



A XXXI. ORSZÁGOS
TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI
KONFERENCIA



TDK DOLGOZAT

Termomechanikus szimuláció monitorozása akusztikus emisszióval

Készítette:

Danka Zsolt

Gépészmérnök hallgató (BSC), 3. évfolyam

Konzulens:

Dr. Pór Gábor

Doszpod László

DUNAÚJVÁROSI FŐISKOLA
MŰSZAKI INTÉZET

2012

TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

Adatlap

Dolgozat címe: Termomechanikus szimuláció monitorozása akusztikus emisszióval

Szerző neve	Neptun kód	Email cím	Aktív félévek száma	Képzés típusa
Danka Zsolt	XHFOP4	danka@citromail.hu	5	alap

Konzulens neve	Beosztása	Email cím	Tanszék
Dr. Pór Gábor	Főiskolai tanár	porg@mail.duf.hu	Gépészeti tanszék
Doszpod László	Anyagvizsgáló	dospol@mail.duf.hu	Gépészeti tanszék

A dolgozat rövid tartalma:

A kutatás célja a terhelés hatására kibocsájtott Akusztikus Emissziós események vizsgálata, amelyek különböző kémiai összetételű és esetenként egyedi mechanikai tulajdonságokkal rendelkező anyagok termikus igénybevétele, egyes esetekben mechanikai igénybevétele (szakítás) során végbemenő átalakulások hatására jönnek létre. A vizsgálatokat két berendezés segítségével hajtottuk végre. A termikus, valamint a mechanikai szimulációt egy úgynevezett Gleeble 3800-as termomechanikus szimulátor segítségével végeztük el. A kísérletek közben az anyagban kialakuló akusztikus eseményeket egy AED 40/32 Sensophone megnevezésű készülékkel figyeltük. A beállításokat, vezérléseket mindkét berendezésnél gondosan előre meghatározott paraméterek alapján kell megadni. A mérések lefolyása alatt figyelni kell a megfelelő szabályzó kör biztosítására, hogy a mintákat teljesen megegyező igénybevételek érijék a későbbi adatok vizsgálatának, összehasonlításának, kiértékelésének sikeressége érdekében.

A vizsgálat módszerei anyagonként megegyeztek a TRIP valamint a Cr-Mo ötvözetű acélok esetében. A szimuláció közben a hőmérséklet és az alakítási sebesség mind a két anyagnál teljesen megegyező volt az egylépcsős és a háromlépcsős szimulációt tekintve is. Ettől eltértünk az S235JRG2-es anyag esetében, mivel ennél a hengeresen kialakított próbatesten a termikus fárasztás végén egy szakítást is végrehajtottunk, és emellett a hőmérséklet és a sebesség is változott.

A mérések elvégzésénél 7 különböző függvényt alkalmaztam melyek alapján meghatározhatóak az egyes munkadarabon lokalizált AE események paraméterei (pl.: rezgésszám, felfutási idő, amplitúdó stb.).

A mérési eredményekből az általam kialakított diagramokon jól látszanak a munkadarabon lokalizált eredmények, melyek túlnyomó többsége az alakítási zónában található. A lokalizált események alapján képet kapunk, hogy az anyagban milyen esetleges fázisátalakulások, rácstorzulások, szövetszerkezeti változások mentek végbe.

2012. november 14.

Tartalomjegyzék

1. A KUTATÁSI PROJEKT BEMUTATÁSA.....	5
1.1. GLEEBLE 3800-AS TERMOMECHANIKUS SZIMULÁTOR.....	6
1.1.1. A termikus rendszer	7
1.1.2. A mechanikus rendszer.....	8
1.2. AED-40/32 SENSOPHONE.....	8
1.2.1. A KÉSZÜLÉK FELÉPÍTÉSÉNEK LEÍRÁSA	9
2. AKUSZTIKUS EMISSZIÓ ISMERTETÉSE	11
2.1. A VIZSGÁLAT KORLÁTAI.....	12
2.2. A KIALAKULÓ HIBÁK LOKALIZÁCIÓJA.....	12
2.3. SZÜKSÉGES VIZSGÁLATI FELÜLET	13
2.4. AZ A.E. MINTA SZILÁRDTEST FIZIKAI JELLEMZŐI	13
2.5. KÖRNYEZETI FELTÉTELEK	14
3. A KUTATÁS SORÁN ALKALMAZOTT ANYAGOK MEGNEVEZÉSE, ISMERTETÉSE	15
3.1. TRIP ACÉL.....	15
3.2. CR-MO ÖTVÖZÖTT ACÉL	16
3.3. S235JRG2 ACÉL	17
4. A MÉRÉSEK BEÁLLÍTÁSAI.....	19
4.1. AZ AED-40 SZOFTVERRENDSZER	19
4.2. AE64.EXE.....	19
4.3. A KÉSZÜLÉK BEÁLLÍTÁSAI.....	19
4.3.1. ÉRZÉKELÉSI KÜSZÖBSZINT	19
4.3.2. BEÜTÉSEK KÖZÖTTI HOLTIDŐ	20
4.3.3. HELY KOORDINÁTÁK MEGHATÁROZÁSA	21
4.3.4. KÉSZÜLÉK TESZTELÉSE	22
4.3.5. A LOKALIZÁCIÓ TÍPUSÁNAK MEGHATÁROZÁSA	23
4.3.6. TÉRKÉPEK MEGJELENÍTÉSE.....	25
5. A MÉRÉSI ADATOK MEGJELENÍTÉSE	28
5.1. A FÜGGVÉNYABLAKOK KONFIGURÁLÁSA.....	28
5.2. FÜGGVÉNYEK GRAFIKUS MEGJELENÍTÉSE	30
6. A MÉRÉSEK ELVÉGZÉSE, FUTTATÁSA.....	32
7. A MÉRÉSI EREDMÉNYEK KIÉRTÉKELÉSE.....	35
7.1. SKÁLÁZÁS	36
7.2. ADATOK KIÍRATÁSA	36
7.3. ORIGINLAB KIÉRTÉKELŐ SZOFTVER.....	38
8. A MÉRÉSI EREDMÉNYEK DOKUMENTÁLÁSA	42
9. A MÉRÉSEKBŐL LEVONT KÖVETKEZTETÉSEK.....	42
9.1. ALAPVETŐ TÉNYÁLLÁSOK.....	42
9.2. KONKLÚZIÓ A MÉRTE EREDMÉNYEK ALAPJÁN.....	44
9.2.1. Az S235JRG2-es mintánál meghatározott következtetésem	45

9.2.2.	A Cr-Mo ötvözetű acél mintánál meghatározott következtetések	46
9.2.3.	A TRIP acél mintánál meghatározott következtetések	48
10.	ÖSSZEFOGLALÁS	51
11.	IRODALOM JEGYZÉK	52
12.	MELLÉKLETEK	52
12.1.	EGY TELJES JEGYZŐKÖNYV BEMUTATÁSA	53
12.2.	DIAGRAMOK	64
11.2.1.	S235JRG2-es acél	64
11.2.2.	Cr-Mo ötvözetű acél	67
11.2.3.	TRIP acél	75

1. A kutatási projekt bemutatása

A Dunaújvárosi Főiskola Műszaki Intézetében a Magyar Ipari és Diagnosztikai Laboratórium elképzelése alapján 2012. márciusában elindult egy akusztikus emissziós projekt Dr. Pór Gábor, Doszpod László vezetésével. Célja a terhelés hatására kibocsájtott Akusztikus Emissziós események vizsgálata, melyek különböző kémiai összetételű és esetenként egyedi mechanikai tulajdonságokkal rendelkező anyagok termikus igénybevétele, egyes esetekben mechanikai igénybevétele (szakítás) során végbemenő átalakulások hatására jönnek létre. A témaválasztás azért erre a kutatási területre esett, mert a projekt lefolyása alatt jelentős százalékban részt vettem a mérések elvégzésében, valamint az elvégzett mérések és kutatási jelentések dokumentálásában. A kutatási eredményekből egy cikk készül, mely Spanyolországban, Granadában az EWGAE (European Working Group on Acoustic Emission) konferencián kerül bemutatásra. A projektben tervezett és végrehajtott vizsgálat elvégzéséhez elsősorban szükségünk volt egy úgynevezett AED-40/32 SENSOPHONE-ra mellyel az akusztikus eseményeket tudtuk lokalizálni. Ezt követően szükség volt egy másik mérőberendezésre is mely alkalmas volt az előre meghatározott hőmérsékleti szakaszok pontos definiálására és nyomon követésére. A próbatesteken úgynevezett hőkezelést alkalmazunk mely, hevítési, hőntartási és hűtési szakaszokból tevődik össze. A szakaszok megegyező, illetve egyes esetekben eltérő hevítési és hűtési sebességekkel, hőmérsékletekkel lesznek definiálva a munkadarab anyagösszetételének meghatározása alapján. Az előre meghatározott hőmérsékleteket, sebességeket figyelembe véve a gép melyet a fentiekben már leírt termikus fárasztás alkalmazására kiválasztottunk a Gleeble 3800-as termomechanikus szimulátor volt. Megemlítésre szorul a gépek vezérléséért felelős szoftverek. Az AED-40/32 esetében úgynevezett AED64 programot alkalmazok melynek kezelését a dolgozat további részében ismertetem. A Gleeble 3800-as termomechanikus szimulátornál pedig egy úgynevezett Quiksim nevű szoftvert alkalmazunk a programozáshoz, és a gép vezérléséhez. A dolgozatban pontokba szedve taglalom a projekt és mérés szakaszait. A dolgozat elején a gépek ismertetését és leírását említem meg, hogy az olvasó képet kapjon a kezelésről és működésről, valamint az akusztikus emissziót mutatom be, hogy mit is takar ez valójában. A dolgozat további részében pedig a mérések megtervezését, végrehajtását és dokumentálását fejtem ki. Végül pedig megemlítem a kapott eredményeket, és a mérések által levont következtetéseket.

1.1. Gleeble 3800-as termomechanikus szimulátor

Az 1. ábrán látható Gleeble 3800 egy teljesen integrált, digitális, zárt szabályozó rendszerekkel rendelkező termomechanikus szimulátor, mely különböző gyártási folyamatok fizikai szimulációjára és termomechanikai anyagvizsgálatokra alkalmas. A berendezés két meghatározó része a termikus rendszer és a mechanikai rendszer, melyeket a főegység és az ahhoz csatlakoztatott, a szükséges vizsgálathoz célszerűen választott MCU (MCU=Mobile Conversion Unit, azaz „mobil átalakító egység”) együttese alkotja.

Az említett két rendszer működéséhez szükséges további egységek:

- a mechanikai rendszerhez tartozó pneumatikus dugattyú táplálását végző kompresszor
- a hidraulikus dugattyú meghajtását biztosító rendszer
- A hőelvezetésért felelős hűtőegység
- A légritka vizsgálati teret létrehozó vákuum-egység



1. ábra Gleeble 3800-as termomechanikus szimulátor

A szimulátor vezérlését és szabályozását a vezérlő számítógép végzi. A vezérlés egy Windows-alapú szoftverben, a Quiksim-ben készített programok segítségével történik. A programok által lehetőség van számos vezérlési módra, így például az elmozdulás, az erő, az

opcionálisan felszerelhető nyúlásmérő, a valódi és a mérnöki feszültség illetve alakváltozás, valamint a hőmérséklet alapján történő vezérlésre. A méréseink során a két darab lemez próbatesten hőmérséklet szerinti szabályzás, míg a hengeres szakító próbatesten hőmérséklet és alakváltozás szerinti szabályzást határoztunk meg. A mechanikai rendszer lehetővé teszi az említett vezérlési módok közötti váltást a szimuláció alatt, mely lehetőség biztosítja a termomechanikus folyamatok szimulációjához szükséges rugalmasságot. A különböző mérőrendszerek, mint például az elmozdulás érzékelők, az erőmérő cellák, vagy az opcionális érintésmentes lézeres nyúlásmérő által mért, és a vezérlő számítógép perifériáihoz csatlakoztatott kártyák segítségével feldolgozott értékek, pedig a szimuláció szabályozását teszik lehetővé, elősegítve mechanikai vizsgálati program pontos végrehajtását és reprodukálhatóságát. A mérőrendszerek által mért mennyiségek mintavételezési gyakoriságát szintén a programban állíthatjuk be, a szimuláció egyes szakaszaiban külön-külön is. Ennek maximális értéke 20000 Hz.

A teszt végeztével a gyűjtött adatok OriginTM szoftverbe egyszerűen betölthetők, majd a szükség szerint kiválasztott adathalmazokból grafikonok készíthetők a vizsgálat kiértékeléséhez. Ennek végrehajtását a 7.3-as fejezetben mutatom be.

1.1.1. A termikus rendszer

A Gleeble 3800-as szimulátor termikus rendszerében a mintát egy áramkör részeként átfolyó áram segítségével, úgynevezett ellenállás-fűtéssel hevítethetjük a kívánt hőmérsékletre, akár 10000 °C/s sebességgel. A minta felületének hőmérséklete opcionálisan választható infravörös pirométer, valamint a mi esetünkben alkalmazott termoelemek segítségével mérhető. A mért és programozott módon mintavételezett hőmérsékletértékek segítségével szabályozható a minta hőmérséklete, így állandósult egyensúlyi hőmérséklet biztosítható. Továbbá tetszés szerinti hőmérséklet profil is megvalósítható. A mintadarab hőmérséklete négy csatornán keresztül mérhető, melyek mindegyikére különböző típusú (E, K, R, S, B) termoelem-pár vagy pirométer csatlakoztatható, attól függően, hogy milyen hőmérséklettartományban illetve milyen közegben (vákuumban vagy védőgázban) kívánjuk végezni a szimulációt. A termoelemek a minta felületén hegesztéssel rögzítendő, melyet a Gleeble rendszerhez tartozó hegesztő berendezésen végzünk.

1.1.2. A mechanikus rendszer

A Gleeble 3800 mechanikai rendszere teljesen integrált szervohidraulikus rendszer, mely akár 20 tonna statikus nyomóerőt, vagy 10 tonna szakítóerőt is képes kifejteni. Az elmozdulás sebessége maximum 2000 mm/s lehet. A méréseink során ez a rendszer az S235JRG2-es anyagnál játszik jelentős szerepet a szakító vizsgálat végrehajtásából következően.

A mechanikus rendszer tartalmaz egy két dugattyús pneumatikus egységet is, mely a hidraulikus rendszertől függetlenül képes mozgatni az alakítást végző pofákat. Egyik feladata, hogy a síkbeli alakváltozást létrehozó, a szimulációs vizsgálatoknál felfűtés alatt és az alakítások között, a minta és a pofák közötti megfelelő kontakthoz szükséges előfeszítést biztosítsa. Ez az előfeszítés a mintáink befogásánál egységesen 2000 N volt, ezáltal biztosítva volt a szimuláció lefolyása alatt az ellenállás fűtés megfelelő kontaktját, valamint a zárt áramköri fenntartása.

1.2. AED-40/32 SENSOPHONE

Az AED-40/32 típusú berendezés az AED-40 SENSOPHONE akusztikus-emissziós diagnosztikai műszercsalád tagja. A készülék 32 egyenértékű, és egymástól teljesen független ¹AE csatornán dolgozza fel a vizsgált objektumon elhelyezett érzékelők jeleit. Az AE csatornák száma ennél a kivitelnél már tovább nem bővíthető, azonban két berendezés összekapcsolásával megduplázható, azaz 64 csatornás mérés is kialakítható. A vizsgálat körülményeit és a lefolyását leíró környezeti paraméterek mérését 16 analógbemeneten történhet, a mérés automatikus vagy félautomatikus lebonyolítását 2x8 digitális ki/bemenet is támogatja. Valamennyi AE csatornán megtörténik az érzékelt beütések összes úgynevezett elsődleges AE paramétereinek mérése és tárolása. Az ún. származtatott AE paraméterek meghatározása és kiszámítása a méréssel egy időben, vagy bármely utólagos feldolgozás és kiértékelés során elvégezhető [1]. A későbbi fejezetekben részletesen tárgyalva lesznek a mérés elvégzéséhez szükséges készülék beállítások (érzékelők tesztelése, küszöbszint meghatározás, holtidő), melyek igen fontos szerepet játszanak, ugyanis ha nem megfelelően vannak a határértékek kalibrálva, akkor nem csak a vizsgált munkadarabban kialakuló

¹ Akusztikus Emisszió

akusztikus eseményeket fogjuk érzékelni, hanem az esetleges külső zajforrásokat is. Ezek a lokalizált zajforrások a későbbi kiértékelést nehezítik esetlegesen lehetetlenné teszik.



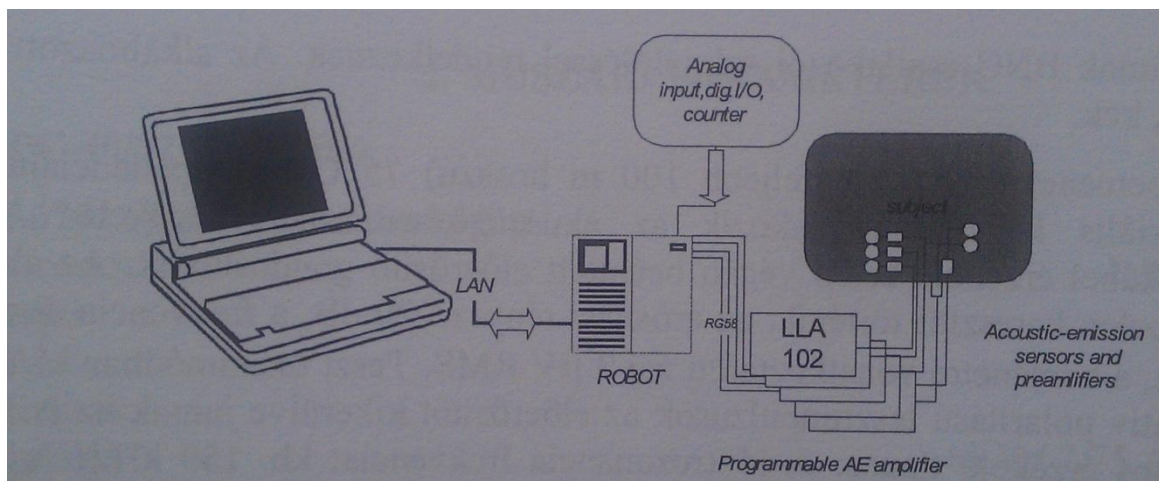
2. ábra AED 400/32 SENSOPHONE



3. ábra Erősítő modulok

1.2.1. A készülék felépítésének leírása

Az AED-40/32 megnevezésű műszer főegysége egy speciális, ipari kivitelű műszerdobozban helyezkedik el. A fő egység egy Ethernet interfészen keresztül csatlakozik a mérésvezérlő és kiértékelő számítógéphez. A műszerhez monitor, klaviatúra és egér is csatlakoztatható, de ezekre nincs szükség az üzemszerű működéshez.



