoport palástnyomási ellenállása: **32,909 kN**

Csavarcsoport kigombolódási ellenállása: **48,960 kN**

Csavarcsoport kihúzódnási ellenállása: **21,831 kN**

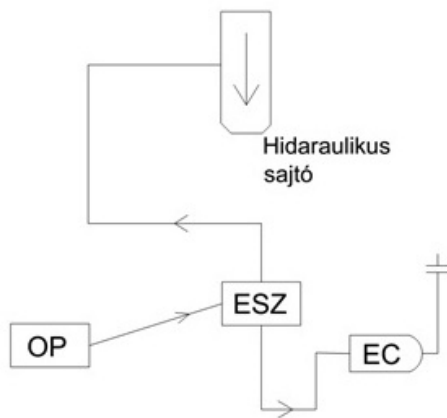
Ellenőrzés:

$$\min(32,909; 48,960; 21,831) = 21,831 \text{ kN} > R_{\text{bak}; \text{közbenő}; d} = 19,894 \text{ kN}$$

A csavarkapcsolat megfelel!

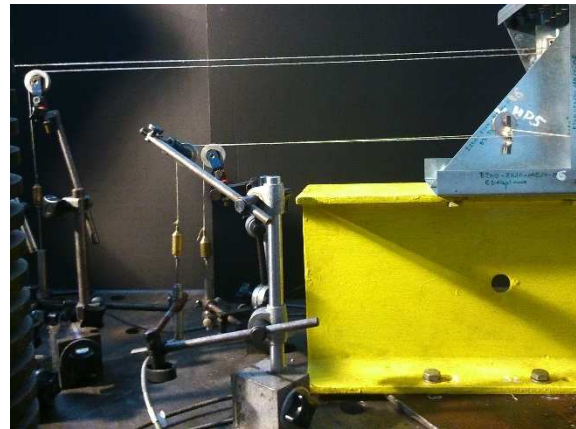
5.3. Alkalmazott mérőműszerek

Az erő méréshez az olajpumpa és a sajtó közé kötött erőmérőcellát alkalmaztunk. A mérési összeállítás sematikus rajzát az 5.5 ábra mutatja be.



5.5 ábra Erőmérés kialakítása

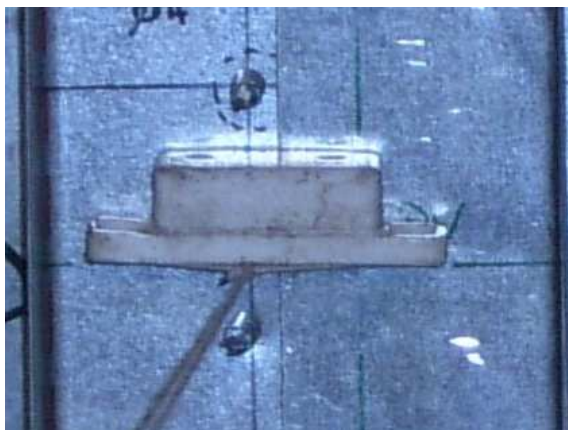
OP = olajpumpa, ESZ = elosztó szelep
EC = erőmérő cella, hidraulikus sajtó



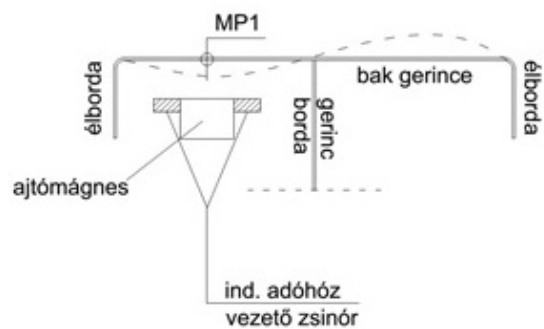
5.6 kép Elmozdulásmérő rendszer felépítése: állványzat - csigák - zsinór - mágnes

A **bakgerinc síkjára merőleges elmozdulások méréséhez** – rendelkezésünkre álló - **HBM WA 20 típusú induktív adók**at használtunk. Az adókat speciális állványrendszerhez kapcsolt csigákon átvetett zsinórokkal kapcsoltuk a mérési pontokra helyezett ajtómágnesekhez. Az elmozdulásmérés összeállítását az 5.6 kép illusztrálja.

A mérésekhez használt ajtómágnes 40 mm hosszú volt, melyekről egy fotót az 5.7 képen láthatunk. A letapogató elhelyezését az 5.6 ábra ábrázolja.



5.7 kép Ajtómágnes

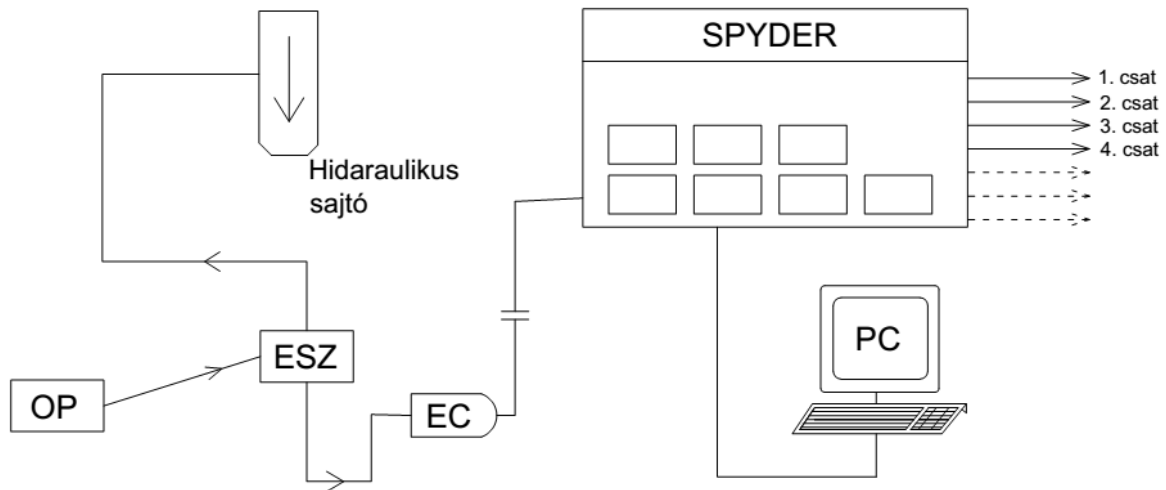


5.6 ábra Letapogató elhelyezésének vázlata (bak gerincének vízszintes metszete)

A merevítetlen (elmozdulni akaró) lemezmező méreteihez képest, az ajtómágnes elég nagy. Előfordulhat, hogy a regisztrált mérés nem a mérni kívánt pont (ld. 6.6 ábra MP1) elmozdulásaira vonatkozik, mert a mágnes tapadókorongjai a horpadási hullám zéruspontjaihoz közelebb esnek, és valójában az adó e pontok elmozdulásait regisztrálja, nem pedig az MP1-ét. Továbbá, ahogy a horpadás mértéke nő, előfordulhat, hogy a mágneset ledobja a horpadó lemez. Ilyen

mérési hibák a **B200-2U10-1AB10** baktípus esetében jelentkeztek (01, 02, 03, 04, 06 tesztelemekek esetében), ezért a 05 tesztelemeknél a mágnesek helyett az adóktól a mérési pontig vezetett zsinórokat a mérési pontokra forrasztott M4-es anyákhoz kötöttük. (A „05” sorszámú tesztelemet később vizsgáltuk - 4. tesztsorozat, ld. **M7-melléklet**.)

Az erő-és elmozdulásmérést bemutató sematikus vázlatrajzot az **5.7 ábra** mutatja be.



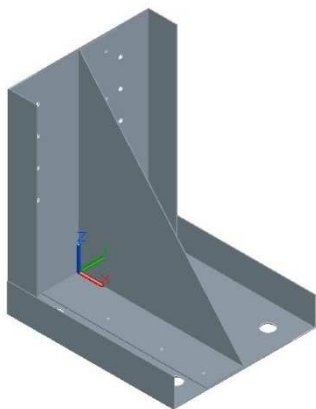
5.7 ábra Mérési összeállítás sematikus ábrája

OP = olajpumpa; **ESZ** = elosztó szelep, **EC** = erőmérő cella; **PC** = laptop; **csat** = elmozdulás mérés csatornája

5.4. Mérési hibák

5.4.1. Elmozdulás mérőrendszer kialakításából adódó hiba

Az induktív útdóktól a csigán keresztül vetett zsinór pozíciójából hibák keletkezhetnek. Ennek két típusát különböztetjük meg.



5.8 ábra Bakok kísérletben alkalmazott lokális koordináta rendszere

1. A tekercsben a vasmag nem függőlegesen áll; a vasmag súrlódik a tekercs belső falán. Emiatt a vasmag lassabban mozog, mint az elmozdulás sebessége, tehát merevebb mechanikai viselkedést regisztrálunk, mint amire a bak a valóságban képes.

Mérési hiba korrigálása: a vasmagokat minden mérés előtt száraz, tiszta ruhával zsírtalanítottuk, és ellenőriztük annak függőleges pozícióját.

2. Mérési hiba: ha a csiga és a mágnes közötti szakaszon (ld. 5.6 kép) a zsinór nem vízszintes, a regisztrált elmozdulás nem a bak gerincére merőleges elmozdulással lesz

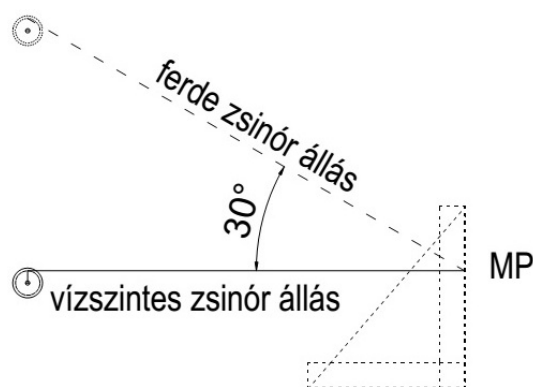
egyenlő. A méréseknél a bakhoz rögzített lokális koordinátarendszert az 5.8 ábrán láthatjuk.

A 2. mérési hiba bemutatására tekintsük a következő példát. A számítás menetét az 5.9 ábra illusztrálja. 30°-os vízszinteshez képesti zsinór-ferdeséget és 500 mm csiga-mágnes távolságot feltételezve, ha a valódi elmozdulás $\Delta x = 5,0$ mm, akkor a regisztrált elmozdulás - szögfüggvényeket használva - 4,32 mm, ami ilyen hosszön megfelel 13,6 %-os relatív hibának.

Mérési hiba korrigálása: a zsinórok pozícióját minden mérés előtt vízmértékkel ellenőriztük. Az emberi szem ilyen hosszön egy 5°-os ferdeség különbséget már képes detektálni. Ekkor a relatív hiba - az előző példa alapján - $R_e = 0,004$.

Az **elmozdulás mérés pontosságát** az alkalmazott - ajtómágnesek -, a tesztelemek gyártási imperfekcióinak nagyságrendje és a mérőrendszer bizonytalansága miatt **2%-ban határoztuk meg**.

Az induktív útdókat a kísérletek előtt és után kalibráltuk, melynek részleteit az M5 melléklet tartalmazza.



5.9 ábra Számítás sematikus ábrája

6. B200-2L12-1AB12 baktípus kísérleti eredményei

A kutatási időszakban ebből a baktípusból összesen 5 kísérletet hajtottunk végre. A kísérletek során vizsgált tesztelemelek sorszámát és a gyártási jegyzőkönyv számát a **6.1. táblázat** foglalja össze. Az első három, a kísérleti módszer javítását célozta, melyeknél előre nem látható akadályokba ütköztünk. A hibákat elemeztük és kijavítottuk, melyet röviden az **M7-mellékletben** foglaltunk össze. **Relevánsnak tekintjük azt a kísérletet**, melynél a szerkezet - szelementartó bak - megy tönkre. A releváns kísérleteket a táblázatban piros színnel emeltük ki.

S.sz.	Tesztelelem azonosító száma	Gyártási jegyzőkönyv száma	Gyártási jegyzőkönyv elérése
1	B200-2L12-1AB12-01	GYJ-2L12-1AB12-01	M3 melléklet
2	B200-2L12-1AB12-02	GYJ-2L12-1AB12-02	
3	B200-2L12-1AB12-03	GYJ-2L12-1AB12-03	
4	B200-2L12-1AB12-04	GYJ-2L12-1AB12-04	
5	B200-2L12-1AB12-05	GYJ-2L12-1AB12-05	

6.1. táblázat A kutatási időszakban elvégzett kísérletek - **B200-2L12-1AB12** baktípus

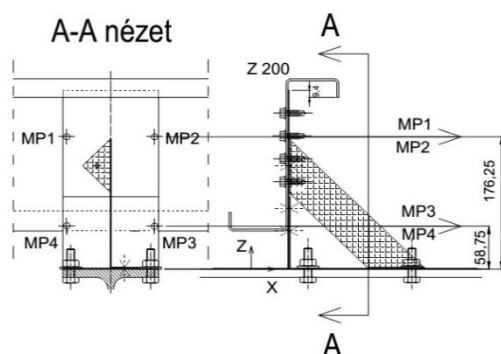
Kétféle tönkremeneteli módot definiáltunk:

- Teherbírási tönkremenetel:** ahhoz a teher szinthez rögzítjük, melynél növekvő alakváltozások mellett teher szint csökkenést tapasztalunk
- Alakváltozási tönkremenetel:** a bak eléri a **2.2. alfejezetben** előírt alakváltozási korlátot

A kísérletekben a bak gerincére merőleges, vízszintes - X-irányú - elmozdulásait (**ex**), valamint a terhelő erőt mértük. A továbbiakban csak a releváns kísérleti eredmények bemutatására koncentrálunk; a megelőző kísérleteket az **M7 melléklet** tartalmazza.

Elmozduláskorlátok számítása a B200-2L12-1AB12 baktípusnál:

A mérési pontok pozícióját a **6.1 ábrán** láthatjuk. A **2.2.1 alfejezetben** a bak gerincének dőlésére írtunk elő elfordulási korlátot, melyet β -val jelöltünk (ld. 11. old.). Ez az alakváltozási



6.1 ábra Elmozduláskorlátok számítása a **B200-2L12-1AB12** baktípus esetében

korlát akkor lehet ennél a baktípusnál figyelembe venni, ha a teher hatására a gerinc elfordulási deformációja létrejön. Ekkor a mérési pontokban regisztrált elmozdulások kritikus értéke:

$$e_{MP1} = e_{MP2} = 176,25 * \operatorname{tg}(\beta) = 176,25 * \operatorname{tg}(5^{\circ}41') = 17,54 \text{ mm}$$

$$e_{MP3} = e_{MP4} = 58,65 * \operatorname{tg}(\beta) = 58,65 * \operatorname{tg}(5^{\circ}41') = 5,84 \text{ mm}$$

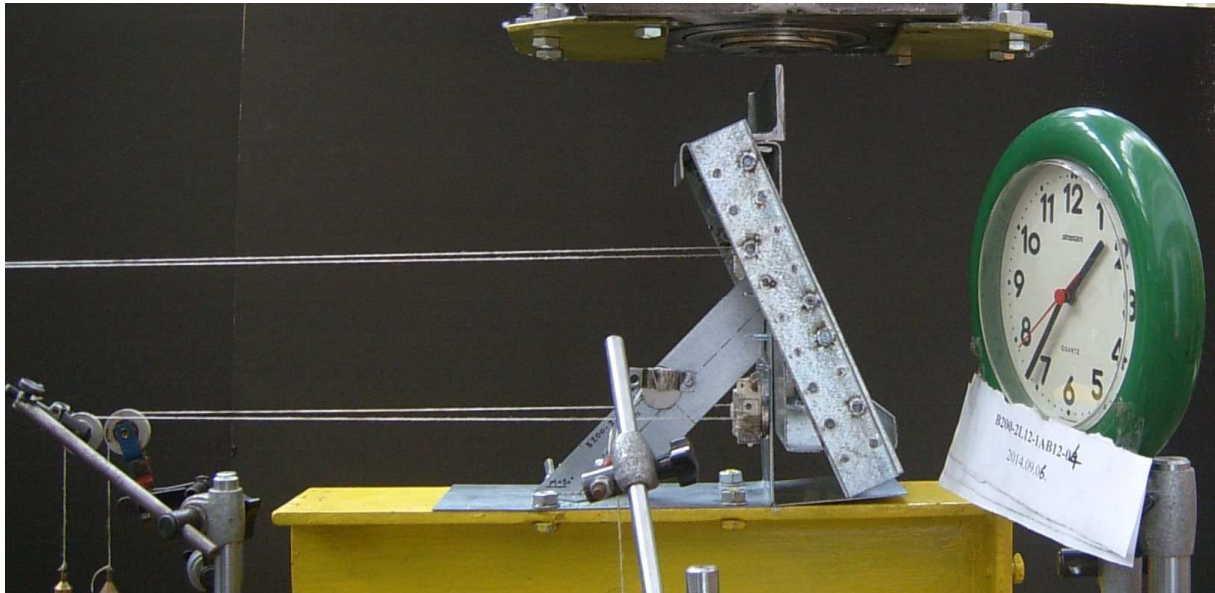
Ha a bak gerincének alsó része behorpad, akkor előfordulhat, hogy a bak nem éri el a kritikus elfordulási értéket, a szelemen viszont

olyan függőleges elmozdulásokat szenved, hogy az már annak tönkremenetelét okozhatja. Ilyen alakváltozási viselkedés esetén a **2.2.2. alfejezetben** előírt alakváltozási korlátot kell figyelembe venni, melyet a Z-szelemen felső övének függőleges elmozdulásaira írtunk elő.

A kísérletek dokumentálása során 2 látószögből videofelvételt készítettünk. A videofelvételek szinkronizálásához a **6.1 képen** látható analóg órát használtuk.

6.1. B200-2L12-1AB12-04 tesztelem kísérlete

A kísérleti összeállítást a **6.1 kép** illusztrálja. A szerkezeti elem a tervezett kísérleti pozícióban állt (a tervezett pozíciót ld. **5.2 ábra**), melyet a **6.2-6.4 képek** illusztrálnak.



6.1 kép Kísérleti elrendezés



6.2 kép Terhelési viszonyok



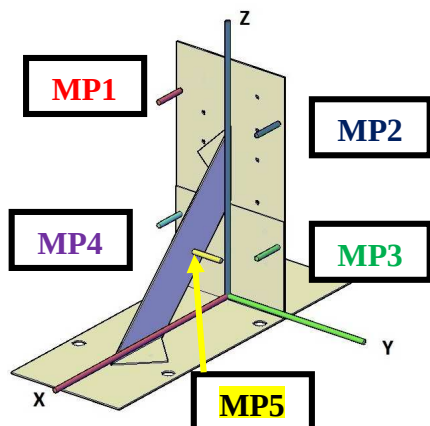
6.3 kép Gerinc belső oldala



6.4 kép Z-szelemen pozíciója

Három féle imperfekciót különböztettünk meg az elemzés során:

- 1. Anyagi imperfekció:** a szerkezet anyag nem teljesen homogén
- 2. Teher imperfekció:** a dugattyú az erőt nem pontosan a szelemen gerincének középvonalában adja át. Az L-acél övének a középvonala és a Z200-as gerince nincs teljesen egy tengelyen. A csavarkép a fúrás pontatlansága miatt - ld. **M3-melléklet** - nem teljesen szimmetrikus.
- 3. Geometriai imperfekció:** az alkotóelemek nem teljesen síkok (ld. **4.1.4. alfejezet**).



6.2 ábra A bak lokális koordináta rendszere – elmozdulások értelmezése

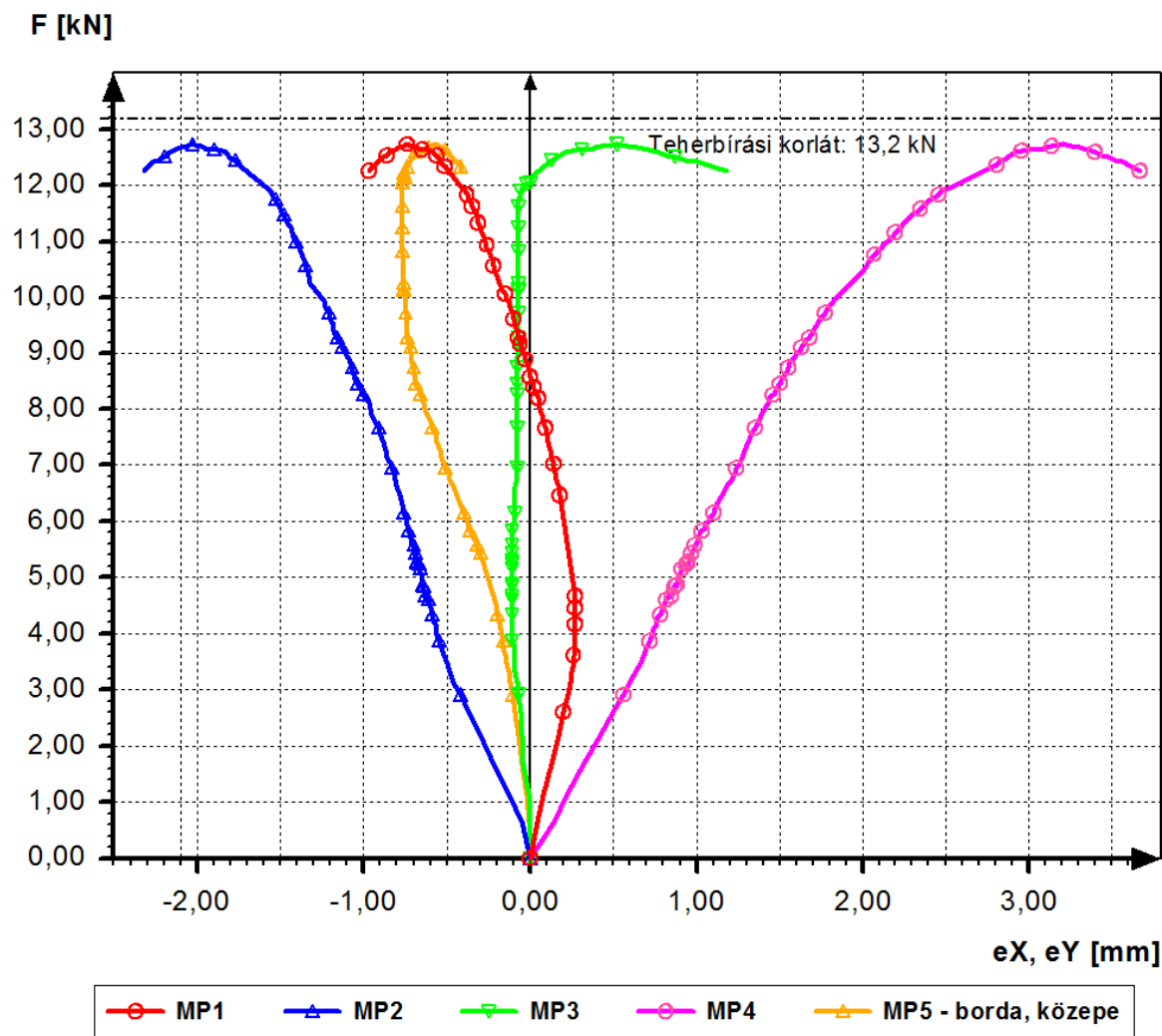
A kísérlet során mért elmozdulások előjelének értelmezését a **6.2 ábra** illusztrálja. A mérési hibáktól tisztított erő-elmozdulás grafikon a **6.3 ábrán** látható.