4. ábra A mérőberendezés összeállítása

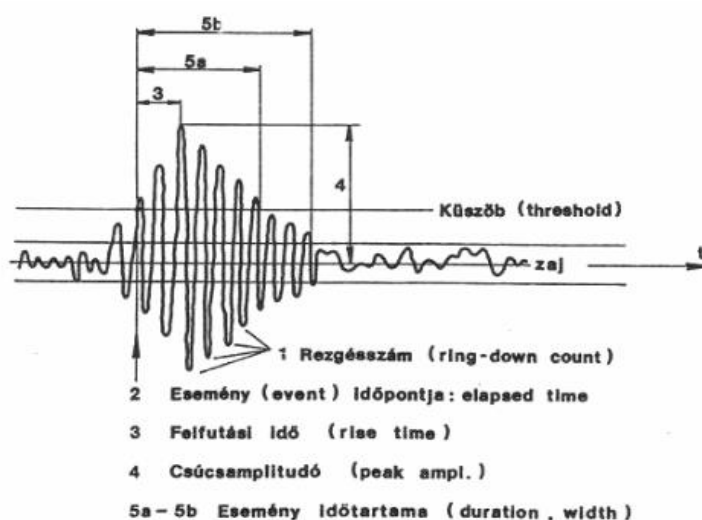
Az egykártyás PC egy 10 kártyahelyes ISA passzív alaplap egyik szélső pozíciójában foglal helyet. Az egykártyás PC speciális csatlakozóiban illetve helyezkedik el a 16 csatornás 12 bites analóg-digitális átalakító kártya, mely a környezeti paraméterek mérésére szolgál, és a digitális be/kimeneteket is kezeli. Az „AD” kártya kimeneteit megtalálhatjuk a készülék előlapján elhelyezett tűsorcsatlakozókon. A passzív alaplapba illeszkedve helyezkednek el az egyenként 4 komplett akusztikus emissziós csatorna áramköreit hordozó mérőmodulok is. Az AEC402 jelű mérő modulok a hozzájuk csatlakoztatható külső erősítő egységek táplálásához 12V/60mA tápfeszültséget is biztosítanak. Az analóg paraméterek 37 pólusú csatlakozója, a 4-32 AE csatorna BNC csatlakozói és az Ethernet hálózati csatlakozó, valamint az egykártyás PC perifériáinak csatlakozói a műszerdoboz előlapján hozzáférhetők. Az akusztikus emissziós csatornák számát az alkalmazott AEC402 jelű mérőmodulok mennyisége határozza meg. Minden AE csatornához tartozik egy LLA103 jelű külső programozható erősítő egység, mely 75 Ohmos koaxiális jelkábelrel csatlakozik a műszerdobozhoz. A kábel hossza legfeljebb 300 méter lehet. Az erősítő 12V-os tápfeszültségét a jelkábelrel keresztül kapja, és ezen keresztül történik az erősítő programozása is. A programozható erősítő normál üzemmódjában kiválasztható a logaritmikus karakterisztikájú erősítés, illetve 10 dB-es lépésekben választható a lineáris karakterisztikájú erősítés is. Teszt üzemmódban kiválasztható hogy a teszt jel folyamatos 50%-os kitöltésű négyszög jelsorozat, vagy egyedi impulzus legyen. Esetünkben a méréseink során egyedi jelsorozatot kaptunk mivel az AE események előre nem definiált módon az anyagösszetételt figyelembe véve mintáról mintára változott. Meghatározható az impulzusok amplitúdója és frekvenciája, impulzusszélessége. Az erősítő bemenetét reed-relé kapcsolja vagy a tesztimpulzus generátor áramkörre, vagy lin/log erősítő áramkör bemenetén elhelyezett, programból választható RC szűrőre. Az erősítés sávzélessége rövidre zárt szűrővel 30 kHz...1 MHz, a bemenetre vonatkozó zaj max 30 μ V RMS. Normál üzemmódban az erősítő a bemenetre csatlakoztatható előerősítő számára 7,5V/10mA tápfeszültséget is biztosít. Az AE csatornák csatlakozói színjelöléssel rendelkeznek. Az alkalmazott színek: piros, sárga, zöld, kék. Az erősítő bemenetére egy legfeljebb 100 méter hosszú 75 Ohm impedanciájú, teflon szigetelésű koaxiális kábelrel csatlakozik az akusztikus - emissziós érzékelő. A kábel meghajtásáról a kábel érzékelő felőli végén beépített előerősítő gondoskodik. Az erősítő táplálása a jelkábelrel keresztül történik, az erősítési tényező 20 dB, a frekvencia átviteli sáv 30 kHz...1MHz, a bemenetre

vonatkoztatott zaj $3 \mu\text{V RMS}$. Teszt üzemmódban az érzékelők felé küldött negatív polaritású teszt impulzusok az előerősítőt kikerülve jutnak az érzékelőre. A piezoelektromos érzékelő típusa: A-15 (rezonancia frekvencia kb. 150 kHz) vagy A-45 (rezonancia frekvencia kb. 450 kHz), üzemi hőmérséklet tartománya $-25... +85^\circ\text{C}$. Az A-15M és A-45M jelű érzékelőkbe az előerősítő is be van építve. Az A-15AM és A-45AM jelű érzékelők beépített mágnessel is rendelkeznek, külön mágneses leszorítót így nem kell hozzájuk alkalmazni, ezért a méréseink során ezeket az érzékelőket használjuk. Az érzékelőket a vizsgált objektum felületén megfelelő csatolóanyag alkalmazásával, mágneses leszorító vagy más alkalmas eszköz segítségével rögzítjük. Az AED-40/12 típusú berendezés tartozékainak tárolására, a mérés helyszínére szállítására alumínium hordozható táska szolgál. [2]

2. Akusztikus emisszió ismertetése

A mintákat igénybevételnek kitéve akusztikus emissziós jelek jelentkeznek. A jelek okozta felületi hullámok megszólaltathatják egymás után az érzékelőket. Az AE készülék megméri az akusztikus hullámcsomag paramétereit és az egyes érzékelők megszólalási idejét. A jel paramétereiből a forrás intenzitására, bizonyos határok között a típusára, a megszólalási idő különbségéből (az ún. késleltetési időkből) a forrás helyére lehet következtetni. Vizsgálva a lokalizált forrás helyek aktivitását és térbeli eloszlását, megítélhető a vizsgált minta

állapota. [3]



5. ábra Egy mért akusztikus emissziós esemény fizikai jellemzői

2.1. A vizsgálat korlátai

Csak azok a hibák mutathatók ki (a szivárgáskeresés kivételével), amelyek az adott terhelés mellett aktívak, azaz az adott terhelés mellett növekednek, vagy képlékeny alakváltozás jön létre a környezetükben. A vizsgálati módszerrel a teljes terhelt szerkezet integritását vizsgáljuk. A módszer alkalmazásával kapott eredmények értelmezésénél azonban mindenképpen figyelembe kell venni, hogy az eljárással az adott terhelési szint mellett passzív, azaz az adott terhelési szint mellett a szerkezetre nem veszélyes hibák nem mutathatók ki. Ezek alapján, ha egy szerkezetben nem találunk, aktív forrásokat ez nem azt jelenti, hogy a szerkezet hiba mentes, hanem azt, hogy az adott terhelés mellett nincs a szerkezetben olyan hiba, amelyiknek a környezetében a terhelés hatására képlékeny alakváltozás jön létre, vagy esetleg terjed.

A vizsgálatot megghiúsíthatja, ha a vizsgálatot megelőzően a szerkezetet addig a szintig terhelik, ahol a mérés is történne. Ilyenkor a vizsgálat során csak az előző terhelési szint fölött megszólaló hibák mutathatók ki (Kaiser-effektus).

A jelentős külső zajforrások jelentősen ronthatják a vizsgálat érzékenységet. Csak a terhelés alatti felületek vizsgálhatók. További korlátot jelenthet a szerkezet mérete, mivel minél nagyobb felületen kell vizsgálni, annál több érzékelőt kell telepíteni (itt a határt a vizsgálókészülék jelentheti, mivel típusonként korlátozott a maximálisan alkalmazható érzékelők száma).[4]

2.2. A kialakuló hibák lokalizációja

Mivel a makroszkopikus anyaghibák (repedés, zárvány, stb.) feszültséggyűjtő helyekként működnek, ezért a terhelés hatására ezeknek a környezetében indulnak meg a helyi alakváltozások. Az akusztikus emisszió a makroszkopikus hibák környezetében, a diszlokációmozgás során kialakuló megfolyásokban keletkező hanghullámokat észleli a tönkremenetel kezdeti stádiumában és be tudja határolni a szerkezetre veszélyes hibákat. Az adott terhelésen ki lehet mutatni a veszélyes hibákat és legalább 4 érzékelő alkalmazása esetén lokalizálni lehet a forrás helyét is. [4] Adott esetekben szimmetrikus alkatrészeknél a hibák helymeghatározása két darab érzékelővel is megoldható. Fontos ügyelni arra, hogy a középponttól ne azonos távolságra helyezkedjen el a 2 db érzékelő, ezáltal meghatározható

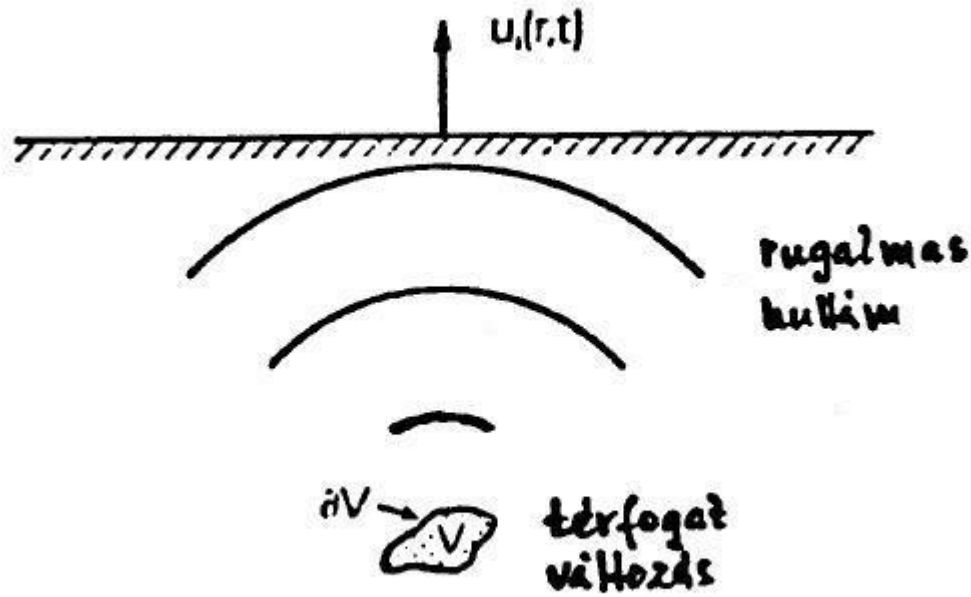
a hiba pontos helye. Szükség esetén a kritikus helyeket egyéb roncsolásmentes vizsgálati módszerrel megvizsgálva behatárolható a hiba típusa illetve fajtája.

2.3. Szükséges vizsgálati felület

A vizsgálat nem igényel jelentős felületi előkészítést, az érzékelők alatt fémtiszta felületet kell biztosítani (kb. 4 – 6 cm²-es területen), illetve megfelelő hozzáférést az érzékelők telepítéséhez. A méréseink során a felületi előkészítést a korábban már említett denaturált szesz segítségével végeztem el, hogy az érzékelők felhelyezése során semmiféle szennyezőanyag nem gátolja az érzékelők mintavételezését, valamint kontakt megfelelő legyen. [4]

2.4. Az A.E. minta szilárdtest fizikai jellemzői

Azt az esemény sorozatot, amelynek eredményeként egy akusztikus emisszió létrejön, szemlélteti a 3. ábra. Az S235JRG2-es anyagunknál, feszültséggel terhelt tárgyszakítás közbeni térfogat változás miatt lejátszódó helyi feszültség átrendeződés hozza létre a rugalmas hullámokat. A felszabaduló energia átalakulásának mértéke és módja nehezen leírható. A gerjesztett hullámok végighaladnak a tárgy anyagában, mechanikai zavart okozva. A hullámcsomag a közeg inhomogenitásai, szerkezete (szemcsehatár, kiválások mérete és eloszlása) és a felületekről való visszaverődések során torzul, illetve csillapodik, amíg az érzékelőig eljut. A szabályos rács lokális hibái körül kialakuló feszültségtereket mind kontinuum, mind rugalmas-kristály modellen számolhatjuk. A termikus igénybevétel hatásárai hasonlóan definiálható hullámcsomagok keletkeznek a mintában, melyeket az érzékelők lokalizálnak. [5]



6. ábra A.E. Hullámok keletkezése

2.5. Környezeti feltételek

Lehetőleg száraz vizsgálati környezet szükséges. A vizsgált szerkezet, edény környezetében lehetőleg meg kell szüntetni a zajforrásokat és a mérés közben kerülni kell a vizsgált darabbal való érintkezést. A vizsgált darab hőmérséklete korlátozhatja a vizsgálatot, mivel az ultrahangos érzékelő fejek tartósan nem viselnek el magasabb hőmérsékletet. A vizsgálati darab hőmérséklete lehetőleg ne haladja meg a $+50^{\circ}\text{C}$ -ot az érzékelési pontnál.[6] A méréseinket egy zárt vizsgálólaboratóriumban végeztem, ezért külső környezeti hatás nem veszélyeztette a méréseket. Azonban figyelembe kellett venni a későbbiek során a Gleeble 3800-as termomechanikus szimulátor termikus, hidraulikus rendszeréből eredő külső zajforrásokat.

3. A kutatás során alkalmazott anyagok megnevezése, ismertetése

A kutatásban meghatározott mérésekhez 3db különböző kémiai összetételű anyagot választottunk ki melyeken a szimulációkat elvégeztük. A lefuttatott mérések során mindhárom anyagot közel azonos hőhatásnak, igénybevételnek tettük ki.

Nem elhanyagolható az anyagok kémiai összetétele, ugyanis a későbbiek során ezekből az információkból következtethetünk a lejátszódó belső szerkezeti változásokra.

Az anyagok:

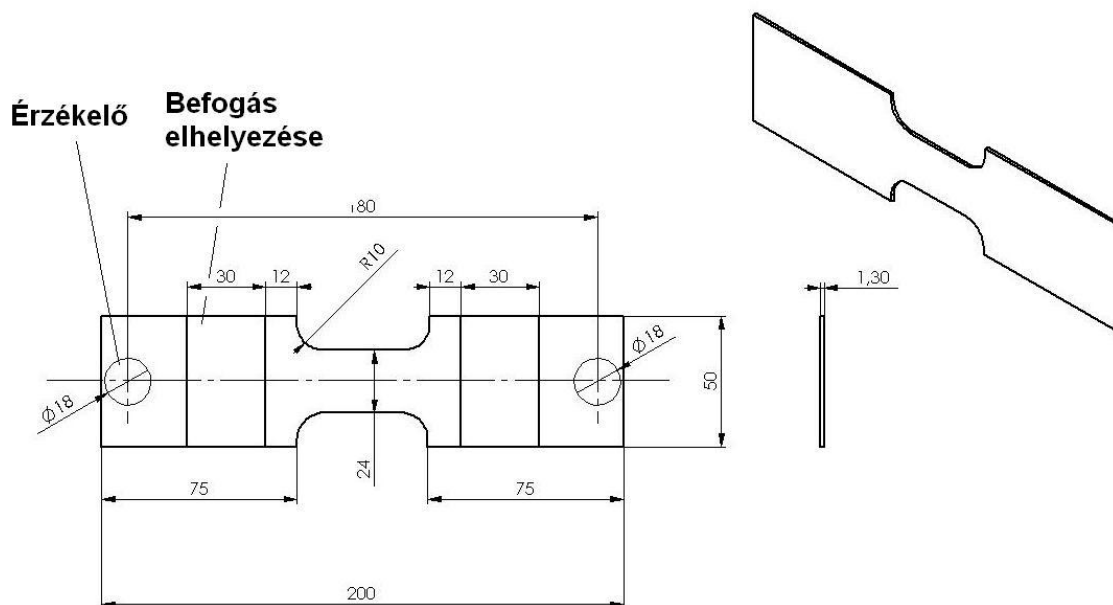
- Trip acél
- Cr-Mo ötvöztött acél
- S235JRG2 acél

3.1. Trip acél

A nemzetközi szakirodalom TRIP acélnak azokat az acélokat nevezi, amelyek szövete háromféle fázisból áll, úgymint ferrit, bénit és ausztenit. Ennél az acélnál jó alakíthatóságot a ferrit és részben a bénit biztosítja, az acél hidegalakítása során az ausztenit nagy hányada martenzitté alakul át, ez az alakítás indukált keményedés. Ezáltal a hidegen alakított termék nagy szilárdsággal és teherbíró képességgel rendelkezik.

A kémiai összetételt tekintve a TRIP acélokat igen különböző összetételi változatok jellemzik. A karbon tartalom viszonylag szűk határok között ingadozik (0,1-0,2) a szilícium (0,48-2,1) és a mangántartalom (1,3-2,4) valamint a foszfor tartalom (0,002-0,12) határok között változhat. Egyes típusoknál mikroötvözőket is alkalmaznak, mint például a nióbium (0,001-0,003). Az egyes kémiai elemeknek más - más a feladata a kívánatos szövetszerkezet és ezzel együtt az elérni kívánt végső tulajdonságok meghatározásában. A TRIP acél legfontosabb kémiai eleme a szilícium mely a karbid képződés fékező hatásával a ferritet stabilizálja. Másik ilyen ötvözőelem a mangán, mely a vassal szilárd oldatot képezve növeli annak szilárdságát a nyúlás csökkenése nélkül. Másrésről, mint ausztenit képző elme az utóbbit stabilizálja, így a nagyobb térfogatú ausztenitből több bénit is képződik. Az Mn-nak a hatása csak 1,5% tartalomnál érvényesül. [7]

A mintadarab geometriai kialakítása és főbb méretei:

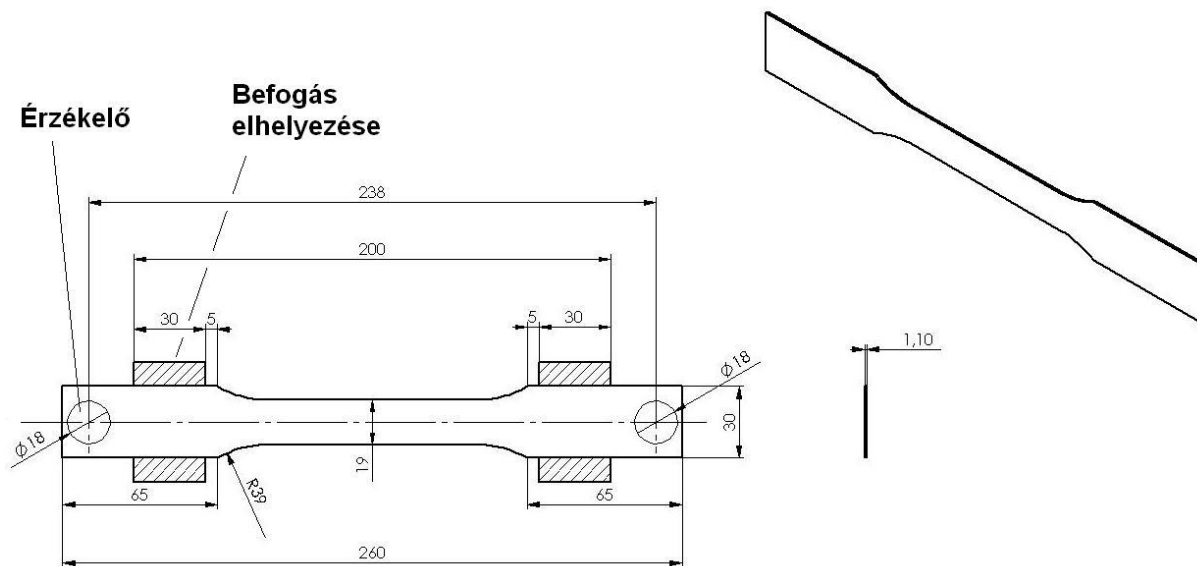


3.2. Cr-Mo ötvöztött acél

Aszutenites acél. A kis karbontartalmú acélok Cr-mal és Ni-lel való ötvözés hatására szobahőmérsékleten is homogén ausztenit marad. Szobahőmérsékleten az ausztenit stabilitását, és ezáltal homogenitását ausztenitképző ötvözőkkel (Ni, Mn, N, Cu) lehet növelni. Az ausztenit korrózióállósága általános esetekben jó. Mechanikai szilárdságuk hőkezelés hatására csekély mértékben változik. Ha ezeket az acélokat hőkezelést követően lassan hűtjük le, körülbelül 600-800 °C környékén kritikus hőmérséklet tartományban a szemcsehatárokon krómkarbidok válnak ki. Ez a kiválás savakkal és más korrozív szerekkel való érintkezés esetén kristályközi korróziót okoz. Ezeket a kiválásokat titán és/vagy nióbium ötvözéssel lehet megakadályozni, jelen esetben a munkadarabunkban megtalálhatók ezek az ötvözők bizonyos százalékban. A kiválások megakadályozása mellett a szilárdság növelésére is alkalmazhatóak ezen ötvözőelemek. Az ausztenites acéloknak nincs határozott képlékeny-rideg átmeneti hőmérséklete, kis hőmérsékleten sem ridegednek el, ridegtörésre nem hajlamosak. Az ausztenites acélok kloridos közeggel szembeni ellenállását 2-7% molibdénnel

való ötvözéssel lehet növelni, de a molibdén ötvözés kedvezőtlen hatású salétromsav közegben és nitrogén gázokban. [8]

A mintadarab geometriai kialakítása és főbb méretei:

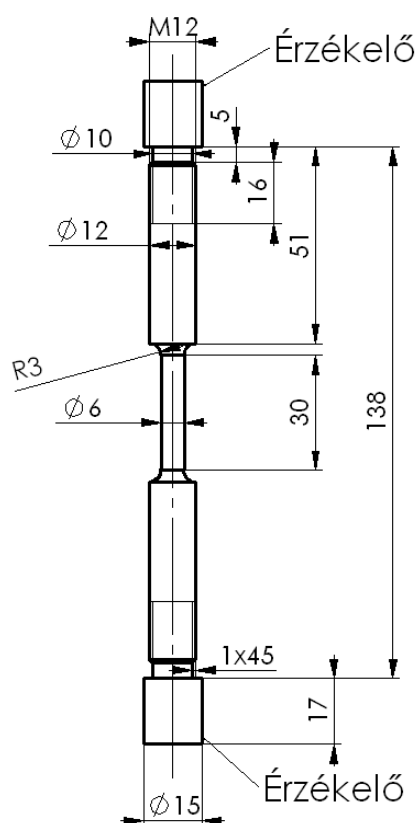


3.3. S235JRG2 acél

S235JRG2 (E235) ez az anyagminőség az alacsonyan ötvözött szerkezeti acélok csoportjába tartozik. Általánosságban elmondható, hogy hegeszthető (a szénttartalom max. 0,2% lehet) és horganyozható. A horganyozhatóság a szilícium-tartalomtól függ, általában 0,15 és 0,25% között mozog. A szilícium csillapítatlan acélokban csak igen elhanyagolható százalékokban van jelen. A csillapított acélok 0,2–0,4%-ot tartalmaznak, az e fölötti szilícium-tartalom már ötvözött jelent. A minőséget leginkább meghatározó elem a karbon. Minél nagyobb a szénttartalom, annál nagyobb az acél szilárdsága és edzett állapotú keménysége, valamint kopásállósága, de annál nagyobb a ridegtörésre való hajlama is. A szilárdság növelése általában mangán adagolásával történik. Mintegy 7% mangán-tartalomig 1% Mn 100 N/mm²-rel növeli a szakítószilárdságot. A nyúlás a szilárdság növekedésével csökken, de kisebb mértékben, mint amikor a szénttartalom növelésével emelik a szakítószilárdságot. A

ridegtöréssel szembeni ellenállás miatt finomszemcsés szerkezet szükséges, ez mikro-ötvözéssel érhető el. Ezt a minőséget használják a legáltalánosabb szerkezeti célokra. Ilyen anyagminőség alkalmazása esetén különösebb minőségi követelmények nincsenek megadva.