A grafikon függőleges tengelyén ábrázoltuk a terhelő erőt (F , [kN]), a vízszintes tengelyen a bak gerincére merőleges vízszintes elmozdulást (e_x , [mm]), valamint a borda globális Y-irányú elmozdulását (e_z , [mm]) borda síkjára merőleges).

Mért elmozdulások:

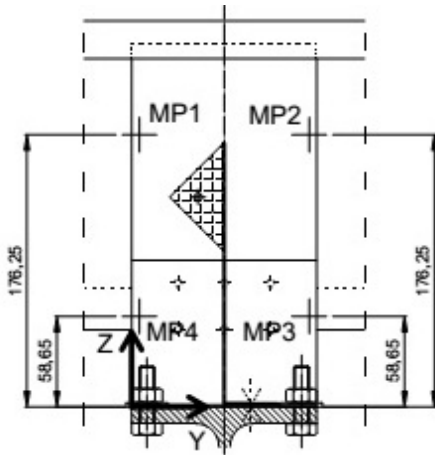
MP1, MP2, MP3, MP4: X-irányú
MP5: Y-irányú

A grafikonon a teherbírési korlátot a vízszintes szaggatott vonallal tüntettük fel. Ennek értéke **13,184 kN** (ld. 2.1. alfejezet).

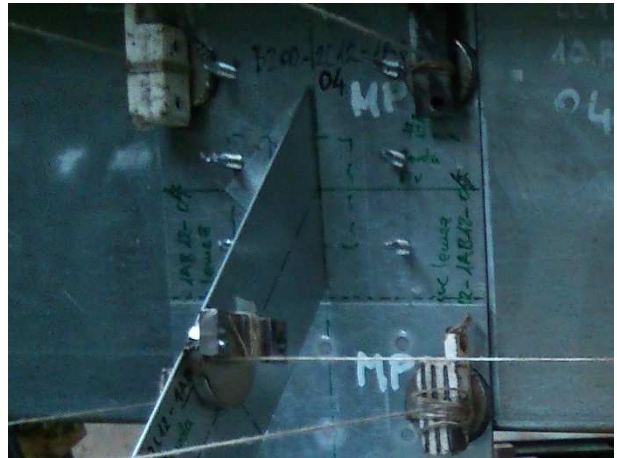


6.3 ábra F-e grafikon (B200-2L12-1AB12-04 tesztelem)

A mágnesek tervezett pozícióját a gerincen a **6.4 ábra**, azok tényleges helyzetét a **6.5 kép** illusztrálja (MP = mérési pont).



6.4 ábra Letapogató tervezett pozíciója

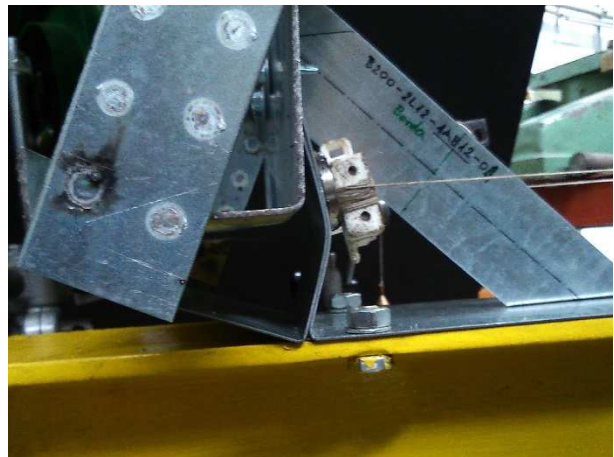


6.5 kép Letapogatók tényleges helyzete

A szelemen gerinc elfordulására vonatkozó alakváltozási korlátot ennél a kísérletnél nem tudtuk figyelembe venni, mert a gerinc az alsó él fölötti területen beroppant. A terhelés hatására a bak gerince majdnem függőlegesen mozgott. A jelenséget a **6.6 és 6.7 képeken** láthatjuk.



6.6 kép A bak a terhelés után



6.7 kép A mágnes a horpadási hullámon

Ennél a kísérletnél tapasztaltuk először, hogy nem elég csak a szelemen gerinc dőlésére vonatkozó alakváltozás korlátot előírni. A **2.2.2. alfejezetben** bemutatott ún. **2. alakváltozási korlát** előírásán ezután a kísérlet után kezdtünk el foglalkozni.

A bakgerinc felső része (**piros** és **kék** görbe) 4,5 kN teherszintig aszimmetrikus viselkedést mutatott. Ezt követően a bordára szimmetrikusan elhelyezkedő pontok azonosan, a gerincire merőlegesen, a szelemen oldali irányba mozdulnak el. 11,75 kN elérése után maradó alakváltozások jelennek meg. Ez lehet az oka, hogy a terhelési utáni állapotban, melyet a **6.6 kép** illusztrál, nincs nyoma a kezdeti aszimmetrikus viselkedésnek.

Az aszimmetrikus viselkedés a gerinc alsó pontjainál (MP3-MP4) is megfigyelhető (**zöld** és **lila** görbék). A görbék karakterisztikájában mutató jelentős eltérésnek, oka lehet az **5.3 alfejezetben** bemutatott jelenség (ld. **5.6 ábra**), miszerint a regisztrált elmozdulás az alkalmazott

méréstechnika miatt nem egyezik meg a mérni kívánt pont elmozdulásával (a mágnesek viszonylag nagy felülete miatt a horpadási hullám eltérő pontjaira mértünk rá). Az alsó mágnesek tényleges pozícióját a tönkremenetel után a **6.7 kép** illusztrálja.

A teherbírasi ellenállás **12,73 kN** teherszinten merült ki. A bak gerince a Z-szelemen alsó övéhez közeli területen beroppant. A tönkremenetelt a **6.8 képen** láthatjuk.



6.8 kép A gerinclemez horpadása ($F = 12,73 \text{ kN}$)

A bak gerinclemezének stabilitásvesztéséhez tartozó terhe kisebb, mint a teherbírasi korlát:

$$F_{kr} = 12,73 \text{ kN} < F_{tk} = 13,20 \text{ kN}$$

6.2. B200-2L12-1AB12-05 tesztelem kísérlete

A kísérleti összeállítás a **6.1 képen** bemutatott elrendezéssel. A bak azonos geometriai kialakítású volt a **B200-2L12-1AB12-14** azonosítójú tesztelemmel. A „05”-ös tesztelem gyártási jegyzőkönyve az M3-mellékletben található; jegyzőkönyvszáma: **GYJ-B200-2L12-1AB12-05**.

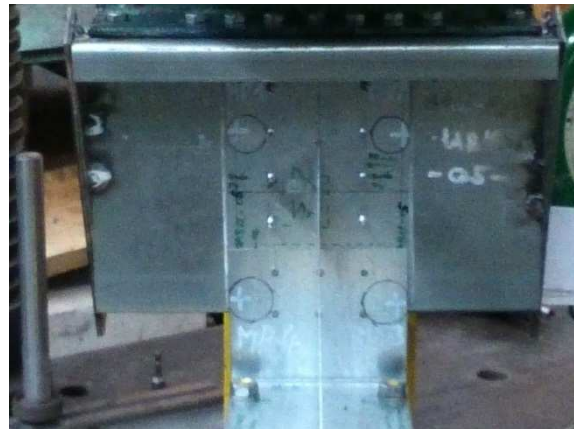
Geometriai imerfekciók:

A **borda füleit nem tudtuk pontosan 90°-ban hajlítani**. Az E3-as elem (ld. **4.7 ábra**) fülei és a borda gerince által bezárt szöget lakatos szögmérővel 94°-ban állapítottuk meg. Ez azt eredményezte, hogy a hegesztés után a borda a gerinc felső, lágyabb területét (a lemezvastagság duplázása a borda alatt kezdődik) a szelemennel ellentétes irányba húzta. **Ezáltal kezdeti görbületet okozott a bak gerinc-elemében**. Ezt a görbületet a gyártás után regisztráltuk, melyet a jegyzőkönyv 4. oldala tartalmaz.

A bak a tervezett kísérleti pozícióban állt (a tervezett pozíciót ld. **5.2 ábra**), melyet a **6.9 kép** illusztrál. Terhelés előtt az elemről készített fotókat láthatunk a **6.10, 6.11 és 6.12 képeken**. A tesztelem gyártását követően is készítettünk fényképeket, melyeket a gyártási jegyzőkönyv 3. oldalán tekinthetünk meg.



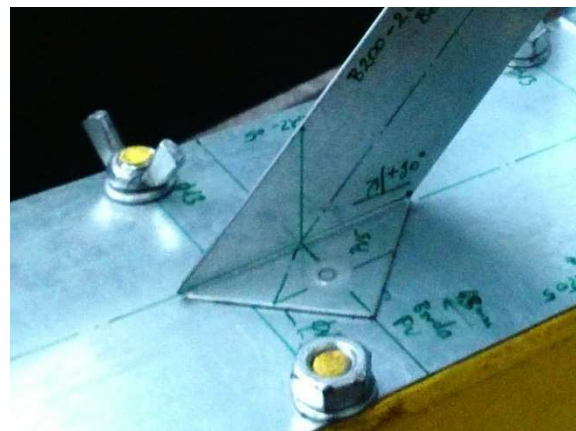
6.9 kép Terhelés bevezetése a gerincbe



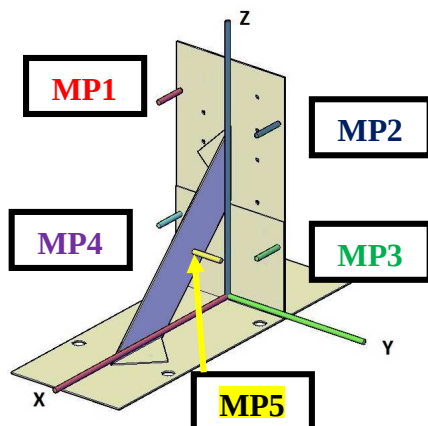
6.10 kép Mágnesek helye a bak gerincén



6.11 kép Gerinc szelemen felőli oldala



6.12 kép Borda-alaplemez kapcsolat



6.5 ábra A bak lokális koordináta rendszere – elmozdulások értelmezése

A kísérlet során mért elmozdulások előjelének értelmezését a **6.5 ábra** illusztrálja. A mérési hibáktól tisztított erő-elmozdulás grafikon a **6.6 ábrán** látható.

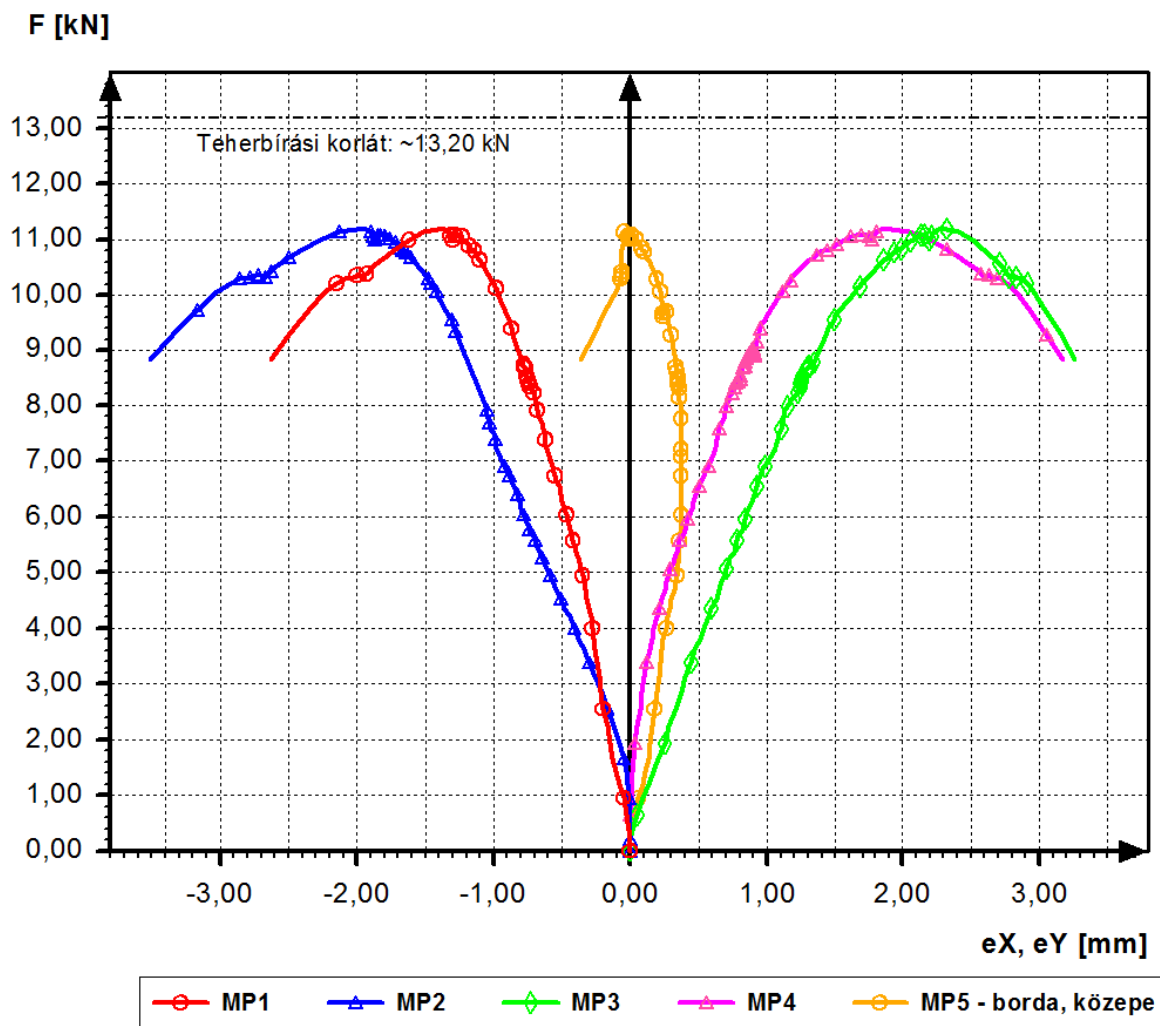
A grafikon függőleges tengelyén ábrázoltuk a terhelő erőt (F , [kN]), a vízszintes tengelyen a bak gerincére merőleges vízszintes elmozdulást (e_x , [mm]), valamint a borda Y-irányú elmozdulását (e_y , [mm]) - borda síkjára merőleges).

Mért elmozdulások:

MP1, MP2, MP3, MP4: X-irányú

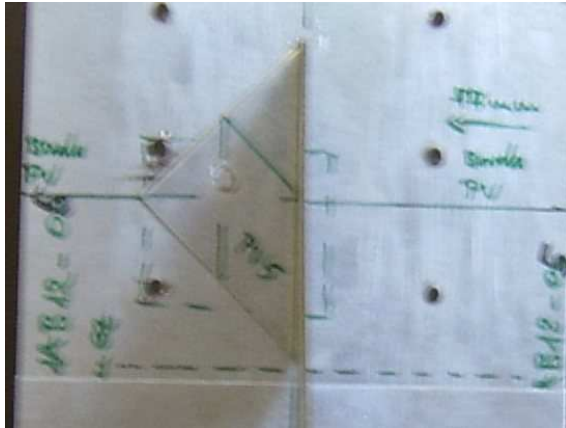
MP5: Y-irányú

A grafikonon a teherbírési korlátot a vízszintes szaggatott vonallal tüntettük fel. Ennek értéke **13,184 kN** (ld. 2.1. alfejezet).

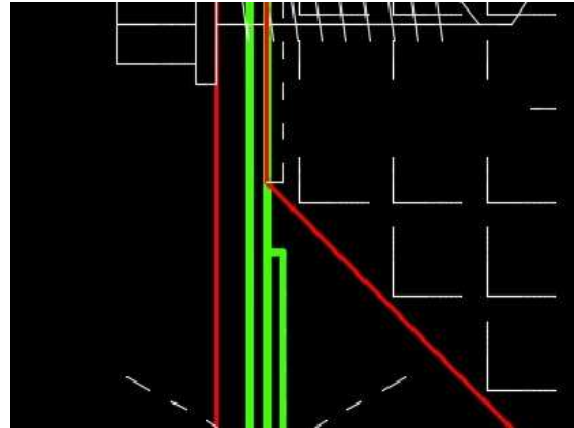


6.6 ábra F-e grafikon (B200-2L12-1AB12-05 tesztelem)

A borda-gerinc kapcsolatát a **6.13 kép** illusztrálja. A képen azt láthatjuk, hogy a borda-gerinc-lemez illesztés gyártmányterv szerinti. Tehát a borda alsó éle és az alaplemez gerincet alkotó rövidebb szakasza között a terhelés kezdetén volt ~ 2 mm függőleges távolság, melyet **6.7 ábrán** láthatunk.



6.13 kép A gerincborda és a gerinc kapcsolata



6.7 ábra Gerincborda-gerincelem részlet-rajza

A terhelés folyamán a bak szimmetrikusan viselkedett. A görbék karakterisztikája azonos. A görbék közötti alakváltozás különbségek adódhatnak az **5.6 ábrán** bemutatott jelenségből. Az ábra szerint a mágnessel a horpadási hullám eltérő pontjainak elmozdulását detektáljuk.

A borda gerincen fekvő füle az **MP1** és **MP4** pontok oldalán helyezkedik el. A terhelés hatására a gerincen elhelyezett felső mérési pontok a szelemen felülő oldalra mozdulnak el. A terhelés kezdetét a **6.14 és 6.15 képen** láthatjuk.

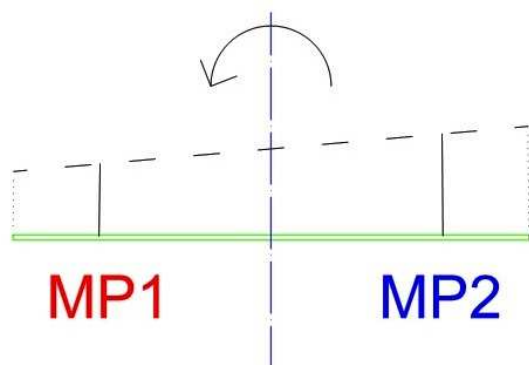


6.14 kép Kiindulási állapot ($t = 0$ sec)



6.15 kép A terhelés a bak bordájára nem teljesen szimmetrikus ($t = 1,0$ sec)

A gerincborda **füleinek gyártási imperfekciója miatt** (90° helyett 94° -os élhajlítás), **a borda** a gerinc e területét próbálta húzni magával. Ezáltal **a Z-tengely körül csavarta a gerinclemezt**. A borda csavaró hatása okozhatta azt, hogy az **MP1** pont kevesebbet mozdul el, mint a mellette lévő **MP2**. Az alakváltozási viselkedés sematikus ábráját a **6.8 ábra** illusztrálja.



6.8 ábra A bak gerincének elmozdulása



6.16 kép Az MP3 mérési pont környezete

Az alsó mérési pontoknál az **MP4** kb. 2,0 kN-os teherszintig merevebb viselkedést mutatott, mint a gerinc másik oldala. A kísérleti videókat elemezve azt gondoljuk, hogy **6.8 ábrán** bemutatott hatás révén az MP4 környezetére a bak gerinc szelemen felőli (külső) oldalán Z200-as a bak gerincére ráfeszül, ezzel lokálisan merevítve a gerinc e területét. A **6.16 képen** láthatjuk az **MP3** mérési pont környezetét. Ugyanakkor az is előfordulhat az **5.6 ábrán** bemutatott jelenség miatt az MP4 mérési pontra telepített adóval közelebb mértünk a hegesztési varrathoz.

Az erő elmozdulás grafikonok a 2,0 kN-os teherszint után lineárisan rugalmas karakterisztikát mutatnak. Maradó alakváltozások 9,0 kN körül kezdtek megjelenni.

11,08 kN-os teherszinten a gerinclemez közvetlenül a borda alsó alatt, az alaplemez gerinc részének felső éle felett beroppant. A tönkremenetelt a **6.17 képen** láthatjuk.

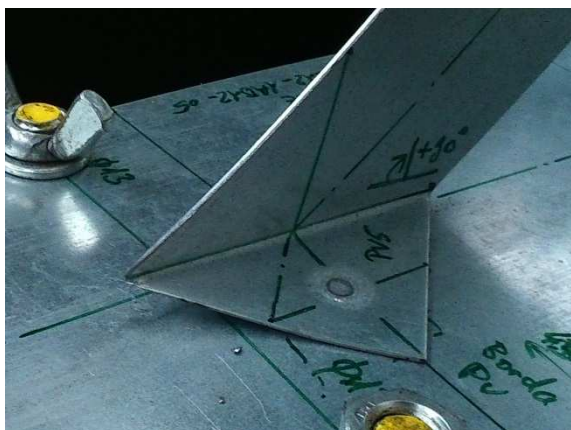


6.17 kép A bak gerinclemezének beroppánása az alaplemez gerincrészének éle felett



6.18 kép Borda alsó éle felül a kihorpadt gerincire

Ezt követően a szerkezet még rendelkezik mintegy 0,11 kN nagyságú posztkritikus tartalékkal, ami annak köszönhető, hogy a borda felül az alaplemez gerinc részének felső élére. A jelenséget **6.18 kép** illusztrálja. A **posztkritikus tartalék 11,19 kN-os szinten merül ki**, amikor a borda fülei lokálisan kihorpadnak a pontvarratok körül. Ezt a jelenséget szemléltetik a **6.19 és 6.20 képek**.

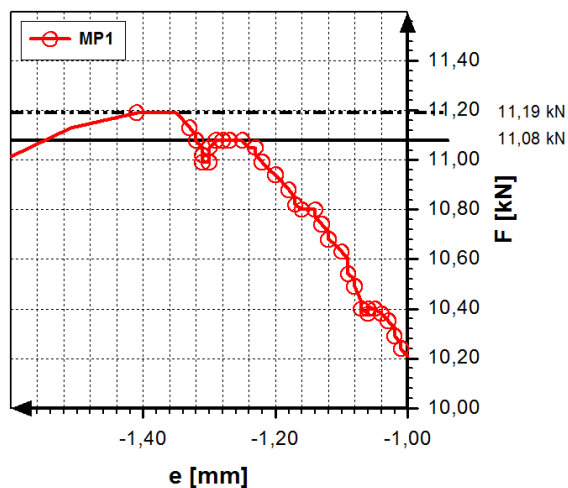


6.19 kép Gerincborda alsó füle

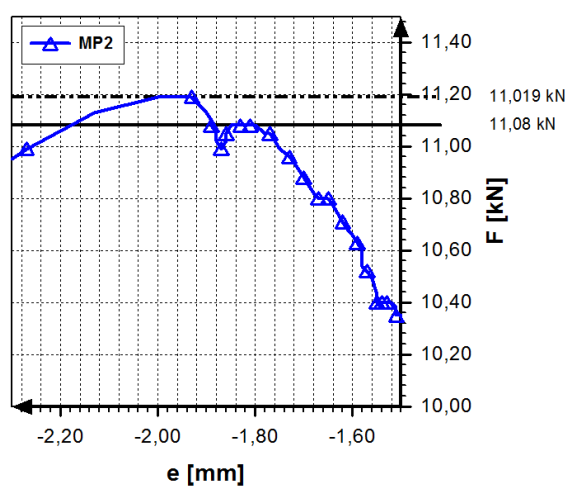


6.20 kép A borda felső füle

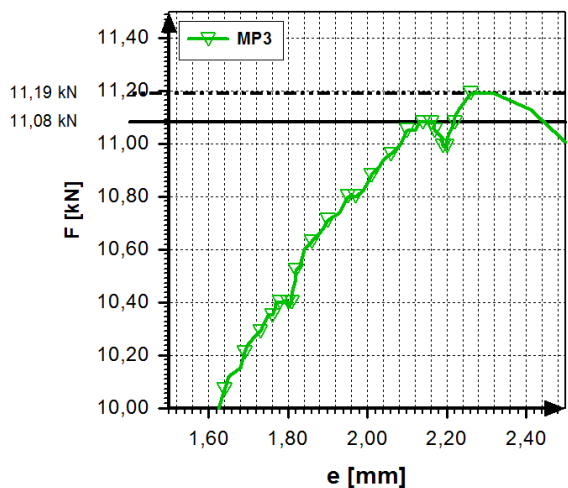
A szerkezet posztkritikus tartalékát a 6.9, 6.10, 6.11 és 6.12 ábrák illusztrálják.



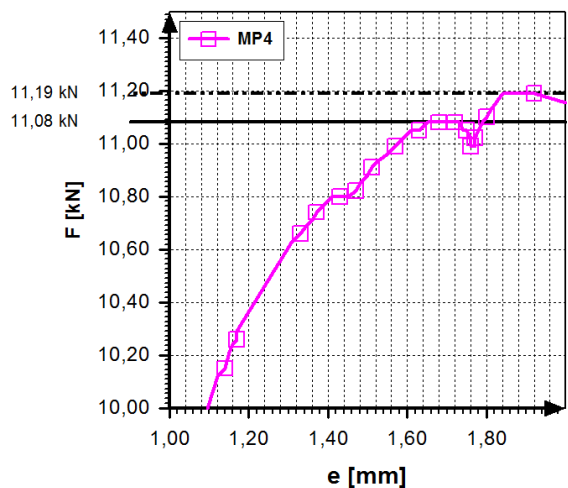
6.9 ábra MP1 mérési pont



6.10 ábra MP2 mérési pont



6.11 ábra MP3 mérési pont



6.12 ábra MP4 mérési pont

A tesztelem teherbírása a gerinc horpadásakor elért teher szint, azaz 11,08 kN.

$$F_{kr} = 11,08 \text{ kN} < F_{tk} = 13,20 \text{ kN}$$

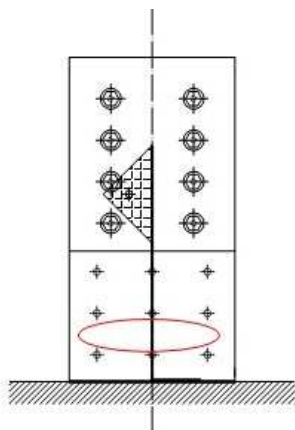
6.3. Eredmények összehasonlítása

A B200-2L12-1AB12-04 és ...-05 tesztelem teherbírásait a 6.2 táblázatban foglaltuk össze.

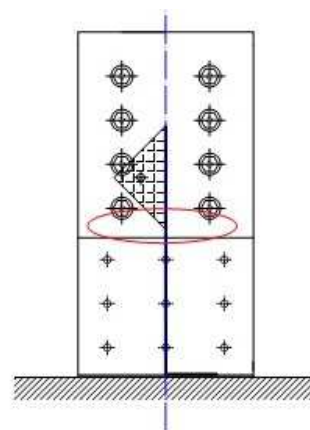
	Tesztelemek azonosítója		
	B200-2L12-1AB12-04	B200-2L12-1AB12-05	ÁTLAG
Teherbírás [kN]	12,73	11,08	11,905
Teherbírási korlát [kN]	13,20		
Eltérés	0,47	2,12	1,30

6.2. táblázat Releváns kísérleti eredmények összehasonlítása

Mindkét tesztelem tönkremenetele a gerinc beroppanásával következett be. A 04-es tesztelem esetében a gerinc azon szakaszán, ahol a falvastagság kettőződött, míg a 05-ös tesztelem esetén közvetlen a gerincborda alatt, lemezkettőzést követő keresztmetszetben. A tönkremenetek kialakulásának helyeit a 6.13 és 6.14 ábrák illusztrálják.



6.13 ábra B200-...-04 tesztelem –tönkre-
metel kialakulásának helye



6.14 ábra B200-...-05 tesztelem –tönkre-
metel kialakulásának helye

A **tesztelemek geometriai kialakítása azonos** volt. A gyártás utáni ellenőrzés során **hasonló irányú és nagyságú globális imperfekciót** mértünk. A terhelés történet is megegyezett, mégis különbözött a tönkremenetel kialakulásának helye.

Azt gondoljuk, hogy a **baktípus fokozottan érzékeny a lokális geometriai imperfekciókra valamint, a terhelés imperfekciójára.**

Mivel a két tesztelem közül egyik teherbírása sem érte el az I. bázisgeometria által meghatározott teherbírási korlátot, ezért **a baktípus további fejlesztésre szorul.**

A problémát abban látjuk, hogy a borda túl kis felületen kapcsolódik a gerinchez, így azt nem tudja kellő mértékben merevíteni.

7. B200-2U10-1AB10 baktípus kísérleti eredményei

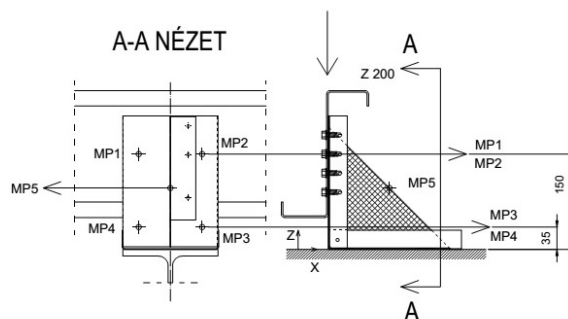
A kutatási időszakban ebből a típusból **összesen 6 kísérletet hajtottunk végre**. A kísérletek során a vizsgált tesztelemelek sorszámát és gyártási jegyzőkönyv számát a **7.1 táblázat** foglalja össze. Az első két kísérletnél előre nem látható akadályokba ütköztünk, melyek baktípus és a kísérleti összeállítás során elkövetett tervezési hibákra voltak visszavezethetőek. A hibákat elemeztük és kijavítottuk, melyeket röviden az **M7-es mellékletben** foglalunk össze. **Relevánsnak tekintjük** azt a kísérletet, melynél a szelementartó bak megy tőkre. A releváns kísérleteket a táblázatban pirossal jelöljük.

Sorszám	Tesztelemelek azonosítója	Gyártási jegyzőkönyv száma	Gyártási jegyzőkönyv elérése
1	B200-2U10-1AB10-01	GYJ: B200-2U10-1AB10	M3-as melléklet
2	B200-2U10-1AB10-02		
3	B200-2U10-1AB10-03		
4	B200-2U10-1AB10-04		
5	B200-2U10-1AB10-05		
6	B200-2U10-1AB10-06		

7.1 táblázat elvégzett kísérletek

A tönkremeneteli módok megegyeznek a B200-2L12-1AB12 típusnál definiáltakkal, melyeket a **6. fejezet** elején foglaltunk össze.

Elmozdulás korlát számítása a B200-2U10-1A10 típushoz:



7.1 ábra Mérési pontok telepítésének sematikus ábrája

sarokpontja körül, melyet több helyen **talpponti** vagy **talpél körüli elfordulásnak** nevezünk. Ilyen tönkremenetel alakul ki például, ha a bak gerincbordája beroppan és a pontvarratok kelően duktilisak ahhoz, hogy a gerinc alsó él mentén elforduljon. Akkor is hasonló deformáció alakul ki, ha a borda beroppan és az élbordák nem elég merevek, hogy megtámasszák a szelement. A forgásközéppont nem feltétlenül van ebben a talppontban. A kritikus elforduláshoz tartozó elmozdulások a mérési pontokban a **7.1 ábra** alapján szögfüggvényekkel számíthatóak.

$$e_{MP1} = e_{MP2} = 150 * \tan(5^\circ 41') = 14,92 \text{ mm}$$

$$e_{MP3} = e_{MP4} = 35 * \tan(5^\circ 41') = 3,48 \text{ mm}$$

A mérési pontok pozícióját a **7.1 ábrán** szemléltetjük. A **6. alfejezetben** leírtak ennél a baktípusnál is érvényesek az alakváltozási korlátok meghatározását illetően. Alapvetően kétféle alakváltozási korlátot írtunk elő a bakra vonatkozóan:

1. Alakváltozási követelmény, a szelemen gerincének a talppont körüli elfordulására vonatkozik (ún. szelemen dőlés), melyet a **2.2.1. alfejezetben** β -val jelöltünk. Ezt olyan alakváltozási viselkedés esetén alkalmazhatjuk, ha a szelemen alakváltozás nélkül, merevtestszerűen fordul el a bak – alsó -

A mérési pontok helye a különböző tesztsorozatokban változott, az előző oldalon közölt számítás a **B200-2U10-1AB10-05** és a **B200-...-06** tesztelemekekre vonatkozik. Kitételként említjük, hogy ezek az alakváltozási korlátok csak akkor érvényesek, ha a szelemen gerince terhelés hatására elfordulást szenved.

Ha a bak gerincének alsó része behorpad, akkor előfordulhat, hogy a bak nem éri el a kritikus elfordulási értéket, a szelemen viszont olyan függőleges elmozdulásokat szenved, hogy az már annak tönkremenetelét okozhatja. Ilyen alakváltozási viselkedés esetén a **2.2.2. alfejezetben** előírt ún. **2. alakváltozási korlátot kell figyelembe venni**, melyet a Z-szelemen felső övének függőleges elmozdulásaira írtunk elő.

A kísérletek során mértük a bak gerincére merőleges, vízszintes („X” irányú) elmozdulásokat (**e_x**, [mm]), a gerincborda gerincének síkjára merőleges („Y”-irányú) elmozdulásokat (**e_z**, [mm]), valamint a terhelő erőt (**F**, [kN]). A továbbiakban csak a releváns kísérletek mutatjuk be, a többi kísérlet eredményeit az **M7-es mellékletben** foglaltuk össze röviden.

A kísérletek dokumentálása során 2 nézőpontból videó felvétel készült. A két felvétel szinkronizálásához egy - mindkét képen jól beazonosítható - analóg órát használtunk.

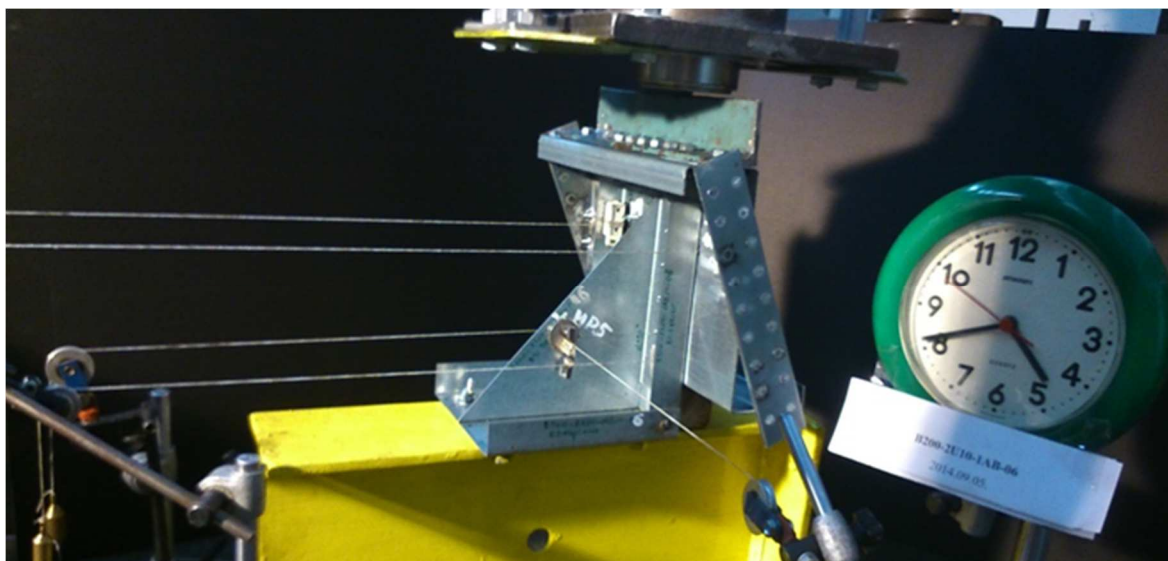
Ennél a baktípusnál is **három féle imperfekciót** különböztetünk meg elemzés során:

- 1. Anyagi imperfekció:** az szerkezet anyag nem teljesen homogén
- 2. Teher imperfekció:** a dugattyú az erőt nem pontosan szelemen gerincének középvonalában adja át. Az L-acél övének a középvonala és a Z200-as gerince nincs teljesen egy tengelyen. A csavarkép a fúrás pontatlansága miatt - ld. **M3-melléklet** – nem teljesen szimmetrikus.
- 3. Geometriai imperfekció:** az alkotóelemek nem teljesen síkok (ld. **4.1.4. alfejezet**).

Az eredményeket olyan sorrendben mutatjuk be, ahogy a tesztsorozatok követték egymást. A B200-2U10-...-06 tesztelemet a 4. tesztsorozatban vizsgáltuk. Vele teljesen azonos kialakítású tesztetem a B200-...-05 azonosítójú bak, de mivel 05-ösre az 5. tesztsorozatban került sor, ezért először a 06-os bak kísérleti eredményét mutatjuk be.

7.1. B200-2U10-1AB10-06 tesztelem kísérlete

A kísérleti összeállítást a **7.1 kép** illusztrálja. A szerkezeti elem a tervezett kísérleti pozícióban állt (ld. 5.2 ábra). A teherátadás kialakítását a **7.2-7.4 képek** illusztrálják.



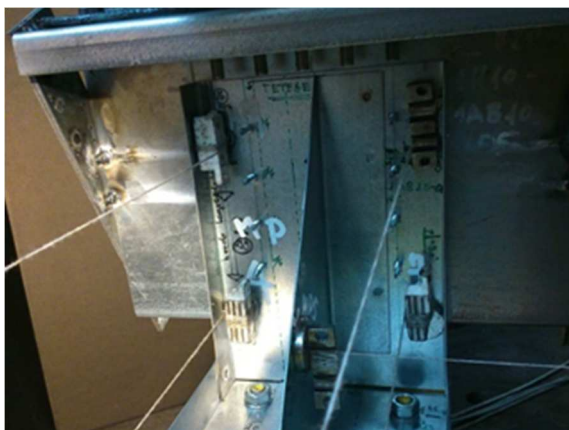
7.1 kép Kísérleti elrendezés



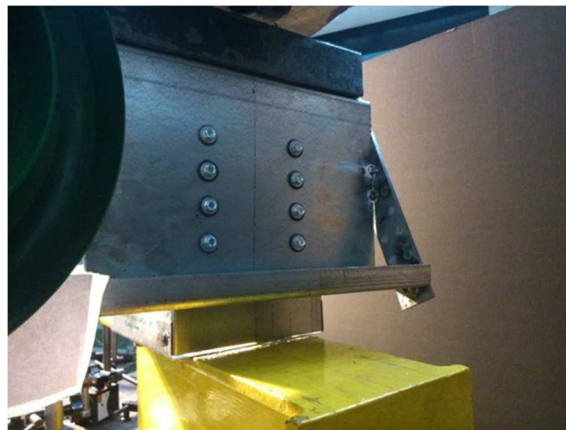
7.2 kép Terhelési viszonyok



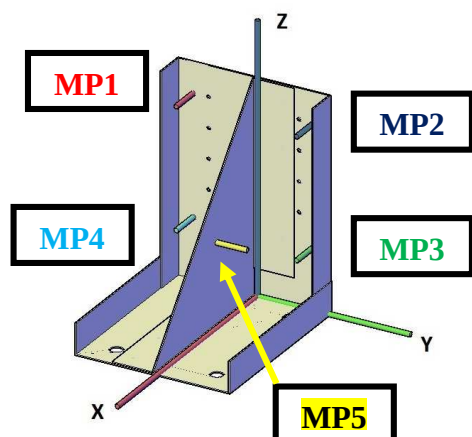
7.3 kép Mérési pontokon ajtómágnesek



7.4 kép Z-szelemen pozíciója



7.5 kép A bak hátulnézete



7.2 ábra A bak lokális koordináta rendszere – elmozdulások értelmezése

A kísérlet során mért elmozdulások előjelének értelmezését a **7.2 ábra** illusztrálja. A mérési hibáktól tisztított erő-elmozdulás grafikon a **7.3 ábrán** látható.

A grafikon függőleges tengelyén ábrázoltuk a terhelő erőt (F , [kN]), a vízszintes tengelyen a bak gerincére merőleges vízszintes elmozdulást (e_x , [mm]), valamint a borda globális Y-irányú elmozdulását (e_y , [mm]) borda síkjára merőleges).

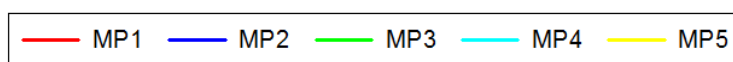
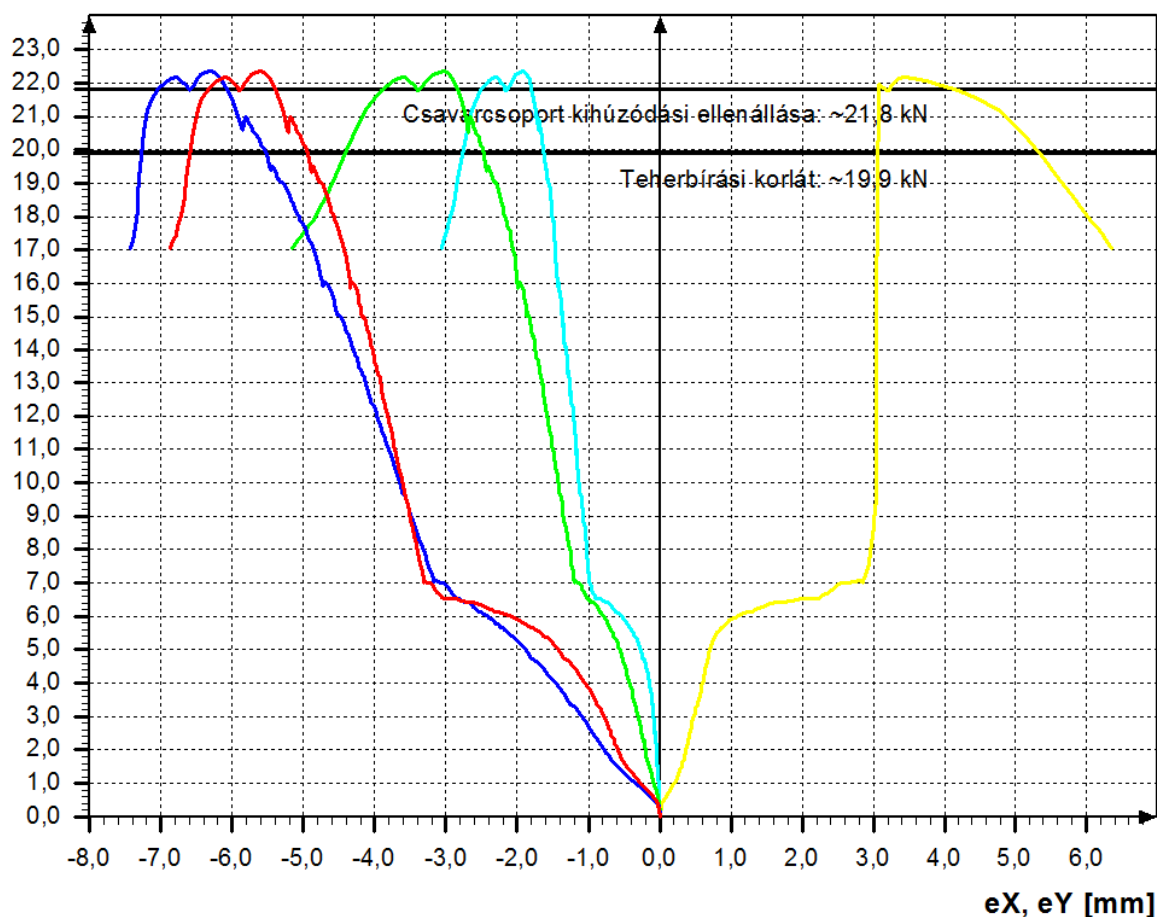
Mért elmozdulások:

MP1, MP2, MP3, MP4: X-irányú

MP5: Y-irányú

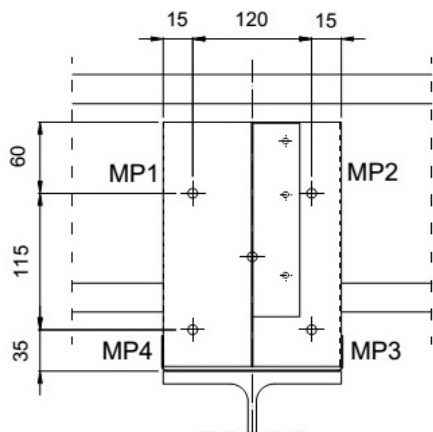
A grafikonon a teherbírési korlátot a vízszintes szaggatott vonallal tüntettük fel. Ennek értéke **19,894 kN** (ld. 2.1. alfejezet).

F [kN]

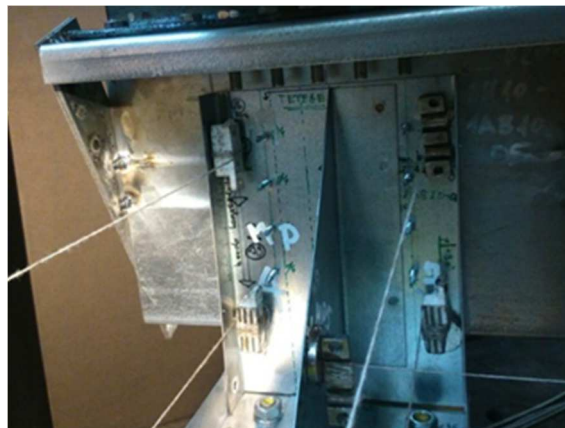


7.3 ábra F-e grafikon (B200-2U10-1AB10-06 tesztelem)

A tesztelem kísérletét a **4. tesztsorozatban** végeztük el (ld. **M4-melléklet**). Ebben a tesztsorozatban az elmozdulásmérőket csigákon átvetett zsinórokhoz erősített mágnesekkel rögzítettük a mérési pontokhoz. Az mérési pontok (MP) tervezett helyzetét a **7.4 ábra** és tényleges pozícióját a **7.5 kép** illusztrálja.