A mintadarab geometriai kialakítása és főbb méretei:



4. A mérések beállításai

4.1. Az AED-40 szoftverrendszer

Az AED-40 szoftver Intel Pentium alapú kétprocesszoros programcsomag, amely a felhasználó felé a műszert a képernyőn megjeleníti és vele a kezelői kapcsolatot biztosítja, a műszer beállítását és a mérés vezérlését lehetővé teszi, valamint az akusztikus emissziós tesztek végrehajtja és kiértékeli. Az AED-40 szoftverrendszer két programból és számos segédfájlból áll. A felhasználó számára csupán az AED64.exe program kezelőfelülete jelenik meg. [9]

4.2. AE64.exe

Beállító, tesztelő és mérő program. A felhasználó számára megjeleníti a műszer vezérlő paneljeit ill. a mérés kijelző ablakokat. A mérés valós idejű monitorozására és vezérlésére szolgál, valamint a mérési adatállományok utólagos kiértékelésére. A szoftver a kiértékelő számítógépre van telepítve. A két számítógépet hálózati kapcsolat köti össze mely a gyors aszinkron átvitelre szolgál, valamint parancsokat továbbít a mérőgép felé. [9]

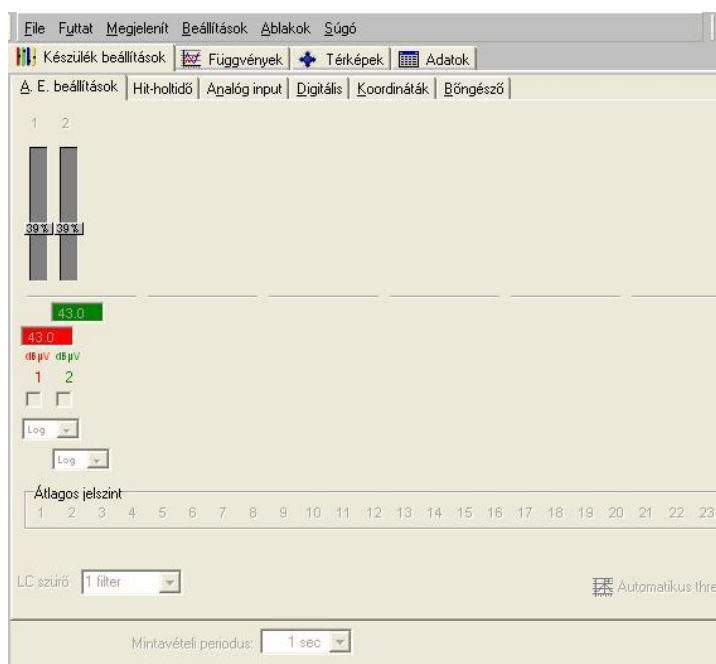
4.3. A készülék beállításai

4.3.1. Érzékelési küszöbszint

Az AED64.exe megnyitásával a program automatikusan Off-line módban nyílik meg. Ezt követően elkezdhetjük a beállításokat, vagy egy létező beállítási fájl megnyitására is lehetőségünk van. A mérések melyeket elvégeztem sorozatmérések voltak, ezáltal egy teljesen új beállítási fájlt kellett szerkeszteni mely az adott próbatest paramétereit tartalmazta.

Az új beállítási fájl (*.adj) megnyitását követően a „Készülék beállítási” fülön, az ablak tetején lévő gombsorral aktiválhatjuk az AE csatornákat. A készülék automatikusan érzékeli a műszerben található AE kártyákat, és csak azokat a csatornákat jeleníti meg, amelyek fizikailag léteznek. A csatornákat a csúszka feletti számgombokkal lehet aktiválni. A mérések során két AE érzékelőt alkalmazunk a próbatest kialakítása miatt.

Az érzékelőknek meg kellett határozni az érzékelési küszöb szintjét (threshold). Ezt meg lehet határozni automatikusan, ekkor a gomb lenyomásával egy olyan makró program indul, amely minden csatorna érzékenységi szintjét a maximumra állítja, majd minden csatornán külön-külön addig csökkenti a szintet, míg az a zajhatárra nem csökken. A küszöbszint meghatározható manuálisan is, mely a mi esetünkben 39% küszöbszintet jelent (7. ábra). Azért ezt az értéket választottam, mert az automatakalibrálási szint alacsonyabb értéket határozott meg, viszont számolnunk kell a már korábban említett Gleeble berendezés hidraulikus, termikus rendszeréből eredő zajokkal.



7. ábra Érzékelők beállítása

Ha a beütés amplitúdója meghaladja ezt a beállított értéket, akkor a készülék ezt a beütést rögzíti. Az érzékelők küszöbszintje külön-külön állítható a csatornáktól függetlenül. Az erősítési tényező is változtatható csatornánként, viszont ha ezt az értéket módosítjuk, a szoftver átszámolja automatikusan a beállításokat az egyik erősítési tényezőről a másikra.

4.3.2. Beütések közötti holtidő

A holtidő, csatornánként két időben egymás után bekövetkező beütés minimális időbeli távolságát határozza meg. [10]

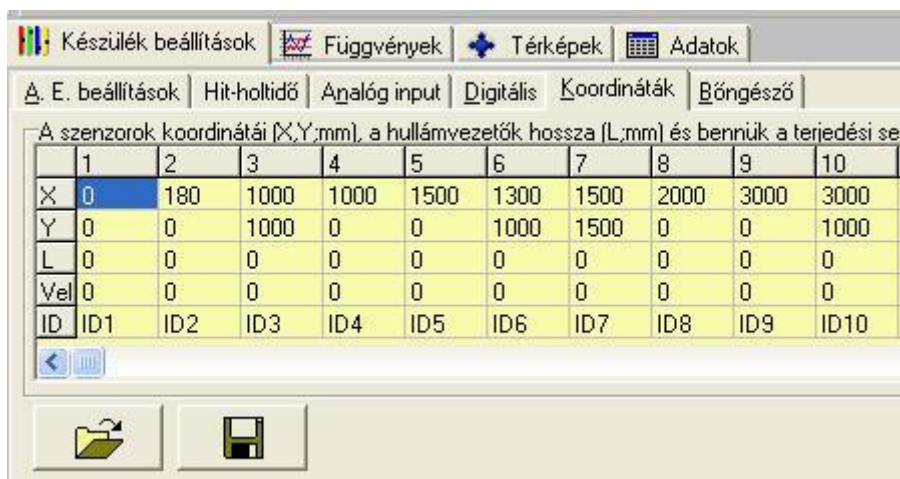


8. ábra Holt idő

A beállítások során aktiválni kell a hit holtidőt mely a beütések holt idejét jelenti, valamint a globális értéket, mely az összes aktív csatornára ugyanazt a beállított holtidőt alkalmazza. Az 5000 μs értéket a beállítások során tesztelesek és tapasztalati tényezők alapján határoztuk meg (8. ábra).

4.3.3. Hely koordináták meghatározása

Az mérés konfigurációjához hozzátartozik az érzékelők helykoordinátájának megadása. Ezek a lokalizációs számításokhoz szükségesek. Az érzékelők koordinátáit a vizsgálati objektumon a (0,0) viszonyítási ponthoz képest, minden esetben [mm]-ben kell megadni a Descartes-koordináta rendszer szabályai alapján.[11] Az értékek a felületek vagy vonal mentén értelmezettek. A koordináták csak egész számok lehetnek, ebből adódóan, ha a próbatestünk nem egész számos méretekkel rendelkezik (pl. a tűrések miatt) akkor felfelé kerekítünk, hogy a lokalizációs térképen az összes detektált pont megjelenjen.

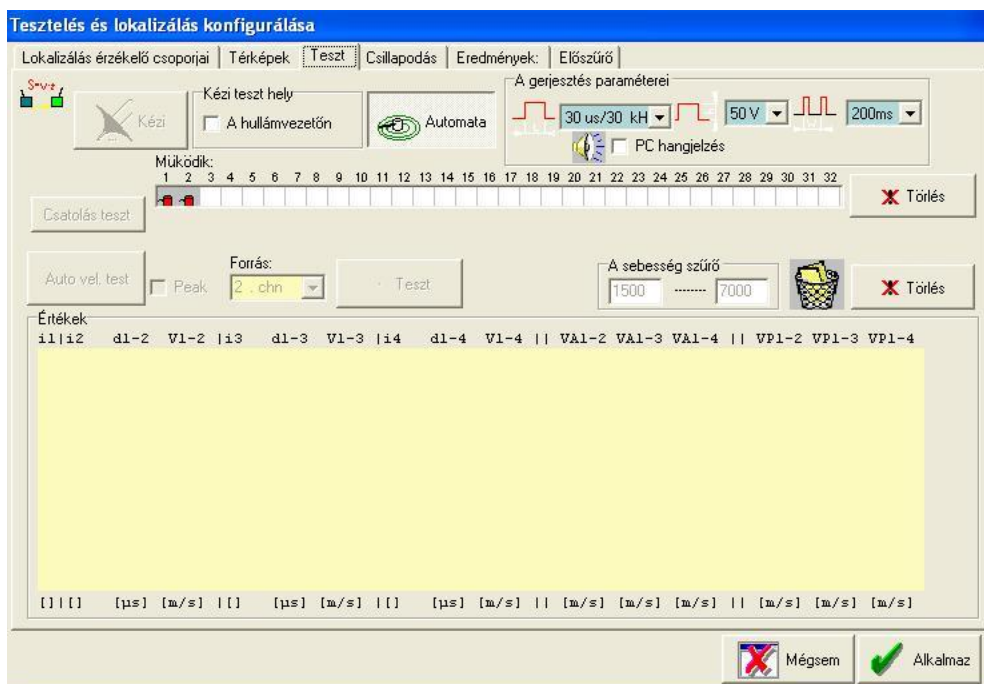


9. ábra Koordináta megadás

A méréseink elvégzésénél, mivel csak két érzékelőt használtunk így a hozzájuk tartozó x és y koordinátát kellett meghatározni. Mint az a 9. ábrán is jól látható az első és második érzékelő közti távolság (180mm). Jelen esetben ez a TRIP acél munkadarabnál használt beállításokat jellemzi. Az értéke az S235JRG2-es anyag esetében 138mm-re, míg a Cr-Mo ötvözetű acélnál 238mm-re módosul. A többi érzékelőnek a koordináta értékét nem változtatjuk, maradnak a gyárilag megadott paraméteren. Ezek semmilyen hatással nem lesznek a mérési adatokra, ugyanis a szoftver csak a bekapcsolt két érzékelőnek a beállított adatait fogja figyelembe venni a lokalizáció alatt. A vizsgálófej koordinátáinak helyes megadása esetén, a síkon vagy testmodellen megjelennek a vizsgálófejek, sárga négyzet formájában, számozással ellátva.

4.3.4. Készülék tesztelése

Fontos az érzékelők tesztelése a pontos lokalizáció szempontjából. Ennek beállításait a „Tesztelés és lokalizálás” menüpont alatt tudjuk beállítani, a teszt fülre kattintva. A „csatolás teszt” gombra kattintva a szoftver egy olyan makró programot indít el, mely azt vizsgálja, hogy egy-egy érzékelőt teszt üzemmódban vajon hallja-e a többi érzékelő.[12] A makró lefutása után információt kapunk az érzékelők helyes felszereléséről és beállításáról. A fentiekben meghatározott pontok elhanyagolhatatlanok a mérések sikerességét tekintve.



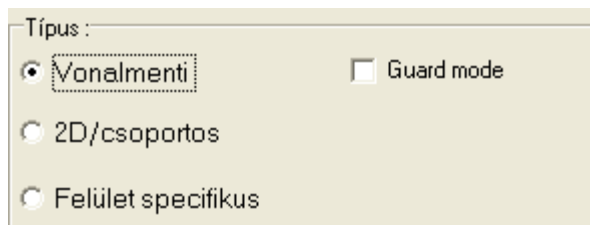
10. ábra Tesztelés és lokalizálás konfigurálása

Ebben a beállítási részben meghatározhatjuk az érzékelők közötti terjedési sebesség mátrixát. A készüléket adó vagy teszt üzemmódba állítjuk, ilyenkor a kijelölt csatorna mérőerősítője kikapcsol és azt megkerülve egy egyszeri impulzus vagy folyamatos négyszögjel kerül a piezoelektromos érzékelő kimenetére. A négyszögjel adott, de állítani lehet az amplitúdóját, szélességét, ismétlődési gyakoriságát. A sebesség szűrőnél látható, hogy a beérkezett időkülönbségekből számított terjedési sebességeket csak bizonyos sebességi határok közt fogadjuk el (10. ábra).

4.3.5. A lokalizáció típusának meghatározása

A lokalizáció vonalmenti helymeghatározás alapján lett definiálva (11. ábra). Ebben az esetben az érzékelők száma 2-32/csoport. A megadott érzékelő lánc vonalába várja a lokalizációs algoritmus a források helyét, oly módon hogy a bejövő beütések megszólalási sorrendjére megvizsgálja a program hogy érkeztek-e a szomszédos érzékelők közül, ha igen akkor kiszámolja a forrás helyét.[13] Az érzékelők felhelyezése a testre vonal mentén történik.

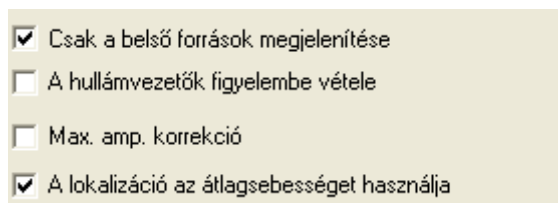
A maximális késési időt a gép a beállított átlagsebességéből és az érzékelők közötti maximális távolság 1,25-szeresével számolja ki.



The screenshot shows a software interface for selecting the localization type. It is titled 'Típus :'. There are three radio button options: 'Vonalmenti' (selected), '2D/csoportos', and 'Felület specifikus'. To the right of these options is a checkbox labeled 'Guard mode' which is currently unchecked.

11. ábra A lokalizálás típusának meghatározása

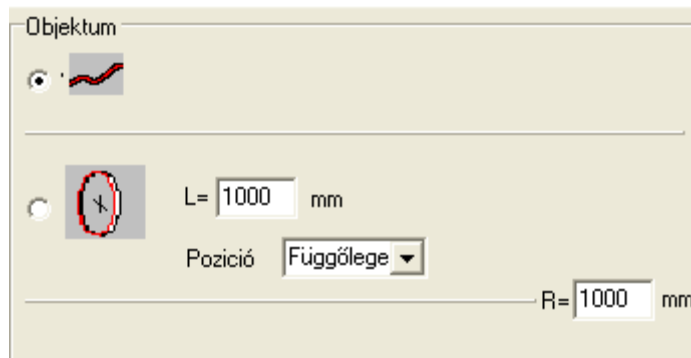
Miután meghatároztuk a lokalizáció típusát, meg kell határozni a számítási finomításokat. Aktiválni kell a „csak belső források megjelenítése” kapcsolót, ekkor csak az érzékelők belső pontja között jelennek meg az események. Ez azért szükséges, hogy a különböző érzékelőkből származó Event-ek ne lokalizáljanak „keresztbe” és egy az Event-hez csak egy jelzés tartozzon. Továbbá meg kell adni, hogy az algoritmus a forráskoordinátákat a sebességmátrix vagy jelen esetünkben az átlagos sebesség figyelembe vételével számolja (12. ábra).



The screenshot shows a software interface for calculation refinement options. It contains four checkboxes: 'Csak a belső források megjelenítése' (checked), 'A hullámvezetők figyelembe vétele' (unchecked), 'Max. amp. korrekció' (unchecked), and 'A lokalizáció az átlagsebességet használja' (checked).

12. ábra Számítások finomítása

A lokalizációs módszerek meghatározása után meg kell adni a testmodell, melyre értelmezzük az érzékelőinket és a források helyét (13. ábra). A piktogram kiválasztása meghatározza azt a koordináta rendszert, melyet a lokalizációs algoritmus használni fog, valamint a fejek koordinátái is átszámolódnak ebbe a koordináta rendszerbe.



13. ábra Test modell meghatározása

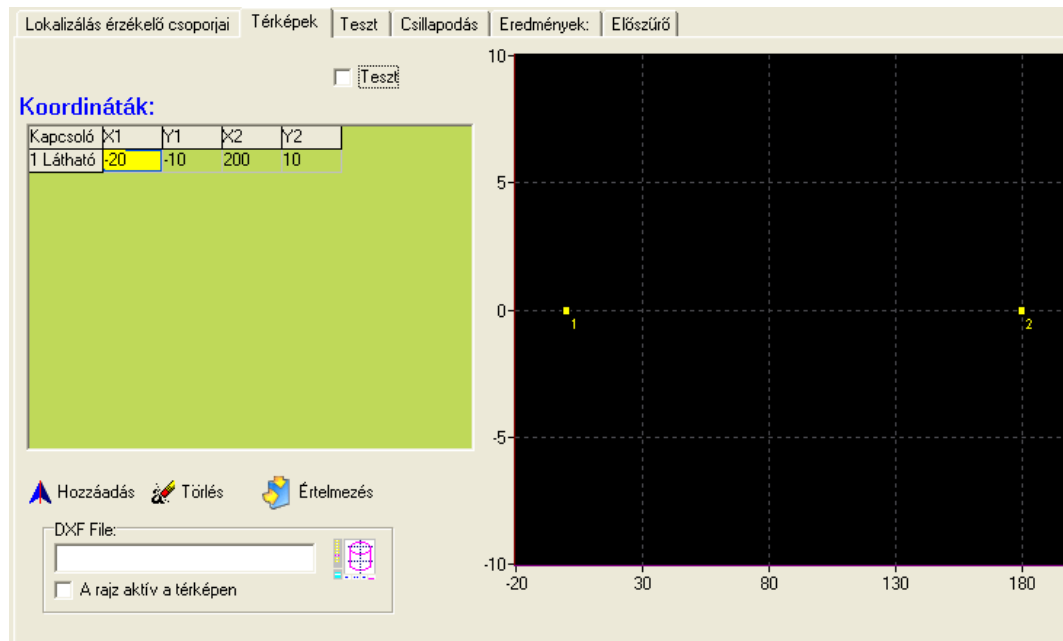
4.3.6. Térképek megjelenítése

A térképek lapon meghatározhatjuk, hogy mekkora méretű koordinátarendszerben szeretnénk látni az érzékelőinket és a lokalizált eseményeket.[14] A mi esetünkben síkbeli lokalizálás történik, ezért a térképet úgy határozzuk meg hogy, a bal alsó és a jobb felső koordinátát leírva négyszöget definiálunk, mely a (X1:-20;Y1:10) és (X2:200;Y2:10) koordináta alapján rajzolható (14. ábra). Azért ezek az értékek szükségesek, mert az érzékelők távolsága 180mm és a teljes lokalizációs környezetet szeretnénk megjeleníteni. Hangsúlyozom, hogy ezek az értékek a továbbiakban a mintáink méretével azonosan változnak.

S235JEG2: X1:-20, Y1:10; X2:158, Y2:10

Cr-Mo: X1:-20, Y1:10; X2:258, Y2:10

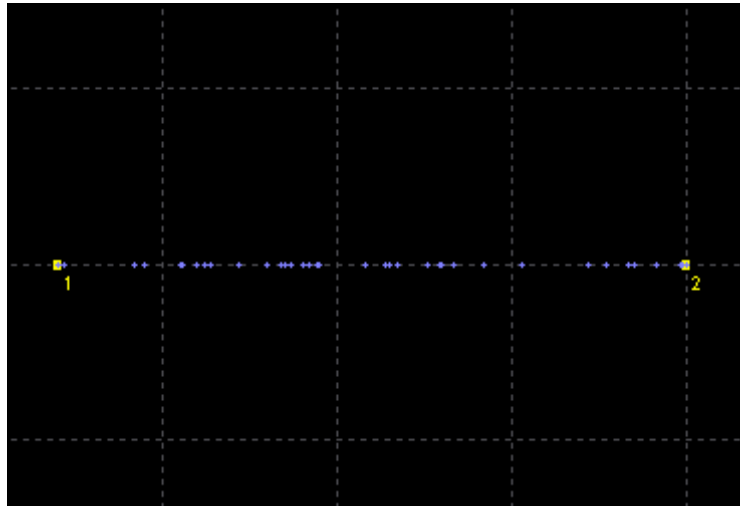
A meghatározott területet az értelmez gomb lenyomásával tekinthetjük meg.



14. ábra Térképek meghatározása

Ahogy a korábbiakban már említettem a két sárga négyzet az érzékelők koordinátáit, elhelyezkedését jelentik a próbatesten.

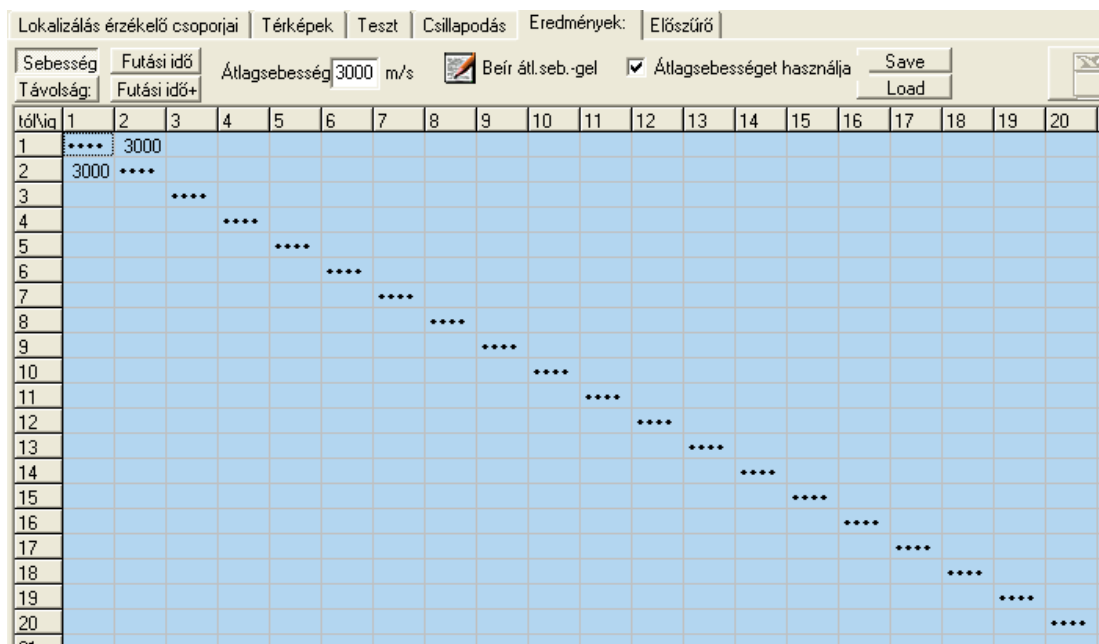
A teszt gomb aktiválásával ellenőrizhetők a beállítások oly módon, hogy a térképre kattintva a program kiszámítja a kattintott hely fizikai koordinátáit és mintha az adott pont hangforrás lenne késési időket számít. A számított késési időket a lokalizálási algoritmusnak továbbítva, a forrás helye meghatározható és az megjelenik a térképen. A mi mérési esetünknel meg kell figyelni, hogy a lokalizált pontok vonal mentén helyezkednek el a két érzékelők között, az érzékelők mögött nem lehet lokalizációs pont (15. ábra).