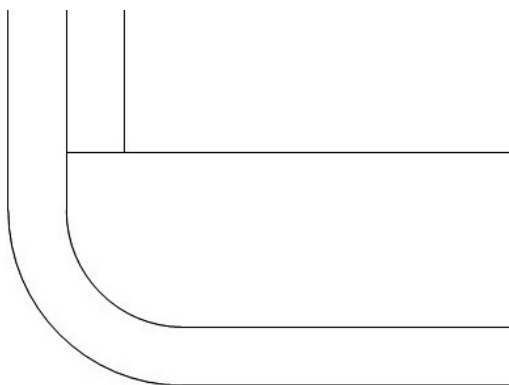


7.4 ábra Mérésipontok tervezett helyzete



7.5 kép Mérésipontok tényleges helyzete

A teherbírási korlátot (19,9 kN) a **7.3 ábrán vízszintes szaggatott vonallal** tüntettük fel. A tesztelem gerincének alsó éle és alaplemeze között gyártás után mintegy 2,0 mm nagyságú nyílást regisztráltunk. Ez abból keletkezett, hogy a hidegen hajlított élbordák miatt a gerinc és az alaplemez nem passzolt teljesen egymásba. A nyílást **7.5 ábra** és **7.6 kép** illusztrálja.

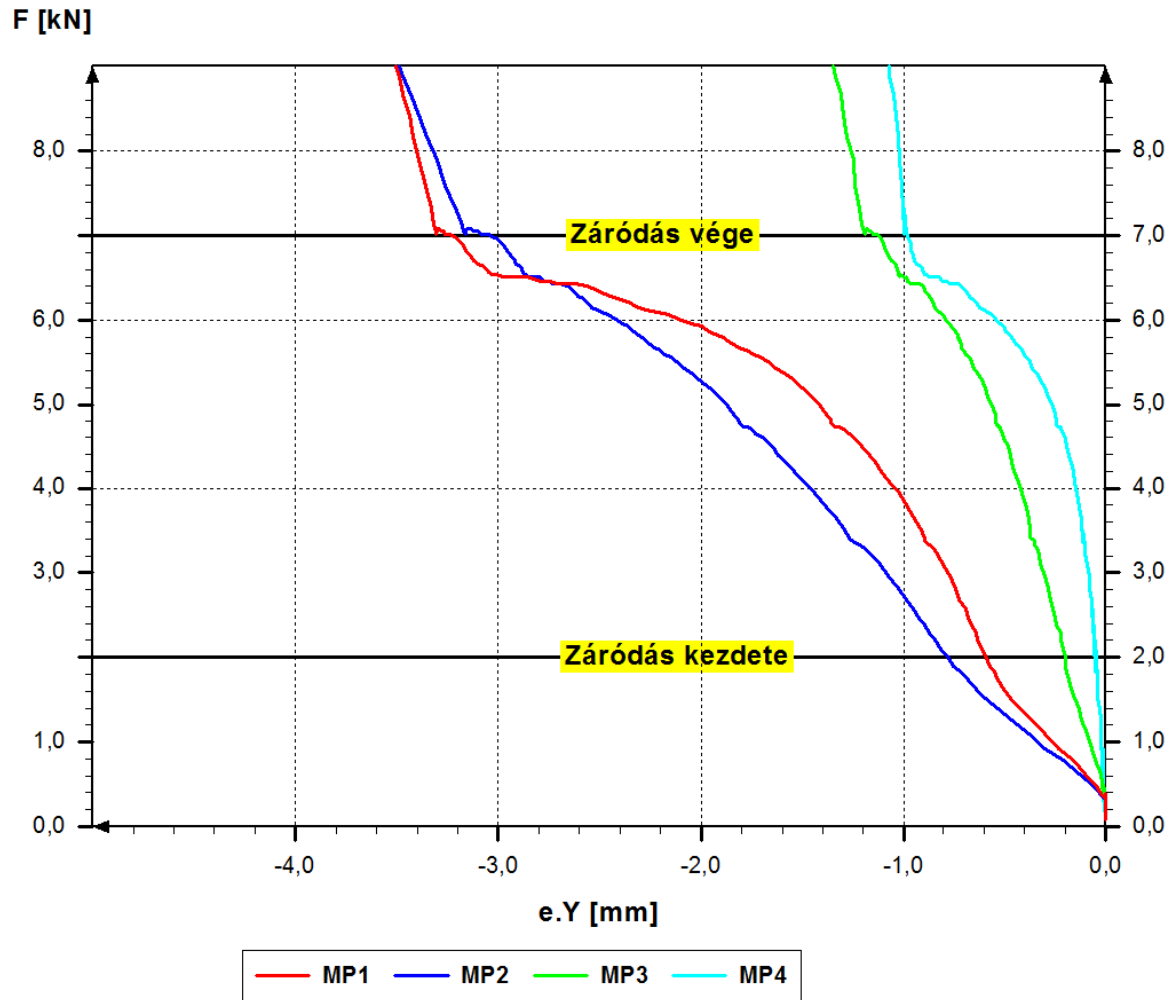


7.5 ábra Nyílás sematikus ábrája



7.6 kép A B200-...-06 tesztelem gerincének alsó éle (hátnézeti)

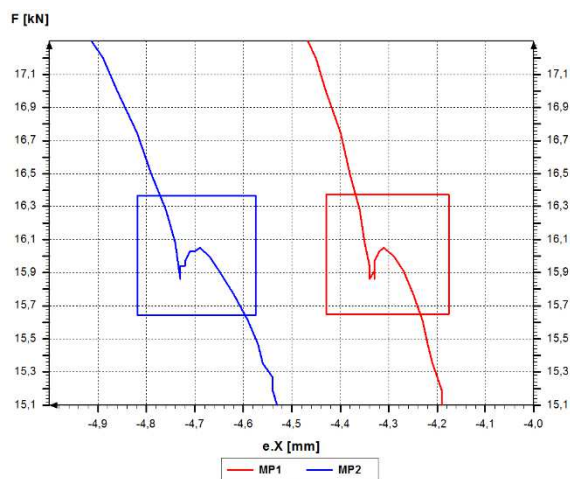
Körülbelül 2,0 kN-os teher szinten a gerinc elkezdett függőlegesen süllyedni, ezáltal záródott a **nyílás**. A gerinc alsó éle fokozatosan ült rá a felső övre, mert a nyílás mérete a gerinc alsó éle mentén nem volt egységes. A gerinc az alaplemez lelógó részeit vitte magával, azaz az alaplemez X-tengely körül hajlította (ld. **7.2 ábra**). A hajlítás hatására az alaplemez a gerenda élei mentén, lokálisan megfolyt. Ennek hatását lehet látni a grafikonok 6,5-7 kN teher szint közötti részén, melyet a **7.6 ábrán** láthatunk (plató szerű részek a merevség változás előtt).



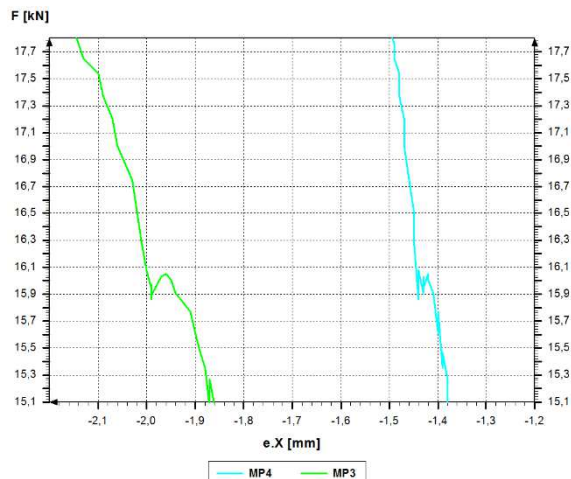
7.6 ábra Alaplemez lokális képlékenyedésének hatása a gerenda éle mentén

Mintegy 7,18 kN-os teherszinten a nyílás záródása befejeződött, **a gerinc alsó éle teljesen felült a gerenda felső övére, ezáltal a statikai váz megváltozott.** Ez lehet az oka a 7,18 kN-os teherszinten mutatkozó **merevségváltozásnak**. A görbék merevségkülönbsége magyarázható egyrészt azzal, hogy az elmozdulásokat ajtó mágneseken keresztül regisztráltuk; a mágnes felülete a merevítetlen lemezmezőhöz képest nagy volt, így a horpadási hullám különböző pontjaira tudtunk csak rámérni. Továbbá a **7.4 ábrán** láthatjuk, hogy a gerinclemez merevsége is különböző volt a mérési pontok környezetében (a csavarok környezete, az alkotóelemek élbordáihoz közelebb eső területek merevebbek).

A záródást követően a bak gerince körülbelül **15 kN-os teherszintig lineárisan rugalmasan** viselkedett. A 15 kN körüli teherszinten azt tapasztaltuk, hogy **az alaplemez élbordái kihajlanak.** Ezáltal a gerinc alsó élének környezetének merevsége csökkent, **a szerkezet lágyult**, melyet a grafikonokon **maradó alakváltozások megjelenése** jelez. Csavarkihúzódnást nem tapasztaltunk. Ettől a teherszinttől kezdve lokális horpadásokat tapasztaltunk a bak gerincén, melyet pattogó hanghatás is kísért. Ilyen lokális horpadásokra mutatnak példát a **7.7 és 7.8 ábrákon** bemutatott görbeszakaszok.



7.7 ábra Lokális horpadások MP1 és MP2 grafikonokon



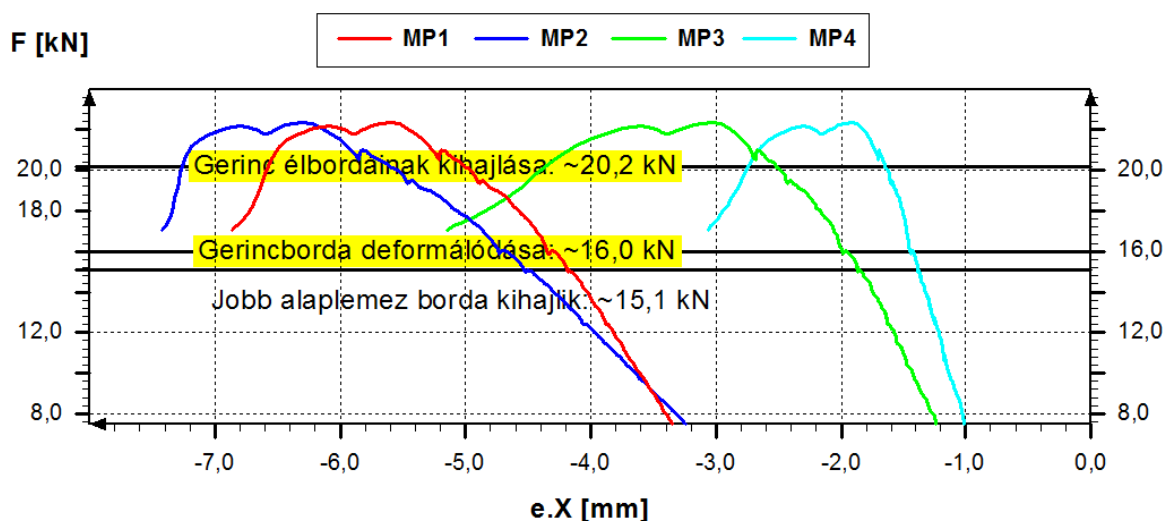
7.8 ábra Lokális horpadások hatása a gerinc alsó részein (MP3 és MP4)

Körülbelül 16,00 kN teherszinten tesztelem gerincbordája a záródás után újra elkezdi deformálódni. Ez idáig a záródás vége óta ez az alkotóelem szinte teljesen mereven viselkedett. A borda záródás utáni vízszintes elmozdulásait a 7.1 táblázatban foglaltuk össze.

F	[kN]	7,50	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00	14,00
e.Y	[mm]	2,93	2,99	3,01	3,04	3,04	3,04	3,04	3,04
F	[kN]	15,00	16,00	17,00	17,80	18,00	19,00	20,00	21,00
e.Y	[mm]	3,04	3,04	3,00	2,98	2,96	2,91	2,84	2,76

7.1. táblázat Borda vízszintes elmozdulásai

A gerincborda merevségének csökkenésével a gerinc mérési pontjainak erő-elmozdulás grafikonjaiban maradékalakváltozások jelennek meg; a borda egyre kevésbé merevíti a gerincet. A gerinclemez mérési pontjainak erő-elmozdulás grafikonjait a záródást követően a 7.9 ábra illusztrálja.

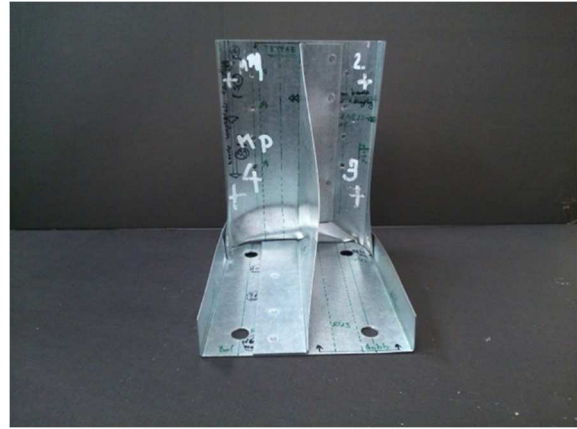


7.9 ábra A gerinclemez erő-elmozdulás grafikonjai a záródás után (kN-mm)

A tönkremenetel a gerinc alsó szakaszának hirtelen bekövetkező lokális stabilitásvesztésével következett be, melyet a **7.6 kép** illusztrál. A **horpadás 22,35 kN-os teherszinten következett be**. A tesztelem terhelés után deformálódott alakját a **7.7 képen** láthatjuk.



7.6 kép Gerinc lokális horpadás



7.7 kép A tesztelem deformálódott alakja

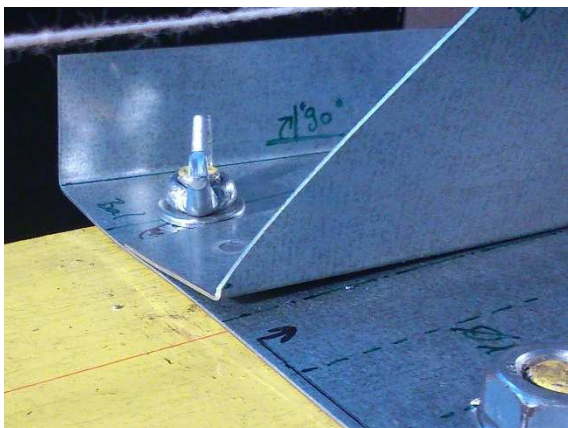
További deformálódott területeket láthatunk a **7.8-7.11 képeken**.



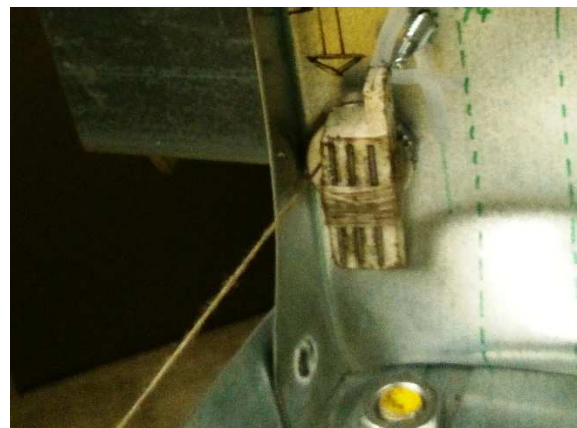
7.8 kép Bak deformálódott gerincbordája



7.9 kép Deformálódott alaplemez



7.10 kép Gerincborda fülének felemelkedése



7.11 kép Gerinc élbordájának lokális horpadása

7.2. B200-2L12-1AB12-05 tesztelem kísérlete

A kísérleti összeállítást a **7.12 kép** illusztrálja. A szerkezeti elem a tervezett kísérleti pozícióban állt (ld. **5.2 ábra**). A teherátadás kialakítását a **7.13-7.16 képek** illusztrálják.



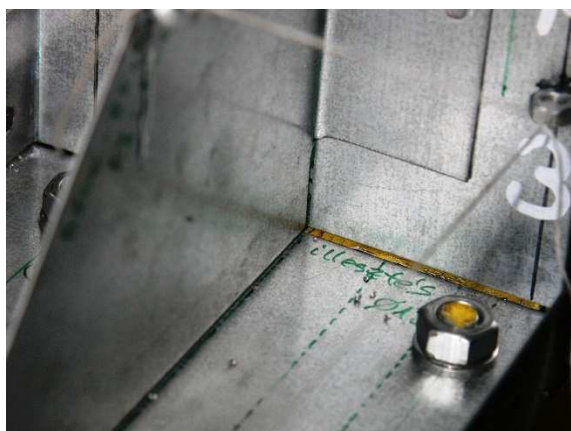
7.12 kép Kísérleti elrendezés



7.13 kép Terhelési viszonyok



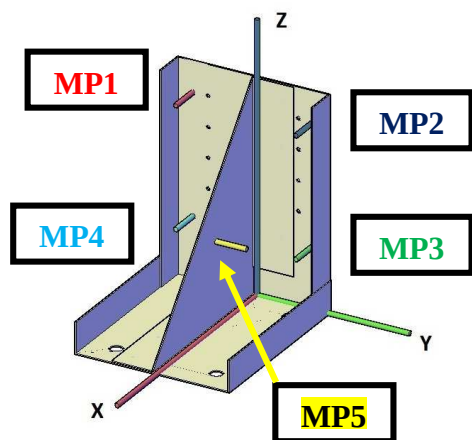
7.14 kép A mérési pontokon felragasztott anyacsavarok



7.15 kép Gerinc csatl. záródás előtt



7.16 kép A bak hátulnézete



7.10 ábra A bak lokális koordináta rendszere – elmozdulások értelmezése

A kísérlet során mért elmozdulások előjelének értelmezését a **7.10 ábra** illusztrálja. A mérési hibáktól tisztított erő-elmozdulás grafikon a **7.11 ábrán** látható.

A grafikon függőleges tengelyén ábrázoltuk a terhelő erőt (F , [kN]), a vízszintes tengelyen a bak gerincére merőleges vízszintes elmozdulást (e_x , [mm]) és a borda globális Y-irányú elmozdulását (e_y , [mm]) borda síkjára merőleges), valamint a Z-szelemen felső övének függőleges, Z-irányú elmozdulását (e_z [mm]).

Mért elmozdulások:

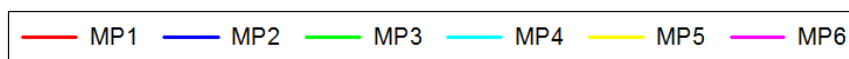
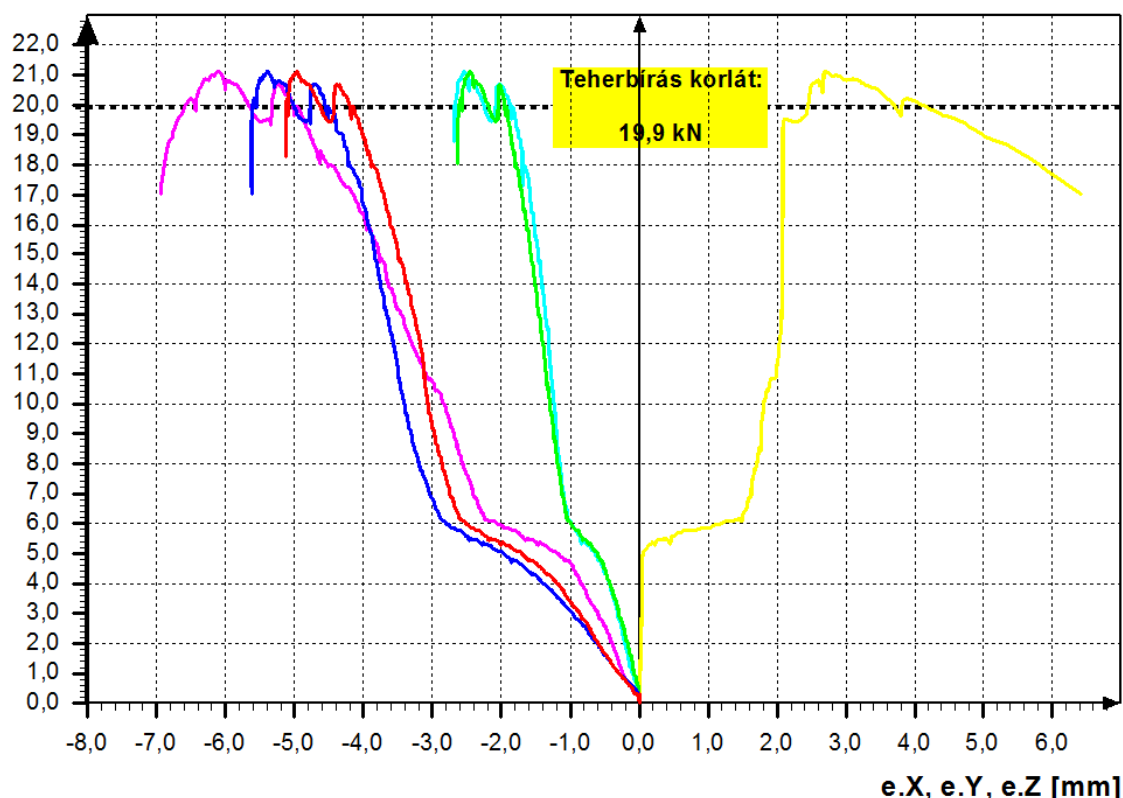
MP1, MP2, MP3, MP4: X-irányú

MP5: Y-irányú

MP6: Z-irányú

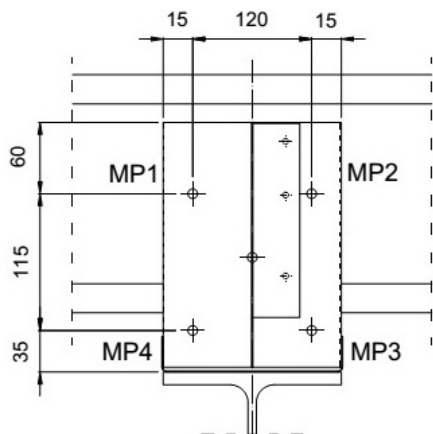
A grafikonon a teherbírás korlátot a vízszintes szaggatott vonallal tüntettük fel. Ennek értéke **19,894 kN** (ld. 2.1. alfejezet).

F [kN]



7.11 ábra F-e grafikon (B200-2U10-1AB10-05 tesztelem)

A tesztelem kísérletét az **5. teszt sorozatban** végeztük el (ld. **M4-melléklet**). Ebben a teszt sorozatban az elmozdulásmérőket csigákon átvetett zsinórokon keresztül vezettük a mérési pontokhoz. A mérési pontokra M6 anyacsavarokat ragasztottunk és azokhoz kapcsoltuk az adókat. A mérési pontok (**MP**) tervezett helyzetét a **7.12 ábra** és tényleges pozícióját a **7.17 kép** illusztrálja.

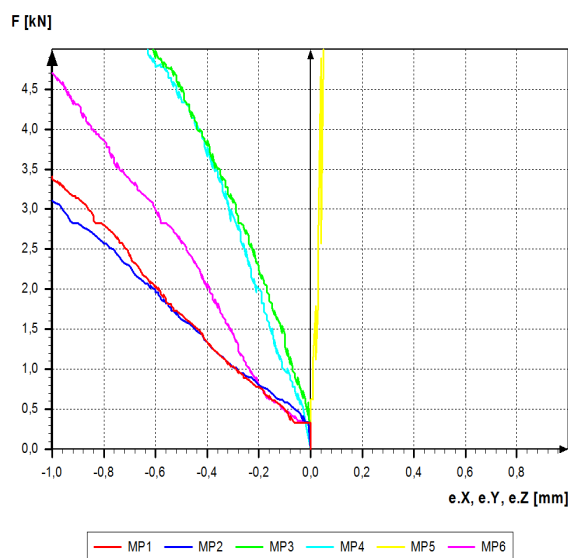


7.12 ábra Mérés pontok tervezett helyzete



7.17 kép Mérés pontok tényleges helyzete

A gerinclemez alsó éle és az alaplemez között terheletlen állapotban a bak gerincének szimmetria tengelyében 1,15 mm széles hézag volt, melyet mi **nyílásnak** nevezünk. A nyílás méretét a **7.15 képen** láthatjuk.



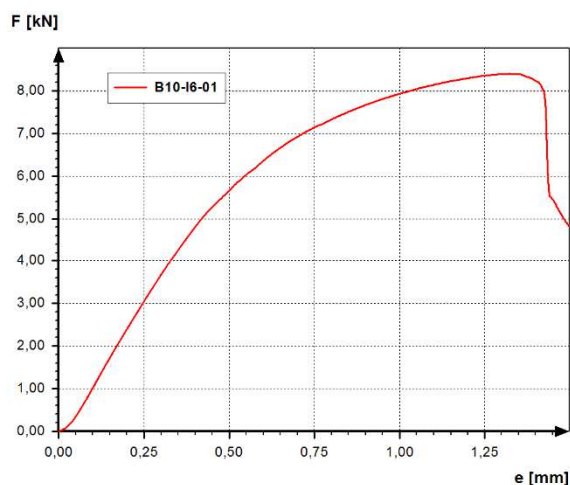
7.13 ábra A bak kezdeti merev viselkedése

A **05-ös** tesztelem - hasonlóan, mint a **B200-..-06-os** – mintegy 0,4 kN-ig mereven viselkedett. A grafikonok kezdeti szakaszát a **7.13 ábrán** láthatjuk.

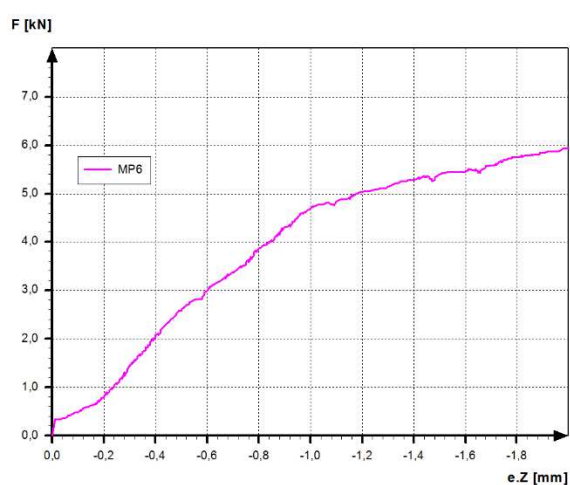
Ezt követően megkezdődik a **nyílás záródás**, melyet recsegő hang kísért. A Z-szelemen gerince ezen a teherszinten még nem alakváltozott, ezért a felső övére telepített **MP6-os** mérési ponton mért függőleges elmozdulás megegyezik a bak gerincének függőleges elmozdulásával. Eszerint a nyílás záródás mértéke arányos volt a teherrel. Ez a viselkedés hasonló az ellenállás-ponthegesztett kapcsolatok mechanikai viselkedésével (**M1-melléklet**, Jegyzőkönyvek, 6. old.).

A hasonlóságot csak a görbék karakterisztikájára értjük, hiszen a **B200-2U10-1AB10-05** tesztelem élbordáit összekötő pontszerű varratot védőgázos ívhegesztés eljárással készítettük (ennek okait az **M3-melléklet**, 3.2 alfejezetében részleteztük, ld. **M3-3.8 ábra**, 9. old.). A hegesztéstechnológia eltért, de a varrat kiterjedése és az igénybevétel típusa hasonló. Ellenállás-

ponthegesztett kapcsolatoknál a pontvarratok befordulása előtt még nyírt a kapcsolat, csak úgy-mint a bak viselkedésének ún. nyílás-záródó szakaszán. Egy ilyen összehasonlításra láthatunk példát a **7.14 és 7.15 ábrákon** a következő oldalon.



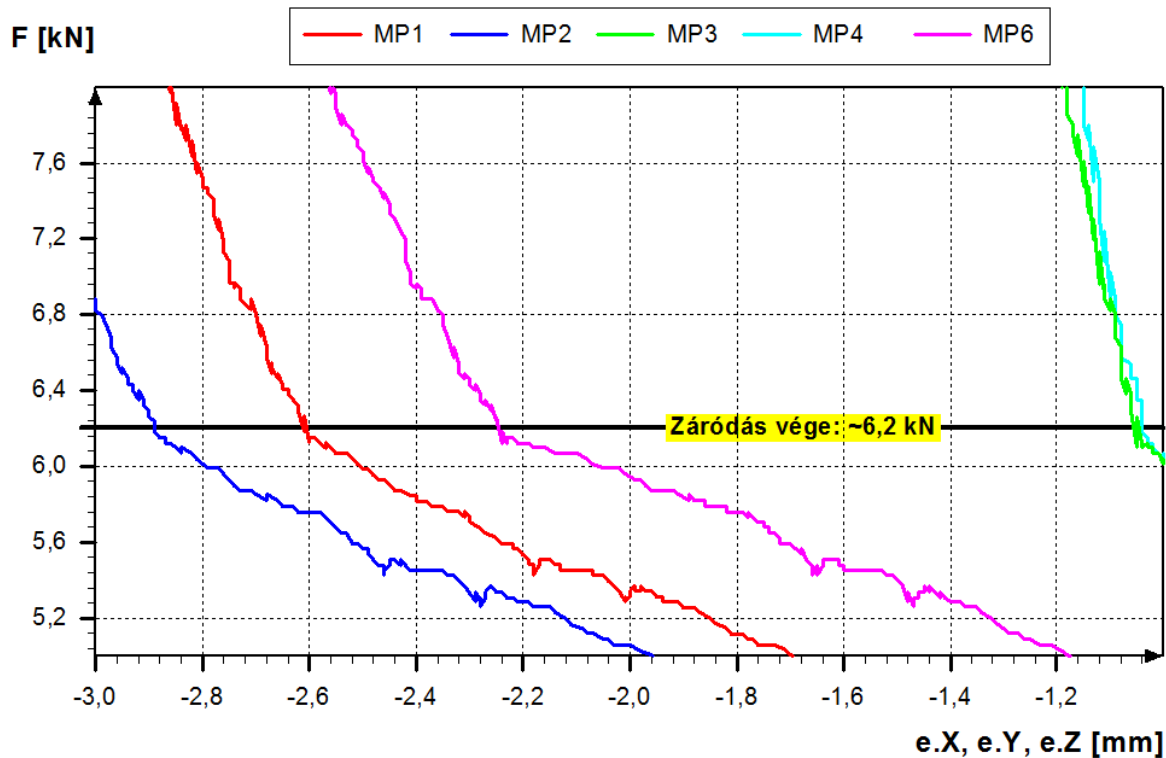
7.14. ábra Ellenállás-ponthegesztett kapcsolat nyíró-szakító vizsgálata*



7.15 ábra A B200-2U10-...-05 tesztelem függőleges elmozdulása

* saját kísérleti eredmény, M1-melléklet, jegyzőkönyvszám: **HJK-B10-I6-01**

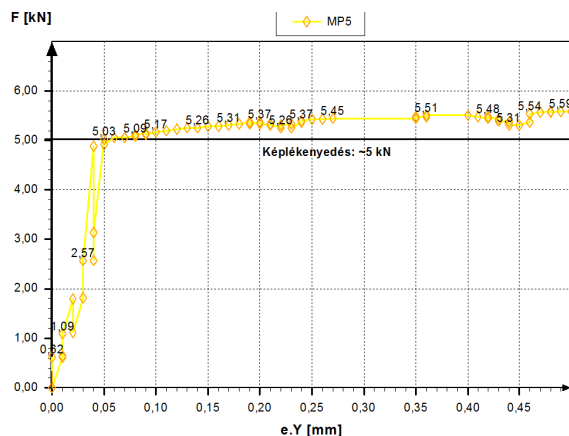
A nyílászáródás körülbelül 6,0 kN teherszinten fejeződik be. **Ennél a tesztelemnél nem figyelhető meg a záródás vége előtt képlékenyedés** – nincs plató a gerinc mérési pontjai esetében. A záródás végéhez közeli teherszinten görbe karakterisztikákat a **7.16 ábrán** láthatjuk.



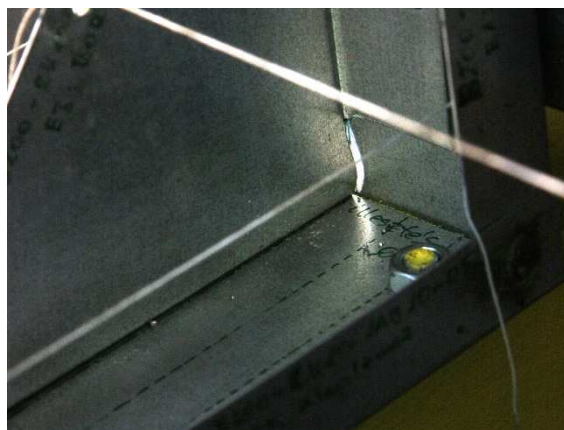
7.16 ábra Záródás vége képlékenyedés nélkül

Ennek az lehet az oka, hogy a gerinc alsó éle előbb érte el a gerenda felső élét, minthogy az alaplemez élbordák teherbírása kimerüljön. A gerinc statikai váza előbb változott meg, mint-hogy az alaplemez lelógó része a gerenda síkja alá süllyedtek volna.

A borda ~5,0 kN teher szinten képlékenyedni kezd. Ennek oka, hogy a gerinc függőleges negatív irányú eltolódása - süllyedése – a gerincbordát hajlítja és mintegy 5 kN teher szinten a borda alsó, nyomott területe kihorpad. A jelenséget a **7.17 ábra**, ill. **7.18 kép** illusztrálja.



7.17 ábra A borda képlékenyedése



7.18 kép A borda alsó kihorpadt területe

A borda-alaplemez kapcsolatát terhelés előtt és ~ 6 kN teher szinten a **7.19** és **7.20 képeken** láthatjuk.



7.19 kép Terhelés előtt



7.20 kép Teherszint: ~6 kN

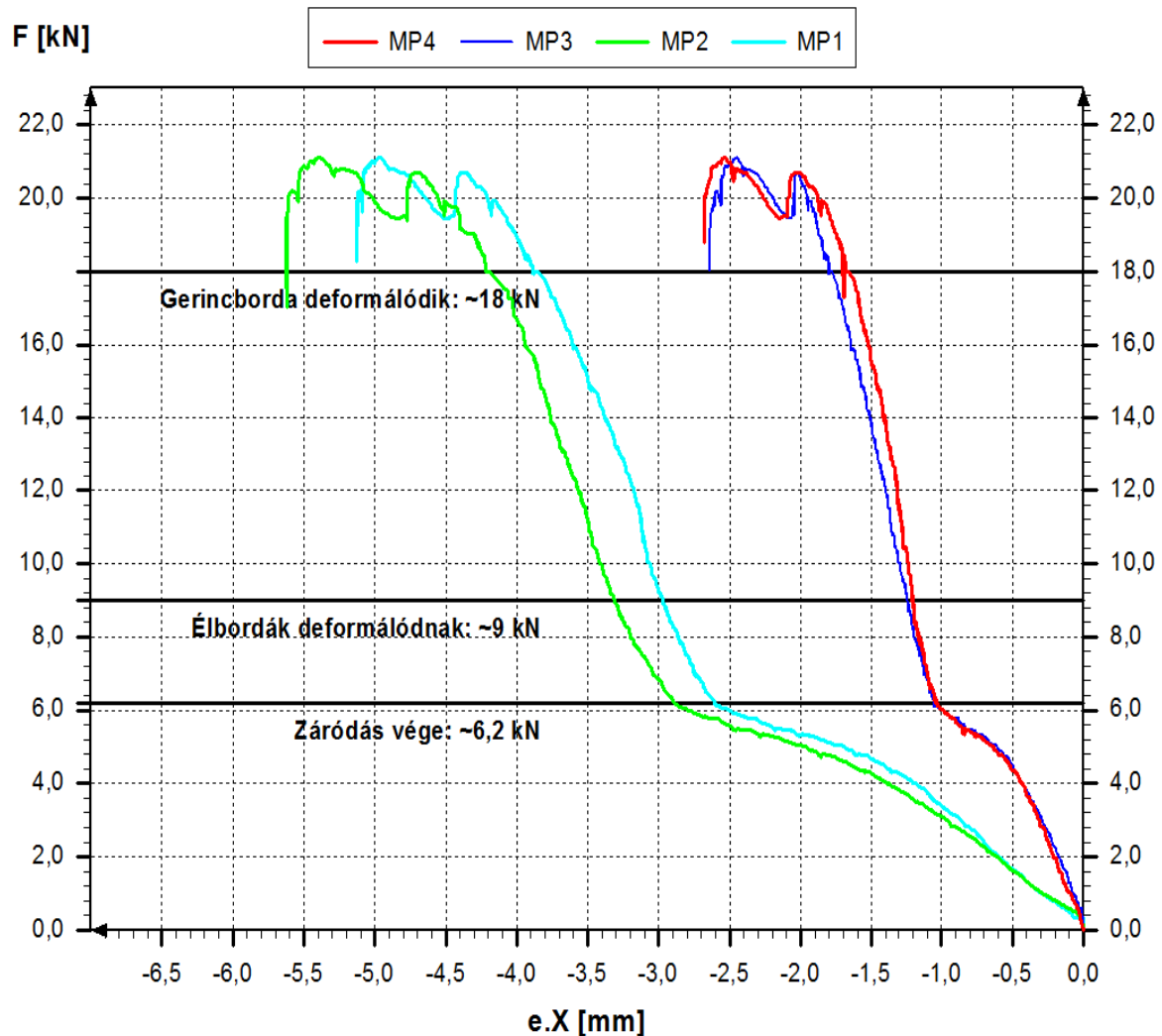
A folyás a gerinc alsó élének záródásáig tart. A gerinc alsó élének záródása után a borda mereven viselkedett, ezáltal gátolva a gerinc vízszintes elmozdulásait. A borda záródás utáni vízszintes elmozdulásait a **7.2 táblázatban** foglaltuk össze.

F	[kN]	6,50	7,00	7,50	8,00	8,50	9,00	9,50	10,00
e.Y	[mm]	1,55	1,63	1,64	1,70	1,75	1,78	1,78	1,81
F	[kN]	10,50	11,00	11,50	12,00	12,50	13,00	13,50	14,00
e.Y	[mm]	1,86	1,98	2,01	2,03	2,05	2,06	2,08	2,08
F	[kN]	14,50	15,00	15,50	16,00	16,50	17,00	17,50	18,00
e.Y	[mm]	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,09
F	[kN]	18,50	19,00	19,50	20,00	20,50	21,00		
e.Y	[mm]	2,10	2,12	2,14	2,45	2,48	2,68		

7.2 táblázat Borda vízszintes elmozdulásai a záródás után

A bak gerince 6,2-től 9 kN-ig lineárisan rugalmasan viselkedett. 9,0 kN-os teherszinten lehetett szabad szemmel is látni, hogy mind a 4 élborda deformálódni kezd. Ettől kezdve a bak gerincében maradó alakváltozások jelentek meg.

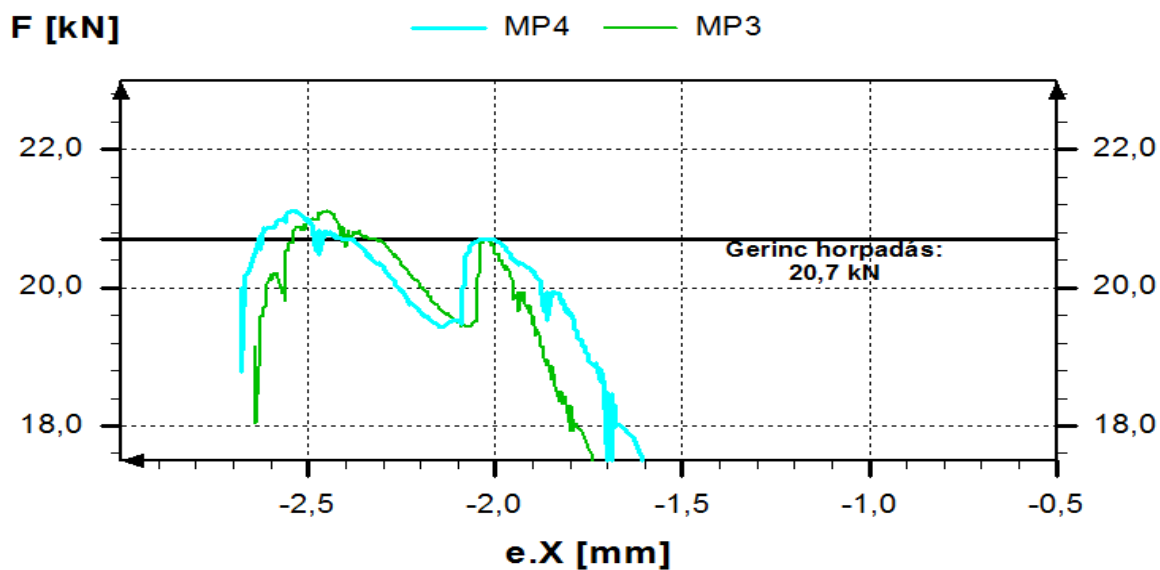
A gerincborda 13,5-18,0 kN-ig szinte teljesen mereven viselkedett; ebben a teherintervallumban a felső él középső pontja (MP5) nem mozdult el. A 7.2 táblázatban ezt az intervallumot piros színnel emeltük ki. 18 kN után a borda fokozatosan lágyult, egyre kevésbé merevítette a bak gerinclemezét, melynek hatására a gerincben lokális horpadások sorozata jelent meg. A bak gerincének viselkedését a 7.18 ábra illusztrálja.



7.18 ábra Gerinclemez vízszintes elmozdulásai

Az anyacsavarok alkalmazása a pontszerű mérés kivitelezésében alkalmasabbnak bizonyult. A gerinc hossz tengelyére szimmetrikusan elhelyezkedő mérési pontok - MP1-MP2; MP3-MP4 - páronként szinte ugyanolyan mértékben mozdultak el központos terhelés hatására.

A tönkremenetel a gerinc alsó szakaszán létrejövő lokális stabilitásvesztésével következett be, melyet a 7.6 kép illusztrál. A horpadás 20,70 kN-os teherszinten következett be. A tönkremenetelhez tartozó teherszint környékén a gerinclemez viselkedését a 7.19 ábra mutatja.



7.19 ábra A B200-2U10-...-05 tesztelem gerinclemezésének horpadása

A tesztelem terhelés után deformálódott alakját és a tönkremenetel pillanatait a 7.21-7.24 képek illusztrálják.



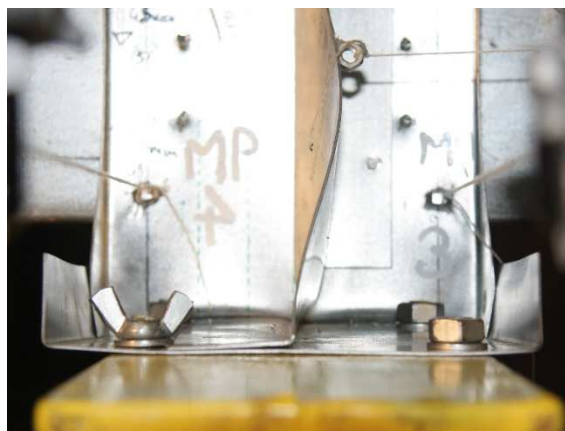
7.21 kép Gerinclemez deformálódása



7.22 kép Hátnézet terhelés után



7.23 kép Gerincborda belső sarkának horpadása, a gerinc mellett



7.24 kép Gerinc-és élbordák deformálódása

7.3. Eredmények összehasonlítása

Mindkét tesztelem tönkremenetele a gerinclemez alsó területének lokális horpadásával következett be. A két tesztelem tönkremeneteli fotóját a 7.25 és 7.26 képeken láthatjuk.



7.25 kép A B200-2U10-...-05 tesztelem



7.26 kép A B200-2U10-...-06 tesztelem

A tesztelemek teherbírásait a 7.3. táblázatban foglaltuk össze. A táblázat az MP1 mérési ponthoz tartozó vízszintes elmozdulásokat (ex) tartalmazza. A táblázat alsó sorában megadtuk a szelemen felső öve függőleges eltolódásának értékét (ez).

Tesztilem	B200-2U10-1AB10-05	B200-2U10-1AB10-06	ÁTLAG	Követelmény
F [kN]	20,70	22,35	21,53	19,89
e.X [mm]	-2,04	-5,60	-3,82	-
e.Z [mm]	-5,20	-	-	-15,00

7.3 táblázat B200-2U10-1AB10 baktípus átlagos teherbírása

A B200-...-06 tesztelemet korábban vizsgáltuk és akkor még nem vizsgáltuk a bakok függőleges elmozdulásait. Ezért nincs a táblázatban ez helyén adat. Továbbá a két tesztelem kísérlete során az elmozdulásmérést nem ugyanolyan módon alakítottuk ki. A B200-...-05 tesztelem esetén már anyacsavarokat ragasztottunk a lemezek felületére és azokhoz kapcsoltuk az indukzív útdókat. A B200-...-06 esetén alkalmazott ajtómágneseikkel a horpadási hullám eltérő pontjaira mértünk rá. Ez lehet az oka a vízszintes elmozdulásokban mutatkozó nagy eltéréseknek.