15. ábra Lokalizációs térkép teszt üzemmódban

Lokalizálásnál felhasznált értékek megjelenítése:

A beállításoknál az eredmény fölön egy főátlós mátrix táblázatot láthatunk. A táblázat tartalmazza a lokalizációhoz szükséges előszámított összes értéket. A sebességmátrix celláiba felvihetők adatok, melyek a futási időt, távolságot, hullámvezető értéket tartalmazza. A program a mérés alatt ezekkel az értékekkel számol. Ha az átlagsebesség kapcsoló bekapcsolt állapotban van, akkor a mátrix értékeit figyelmen kívül hagyja a program. A mérésünk során mi az átlagsebesség kapcsolót alkalmazzuk melynek értéke 3000 m/s (16. ábra). Ebben az esetben az átlagsebesség töltődik fel a sebességmátrixba. Ezt az értéket tesztelések és tapasztalati tényezők alapján határoztam meg.



16. ábra Átlagsebesség meghatározása

5. A mérési adatok megjelenítése

Ha az alapvető beállításokat elvégeztük hozzáláthatunk az adatmezők tervezéséhez. Ezt a „Beállítások-Adatmező tervező” menüben tehetjük meg. Célja, hogy összeállítsunk egy olyan táblázatot, amely alapján az „Adatok és aktiválások” ablakban lévő táblázat mezőit megszerkeszthetjük. A táblázatnak 20 oszlopa és 16 sora lehet külön hit, event vagy sample típusú.

5.1. A függvényablakok konfigurálása

A „Beállítások függvénytervező” menüben tehetjük meg. Ebben az ablakban egy táblázat sorait kell kitölteni mely egy-egy X, Y1, Y2 függvény összerendelését tartalmazzák, vagyis a táblázat sorai egy-egy grafikont határoznak meg. A függvények meghatározásnak lépései:

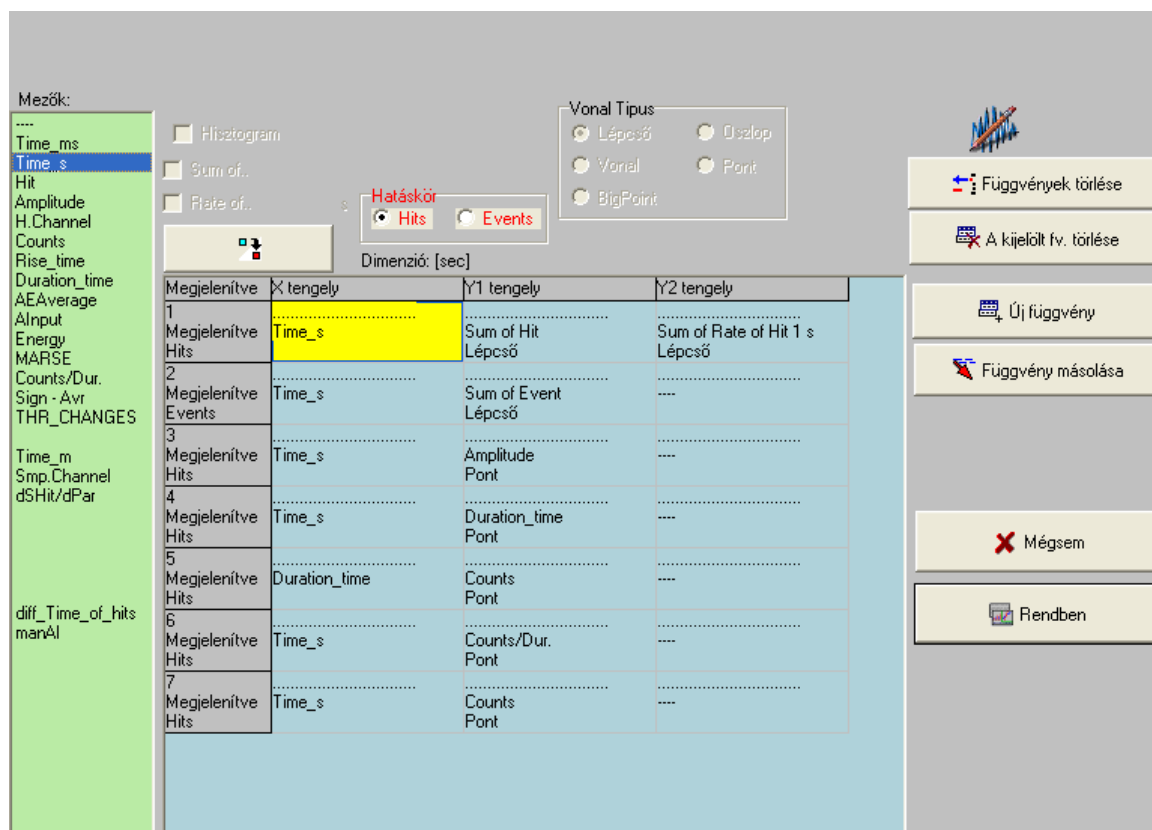
- A kitöltés előtt meg kell adni, hogy a diagram milyen rekordgyűjtésre vonatkozzon:
Hit, Event
- Meg kell határozni, hogy Y1, Y2 milyen vonaltípusú megjelenítéssel rendelkezzenek:
lépcső, vonal, oszlop, pont

— Ki kell választani, hogy a beállításokat mely csatornák érzékelése alapján jelenítse meg a program. Ezt a fenti kapcsoló sorral lehet meghatározni, ha egyet sem jelölünk ki, akkor az összes csatorna aktív. Jelen esetben 2db csatornát kell aktiválnunk.

— A beállításokat követően aktiválni kell egyenként a függvényeket [15]

Miután kiválasztottuk a grafikonokat, ahhoz hogy láthatóvá váljanak, a sorok elején aktiválni kell a „Megjelenítve” feliratot. Új grafikonokat az „Új függvény” gombbal tudunk előhívni, törölni pedig a „Kijelölt függvénytörölés” gombbal.

A mérések elvégzésénél 7 darab függvényt alkalmaztam a fentiekben leírt beállítások alapján (17. ábra).



17. ábra Függvények konfigurálása

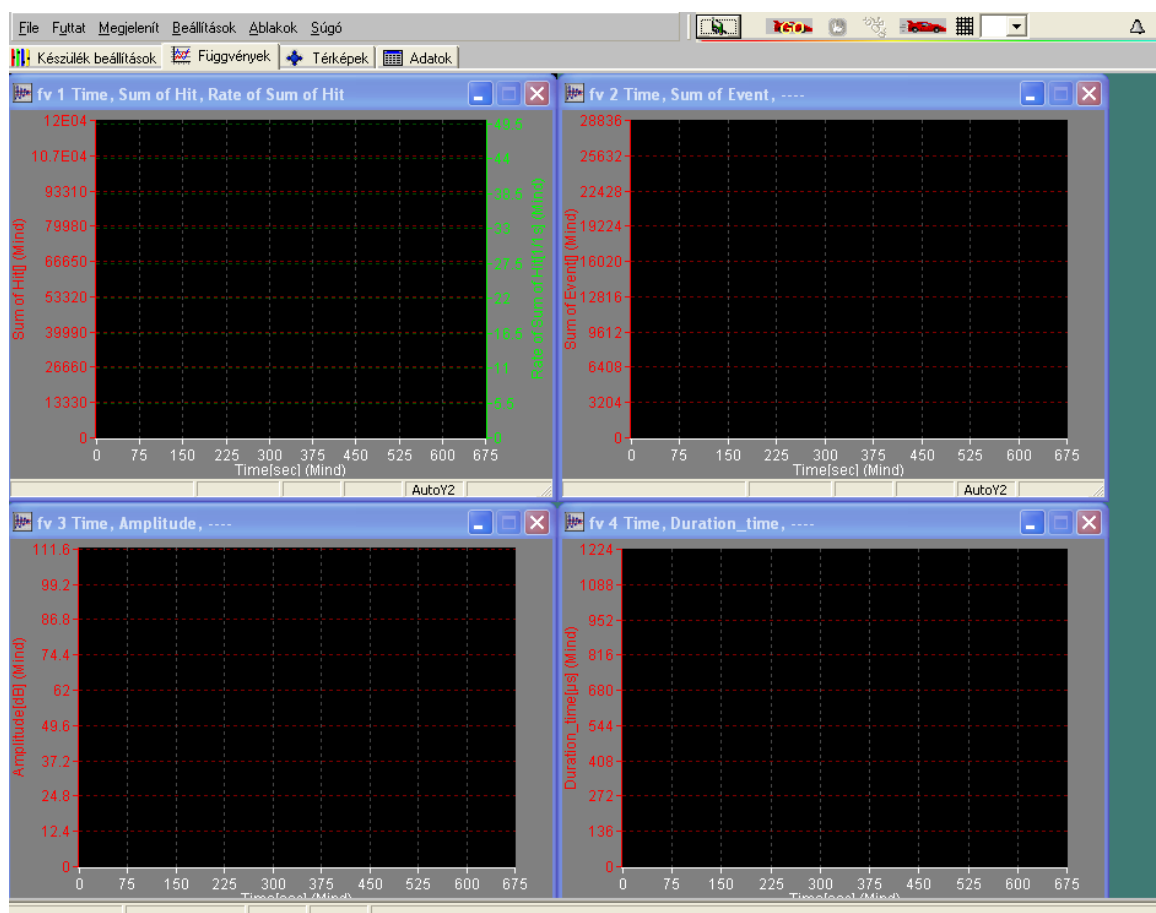
A képen jól megfigyelhetők az aktivált függvények típusai (pont, lépcső), valamint hogy a függvények időértéke secundum-ban(s) értendőek, a rekordjegyek pedig Hit-ben (beütés) (17. ábra).

A függvényeknél meghatározott pont, lépcső típusú ábrázolás szükséges, hogy a mérés során lokalizált pontok jól láthatóak legyenek, valamint jól megfigyelhető legyen az egyes függvénytípusoknál a kiugró akusztikus aktivitás. A beállítások elvégzése után a meghatározott függvény táblázatot a „Rendben” gomb lenyomásával aktualizálhatjuk. A megírt táblázatot a *.adj beállítási fájl tartalmazza, célszerű minden egyes módosítást verziószám nyomon követésével menteni, hogy a későbbiek során újra előhívhatóvá váljanak a korábbi beállításaink.

5.2. Függvények grafikus megjelenítése

A térképek és a függvények beállítását követően tesztelni kell az egész rendszert. Ez akusztikus emisszióanalízis grafittöréssel történik. A munkadarab felületén az érzékelők között grafitot törünk, ezáltal egy adott frekvencia tartományban esemény keletkezik, melyet az érzékelők lokalizálnak és az előre meghatározott függvények alapján kirajzolódik a detektált esemény/események grafikus formában.

A függvény fülre váltással az előre generált függvények grafikus kezelőfelülete látható lesz. Mivel a mérést még nem indítottuk el így csak az egyes grafikus megjelenítő tengelyei és skálázásai láthatók (18. ábra).



18. ábra Függvények grafikus megjelenítés

Az ábrázolás 1 X és 2 Y tengelyű, mely a mai akusztikus emissziós gyakorlat már megszokott formájában megfigyelhető.

Az Y1 tengely (bal Y tengely), melyet kirajzoláskor zöld szín jellemez

Az Y2 tengely (jobb Y tengely) melyet piros szín jellemez.

Az X-Y2 függvénykapcsolat csak akkor létezik, ha van X-Y1 kapcsolat is.[16]

Beállítások mentése

Az eddigi beállításainkat el kell mentenünk egy úgynevezett „Adjust” fájlba. A fájl minden lényeges információt tartalmaz a beállításainkról. A mentést „Fájl – beállítások mentése” menüpont alatt végezhetjük el vagy a menüsor alatt lévő mentés ikonnal. Mivel a mérésünk sorozatmérés mindhárom anyagmintát tekintve, ezért a mentési fájlunk neve legyen „hevítési sorozat”.

6. A mérések elvégzése, futtatása

A vizsgálat megkezdésekor a próbatest felületét meg kell tisztítani, majd egy speciális ponthegeztő berendezés segítségével a termoelemeket fel kell rögzíteni. A felület tisztítását legtöbb esetben denaturált szesszel végezzük el. A felület tisztaságára nagy figyelmet kell fordítani, ugyanis a ponthegeztésnél a két anyag kötésének a lehető legstabilabbnak kell lennie, hogy a varrat kibírja a termikus terhelés hatására létrejövő igénybevételeket. Ha a kötés nem megfelelő, akkor az adatok mintavételezése és a mérések sikertelen eredményeket hoznak.

Az előre definiált termikus terhelés programozott szabályzásáért a termoelempár felelős. A mérések során a termomechanikai szimulátor hőmérséklet szabályzás alapján vezérel. Mivel a berendezés elektromos feszültségből ellenállásfűtéssel gerjesztett hővel szabályozza a munkadarab hőmérsékletét a befogó pofapárokon keresztül, ezért szükséges a megfelelő kontakt meghatározása, melyet 2kN-os előfeszítéssel biztosítunk. A mintavételezés és kontaktbiztosítását követően a vizsgált mintára előre megtervezett rendben és sűrűségben feltelepítjük az akusztikus érzékelőket (21. ábra). Irodalmak szerint az acélok szokásos hőkezelései 600 °C feletti, ezért az akusztikus emissziós méréseknél hullámvezetőket kell alkalmazni, ugyanis az érzékelők 90 °C-nál magasabb hőmérsékletet nem tudnak elviselni. A mi méréseink során a minták 950 °C vagy annál magasabb hőmérsékletre voltak felhevítve. Hullámvezető alkalmazására nem volt szükség, ugyanis a Gleeble szimulátor a mintáinkat a befogó pofák közötti részen hevítette fel a programozott hőmérséklet profil alapján, a mintáink a pofákon túlnyúltak és ezért lehetőségünk adódott az érzékelőket a túlnyúlt részen elhelyezni ahol a hőmérséklet nem haladta meg az aktuális szobahőmérsékletet. Az érzékelők és munkadarab közé csatoló anyagként olajat használunk. A vizsgálatok

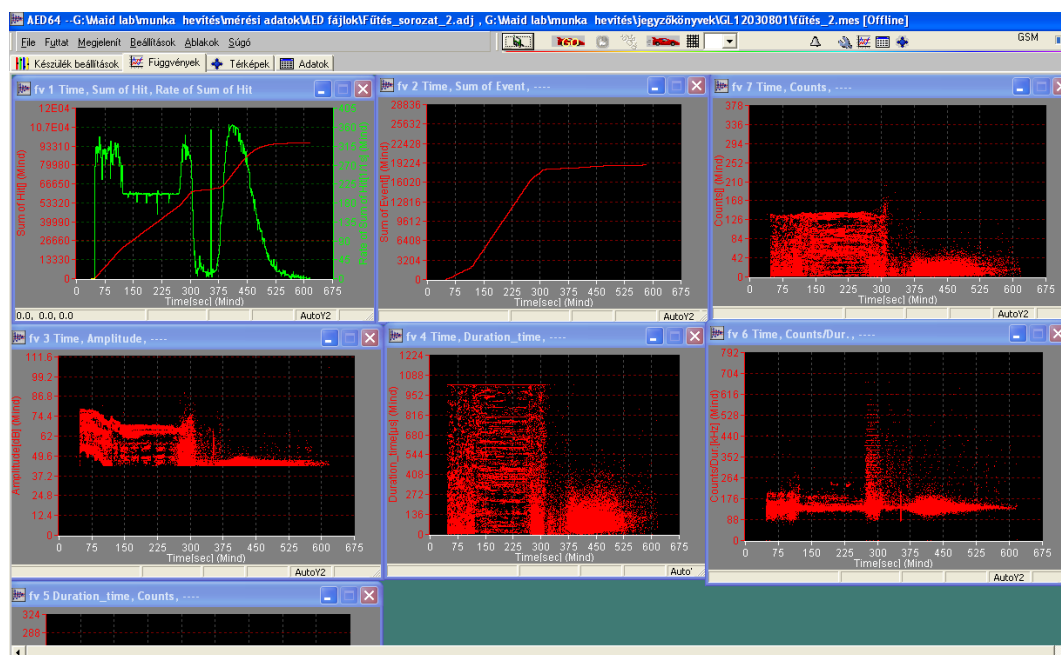
megkezdése előtt ellenőrizzük a rendszer működőképességét (csatolás teszt, ceruza teszt, sebesség mérés, csillapodás mérés stb.). A terhelést jellemző analóg jelforrásokat csatlakoztatjuk a vizsgáló berendezéshez. A terhelés növelésével együtt elindítjuk a mérést. Az „aed64” szoftverben az indítást az ikonsorban található „Futtatás” gomb kattintásával tehetjük meg. A Gleeble berendezés vezérlését összehangolva az „aed64” szoftverrel kell indítani, egyes méréseknél ez nem kivitelezhető, ezért a szoftverek közti időkésleltetést dokumentálni kell és a későbbi kiértékeléseknél figyelembe kell venni. A terhelést előre meghatározott program szerint három lépcsőben hajtjuk végre. A „TRIP acél” valamint a „Cr-Mo ötvözetű acél” esetében a termikus fárasztásokat a munkadarabon egylépcsős terhelés háromszori megismétlésével alakítottuk ki, míg az „S235JRG2” anyag esetében a háromlépcsős terhelés egyszerre, egy programon belül lett végrehajtva. Az első két anyag esetében azért volt szükséges a három lépcső külön-külön végrehajtására, hogy az egyes terhelési lépcsők során keletkezett akusztikus eseményeket egymástól függetlenül tudjuk lokalizálni, vizsgálni.

A hőmérséklet profilok a későbbiek során jól szemléltetett módon megfigyelhetők, valamint részletes bemutatásra kerülnek.

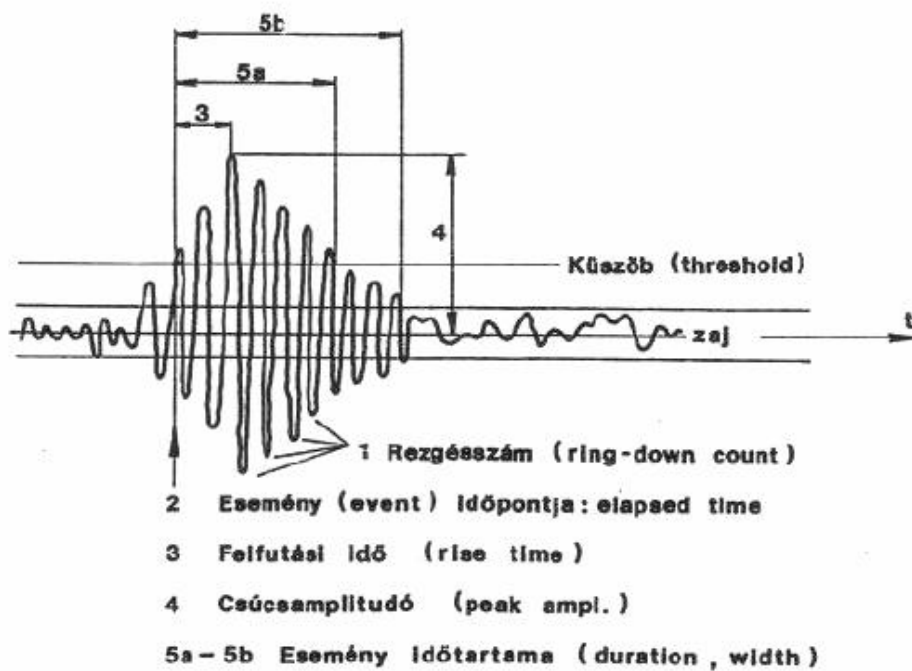
A mérést a terhelés megszüntetésekor fejezzük be. Ezt követően a mérési eredményeket *.mes fájlban mentjük el a későbbi kiértékelésekhez.

A *.mes fájl futtatása során, a már korábban taglalt beállítási paraméterek meghatározása alapján a diagramok kirajzolódnak (18. ábra).

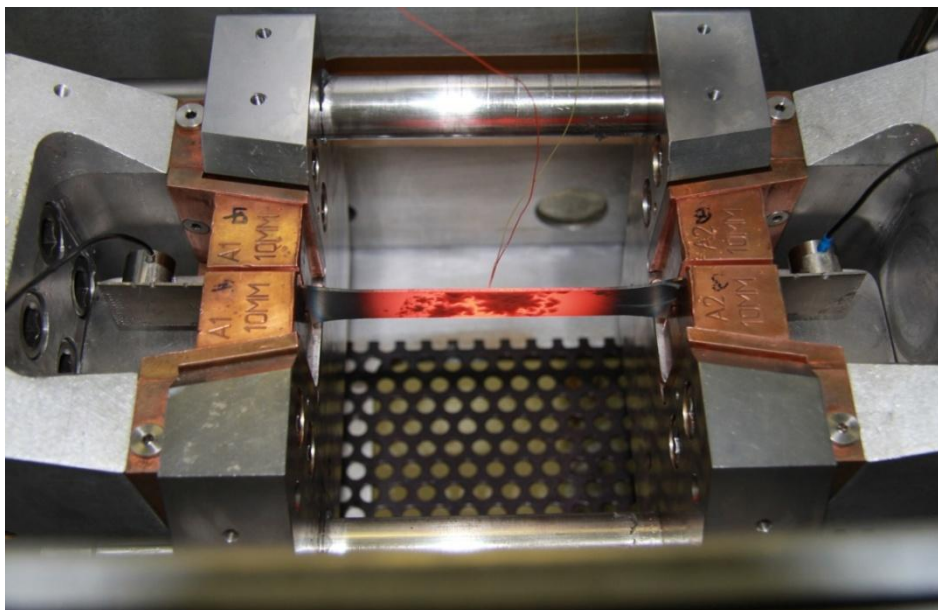
A mérések kiértékelését a software a beállított függvények szempontjai alapján a 20. ábrán látható AE jellemzők szerint szűrők alkalmazásával szétválasztja, melyek eredményeit a 19. ábrán kirajzolódott diagramokon tekinthetünk meg.



19. ábra Az aed64 futtatása közben kirajzolódott diagramok



20. ábra Egy mért akusztikus emisszió fizikai jellemzői



21. ábra A Gleeble 3800-as termomechanikus szimulátor mérés közben

7. A mérési eredmények kiértékelése

A sorozatmérések lefuttatását követően a mérések kiértékelését off-line módban végezhetjük el. Értelemszerűen az off-line mód azt jelenti, hogy az AED40/32 berendezés és a vezérlő számítógép között nincs aktív kapcsolat, ettől függetlenül a méréseket ki tudjuk értékelni a korábban már említett *.adj és *.mes fájlok alapján. A kiértékelés elindításához első sorban be kell töltenünk a *.adj beállítási fájlokat melyek tartalmazzák a munkadarab paramétereit és lokalizált adatait. Ezt követően szükségünk van a sorozatmérésben elvégzett munkadarabok mért, mentett adataira is, melyeket a *.mes fájlok tartalmaznak. A szoftver kiértékeléskor lehetőséget termet az egyes források meghatározására, lokalizálására illetve jellemzésére.

A beállítások betöltését megtehetjük, ha nem fut megjelenítés. A korábban mentett „Adjust” (beállítási fájl) állományt a „Fájl – Egy létező beállítás megnyitása” menüpontban választhatjuk meg. A „Mes” (mérési fájl) állományt a „Fájl – Mérés kiértékelése (offline)” menüpont alatt választhatjuk ki.

A kiértékelés a „Futtatás” gombbal indíthatjuk el. Mivel off-line beállítási módban vagyunk ezért nem a mérés indul el, hanem a már betöltött mérési fájlok megnyílnak, lefutnak.

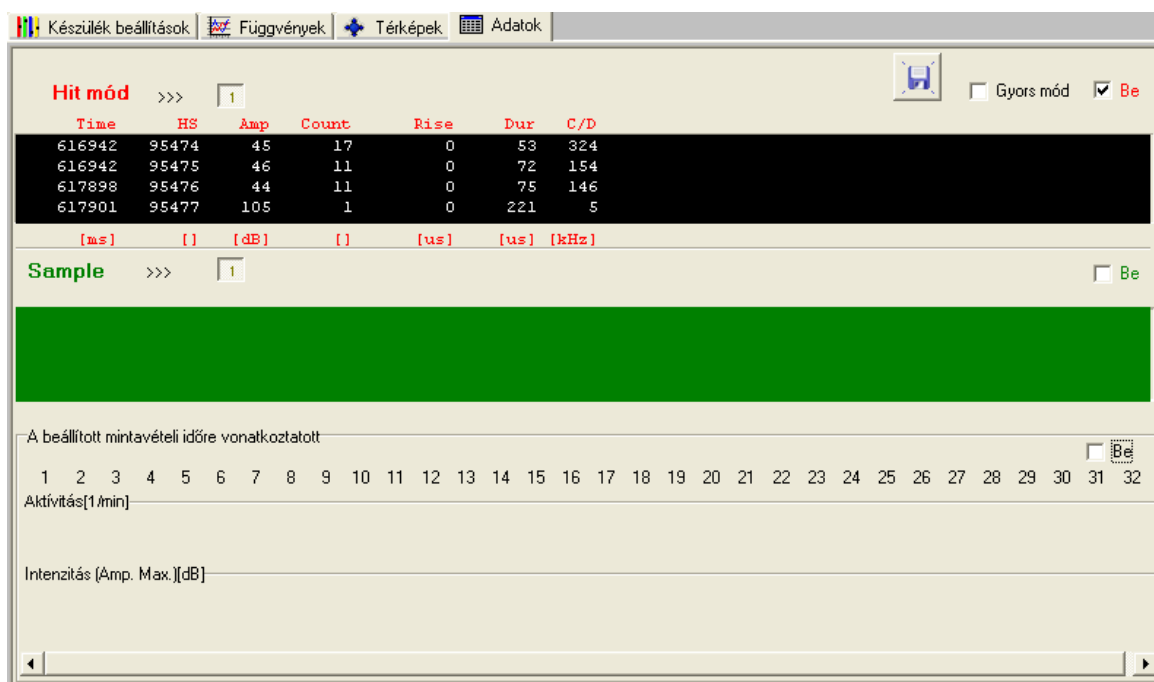
7.1. Skálázás

A későbbi kiértékelést tekintve meg kell határozni egy skálázást, hogy az egyes diagramok/diagram csoportok azonos tengely értékekkel rendelkezzenek az összehasonlítás, szemrevételezés elvégzésekor. A skálázás beállításai a következőképp zajlanak.

Ha egy függvényt konfigurálunk, alaphelyzetben automatikus átskálázással jelenik meg a munkafelületen. Ez azt jelenti, hogy ha az ábrázolandó adatok kívül esnek a skálák által meghatározott területen, akkor az ábrázolt pontok átszámítódnak, illetve a kicsinyítéssel arányosan torzul a függvény-görbe területe az adott irányban. Ha a tengely automatikus üzemmódban van, akkor megjelenik a kép alján lévő „AUTO” státus felirat. A feliratra bal gombbal kattintva kikapcsolható az „AUTO” funkció. A mi esetünkben ezt alkalmazni kell, ugyanis a grafikon tengelyeit át kell skálázni a már megállapított határértékek alapján. A módosító tengelyekre jobb gombbal kattintva a megjelenő módosító táblázatban módosíthatjuk a tengelyek skálázását. Az „Y” tengelyen a logikai értékeket kapcsolni lehet (BE/KI), a többi érték pedig átírható. Az „X” tengelyen lehetőség van Trend-vonal beállítására. Ehhez először ki kell kapcsolni az „AUTOMAX” kapcsolót, majd meg kell határozni a minimum és maximum értéket. A kettő különbsége a Trend ablak szélességét határozza meg. Ha az ablak mellé kattintunk vagy bezárjuk az ablakot ezzel elfogadtuk a módosításokat. Ezeket figyelembe véve beállítottam a tengelyek maximális és minimális értékét, melyek diagramcsoportonként valamint anyagonként változnak. A beállított értékek megfigyelhetők a mellékletekbe, a diagramoknál.[17]

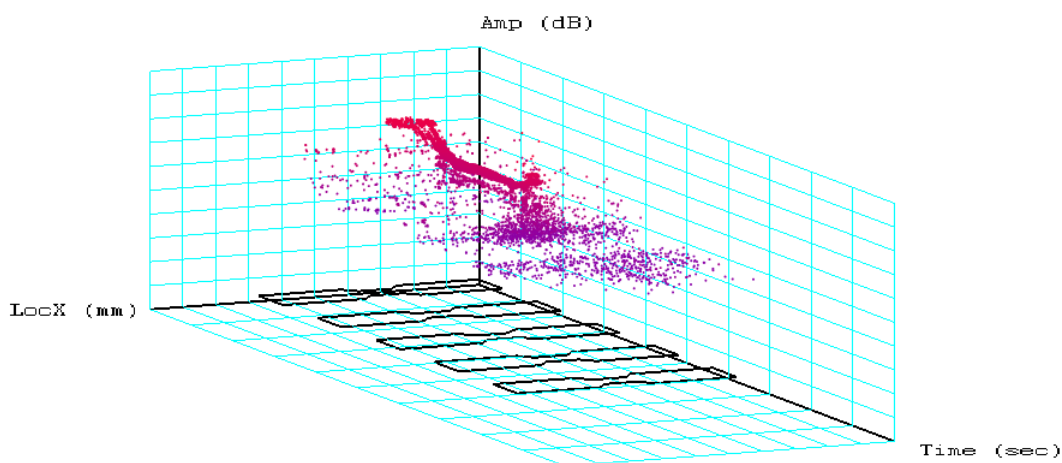
7.2. Adatok kiírása

A mért adatok közvetlen, számszerű kiírására konfigurálható ablak. Az adatokat Event és Hit módban lehet legenerálni egy *.txt fájlba. Ahhoz hogy az adatokat le tudjuk generálni először is létre kell hoznunk egy fájlt, melybe beíródnak az adatok. Ezt követően ki kell kapcsolnunk a „Gyors mód” és a „Sample” elnevezésű aktiváló gombot (22. ábra). Erre azért van szükség, mert az adatokkal a Hit mód beállításával akarunk a továbbiakban dolgozni, valamint az összes adatot ki szeretnénk írni.



22. ábra Adatok generálása

A méréseinket követően azért volt szükség a Hit módban való táblázatos megjelenítésre, mert a mérési sorozatok adataiból a későbbi kiértékelések során 3 dimenziós ábrát készítünk egy úgynevezett „Lebview” program segítségével, valamint a *.txt állományokba kiíratott adatainkat az „OriginLab” programnál is használnunk kell a lokalizációs pontok ábrázolhatósága miatt. A 3D-s ábrákon az amplitúdót ábrázoltuk az idő és a próbatest hosszúságának függvényében. Ezáltal jobban látható és szemléltethető az amplitúdó eloszlása (23. ábra).



23. ábra GL12030801 jelzésű „TRIP” acél 3D-s ábrája

7.3. OriginLab kiértékelő szoftver

Az adatok teljeskörű kiértékeléséhez szükség volt egy „OriginLab” megnevezésű programra, mely képes a Gleeble 3800 szimulátor által mintavételezett adathalmazt grafikus formában megjeleníteni. A szimulátor által mintavételezett értékek idő, erő, alakváltozás, programozott hőmérséklet, mintadarab hőmérséklet feszültség (24. ábra).

Origin 7.5 - G:\Maid lab\munka3\szakítás és hevítés\jegyzőkönyvek\GL12040504\Time-locx+temp - [A1100510f - G:\Maid lab\munka3\jegyzőkönyvek\GL12040504\1100510]

File Edit View Plot Column Analysis Statistics Tools Format Window Help

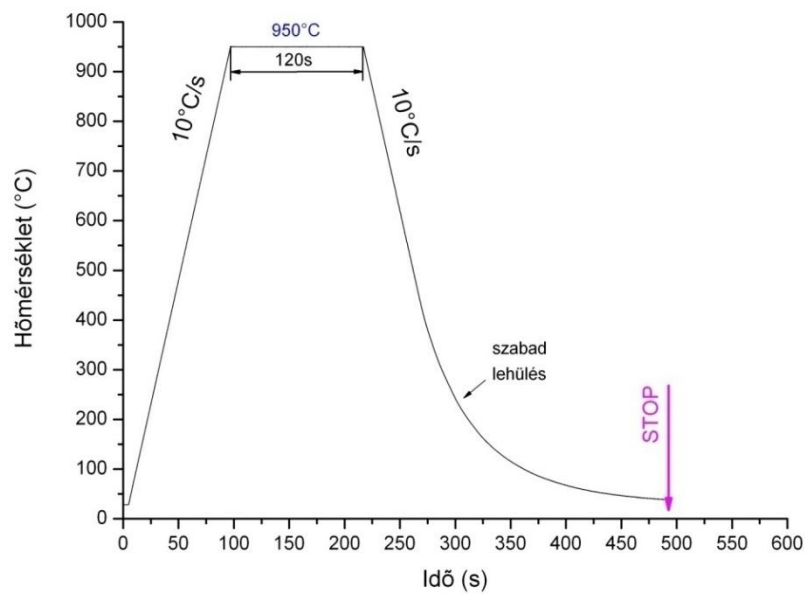
x = ?, y = ?

	Time[sec]	Erő[N]	Méret[mm]	Pram[Y]	Phőmérs[Y]	Feszítés[Y]	szűrlés[MPa]	Löklet[mm]	TC1[C]	A[Y]	B[Y]
1	6	728,4	-2,0295E-4	0	0	-2,1616E-6	25,717	0,00116	27,607	15,123	70
2	6,05	721,55	-3,3839E-4	9,936	0	-1,2139E-5	25,575	7,9503E-4	27,647	15,133	69
3	6,1	726,47	-3,0138E-5	682,71	0,10657	5,6511E-7	25,731	5,5596E-4	27,464	15,143	69
4	6,15	723,43	-1,403E-5	711,77	0,25468	3,9412E-6	25,623	9,9001E-4	27,506	15,153	69
5	6,2	728,99	-6,6241E-5	712,96	0,4046	-4,664E-6	25,785	0,00109	27,5	15,163	69
6	6,25	720,88	-3,3095E-4	712,95	0,5546	-9,1348E-6	25,496	0,00118	27,565	15,173	69
7	6,3	721,84	-5,7077E-4	712,89	0,7046	-1,7039E-5	25,478	5,2636E-4	27,641	15,183	67
8	6,35	721,41	-3,3649E-4	712,82	0,8546	-9,9153E-6	25,48	0,0013	27,65	15,213	69
9	6,4	724,44	8,1082E-5	712,75	1,0046	5,2918E-6	25,614	0,00145	27,607	15,223	71
10	6,45	723,97	-1,3694E-4	712,69	1,1546	-1,901E-6	25,641	6,0292E-4	27,404	15,233	69
11	6,5	734,92	-3,1443E-4	712,62	1,3046	-1,0301E-5	25,995	0,00135	27,479	15,243	65
12	6,55	732,57	-4,1693E-4	712,56	1,4546	-1,1714E-5	25,926	0,0016	27,439	15,253	69
13	6,6	732,12	-2,8888E-4	712,49	1,6046	-8,637E-6	25,879	4,1403E-4	27,529	15,263	68
14	6,65	723,83	-2,5267E-4	712,42	1,7546	-7,7938E-6	25,648	6,2561E-4	27,52	15,273	69
15	6,7	727,27	-1,2094E-4	712,36	1,9046	-2,1915E-6	25,752	0,00174	27,505	15,283	66
16	6,75	723,39	-3,0749E-4	712,29	2,0546	-7,593E-6	25,59	0,00172	27,46	15,293	69
17	6,8	729,87	-3,7999E-4	712,23	2,2046	-1,2978E-5	25,786	0,00245	27,462	15,313	69
18	6,85	727	-4,0295E-4	712,16	2,3546	-1,2717E-5	25,709	0,0014	27,47	15,323	68
19	6,9	730,72	-1,9226E-4	712,09	2,5046	-3,9002E-6	25,821	0,00331	27,519	15,333	69
20	6,95	725,84	-7,6331E-5	712,03	2,6546	-5,1991E-6	25,649	9,1313E-4	27,403	15,363	69
21	7	727,78	-6,8095E-5	711,96	2,8046	-1,5337E-6	25,73	-5,0637E-4	27,644	15,373	69
22	7,05	725,64	-3,7988E-4	711,9	2,9546	-1,2124E-5	25,721	-6,5677E-4	27,595	15,473	69
23	7,1	729,41	-3,9549E-4	711,83	3,1046	-1,5236E-5	25,79	0,00137	27,696	15,483	70
24	7,15	725,93	-3,1159E-4	711,76	3,2546	-1,0934E-5	25,672	0,00173	27,558	15,493	69
25	7,2	726,2	5,1307E-5	711,7	3,4046	5,1964E-6	25,693	6,7602E-4	27,519	15,513	69

24. ábra Gleeble által mintavételezett adathalmaz

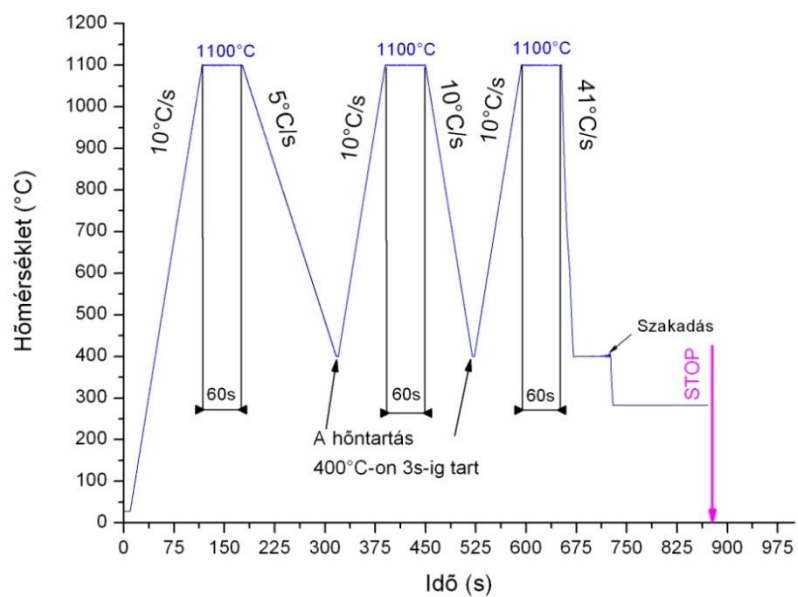
Az „Origin” szoftverrel való kiértékelés során az első lépés a hőmérséklet profil megjelenítése volt. A Gleeble mentési fájl megnyitását követően idő és hőmérséklet függvény alapján kirajzoltattam a munkadarab termikus terhelési profilját, valamint feliratozásra kerültek a fontosabb adatok, mint a hevítési sebesség, hőn tartási idő, sebesség, hűtési sebesség (25; 26. ábra).

A 25. ábrán látható a „TRIP” és „Cr-Mo” ötvözetű acélok hőmérsékleti profilja, mely egylépcsős kialakítású. A mintadarabokon az egylépcsős háromszori megismétlését követően kaptunk három lépcsős termikus fárasztást. Ez a megoldás lehetőséget adott a későbbi analízis során az egyes lépcsőknél lokalizált AE események külön-külön meghatározására.



25. ábra

A 26. ábrán az S235JRG2-es anyagú munkadarab hő terhelési profilja figyelhető meg.



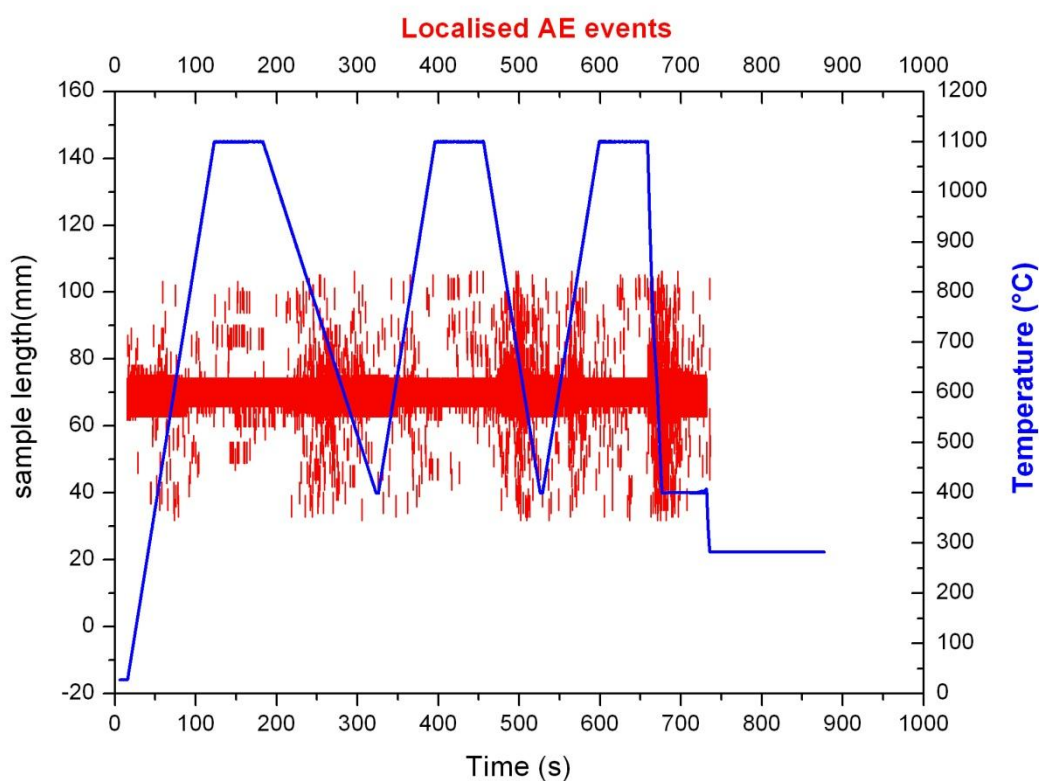
26. ábra

Miután már a hőmérséklet profil diagramjai elkészültek a következő lépésben az AED által lokalizált események jelei ráillesztésre kerültek a görbére azonos időfüggvény értékekkel.

Ahhoz, hogy ez kivitelezhető legyen meg kellett néznom a Gleeble és az AED mentési fájlok közti időfüggvény alapján definiált eltéréseket. Erre azért volt szükség, hogy a két

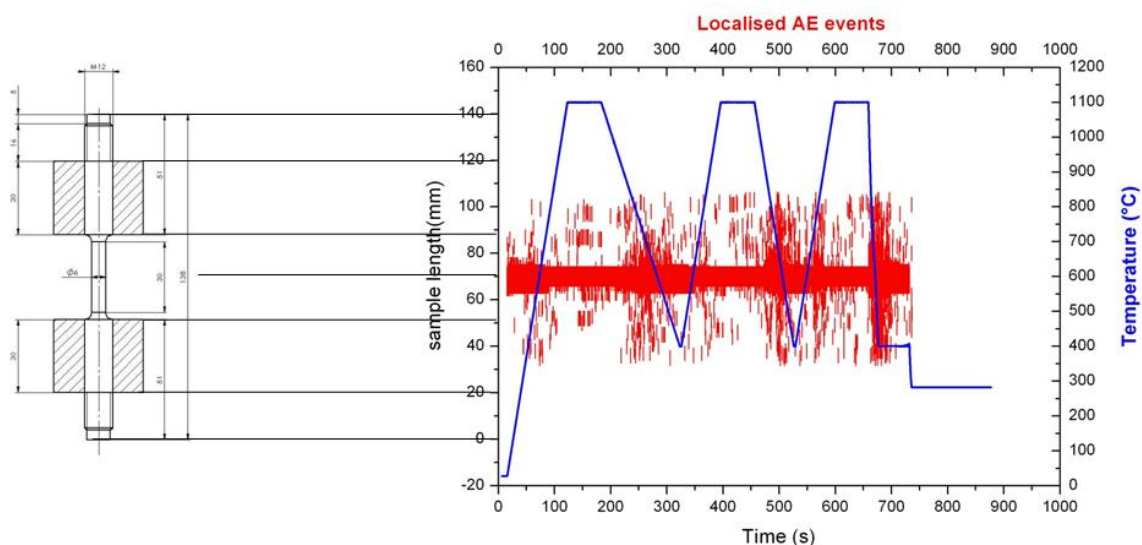
berendezés által mentett adatok kezdete és vége időben megegyezzenek és a lokalizált pontok a hőmérsékleti diagramokon valós értéket mutassanak. Miután sikerült meghatározni a két gép közötti mintavételezési időrést, mely pár másodperces volt az indításokból adódóan, ezt követően egy egyszerű matematikai képlet alapján kiszámoltattam a programmal a közös időtengelyt. A grafikon 4 db tengelyből tevődik össze. Az alsó és felső „X” tengelyen a már kiszámított közös idő (s) tengely látható. A jobb oldali „Y” tengely a hőmérsékletet, míg a bal oldali a mintadarab hosszát ábrázolja.