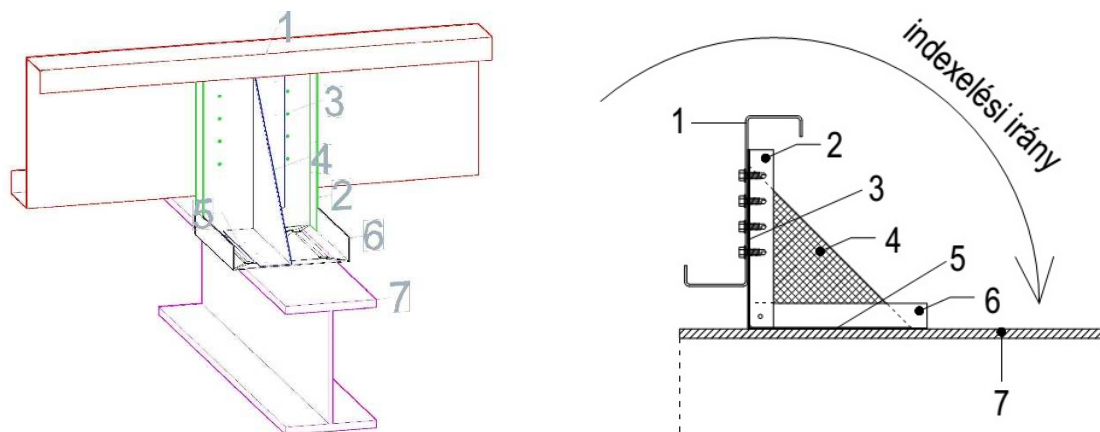
A B200-2U10-1AB10-05 tesztelemnél a gerinc alsó éle és az alaplemez között kisebb volt a rés (nyílás). Emiatt a gerinc alsó élének záródása előbb következett be. A statikai váz előbb változott meg. A B200-...05-nél az alaplemez élbordáinak teherbírása a záródás előtt nem merült ki, mert a gerinc előbb ült fel a gerenda felső övére, minthogy az alaplemez gerenda felső öv szélei mentén képlékenyedjen. Emiatt nem látható képlékeny szakasz a bak erő-elmozdulás grafikonján és emiatt (is) kisebb a B200-...-05 esetén a gerinc vízszintes elmozdulása.

8. B200-2U10-1AB10 baktípus numerikus modellezése

A B200-2U10-1AB10 típusú szelementartó bak a teherbírási és alakváltozási követelményeket is kielégítette (**ld. 7.3 táblázat**). Azért, hogy a későbbiekben meg tudjuk vizsgálni a lemezvastagság növelésnek, vagy a pontvarratok pozíciójának hatását a bak mechanikai viselkedésére, elkezdtük építeni a **B200-2U10-1AB10** baktípus parametrizált numerikus modelljét az *ANSYS Mechanical APDL* számítógépes programban. Alapvető célkitűzésünk volt egy olyan végeleemes modellt létrehozni, mellyel követni tudjuk a bak mechanikai viselkedését és alapja lehet majd egy több paraméteres geometriai optimalizációnak.

8.1 Numerikus modellel szemben támasztott követelmények

A modellt a kísérleti eredményekkel kellett verifikálnunk, ezért minden olyan elemet fel kellett vennünk, aminek hatása volt a kísérletben a bak mechanikai viselkedésére. A Z-szelemen, a bak és a főtartó egymással interakcióban vannak. Ha valamelyik elem megtámasztása, merevsége vagy a terhelés átadása megváltozik, az hatással lehet az össze többi elem viselkedésére is. A modellben felvettük a terhelési segédberendezés (IPE 240) gerendájának felső övét, a szelementartó bakot és a Z200-as szelement. A modellezett elemeket a **8.1 ábrán** láthatjuk.



8.1 ábra ANSYS-ban modellezett elemek

A geometria optimalizálásához olyan modellre lesz szükségünk, melyben az elemek mérete, azok vastagsága, az elemek, csavarok és pontvarratok pozíciója mind paraméterként szerepelnek. Továbbá a modellnek kezelnie kell azt, hogyha csak az egyik paramétert is megváltoztatjuk, akkor a geometria, felületelemek, háló stb. automatikusan módosuljon.

8.2. Végeleemes vizsgálat

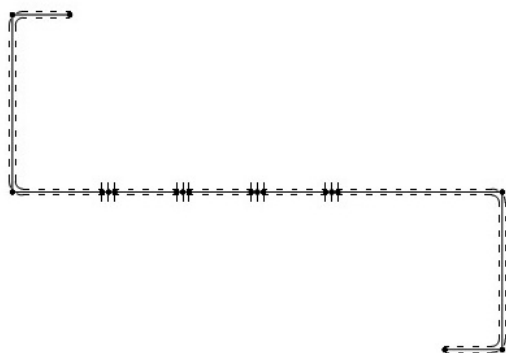
8.2.1. A modell

8.2.1.1 A modellezett elemek és globális geometria

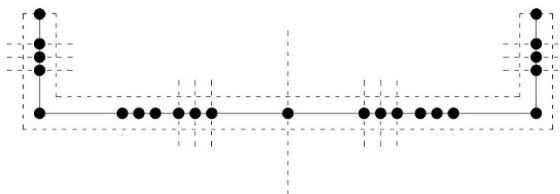
A modell összesen 7 db különböző geometriájú elemet tartalmaz. Ezek rendre:

1. Z200-as szelemen
2. Bak - gerincelem
3. Bak - gerincborda - gerincen fekvő fül
4. Bak - gerincborda - gerinc
5. Bak - gerincborda - alaplemezen fekvő fül
6. Bak - Alaplemez
7. IPE240 felső öv

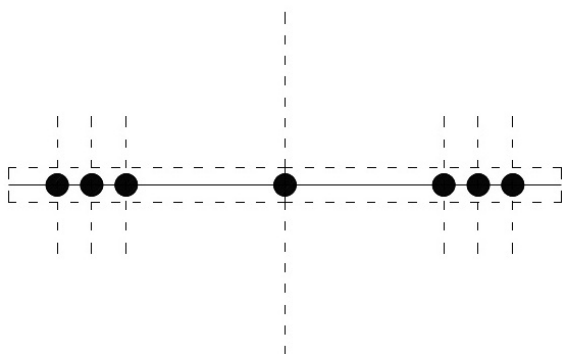
Minden elemhez egy önálló keresztmetszet tartozik. Először a modell globális geometriáját kellett felépítenünk úgy, hogy a keresztmetszeteket meghatározó pontok közé hég végelemek definiáltunk. A keresztmetszeteket definiáló kitüntetett pontok - a modellben ún. **keypontok** (segédpontok) - a 8.2-8.8 ábrákon láthatók.



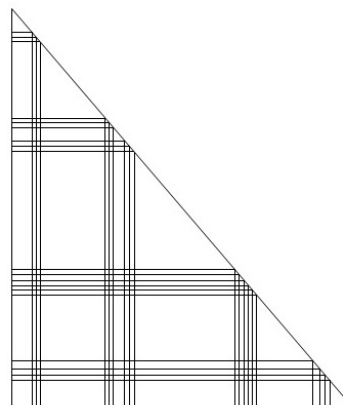
8.2 ábra Z-szelemen keresztmetszete



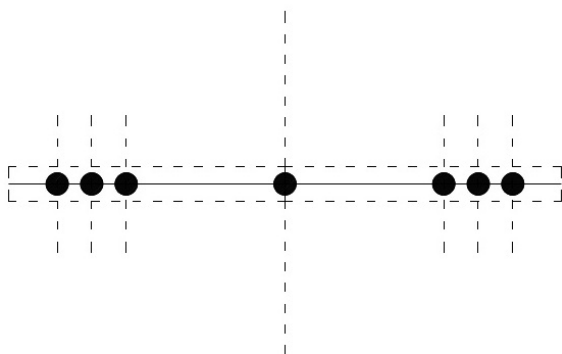
8.3 ábra Gerinc keresztmetszete



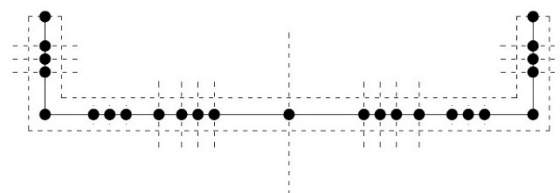
8.4 ábra Borda gerincen fekvő füle



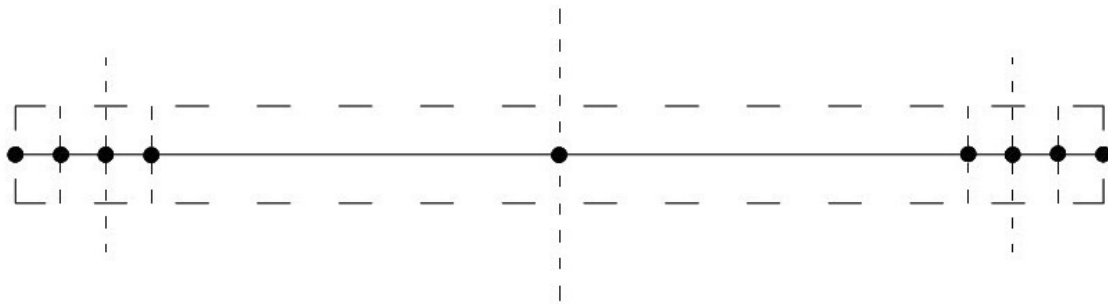
8.5 ábra Borda gerinclemez (ciklusban írtuk)



8.6 ábra Borda alaplemezen fekvő füle

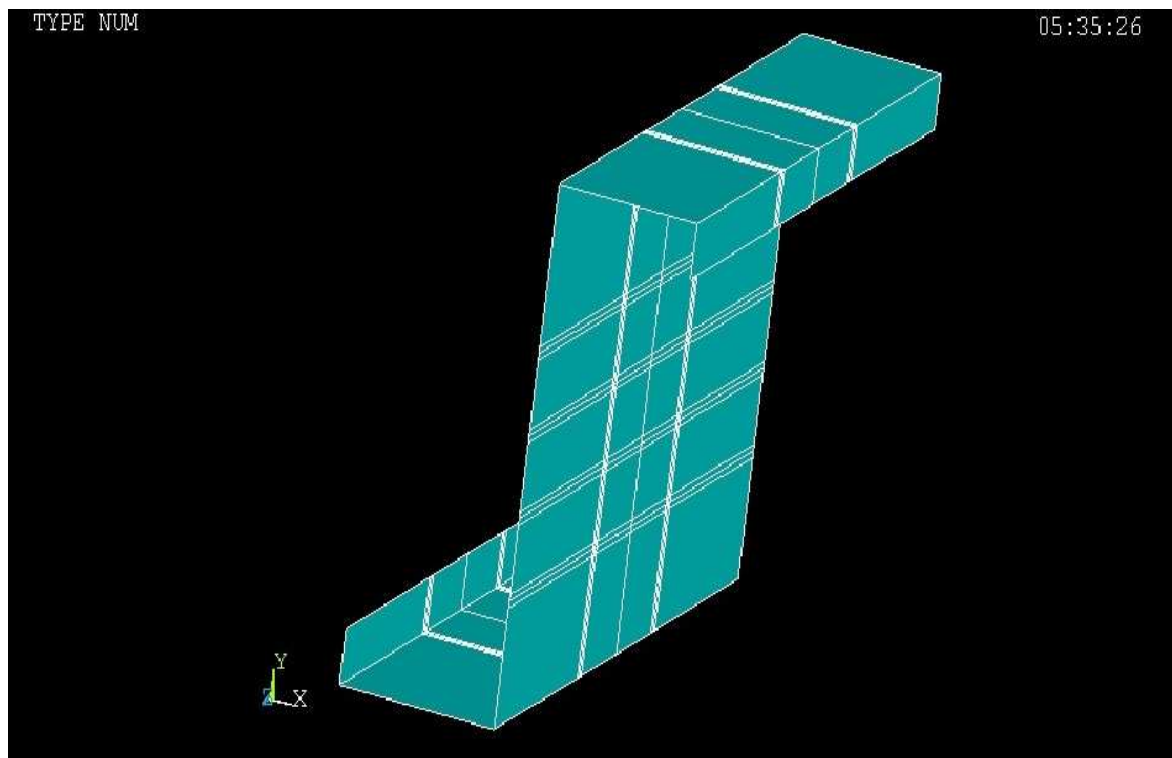


8.7 ábra Alaplemez keresztmetszete



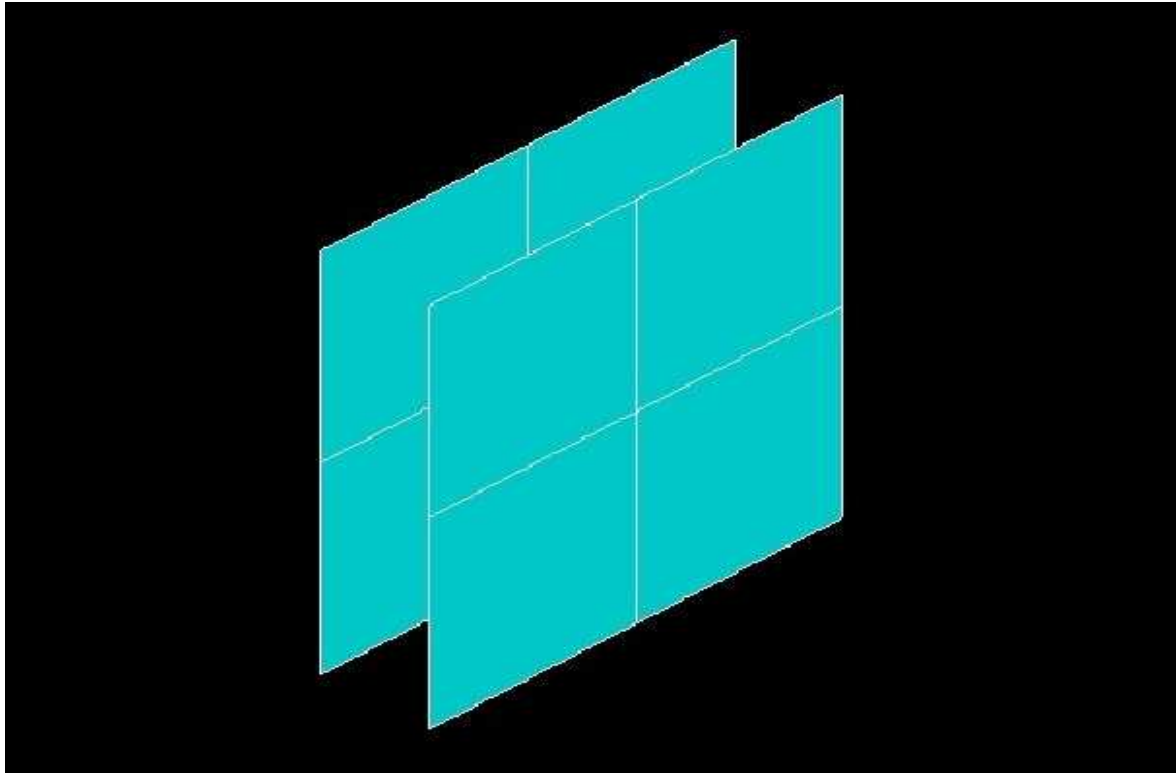
8.8 ábra Terhelési segédberendezés felső öve

A **héj végelemek** alkalmazása miatt **az elemeket a keresztmetszet középvonalában modelleztük**. A keresztmetszetekben elhelyezkedő segédpontokat úgy kellett felvenni, hogy a felületek az elemek középsíkjaiba kerüljenek. A keresztmetszeteknek a középsíkokkal való közelítése miatt a keresztmetszetek több esetben vonalakká egyszerűsödtek. A **8.9 ábra** a szelemen geometriáját illusztrálja.



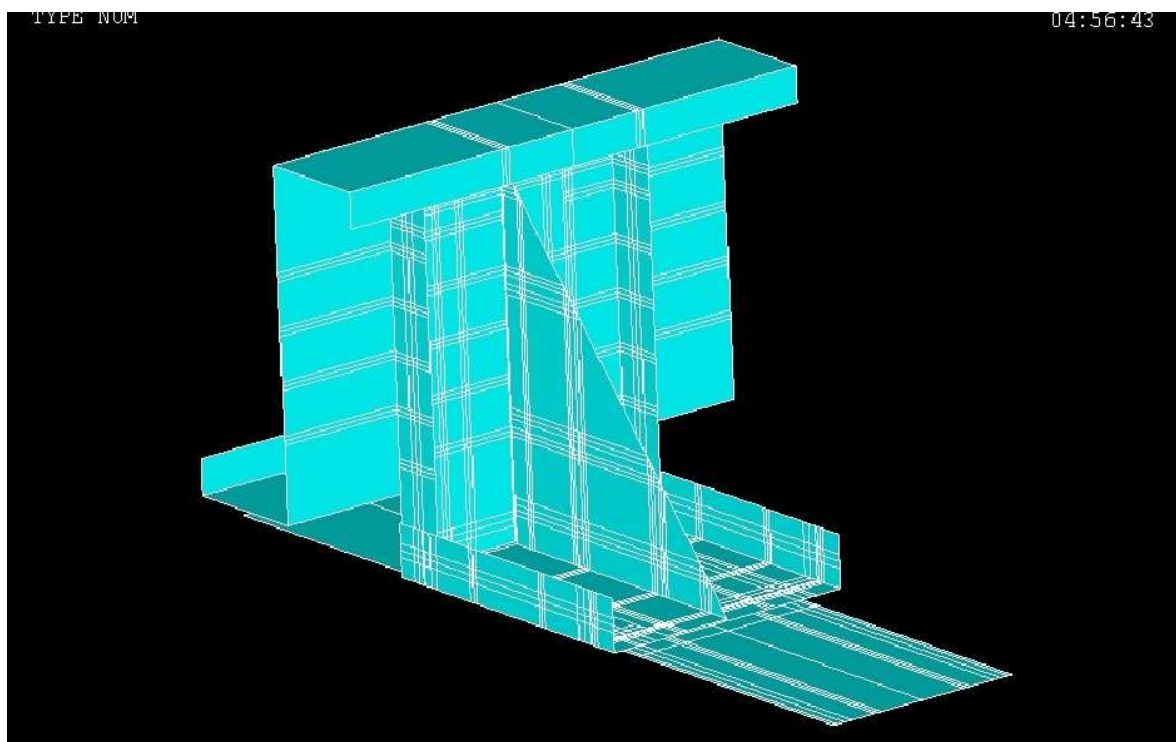
8.9 ábra Szelemen geometriája

Továbbá az egymáshoz illesztett lemezmezőkön (szelemen gerinc - borda gerinc; gerinc - borda fül; borda fül - alaplemez; alaplemez - felső öv, alaplemez élborda - gerinc élborda) ugyanolyan méretű és pozíciójú felületeket kellett létrehozni. Ennek a pontvarratok és csavarok, illetve kontaktok definiálásánál volt fontos szerepe, amiről később lesz részletesebben szó. Példaképpen a **8.10 ábrán** mutatjuk be a szelemen csavarozott kapcsolatához definiált felületeket a szelemen-ill. a bak gerincén.



8.10 ábra Szelemen csavarozott kapcsolatához létrehozott felületek

A **8.11 ábra** a globális geometriát illusztrálja. A segédpontok felvételének ciklusba írására nem volt lehetőségünk a szerkezet speciális kialakítása és a **8.1 fejezetben** előírt modellezési követelmények miatt.



8.11 ábra A kísérleti elrendezés globális geometriája

8.2.1.2. Anyagmodellek

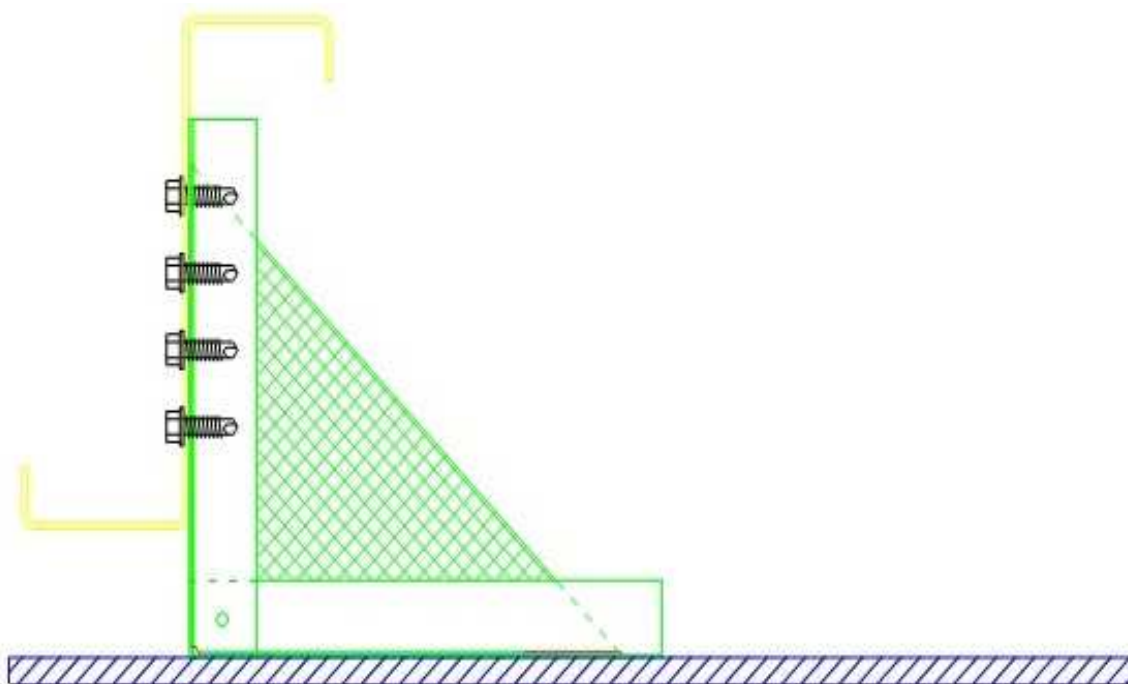
A végeleemes modellezés során összesen 3 különböző anyagmodellt használtam a héjmodellhez. Ezek tulajdonságait foglalja össze a **8.1. táblázat**.

	Rugalmassági modulus	Poisson-tényező
	E	ν
Anyag1	200000 N/mm ²	0,3
Anyag2	200000 N/mm ²	0,3
Anyag3	200000 N/mm ²	0,3

8.1. táblázat Végeleemes modellezéshez használt anyagmodellek (első futtatásokhoz)

A bak alkotóelemeinek alapanyagát a LINDAB Hungary Kft. biztosította számunkra. A szele-
meneket is a fent nevezett Cég bocsájtotta rendelkezésünkre. A szállítólevelek alapján a szele-
menek és bak alapanyagának anyagminősége megegyezett. A bak alapanyagát szakító vizsgálat
alá vetettük, hogy a későbbiekben majd valós anyagi viselkedést is beépíthessük a modellbe. A
szakítóvizsgálat eredményeit az **M6-mellékletben** foglaltuk össze. A **terhelési segédberende-
zés** gerendájának (IPE 240) felső övét **S235 anyagminőségűre** vettük fel.

Az modellben alkalmazott különböző anyagmodelleket a **8.12 ábrán** láthatjuk.