Mindezek után nem volt más hátra, mint kirajzoltatni grafikus formában az idő - lokalizált események – hőmérséklet diagramot (27. ábra).



27. ábra Time - lockx + Temp

A grafikus megjelenítést követően a 26. ábrán látható diagram típusokhoz hozzárendeltem az alkatrészek 2D-s geometriai ábrázolását, ettől kezdve a diagramon ábrázolt lokalizációs események jobban nyomon követhetők a mintadarabunkon (28. ábra).



28. ábra A munkarabon lokalizált események a Time - lockx + Temp függvényében (S235JRG2)

A TRIP és Cr-Mo ötvözetű acéloknál is hasonló kép társítottam a geometriai ábrát, melyek a 9. pontban, valamint a mellékletekben a későbbiek során megfigyelhető.

8. A mérési eredmények dokumentálása

A beállítások és mérési fájlok generálását követően, valamint a kiértékelés metódus meghatározása után megkezdhetjük a mintáink dokumentációját, jegyzőkönyvek elkészítését, melynek magában kell foglalnia az összes minta külön-külön egyedi paramétereit, mérési eredményeit.

A kiértékelések dokumentálása megtekinthető a mellékletben egy jegyzőkönyv bemutatásán keresztül (mellékletek 56- 66 oldal között).

9. A mérésekből levont következtetések

9.1. Alapvető tényállások

Az akusztikus emisszió megjelenése a szilárd fizikai testekben eltárolt energia felszabadulás közben rugalmas hullámként írható le. A fizikai testben eltárolt energia valamilyen fizikai hatás következtében felszabadul, a mi próbatestünk esetében jelentkeznek mechanikai és

termikus igénybevétel hatására lokalizálható akusztikus események. Szakirodalom szerint a fémeknél az akusztikus emissziós tevékenység $10^5 - 10^6$ Hz frekvenciatartományban jelentkezik. Az alapvető meghatározások a mi általunk vizsgált mintákon is észlelhetők, mivel a szimuláció során minden olyan feltétel teljesült, mely a fém szövetszerkezeti változását vagy egyéb átalakulását eredményezi. A változás feltételei a hőmérséklet, hőntartási idő, valamint a hevítési és hűtési sebesség.

A rugalmas hullámokat keltő akusztikus emissziós forrásokat általában négy csoportba sorolják:

- diszlokációs mozgások,
- fázisátalakulások,
- súrlódások, törések,
- repedés kialakulása és terjedése

A fémfizikai szemlélethez legközelebb a kiváltó mechanizmus szerinti csoportosítás áll. Eszerint az akusztikus emisszióknak lehetnek mikroszkópikus és makroszkópikus forrásai. A makroszkópikus források szerint az anyagszerkezeti kutatások végzői csoportosításai:

- képlékeny zóna növekedés repedés terjedés nélkül
- repedés növekedés
- törés
- fáradás
- korrózió
- feszültség-korrózió

A mikroszkópikus források szerinti osztályozást abban az esetben alkalmazzuk, ha az anyag szerkezeti változásait szeretnénk meghatározni:

- szemcsehatár mozgás
- krisztallit deformációja
- kiválások
- diszlokáció-keletkezés, vándorlás
- fázisátalakulások
- mikrotörések

A mintáinknál minden egyes lehetséges változás különböző frekvencia szinten lokalizálható, melyek az ábrákon megfigyelhetők. Ezeket az értékeket nagyban befolyásolják az ötvözők, valamint a hőmérsékletek. Így a pontos meghatározáshoz a fémeknek egy pontos kémiai összetételére van szükségünk, melyeket sajnos még nem sikerült megállapítani.

A diagramok megfigyelése során "Forrásként" kell kezelni néhány olyan jelenséget, amely ugyan nem akusztikus emisszió, de az általa produkált hangjelenség az akusztikus emissziós műszerekkel észlelhető. [18][19]

A méréseink esetén figyelembe kellett vennünk:

- súrlódás, dörzsölés,
- elektromos kisülés,
- Gleeble berendezés által gerjesztett hangok

9.2. Konklúzió a mért eredmények alapján

Az elmúlt évtizedekben a szerkezeti anyagok akusztikus emissziós vizsgálata során sikerült meghatározni azokat a körülményeket, melyek növelik az anyagban lokalizált jel amplitúdóját. A mi anyagainknál feltételezhetjük, hogy azért kaptunk magas amplitúdó jelet, mert az anyag nagy szilárdsággal, és durva szemcseszerkezettel rendelkezik. A TRIP acél esetében ez mindenképpen megállapítható.

A kis amplitúdó jelek pedig feltehetően a magas hőmérséklet, alacsony feszültségkoncentráció miatt figyelhetők meg.

A szilárd fizikai anyagok belsejében az akusztikus hullámok terjedhetnek longitudinális és/vagy transzverzális formában. A transzverzális hullámok csak szilárd anyagokban jelenhetnek meg, így mintáinkban ezek a hullámok észlelhetők. Ebben az esetben a közeg elemi a mozgási terjedési irányra merőlegesek. A transzverzális hullámok kialakulásának feltétele a nyírófeszültség.[20][21] Az S235JRG2-es anyagunknál a termikus fázisátalakítást követően szakítást végeztünk, tehát egyértelmű a transzverzális hullámok kialakulása.

9.2.1. Az S235JRG2-es mintánál meghatározott következtetésem

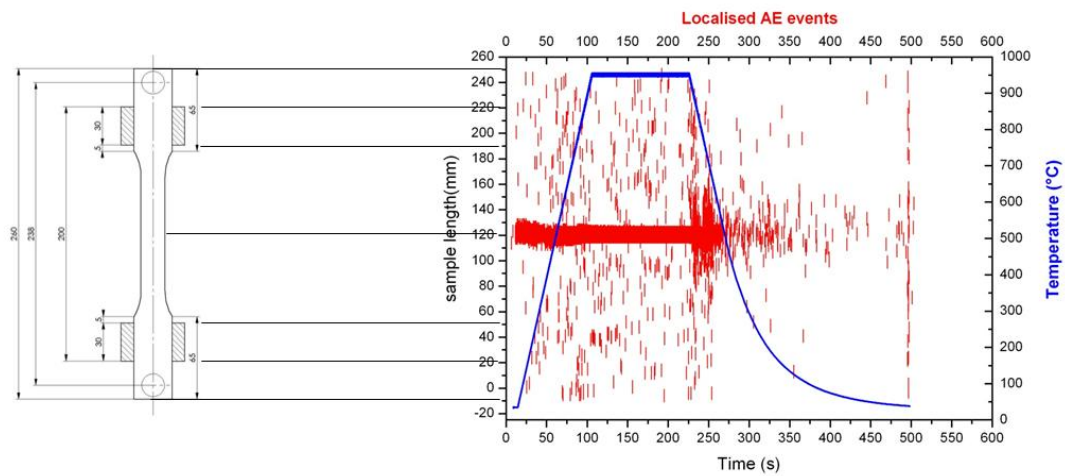
Amíg a terhelés hatására a szerkezet csak a rugalmassági határon belül alakváltozik, addig csak a rács deformálódik időlegesen, azaz a rácsban atommozgás, vándorlás nem történik, de mikroméreteken belül bekövetkezhet képlékeny alakváltozás, helyi deformáció. A leírt változások alapján lokalizált értékek jól megfigyelhetők 50-650 (s) közötti tartományban a 29. ábrán, mely a hőmérséklet profil és a minta hosszán meghatározott lokalizációs pontok függvényét határozza meg. A képlékeny alakváltozást gerjesztő külső feszültség hatására a diszlokációk felszaporodnak, a szemcséken belüli hibákon (oldott idegen atom, kiválás, más csúszósíkokban mozgó diszlokáció feszültségtér) és a szemcsehatárokon torlódhatnak. Amikor a terhelés eléri egy olyan szintet, hogy a szerkezeti anyag részlegesen megfolyik, képlékeny alakváltozást szenved, akkor a deformálódott zónában az atomelmozdulás diszlokációseregek vándorlásával zajlik.[22] A diszlokációknak mozgásuk során le kell győzniük a rács szabálytalanságait, idegen atomokat, kiválásokat. Ezeknek az akadályoknak a legyőzése során 100 kHz-800 kHz frekvencia sávba eső rugalmas hullámok keletkeznek. Az akadályokon megakadt diszlokációt az egyre növekvő külső feszültség végül letépi a diszlokációt rögzítő pontokról. Ilyenkor a diszlokáció közel hangsebességgel tud mozogni. A leírt változások, átalakulások lokalizációja szintén a 29. ábrán láthatóak, mégpedig 670-780 (s) között, mely 400 °C hőntartást, valamint a kontrakciós szakasz és a szakadásból tevődik össze. A hang a szilárd anyagokban egyenes vonalban állandó sebességgel terjed, és sebessége az anyag rugalmas jellemzőin kívül a hőmérséklettől és a nedvességtartalomtól függ, a frekvenciától nem.



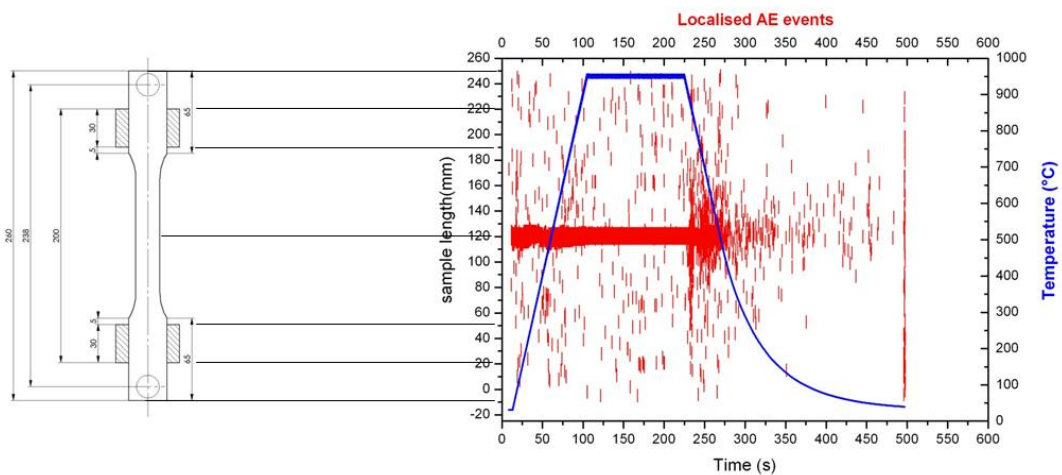
A 30,31,32. ábrákon jól megfigyelhető az acélok hő profiljánál a 10 °C/s sebességű hűtés közben, körülbelül 400-700 °C közötti hőmérséklet tartományban, valószínűsíthetőleg a szemcsehatárokon bekövetkező krómkarbidok kiválása. Az akusztikus aktivitás ezen kiválások hatásának tudható be a hűtési szakaszon. A hőmérsékleti tartomány feltételezhetően azért mutat eltérést a 3. fejezetben említett szakirodalomból vett értékektől (600-800°C), mert a hűtési sebességnek valamint az ötvözők %-os összetételének aránya nem egyezik meg.

Dunaújváros
Készítette: Danka Zsolt

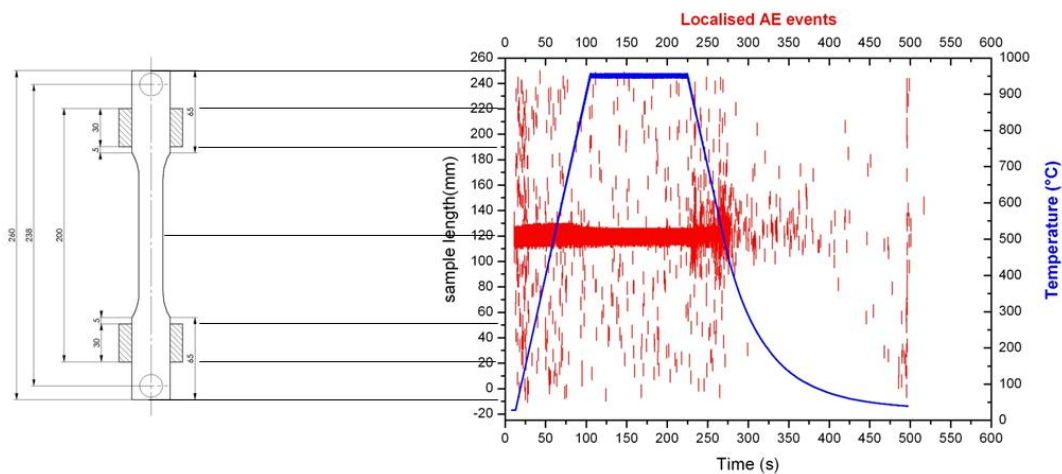
gép leállításból következnek. A megállapítások mind a három termikus lépcsőnél egyaránt megfigyelhetők.



30. ábra Time - lockx + Temp Cr-Mo ötvözött acél, 905-ös számú minta, első hevítési lépcső



31. ábra Time - lockx + Temp Cr-Mo ötvözött acél, 905-ös számú minta, második hevítési lépcső



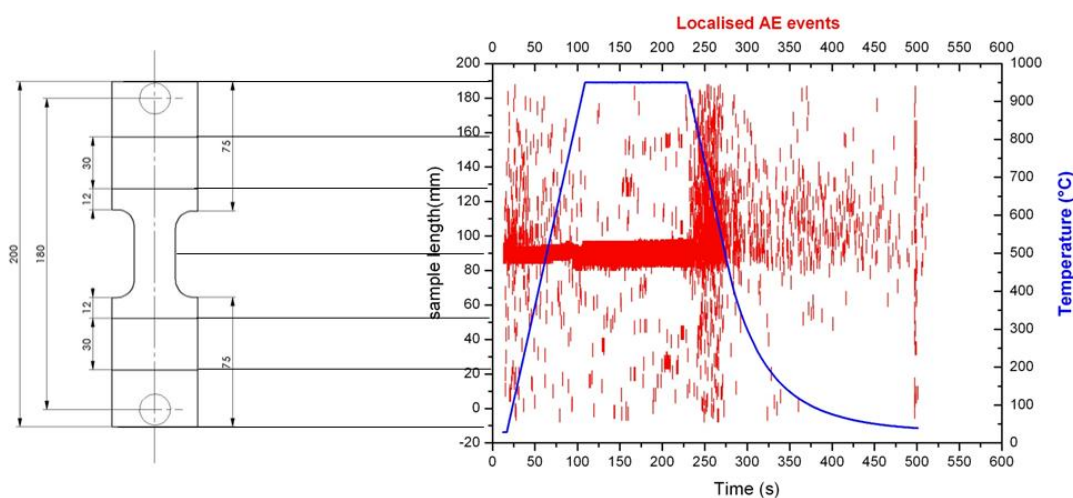
32. ábra Time - lockx + Temp Cr-Mo ötvözött acél, 905-ös számú minta, harmadik hevítési lépcső

Az Cr-Mo ötvözt acél valamint a TRIP acél mintánál hasonlóságot lehet megállapítani az anyagban lezajlott egyes változásokban. A TRIP és a Cr-Mo ötvözt acélnál a termikus igénybevétel (három lépcsős hőkezelés) hatására az anyagban megindulnak a rácstorzulások, átalakulási folyamatok, diszlokáció mozgások valamint repedések keletkeznek. Ezeket az átalakulásokat, változásokat lokalizáltuk.

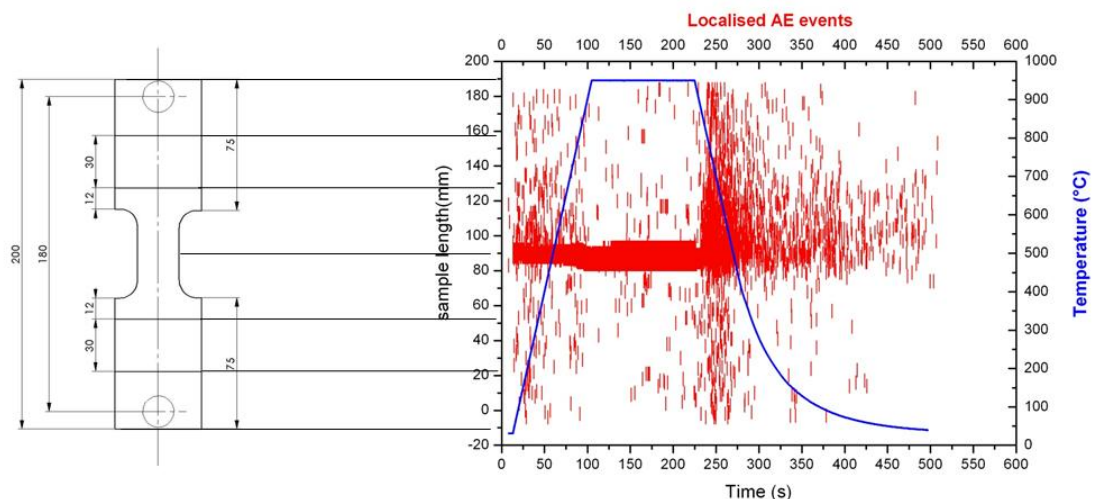
9.2.3. A TRIP acél mintánál meghatározott következtetések

Az TRIP acél mintánál a következő megállapításokra jutottam

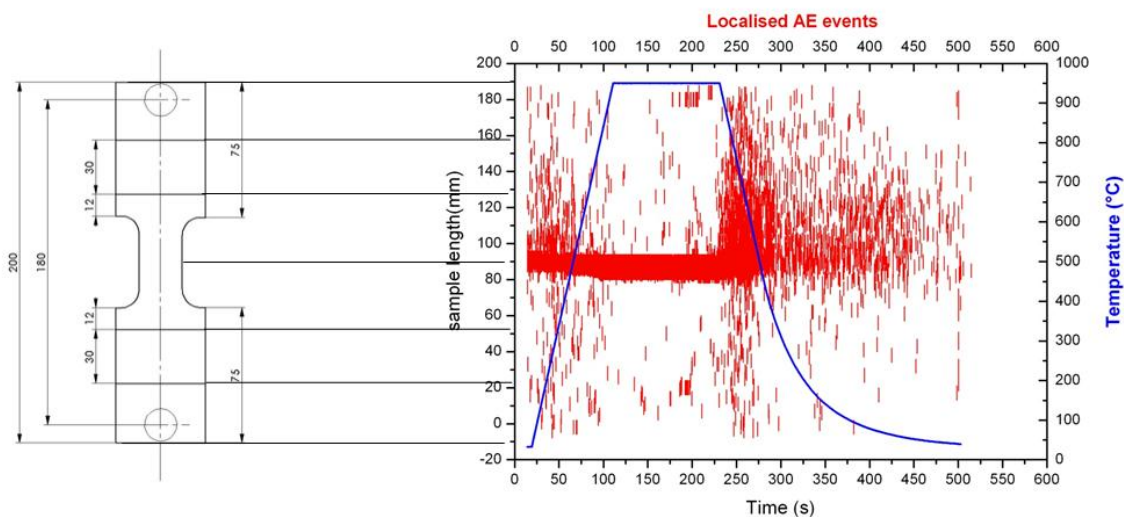
A diszlokációk mozgása, még ideális kristályrácsban is, nagyobb zavart okoz. A nem blokkolt diszlokáció extra félsíkjának a mozgás során a rácserőknek át kell kötniük, a diszlokáció egy periódikus potenciálon "bukdácsol", és közben rácsrezgéseket gerjeszt. A mozgó diszlokáció és a rácsrezgések közti csatolást nehéz számba venni. Az anyagban lejátszódó folyamatok megfigyelhetők a 33,34,35. ábrán.



33. ábra Time - lockx + Temp TRIP acél, 901-es számú minta, első hevítési lépcső



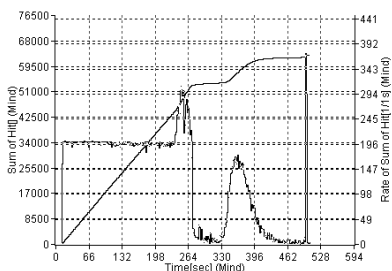
34. ábra Time - lockx + Temp TRIP acél, 901-es számú minta, második hevítési lépéső



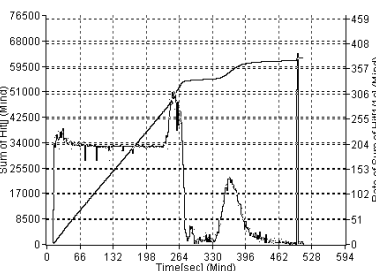
35. ábra Time - lockx + Temp TRIP acél, 901-es számú minta, harmadik hevítési lépéső

Terhelés hatására szilárd testek akusztikusan aktívvá válnak. Minél többször ismételjük meg ugyanazon igénybevételű terhelést az anyagon, annál kevésbé érzékelhető az akusztikus aktivitás [23]. A három lépcsős termikus igénybevétel hatására az anyag elhalkul, elcsendesedik. Ez jól megfigyelhető mindkét anyag esetében. Az Idő-sum of hit-rate of hit diagramokon jól látható, hogy az igénybevétel végén a 330s- 400s közötti szakaszon, ahol az anyag már szabad levegőn hűl (36. ábra), akusztikus aktivitás jelenik meg, mely úgynevezett „pukli” szerűen rajzolódik ki. Ugyanazon igénybevétel másodszori megismétlését követően (37. ábra) az anyagon ugyanazon aktivitás jelenik meg, de már sokkal kisebb mértékben. A harmadszori megismétlést követően szintén megfigyelhető hogy az anyag még csendesebb (38. ábra) mint az előző két esetben. Tehát bizonyosságot nyert az a megállapítás hogy az anyag többszöri terhelés hatására elhalkul az anyagon az akusztikus aktivitás.