8.12 ábra Alkalmazott anyagmodellek a globális geometriában

8.2.1.3. Alkalmazott végelemek, hálózat

Az Ansys programban több száz végelem típus közül lehet kiválasztani a számunkra leginkább megfelelőt. A modellezés során mi összesen 4 db végelem-típust alkalmaztunk. Egyet a héj-modellhez, egyet a csavarok, pontvarratok definiálásához és további kettőt a kontaktok definiálásához.

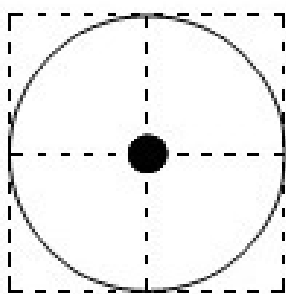
A héjmodellhez **SHELL 181** elemet használtunk. Ez egy 4 csomópontú héjelem, minden csomópontján hat szabadságfokkal. Ennek működése a Reisner-Midlin lemezelméleten alapul.

A globális hálózatra végelem hálót generáltattunk, amelyhez ezt a végelem típust használtuk. Három féle elemméretet vettünk fel, mellyel vizsgálni lehet bizonyos helyeken alkalmazott elemritkítés hatását. A három különböző hálóméretet 1,0; 2,5 és 5,0 mm vettünk fel. A modell hibája, hogy bizonyos részein nem lehet a hálórítkítés hatását vizsgálni. Ilyen helynek számít például az alaplemez élbordák közötti területe. Ezt nem tekintettük a kutatás jelen fázisában nagy problémának, mert a modellépítésben csak másodlagos szempont volt a futási idő csökkentése.

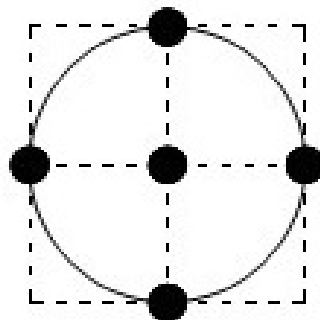
A csavarok és pontvarratok definiálásához **MASS 21** elem típust használtunk, amely egy 1 csomópontú tömegelem, 6 db szabadságfokkal: x, y, z irányú eltolódással és x, y, z körüli elfordulással.

8.2.1.4. Kapcsolatok modellezése:

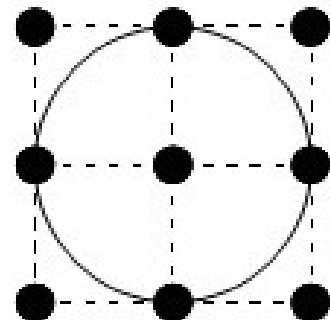
A csavarok és pontvarratok definiálásához 9-9 keypontot definiáltunk. A modellt úgy programoztuk, hogy „IF”-es feltételrendszerben lehet ki-be kapcsolni azt, hogy 1 db; 5 db vagy 9db elemmel közelítse a csavart/pontvarratot. A kapcsolatok modellezésének lehetőségeit a **8.13; 8.14 és 8.15 ábrákon** láthatjuk.



8.13 ábra Mechanikus kapcsolat 1 ponttal modellezve



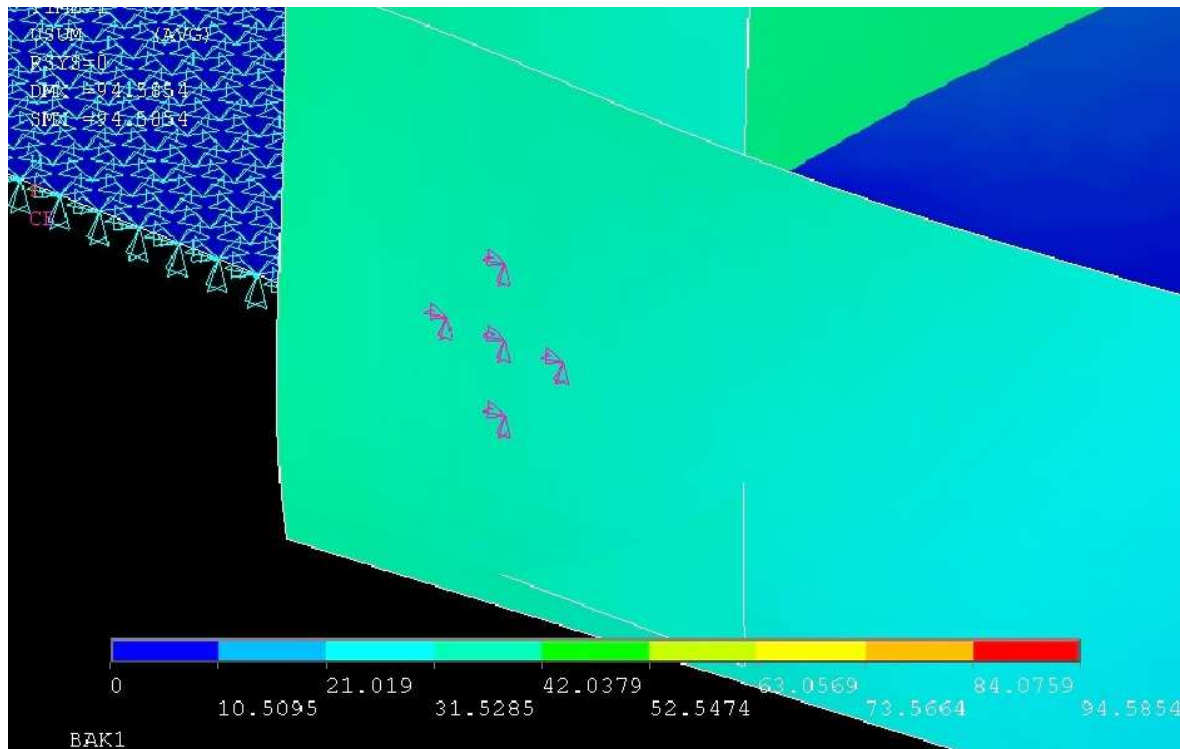
8.14 ábra Mechanikus kapcsolat 5 ponttal modellezve



8.15 ábra Mechanikus kapcsolat 9 ponttal modellezve

A csavarok modellezésénél a csavarok névleges átmérőjéhez tartozó körön vettük fel a keypontokat (és azok által az elemeket), de a csavarátmérő is paraméter a modellben, így változtatható. A pontvarratoknál a **GYJ-B200-2U10-1AB10-05** azonosítójú gyártási jegyzőkönyvében rögzített mérési adatainkat használtuk (ugyancsak paraméterezve a pontvarratok átmérő-

jét és pozícióját). A mért értékek a pontvarrat külső átmérőjére vonatkoznak (**ld. M3-melléklet**). A **8.16 ábrán** egy 5 ponttal modellezett pontvarratot láthatunk, mely az élbordákat köti össze.



8.16 ábra 5 elemmel modellezett pontvarrat az élbordák illesztésénél

A kapcsolatok modellezéséhez a **CERIG** parancsot alkalmaztuk, mely a **8.10 ábrán** bemutatott felületek sarokpontjaiban definiált végelem csomópontok 3 elmozdulási és 3 elfordulási szabadságfokát köti össze (UX, UY, UZ; ROTX, ROTY, ROTZ). A parancs alkalmazásához az egy-egy összekötendő végelem csomópont közé kellett még egy harmadik ún. **mester végelem csomópontot** (masternod) is definiálni. A három csomópontból álló elemhez rendeltük hozzá a **MASS 21** elemtípust, melynek eredményeként létrejött a kapcsolat.

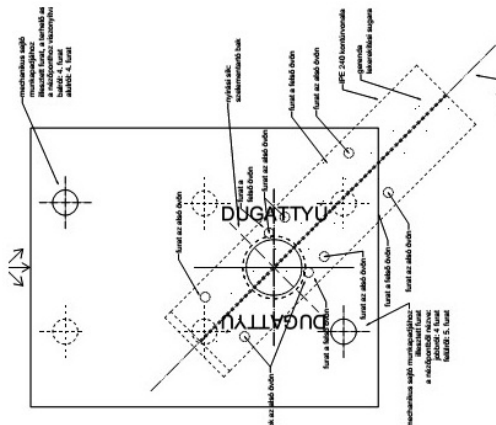
Kontaktok:

Az egymáshoz illesztett lemezmezők csak nyomásra viselkednek mereven. Ezt a hatást kontaktok definiálásával vettük figyelembe, melyekhez további 2 elemtípust kellett fel vennünk. Az egyik a **TARGE170** volt, a másik pedig a **CONTA173**.

Az első, szilárdsági számításokban kontaktokat nem vettünk fel a lemezek között. Kíváncsiak voltunk arra, hogy kontaktok nélkül hogy viselkedik a modell, és amin eddig dolgoztunk az hibátlanul működik-e.

8.2.1.4. Támaszok kialakítása

A támaszokat a terhelési segéd berendezés gerendájának felső övre definiáltunk. A gerenda 4 ponton csavaroztuk hozzá az ún. **alaplemezhez** (TSB felépítését ld. **M4-melléklet**), az alaplemez pedig egyik átlója 2 végén a terhelő asztalhoz. A rögzítés módját a **8.17 ábrán** láthatjuk. Az IPE 240 gerenda egyik végére egy 10 mm vastag lemezt hegesztettünk, melyet a **8.1 kép** illusztrál.



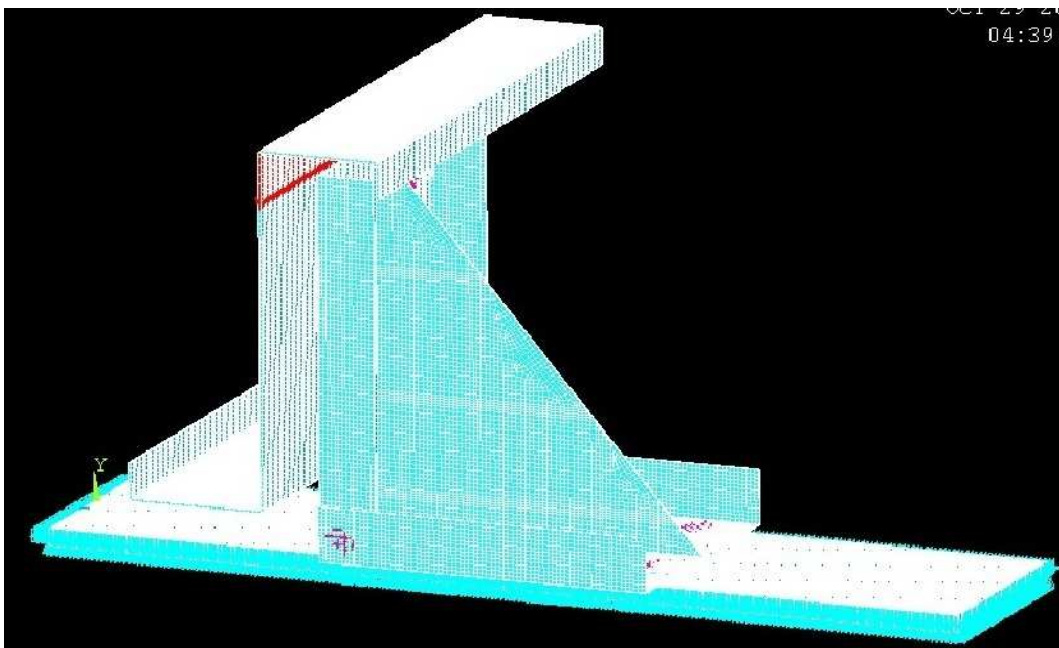
8.17 ábra Gerenda rögzítésének sematikus ábrája (ld. **M4-melléklet**; T1)



8.1 kép Gerenda felső övének kialakítása

A véglemez által a gerenda felső övének elcsavarodása elhanyagolható (20-30 kN teher hatására). A gerenda felső övének vastagsága 10,7 mm, vagyis nagyságrendekkel merevebb, mint a bak (1,0 mm-es lemezvastagság), ezért az öv lehajlásait elhanyagoltuk.

A támaszviszonyokat figyelembe véve a felső öv modelljét teljes felületen x, y és z-irányban eltolódás ellen megtámasztottuk (UX, UY, UZ). A támaszviszonyokat a modellben a **8.18 ábra** illusztrálja.



8.18 ábra Támaszviszonyok modellezése

8.2.1.5. Teher modellezése

A kísérletben a Z-szelemen végeit egy-egy véglemezzel lezártuk, mellyel meggátoltunk olyan tönkremeneteli formák kialakulását, melyek a valóságban nem alakulhatnak ki. A szelemen felső övére övhizlaló lemezeket csavaroztunk, melyek közül a felső egy L 50 x 50 x 4,0 keresztmetszetű szögacél volt. A szögacél úgy helyeztük el a felső övön, hogy a szögacél függőleges élének középvonala a Z-szelemen gerincének középvonalába essen. Ezáltal a terhet közvetlenül a szelemen gerincébe vezettük. A terhelés kialakítását a **8.2 és 8.3 képeken** láthatjuk.

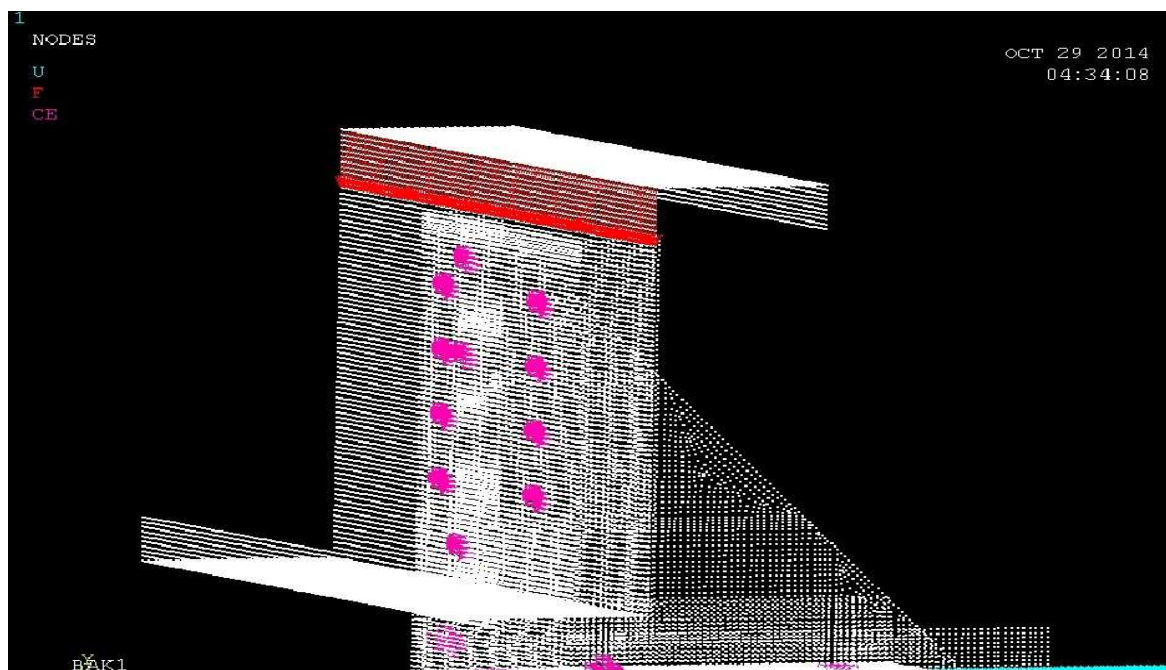


8.2 kép Teher bevezetése a gerincbe



8.3 kép Z-szelemen merevítése

Ezt a modellben úgy vettük figyelembe, hogy a szelemen gerincének felső élén a hálózás után keletkezett **nodokra** koncentrált erőt definiáltunk. A terhelés nagyságát a **B200-2U10-1AB10-05** tesztelem teherbírásához igazítottuk; azt fölfelé kerekítve a teher **22,0 kN-ra** adódott. Összszámoltattuk, hogy gerinc élén hány darab **nod** keletkezik a felvett hálóméret esetén. A 22,0 kN-t osztottuk a nodok számával. A terhelés modellezését a **8.19 ábra** illusztrálja.

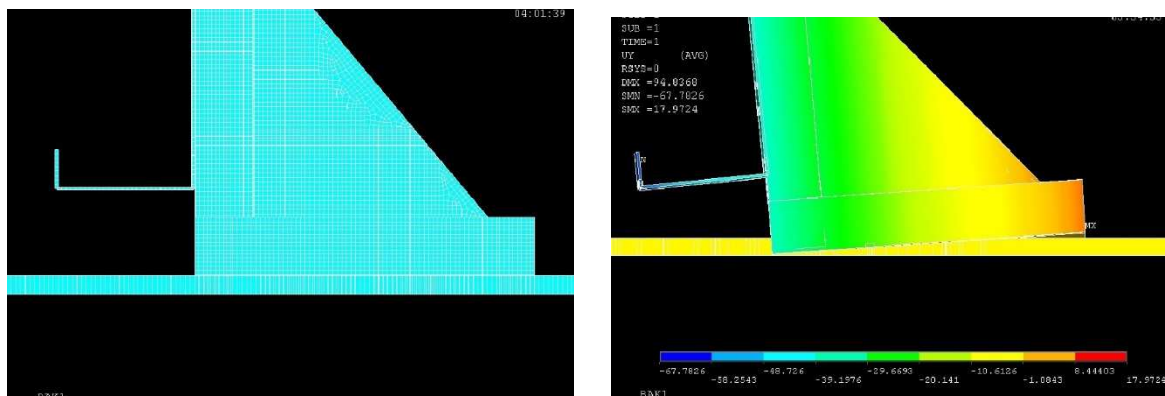


8.19 ábra Terhelés modellezése

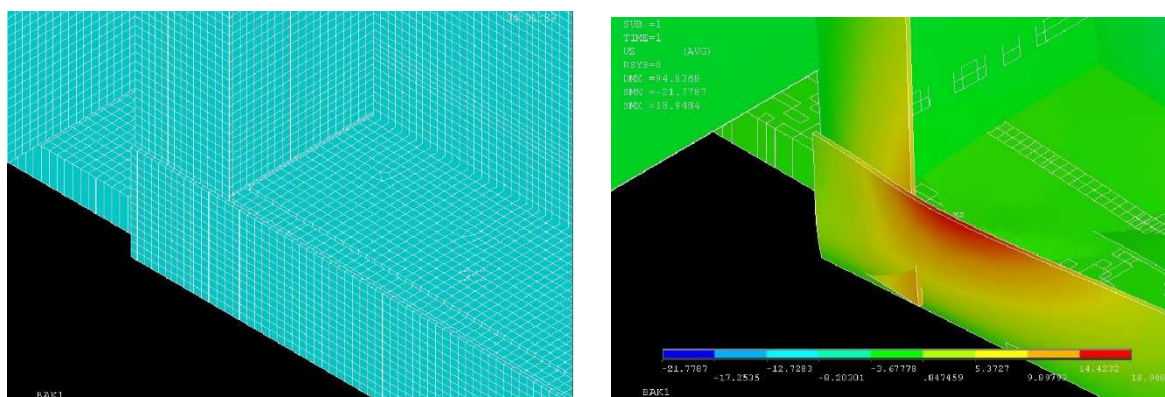
8.2.2. Szilárdsági vizsgálat

8.2.2.1. Analízis

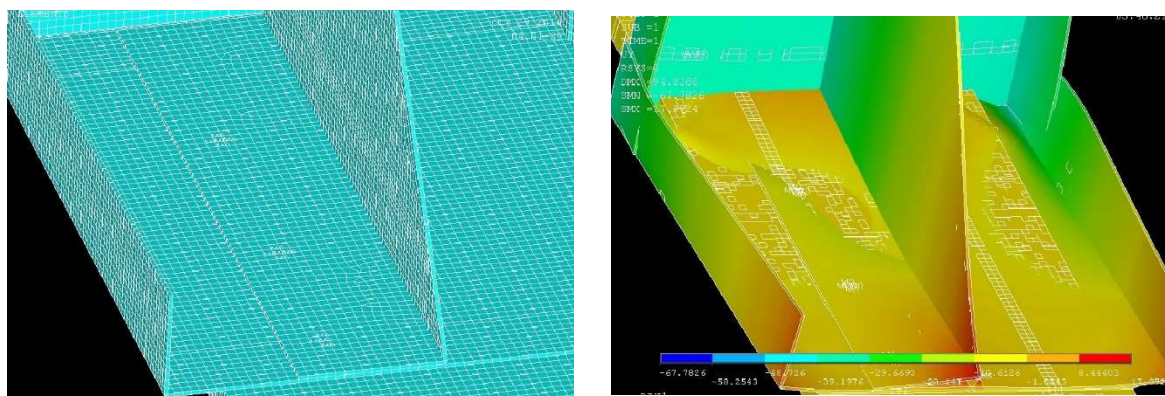
Az első rugalmas-szilárdsági vizsgálat elvégzésénél a modellbe még nem definiáltunk kontakt-elemeket. Ezzel a modellel ellenőriztük, hogy a támaszok és a terhek megfelelően vannak-e definiálva. Továbbá ellenőriztük, hogy kontaktok nélkül keletkeznek-e olyan elmozdulások a kapcsolódó lemezterületeken, melyek a valóságban nem jöhetnének létre. A **8.20-8.23 ábrákon** a bak egymáshoz kapcsolt alkotóelemeiről láthatunk elmozdulás ábrákat baloldalon a terhelés előtt, jobb oldalon a szilárdsági analízis után.



8.20 ábra Alaplemez és IPE felső öv kapcsolata (UY - függ. elmozd.)



8.21 ábra Élbordák kapcsolata (UX - vízszint. elmozd.)



8.22 ábra Borda alsó fülének és az alaplemeznek az illesztése (UY - függ. elmozd.)

8.2.2.2. Eredmények

Az elmozdulás ábrákon jól látszik, hogy kontaktok nélkül a modell elem-illesztései nyomásra nem jól működnek. Például bak alaplemezének nem lehetnének negatív függőleges elmozdulásai, mert közvetlen alatta van a TSB felső öve, amit függőlegesen megtámasztottunk. A két elemet egymástól függetlenül modelleztük, mindegyiket a középsíkban, majd azokat csavarokkal négy ponton összekapcsoltuk. Ezáltal a gerenda felső öve hiába megtámasztott, az nem fogja meggátolni a bak alaplemezének függőleges (negatív y-irányú) eltolódását. **Ezért az alaplemez és a gerenda felső öve közé kontakt-elemeket kell definiálni.**

Az **élbordák illesztésénél** hasonló a helyzet. A **8.21 ábrán** láthatjuk, hogy deformálódott állapotban a belső gerinc-élborda átmetszi a külső alaplemez-élbordát. Ehhez az illesztéshez is **kontakt-elemek definiálása szükséges.**

A **8.22 ábra** a gerincborda alsó fülének és az alaplemez illesztését mutatja be. Megfigyelhető, hogy a gerinclemez alsó éléhez közeli területen, a borda mellett balra, a fül az alaplemez alá süllyedne, ami valóságban nem alakulhat ki. Hasonló jelenség figyelhető meg a bak gerincének és a borda felső fülének, valamint a szelemen és a bak gerincének illesztésénél is. Ezért **minden elem-illesztéshez kontaktok definiálása szükséges.**

9. A kutatási időszak eredményei, összegzés

A 2013-2014-es év kutatási időszakának eredményeit két részre osztjuk. Születtek ún. **tárgyi eredmények** és születtek **szellemi eredmények**.