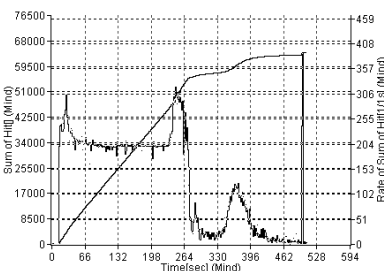
TRIP acél Idő-sum of hit-rate of hit függvénydiagramjai láthatóak (901-es minta):



36. ábra Első hevítési lépcső



37. ábra Második hevítési lépcső



38. ábra Harmadik hevítési lépcső

Az előzőekben taglalt megállapítást (az anyag többszöri terhelés hatására elhalkul) alátámasztja az Idő-sum of Event függvényben lokalizált események számai is, ugyanis a 39. ábrán látható táblázatban foglaltak egyértelműen kimutatják az anyagban lokalizált események számának csökkenését.

Hevítési lépcsők	Lokalizált események (db)
Első:	23506
Második:	23358
Harmadik:	23047

39. ábra 901-es minta, Event-ek

Az anyag halkulása szintén megfigyelhető azonos terhelés hatására a Cr-Mo ötvözetű acél esetében is, melyet a 40. ábrán látható táblázat jól szemléltet.

Hevítési lépcsők	Lokalizált események (db)
Első:	15853
Második:	15347
Harmadik:	14663

40. ábra 905-ös minta, Event-ek

Továbbá megállapítottam a két táblázat alapján, hogy a lokalizált események mennyisége a TRIP acél esetében sokkal kiemelkedőbb mindhárom hevítési lépcsőt tekintve, tehát aktívabb a termikus fárasztó igénybevétel hatására. Ezt a tényt megerősíti a mellékletben található TRIP acél (194,195,196.ábra) és Cr-Mo ötvözött acél (113,114,115.ábra) 3D-s Amplitúdó-time-Lockx diagramjainak összehasonlítása, ahol szemmel látható a TRIP acélon keletkező események számának kimagasló különbsége.

A méréseink során zavaró jelenséggént a reveképződés illetve a kihűléskor a reve pattogás jelentkezik, ami mérés technikai szempontból nem okoz problémát ugyanis a hőfeszültségből kialakuló repedések AE értékei messzemenően túlhaladják az előbb említett zajok értékeit.

A mellékletekben megfigyelhető, hogy a fentiekben már korábban meghatározott megállapítások anyagonként megegyeznek a következők minták szerint:

	S235JRG2	Cr-Mo	TRIP
Minta	503	904	801
Minta	504	905	901

10. Összefoglalás

Tehát mindent összefoglalva a az anyagban létrejövő változásokat sikerült lokalizálnunk. További kutatást igényel az egyes változások, átalakulások lokalizált tartományának meghatározása, pontosítása, valamint a mérési eredmények kiértékelése és az egyes diagramokon látható események keletkezésének meghatározása.

Meg kell említeni, hogy a három anyag termikus terhelése során nem figyelhető meg a Kaiser effektus. Ez a hőmérséklet profil hűtési szakaszának tudható be, mivel a hűtési szakaszban az anyag szövetszerkezete visszalakul, így az ugyanazon termikus terhelés ismétlésének hatására az anyag újból akusztikussan aktívvá válik. Ennek ellenére az akusztikus aktivitás az ismételt terhelés hatására halkul, mivel a szövetszerkezet nem tud oly mértékben alakulni a további terhelések során.

11. Irodalom jegyzék

- [1] Geréb János, Székely György, Tábori János: **Műszaki leírás és használati útmutató**, Budapest, 2010 pp. 4
- [2] Geréb János, Székely György, Tábori János op. cit. pp. 6-8
- [3] Szűcs Pál: **Az akusztikus emisszió mint szilárdfizikai jelenség és mint roncsolásmentes anyagvizsgálati módszer**, 11-12
- [4] http://www.rumtesting.hu/v_akusztikus.html [2012.09.21.]
- [5] Szűcs Pál op. cit. pp. 5
- [6] http://www.rumtesting.hu/v_akusztikus.html [2012.09.22.]
- [7] Gulyás József, Baross Botond: **TRIP acélok tulajdonságainak vizsgálata**, Miskolc, 2005 pp. 37-39
- [8] Magyar Szabványügyi Testület: **Acélok és öntött vasak**, Budapest, 2005 p. 198
- [9] Geréb János, Székely György, Tábori János op. cit. pp. 16
- [10] Geréb János, Székely György, Tábori János op. cit. pp. 21
- [11] Geréb János, Székely György, Tábori János op. cit. pp. 22
- [12] Geréb János, Székely György, Tábori János op. cit. pp. 24
- [13] Geréb János, Székely György, Tábori János op. cit. pp. 26
- [14] Geréb János, Székely György, Tábori János op. cit. pp. 28
- [15] Geréb János, Székely György, Tábori János op. cit. pp. 41
- [16] Geréb János, Székely György, Tábori János op. cit. pp. 37
- [17] Geréb János, Székely György, Tábori János op. cit. pp. 38
- [18] Dr. Pellionisz Péter: **Akusztikus emissziós anyag és szerkezetvizsgálat**, Budapest, 1992 pp. 2-3
- [19] Kannár Antal: **Az akusztikus kísérleti technikai alkalmazhatóságának vizsgálata a fa anyagok mechanikai tulajdonságainak megítélésére**, 2004 p. 5-7
- [20] Dr. Pellionisz Péter op. cit. pp. 50
- [21] Dr. Bányénszki Gyula: **Anyagismeret** (előadás anyag), 49
- [22] Dr. Szabó Mihály: **Szerkezeti anyagok**, 2008
- [23] Dr. Pellionisz Péter op. cit. pp. 12

12. Mellékletek

12.1. Egy teljes jegyzőkönyv bemutatása

VIZSGÁLATI JEGYZŐKÖNYV

„Trip” acél próbatest háromszor megismételt hevítési és hőntartási vizsgálata akusztikus emisszióval

VIZSGÁLAT TÁRGYA

- Vizsgálati tárgy leírása: Egyedileg gyártott „TRIP” acél próbatest
- Megnevezése: „TRIP” acél próbatest
- Egyedi azonosítója: GL12030801
- AED fájl: GL12030801_01.mes
GL12030801_02.mes
GL12030801_03.mes
- AED beállítás fájl: Fűtés_sorozat_3.adj
- Gleeble fájl: hevítés1.d05
hevítés1.d06
hevítés1.d07
- Anyaga: „trip” acél
- Használatának módja, leírása: hevítési kísérletre gyártott próbatest
- Az előzőleg elért maximális terhelések értéke és ideje: nem volt terhelve
- Lehetséges zajforrások és zavaró tényezők: a Gleeble berendezés működéséből származó zajok (elektronikus zajok, fűtés, mechanikus zajok)
- Esetlegesen az előző vizsgálatok eredményei: nem volt
- A korábban felderített hibák típusa, mérete, helye: nem volt

ÁLTALÁNOS ADATOK

A megrendelő adatai

- Cég neve: Dunaújvárosi Főiskola, műszaki intézet
- Cég címe: Dunaújváros, Táncsics M. u. 1/A

- Képviselő neve: Valenta László
- Képviselő elérhetősége:
- A szerződés adatai: belső munka, nincsen szerződés

Vizsgálat adatai

- Vizsgálat helye: Dunaújvárosi Főiskola, M épület, gleeble laboratórium
- Időpontja: 2012.03.30.
- Vizsgáló neve:
Dospod László Danka Zsolt
- Vizsgáló beosztása:
Anyagvizsgáló vezetőmérnök Demonstrátor
- Vizsgáló minősítése:
AT2 Hallgató

Hivatkozott dokumentumok

- Vizsgálati szabvány
- Munkautasítás
- Munkanapló
- Vizsgálati utasítás
- Vizsgálati feljegyzés

A vizsgálóegység leírása

- Vizsgáló berendezés: AED-40, Sn.: 09-0196
- Vizsgáló kábel: Belden-1865A BNC kábel
- Érzékelők (gyártó, típus, rezonancia frekvenciával, érzékenységgel együtt)

Sorszám	Gyártó	Típus	Frekvencia	Érzékenység
05		A-15AM	150 khz	90
06		A-15AM	150 khz	90

Mérőláncok

Érzékelő	Erősítő	Kábel	Csatorna
05	17	13	1
06	18	14	2

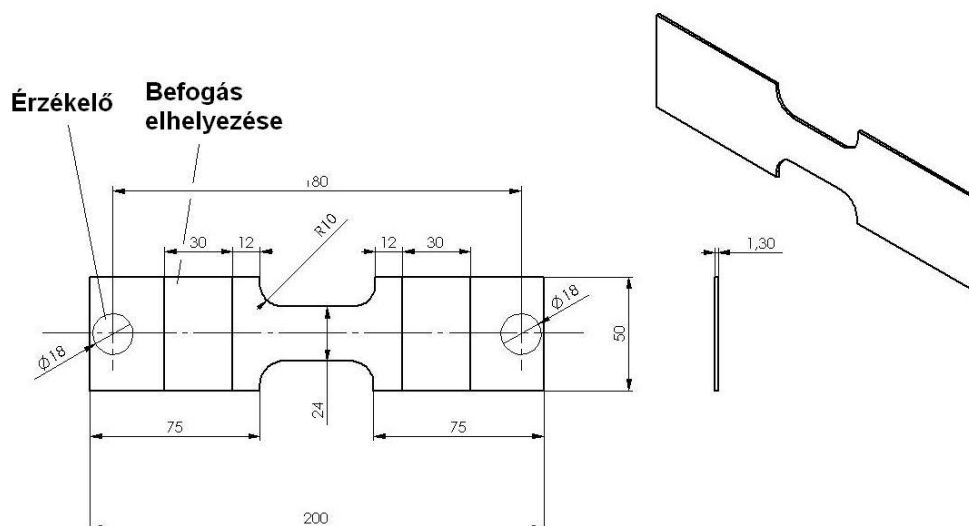
VIZSGÁLAT CÉLJA, TERJEDELME

A vizsgálat célja a „trip” acél akusztikus viselkedésének megfigyelése hevítés hatására, és annak összehasonlítása más típusú acélok akusztikus viselkedésével.

VIZSGÁLATI ADATOK

A vizsgálati helyszín körülményei

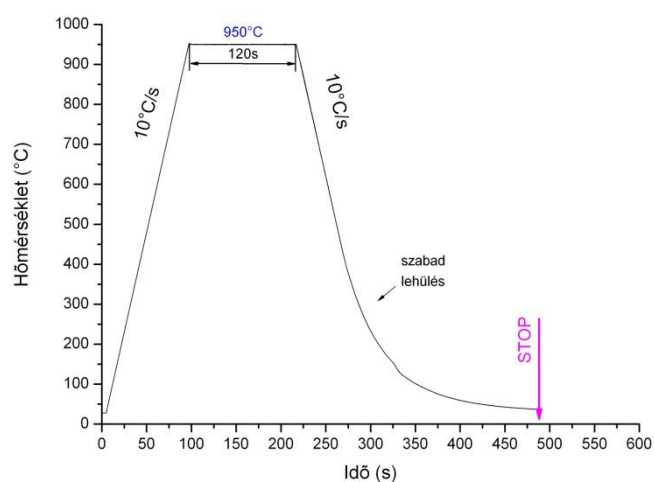
- Hőmérséklet: szobahőmérséklet
- Zajterhelés: elenyésző
- Fényterhelés: nincs
- Balesetvédelmi előírások:
 - o a gleeble berendezés működése közben az alkatrészen nagy erősségű áram folyik át
 - o az áram segítségével fűtjük fel a vizsgálati darabot 950°C-ra
 - o az előzőek miatt vizsgálat közben az alkatrész megközelítése, érintése tilos és életveszélyes
- A vizsgált alkatrész rajza és az érzékelők pozíciója:



A szenzorok helyszíni érzékenység-beállításának eredményei

- A szenzorok érzékenységét az automatikus zajszint mérésével állítottuk be, a detektálási küszöbszint (threshold) lebegő típusú, 43dB
- Az erősítők logaritmikus üzemmódra voltak állítva

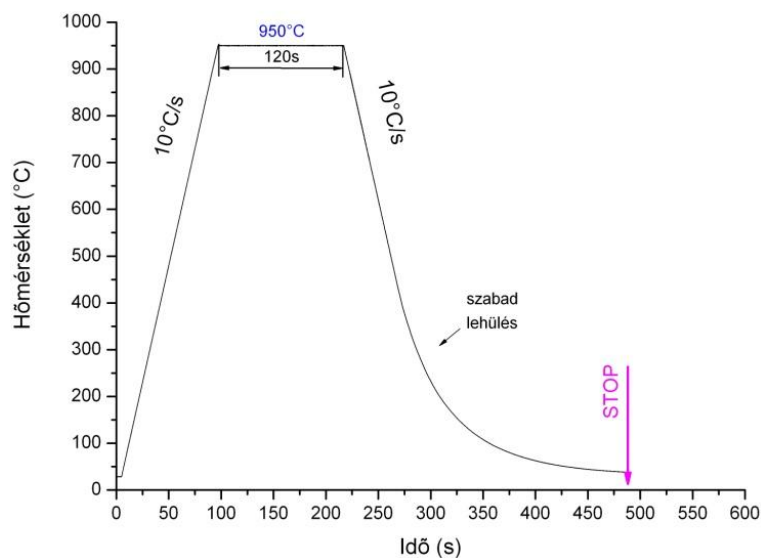
A megvalósított terhelési folyamat



41. ábra: első hevítési lépcső (hevítés1.d05)

Időpontja és hőmérséklete a jellegzetes pontoknak:

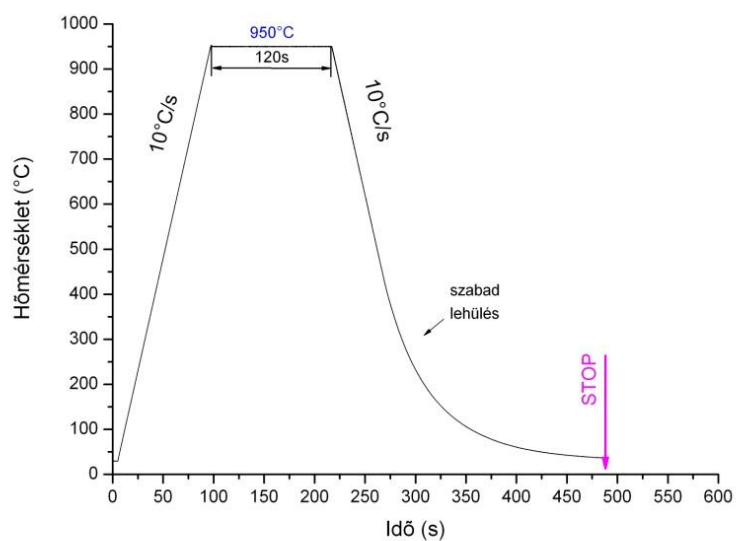
Fűtés kezdete:	5 s	30 °C
Hőn tartás kezdete:	100 s	950 °C
Hőn tartás vége:	220 s	950 °C
A berendezés leállítása:	489 s	36,5 °C



42. ábra: második hevítési lépcső (hevítés1.d06)

Időpontja és hőmérséklete a jellegzetes pontoknak:

Fűtés kezdete:	5 s	30 °C
Hőn tartás kezdete:	100 s	950 °C
Hőn tartás vége:	220 s	950 °C
A berendezés leállítása:	489s	37,5 °C



43. ábra: harmadik hevítési lépcső (hevítés1.d07)

Időpontja és hőmérséklete a jellegzetes pontoknak:

Fűtés kezdete:	5 s	30 °C
Hőn tartás kezdete:	100 s	950 °C
Hőn tartás vége:	220 s	950 °C
A berendezés leállítása:	489 s	36 °C

A végzett analízis

- A vizsgálat közben nem történt előre rögzített feltételek szerinti analízis

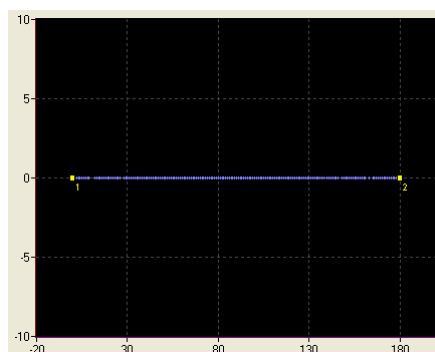
A vizsgálati eredmények

- a detektált források helye: a vizsgálat során lokalizált közel egyenletesen fedik le az érzékelők közötti területet. A detektált események száma:

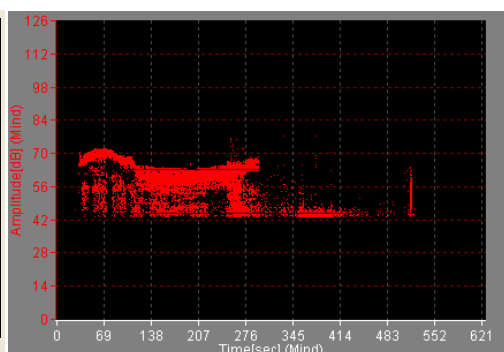
Első hevítési:	22985
Második hevítési:	22603
Harmadik hevítési:	23548

- a források értékelése: a vizsgálat kísérleti jellegű, az adott anyag akusztikus viselkedését tanulmányozzuk, emiatt a forrásokat nem értékeljük

Első hevítési lépcső diagramjai (GL12030801_01)



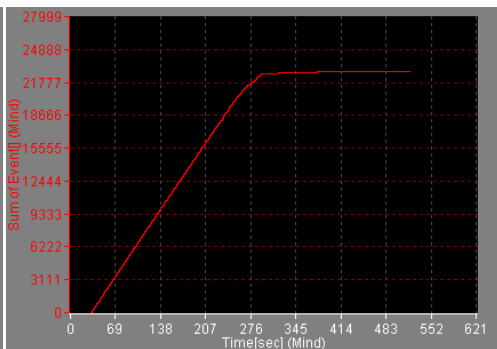
44. ábra: Hibatérkép



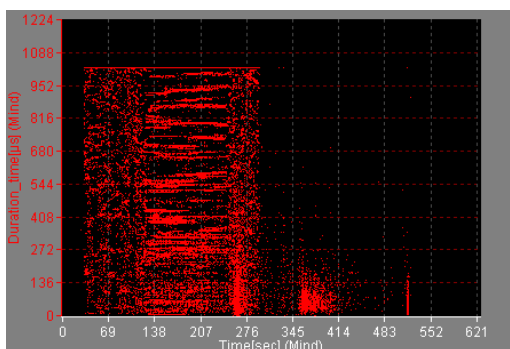
45. ábra: Idő-amplitúdó (pont)



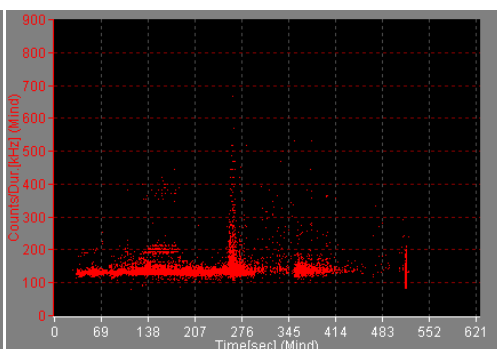
46. ábra: Idő-sum of hit-rate of hit (lépcső)



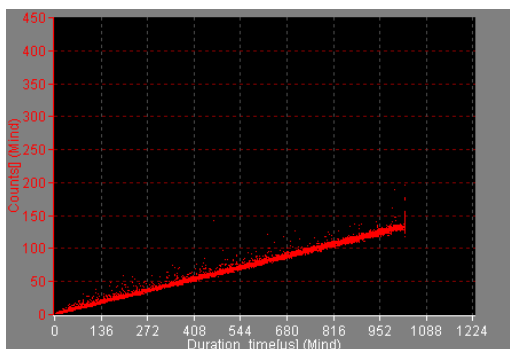
47. ábra: Idő-sum of event (lépcső)



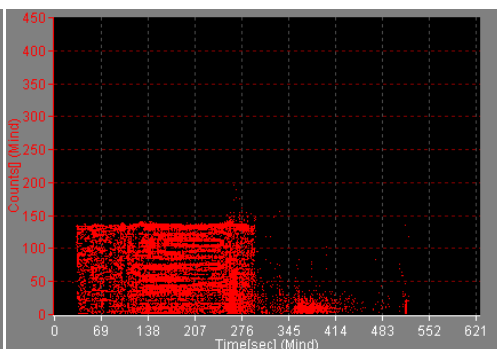
48. ábra: Idő-duration (vonat, vagy pont)



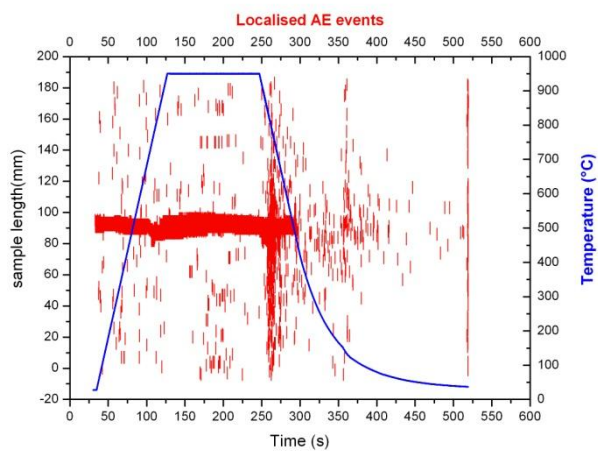
49. ábra: Idő-duration/counts (pont)



50. ábra: Duration-counts (pont)



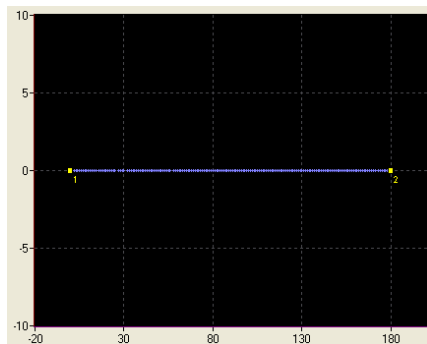
51. ábra: Idő-counts (pont)



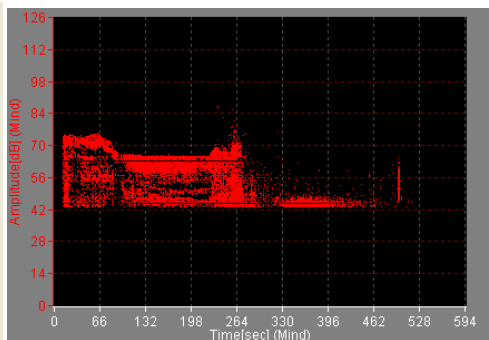
52. ábra: Time-locx+temp

A mérés elvégzésekor a két mért érték közötti idő eltolódás 30 s. A diagramban ez nem észlelhető, mivel a mérési értékek azonos kezdőpontra lettek beállítva a diagram készítése során.