Tárgyi eredmények:

- A terhelési segédberendezés átalakításával lehetőséget teremtettünk annak további átalakítására. A bakot rögzítő csavarok szükség esetén kivehetőek. Ezáltal az IPE 240 felső öve kiszélesíthető, ha egy szélesebb lemezt csavarozunk hozzá. A konstrukcióval 120 mm-nél szélesebb alaplemezzel tervezett bakok is vizsgálhatóak lesznek. Továbbá a következő teszt sorozatok elvégzésének ideje lecsökken.
- Megterveztünk és elkészítettünk egy olyan készüléket, mellyel a Hidak és Szerkezetek Tanszék Szerkezet és Anyagvizsgáló laboratóriumában álló ARO M302-A típusú hegesztő berendezéssel a hegesztés gyorsabbá vált. A hegesztő gépasztal alkalmazásával lehetőség van bonyolultabb illesztések pontos elkészítésére is. Segítségével a pontvarratok tervezett pozíciója pontosabb lesz.

Szellemi eredmények:

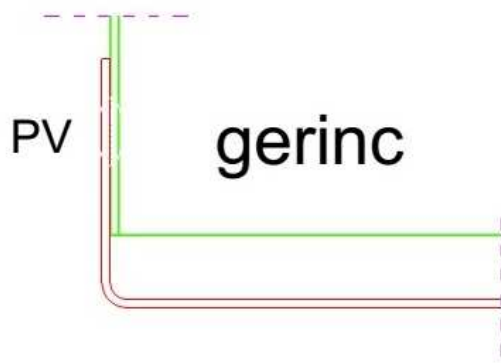
- Elvégeztük a Hidak és Szerkezetek Tanszék Szerkezet és Anyagvizsgáló laboratóriumában álló ARO M302-A típusú hegesztőgép beállításainak elemzését. A munka eredményeként meghatároztuk, hogy a különböző áramerősség beállításokkal 1,0; 1,2; 1,5 mm vastag tűzihorganyzott lemezek esetén milyen mechanikai tulajdonságú kapcsolatok készíthetőek. A vizsgálat során 27 db nyíró-szakító kísérletet végeztünk, elkészítettük a kísérleti jegyzőkönyveket és megadtuk a javasolt beállításokat.
- Vizsgáltuk a bakokat alkotó lemezek anyagának húzási-jelleggörbáját, mely keretében 21 db szakító kísérletet végeztünk. Elkészítettük a kísérletek jegyzőkönyveit és statisztikailag kiértékeljük az eredményeinket. A kísérletsorozat eredményeként meghatároztuk 1,0; 1,2; 1,5 mm vastag tűzihorganyzott lemezek folyáshatásának várható értékét és szórását.
- Megterveztünk és elkészítettünk 3 új konstrukciójú szelementartó bakot. Kidolgoztunk a bakok gyártási imperfekcióinak felvételére alkalmas terminológiát és dokumentációs rendszert.
- Összesen 11 db kísérletet hajtottunk végre, melyekben a szelementartó bakok mechanikai viselkedését vizsgáltuk. A kísérleti eredményeket kiértékeljük és elemeztük az elkövetett mérési hibák okait. Az eredményeinket összehasonlítottuk egymással és javaslatot tettünk a baktípusok továbbfejlesztését illetően.
- A legkedvezőbb mechanikai viselkedésű bakhoz parametrizált, héj-végeselemes modell építésbe kezdtünk. A munka eredményeként egy olyan modellt készítettünk, mellyel lehetőség nyílik a baktípus több paraméteres optimalizálására a következő kutatási időszakban a modell verifikálása után.
- Fejlesztési lehetőségeket dolgoztunk ki a következő kutatási időszakra vonatkozóan.

10. Fejlesztési lehetőségek, tovább lépés

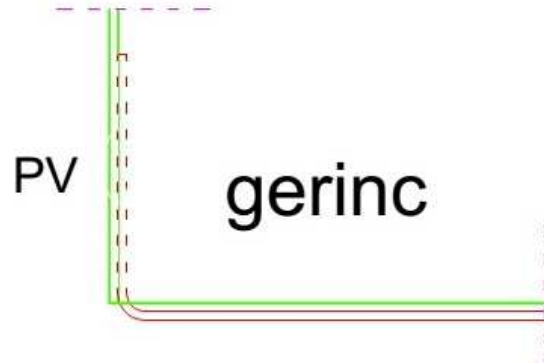
1. B200-2U10-1AB10 baktípus tovább fejlesztése

A bak mechanikai viselkedésében jelentős hatása van annak, hogy az alkotóelemeket milyen pontosan tudjuk egymásba illeszteni. Az nyílás záródásig az elmozdulások 60-70%-a kialakul. Tehát jóval merevebb viselkedés lenne elérhető, ha a gerinc és az alaplemez alkotóelemeket a gyártás során pontosabban lehetne illeszteni. Előnyös lenne, ha a bak gerinclemeze közvetlen a terhelés után felülne a gerenda felső övére.

Ezt például úgy lehetne megoldani, hogy az E1-alkotóelemet (gerinc) szélesebbre gyártjuk, mint az E2-t (alaplemez). A hegesztésénél az illesztésnek ilyen módosítása nem játszik szerepet és alkalmazásával kedvezőbb mechanikai viselkedésű szelementartó bak jöhetne létre. A **B200-2U10-1AB10** és módosított változatának (**B200-2U10-1AB10-MOD1**) vázlatrajzait a **10.1** és **10.2 ábrákon** láthatjuk.



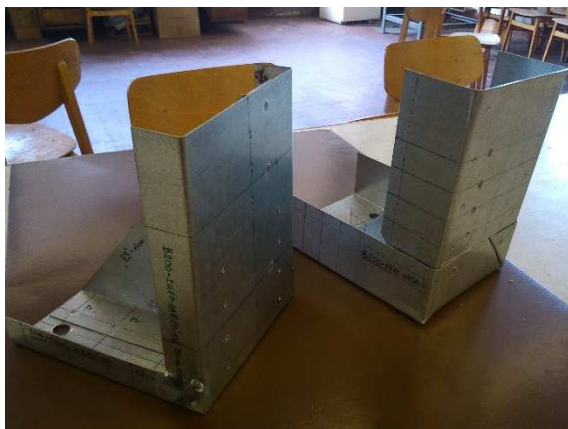
10.1 ábra Alaplemez és gerinc csatlakozása a B200-2U10-1AB10 baktípus esetén



10.2 ábra Alaplemez és gerinc csatlakozásának módosítása

2. Alkotóelemek számának csökkentése

Az alkotóelemek számának csökkentése a gyártási időt csökkenti. Az első pontban megfogalmazott fejlesztési iránnyal összhangban olyan baktípust kitalálni, mely a B200-2U10-1AB10-hez hasonló kialakítású. Ilyen baktípus első prototípusát a **10.1 kép** illusztrálja.



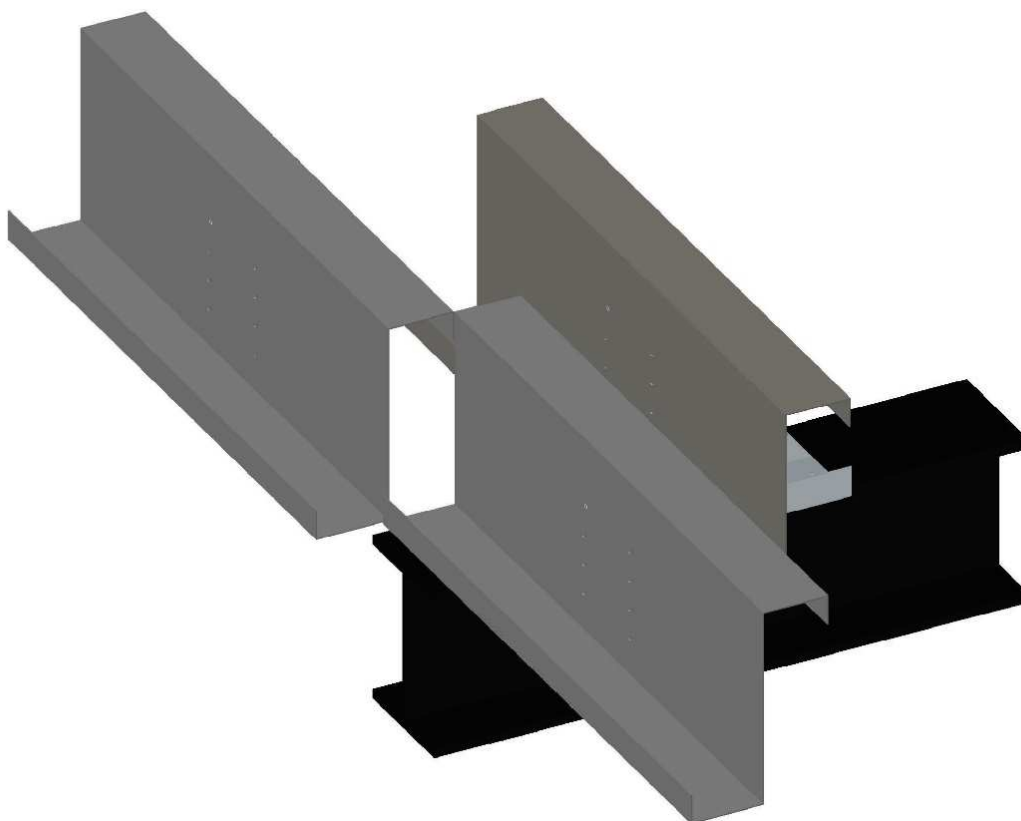
10.1 kép Három illetve két alkotóelemből álló szelementartó bakok

Az első tesztelemet elkészítettük, a kísérletet a 4. tesztsorozatban végrehajtottuk. Az eredmények értékelésével a következő kutatási időszakban fogunk foglalkozni. A tesztelem kísérlete megtekinthető az **M7-mellékletben**.

A jobb oldali bak már csak két elemből áll. A gerinc és alaplemez egyetlen lemezből került kialakításra. Az elemek élhajlítása a rendelkezésre álló eszközparkkal bonyolult volt. A tesztelemet csak nagy gyártási imperfekciók bevitelére tudtuk kialakítani.

3. Új konstrukció tervezése

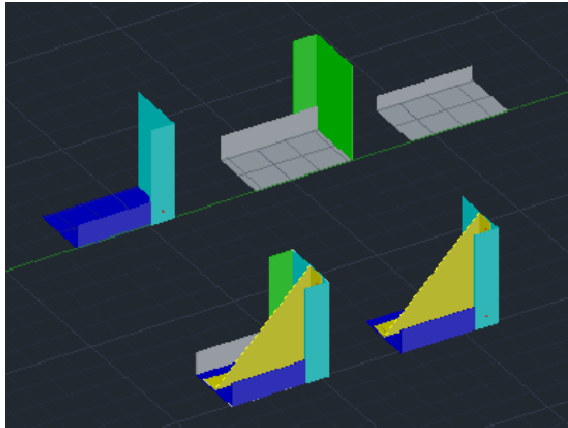
Az eddig vizsgált szelementartó bakok tervezésének egyik alappillére volt a szereléstechológia tervezése is. Erről a **4. fejezetben** írtunk. Az eddigi koncepciónk az volt, hogy a bakokat a főtartókra az építési helyszínen szerelik fel, majd a gerinclemezükhöz önfúró csavarokkal rögzítik a tetőszelemeneket. A koncepciót megtartva, azt némiképp kiegészítve érdemes lenne olyan kialakítású bakokat vizsgálni, melyek gerinclemezéhez már a gyártóüzemben hozzáponthegesztenék a szelemenek toldásához használt ún. **toldóelemet**. A koncepciót a **10.3 ábra** illusztrálja.



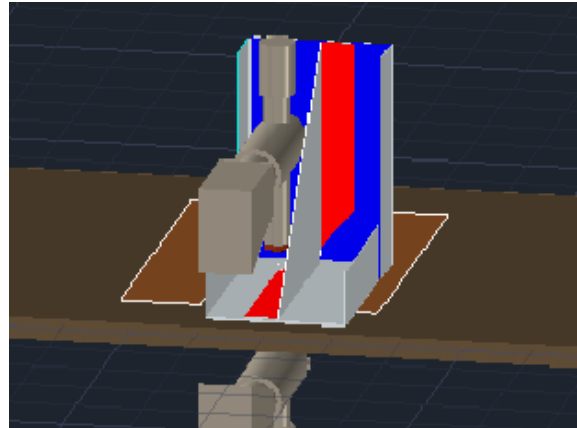
10.3 ábra Szelemenek szerelése **toldóelemmel együtt gyártott szelementartó bakhoz**

Az 1. és 2. pontban megfogalmazott irányelveknek megfelelően a kutatási tevékenységünk továbbblépéseként megterveztük a 4.3 alfejezetben bemutatott, „B200-2U10-1AB10” azonosítójú baktípus új generációs változatát, melynek gyártmánytervét a **Tervmelléletekben** csatoltuk a mű végén. A terv rajzjele: **GYT4: B200-4L15-1AB10**.

A bak sematikus ábráját és a technológiai korlátok ellenőrzését a **10.4** és **10.5 ábrák** illusztrálják. Az elképzelés szerint a bakot 4 db azonos méretű és kialakítású elemből állítjuk össze. Ezeket az elemeket a **10.4 ábrán** sötétzöld, világoszöld, világos- és sötétkék színekkel jelöltük. Az elemek a gerincen és az alaplemezen is egymásra fednek, így hegesztés után 3,0 mm falvastagság érhető el, melyet a bak szimmetriatengelyében valamivel lágyabb (1,0 mm vastag lemezből készült) gerincbordával merevítünk (sárga színű elem a **10.4 ábrán**).



10.4 ábra Új generációs szelementartó bak
– speciális hegesztési sorrend



10.5 ábra Gyártási korlátok ellenőrzése -
gerinchez közeli pontvarrat

A speciális hegesztéstechnológia és végig gondolt (virtuális modelleken ellenőrzött) hegesztési sorrendnek köszönhetően minden esetben két alkotóelemből álló szerelési egységeket kell pozícionálni és hegesztetni. A varratok kialakításának ellenőrzését példaképpen a **10.5 ábra** illusztrálja.

4. Meglévő kísérleti eredmények kiértékelése

A B200-1L10-1AB10-MOD baktípus elvégzett kísérleti eredményeinek részletes kiértékelése után a B200-2L10-...-03 tesztelem kísérletének elvégzése ellenőrzésképpen.

5. További kísérletek a B200-2U10-1AB10 baktípushoz

Még legalább 2 kísérletet szeretnénk végezni a B200-2U10-1AB10 baktípushoz.

6. Terhelési segédberendezés tovább fejlesztése

Olyan szintű átalakítás, melynek eredményeként lehetőség lenne a tetőhajlás hatásának figyelembe vételére.

7. Tűzállóság vizsgálata

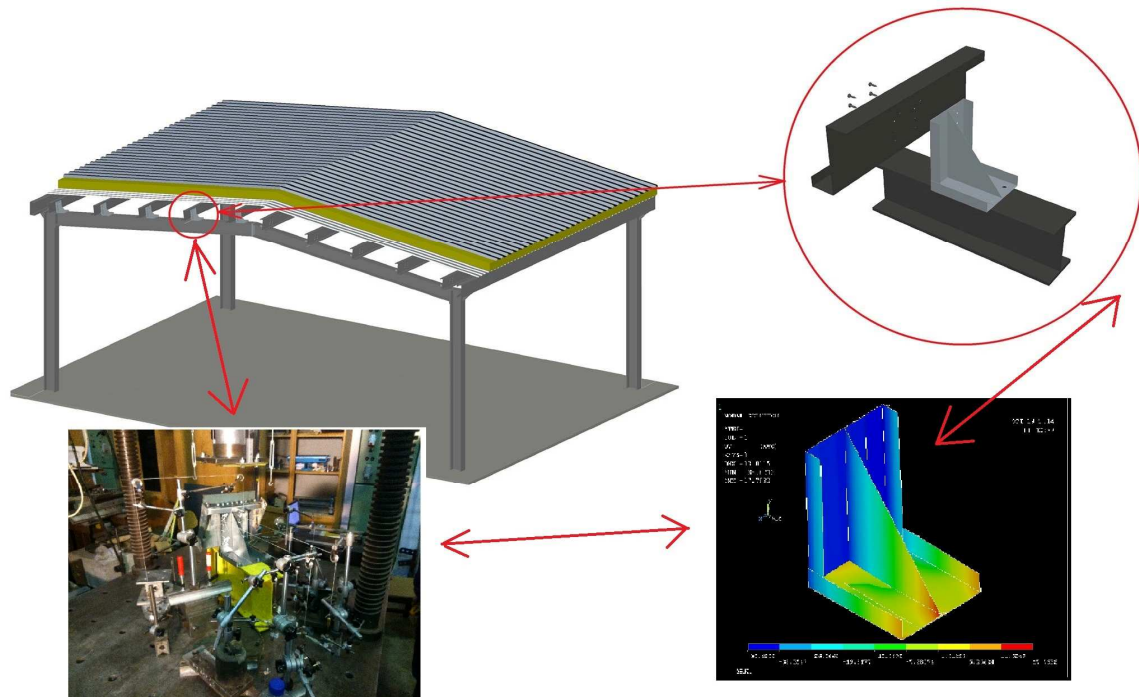
A bak tűzállóságát egy és több oldali szabványos tűzgörbének megfelelő hőhatással, kísérleti úton szeretnénk meghatározni, használhatósági terhelés alatt. A kísérlet során többek közt a bak függőleges és vízszintes elmozdulásait, az elmozdulás sebességét, a hőmérsékletet lenne célszerű meghatározni.

8. Numerikus modell kalibrálása a kísérleti eredményekkel

A numerikus modellbe be kell építeni a kontaktokat. A verifikált numerikus modell továbbfejlesztése, mely az a baktípus több paraméteres optimalizációját készítené elő.

9. Integrált csarnokrendszer vizsgálat

A héjazat, a szelemenrendszer, a szelementartó bak és a csarnok főtartószerkezete egymással szoros interakcióban állnak. Ezért a későbbiekben érdemes lenne megvizsgálni az **újgenerációs, ún. vékonyfalú szelementartó bakok** héjazatra gyakorolt hatását. Az 5., 6., 8., pontban említett célkitűzések mellett, azokkal szoros összhangban izgalmas továbblépési lehetőségeknek tekintünk egy fejlett számítógépes szimulációt.



10.6 ábra Integrált csarnokrendszer laboratóriumi kísérletekkel támogatott, fejlett számítógépes szimulációjának sematikus ábrája

A szimuláció keretében a megfelelő kialakítású, geometriailag optimalizált szelementartó bakok numerikus eredményeit felhasználva egy integrált csarnokrendszer végelelemes modelljét építenénk fel.

Forrásjegyzék:

- [1] Hegesztési kézikönyv; G. Herden; Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1973.
- [2] Vasbetonváz – LINDAB burkolat, Acél kapcsolati elemek fejlesztése; Termékkatalógus, 2006.; Dokumentum elérési útvonala (2014.10.18. 21:19):
<http://www.colorplus.hu/downloads/lindab/Lindab/pdf/08/kapcsolatok.pdf>
- [3] Frank Máté Ferenc: „Tűzihorganyzott vékonylemezek ellenállás-ponthegesztett kötéseinek vizsgálata, kötéskép geometriájának minimalizálása”, TDK-dolgozat, 2012.
- [4] AVACO és ECO KAPA Kft. Fémszerkezetgyártás és tűzihorganyzás; elérési útvonal (2014.09.22. 18:08):
<http://www.avacoecokapa.com/hu/despre-noi/>
- [5] LINDAB SBS Maxi középmeretű csarnokrendszer bemutatása; 2013.05.15.-kei cikk; elérési útvonal (2014.10.28. 21:29):
<http://www.lindab.com/hu/pro/about-lindab/news/Pages/Lindab-SBS-Maxi---k%C3%B6z%C3%A9pmeret%C3%A9r%C5%B1,-t%C3%BCzihorganyzott,-komplett-csarnok.aspx>
- [6] LINDAB csarnokok a mezőgazdaságban; 2014.08.06.-kai cikk; elérési útvonal (2014.10.18. 21:36):
<http://www.lindab.com/hu/pro/about-lindab/news/Pages/Lindab-SBS-Maxi---k%C3%B6z%C3%A9pmeret%C3%A9r%C5%B1,-t%C3%BCzihorganyzott,-komplett-csarnok.aspx>
- [7] Terhek és hatások (Tervezés az EC alapján); Deák György –Erdélyi Tamás – Fernecelyi Sándor – Kollár László – Visnovitz György, Jegyzet, 2006.
- [8] LINDAB Trapézlemezek, Műszaki információk; termékkatalógus; elérési útvonal (2014.09.23. - 17:28):
http://down.archicentrum.hu/74/tadatlapon/burkolati_rend-szer_muszaki_informacio.pdf?f %5Bcegid%5D=74
- [9] Burkolatmester weboldal; elérési útvonal (2014.09.23. 17:34):
<http://www.burkolatmester.hu/content.php?id=55>
- [10] LINDAB Z-C-U profilok, Műszaki információk; termékkatalógus; elérési útvonal (2014.09.23. 17:40):
http://www.lindab.com/hu/Documents/Profil/Construline/Z-C-U%20gerend%C3%A1k/zcu_gereidak_muszaki_informaciok2008.pdf
- [11] Z/C- szelemenek tervezési útmutatója; tervezési segédlet; elérési útvonal (2013.11.08. 11:30):
[http://www.hsz.bme.hu/hsz/oktatas/feltoltesek/BMEEOHS-LA1/zc_tervezesi_utm_1\(1\).pdf](http://www.hsz.bme.hu/hsz/oktatas/feltoltesek/BMEEOHS-LA1/zc_tervezesi_utm_1(1).pdf)

- [12] LINDAB TRUSS könnyűszerkezetes rácsostartó; Rendszerleírás. 2007.; elérési útvonal (2014.09.24. 14:56):
http://www.lindab.com/hu/Documents/Profil/Integr%C3%A1lt%20rendszerrek/Truss/lindabtruss_muszakileiras.pdf
- [13] MSZ EN ISO 14273:2002, Specimen dimensions and procedure for shear testing resistance spot, seam and embossed projection welds; szabvány
- [14] Acélszerkezetek, 2. Speciális eljárások, Tervezés az Eurocode alapján; Ádány Sándor - Dulácska Endre - Dunai László – Fernecelyi Sándor - Horváth László, tervezési segédlet, 2007.
- [15] Frank Máté Ferenc, Janik Ottó: „Szelementartó bak kísérlettel támogatott tervezése”, TDK-dolgozat, 2014.
- [16] „Magasépítési acélszerkezetek, Tervezési segédlet, Dr. Papp Ferenc, Budapest, 2011. Elérési útvonal (2014.10.01. 05:26):
http://www.hsz.bme.hu/hsz/oktatas/feltoltesek/BMEEOHSASA1/1_vazlatterv.pdf