Második hevítési lépcső diagramjai (GL12030801_02)



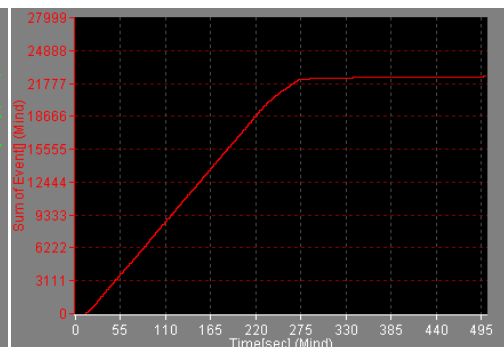
53. ábra: Hibatérkép



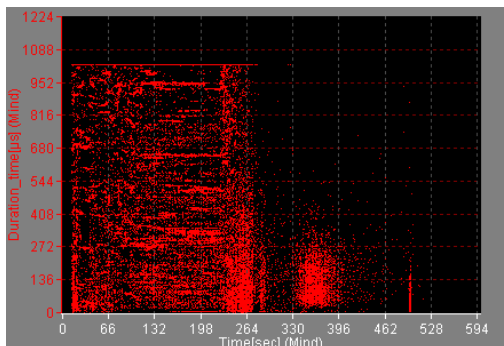
54. ábra: Idő-amplitúdó (pont)



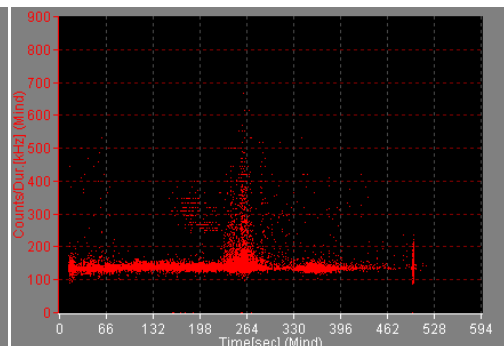
55. ábra: Idő-sum of hit-rate of hit (lépcső)



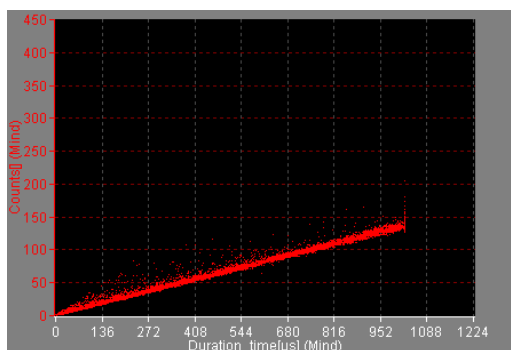
56. ábra: Idő-sum of event (lépcső)



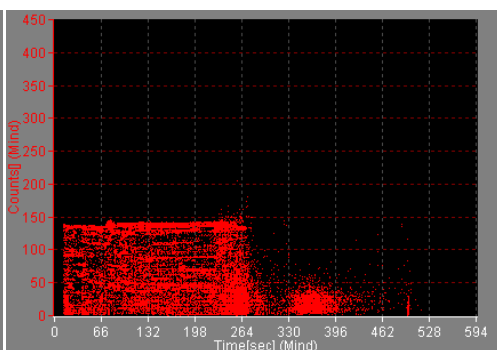
57. ábra: Idő-duration (vonat, vagy pont)



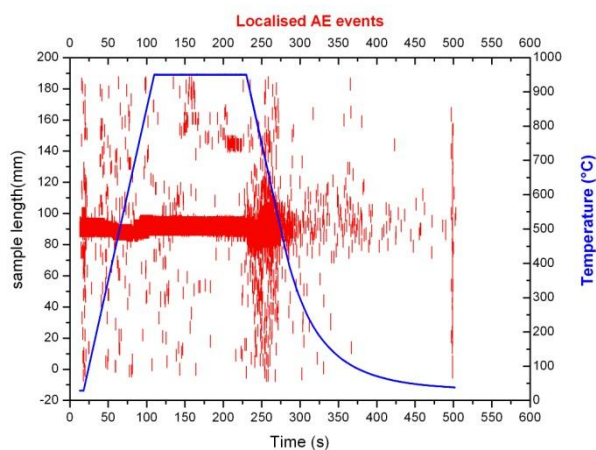
58. ábra: Idő-duration/counts (pont)



59. ábra: Duration-counts (pont)



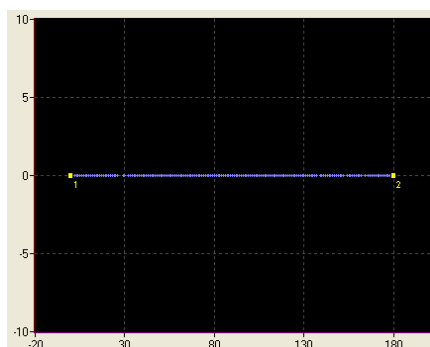
60. ábra: Idő-counts (pont)



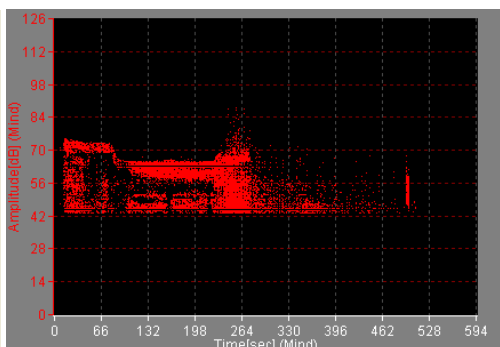
61. ábra: Time-locx+temp

A mérés elvégzésekor a két mért érték közötti idő eltolódás 13 s. A diagramban ez nem észlelhető, mivel a mérési értékek azonos kezdőpontra lettek beállítva a diagram készítése során.

Harmadik hevítési lépcső diagramjai (GL12030801_03)



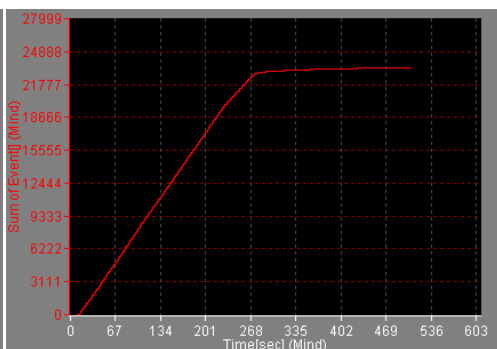
62. ábra: Hibatérkép



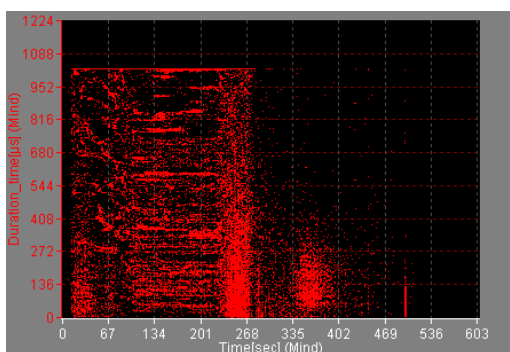
63. ábra: Idő-amplitúdó (pont)



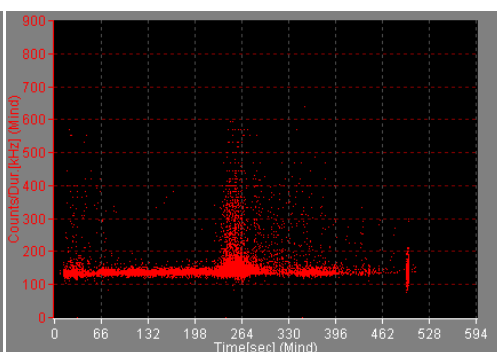
64. ábra: Idő-sum of hit-rate of hit (lépcső)



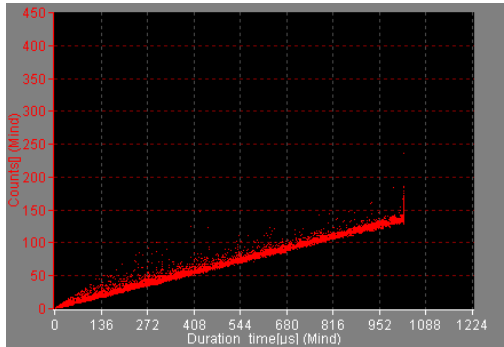
65. ábra: Idő-sum of event (lépcső)



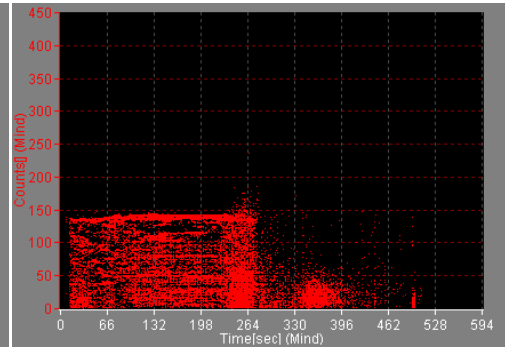
66. ábra: Idő-duration (vonat, vagy pont)



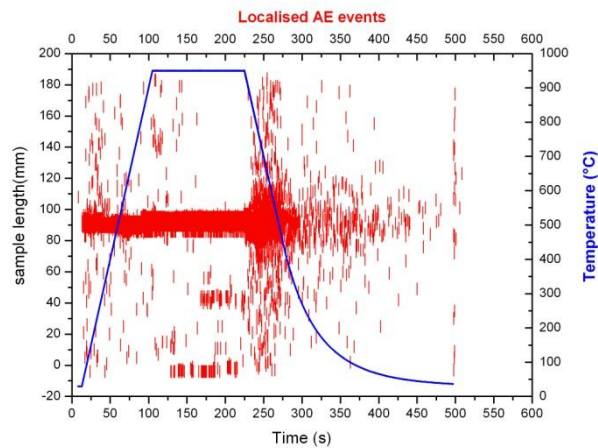
67. ábra: Idő-duration/counts (pont)



68. ábra: Duration-counts (pont)



69. ábra: Idő-counts (pont)



70. ábra: Time-locx+temp

A mérés elvégzésekor a két mért érték közötti idő eltolódás 8 s. A diagramban ez nem észlelhető, mivel a mérési értékek azonos kezdőpontra lettek beállítva a diagram készítése során.

VIZSGÁLAT ÉRTÉKELÉSE

A vizsgálatból levonható következtetések, a munkadarab értékelése, minősítése, stb.

A vizsgálati utasítástól való esetleges eltérések

VÉLEMÉNY ÉS ÉRTELMEZÉS

Ez a pont törlendő, ha a jegyzőkönyvbe vélemény és értelmezést felvenni nem feladat.

Dunaújváros, 2012.04.13.

.....
Doszpod László
Anyagvizsgáló vezetőmérnök
Készítette

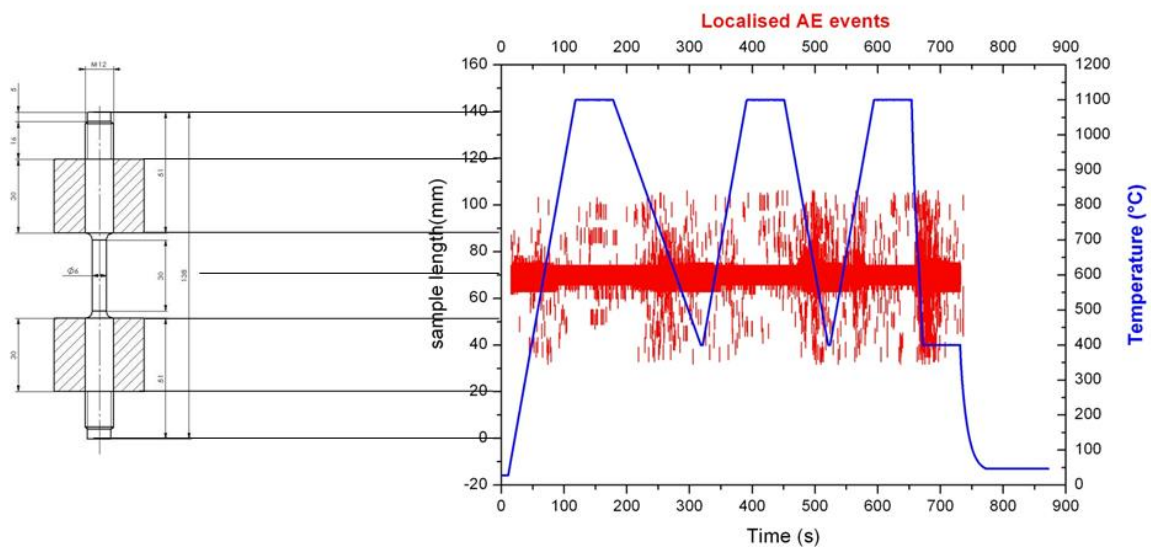
.....
Dr. Pór Gábor
Laboratóriumvezető
Jóváhagyta

12.2. Diagramok

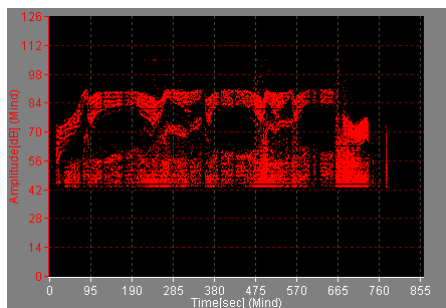
11.2.1. S235JRG2-es acél

S235JRG2 típusú acél próbatest háromlépcsős hőkezelése és szakítóvizsgálata akusztikus emisszióval:

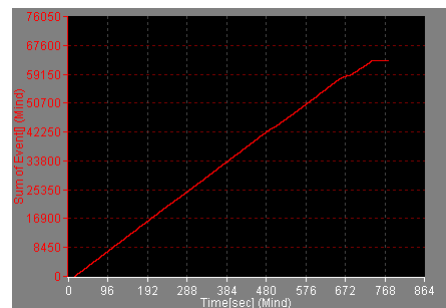
503-as anyag:



71. ábra Time-lockx+Temp



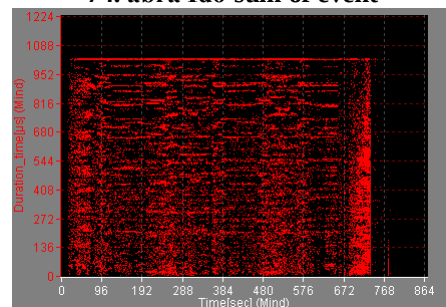
72. ábra Idő-amplitúdó



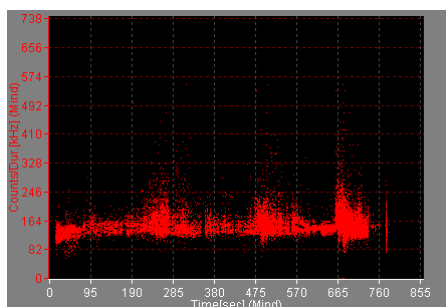
74. ábra Idő-sum of event



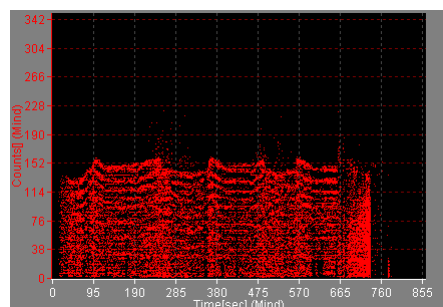
73. ábra Idő-sum of hit-rate of hit



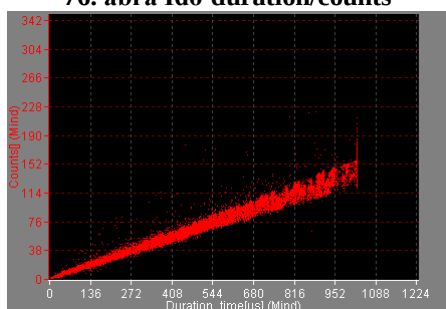
75. ábra Idő-duration



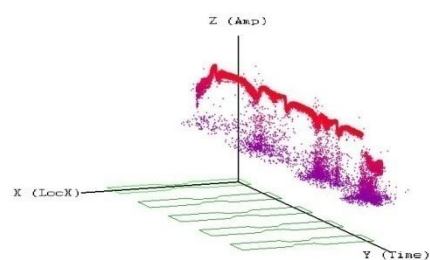
76. ábra Idő-duration/counts



78. ábra Idő-counts

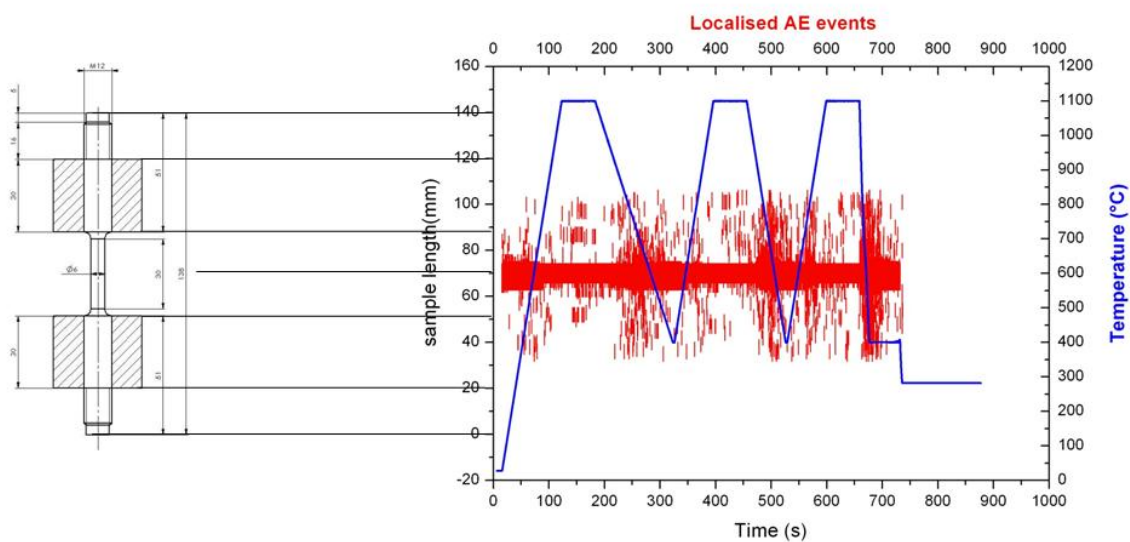


77. ábra Duration-counts

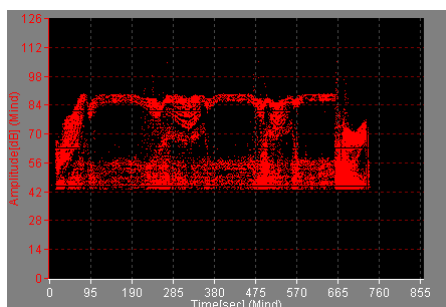


79. ábra Amplitúdó-time-Lockx

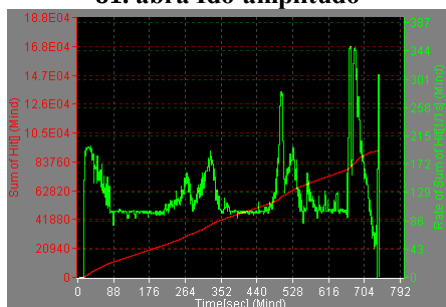
504-es anyag:



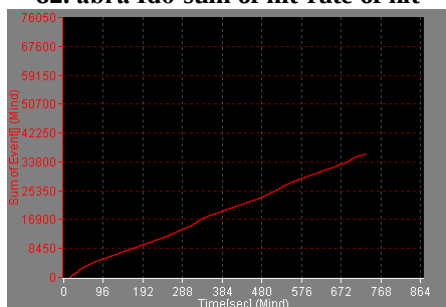
80. ábra Time-lockx+Temp



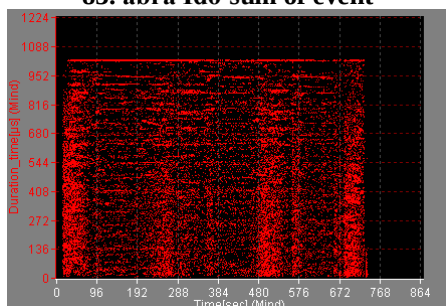
81. ábra Idő-amplitúdó



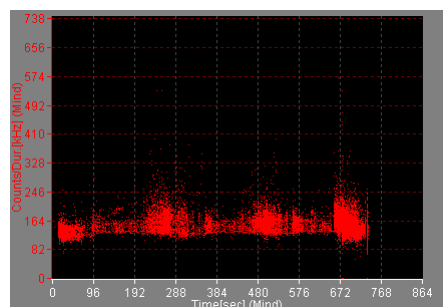
82. ábra Idő-sum of hit-rate of hit



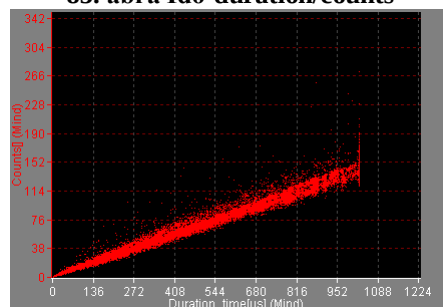
83. ábra Idő-sum of event



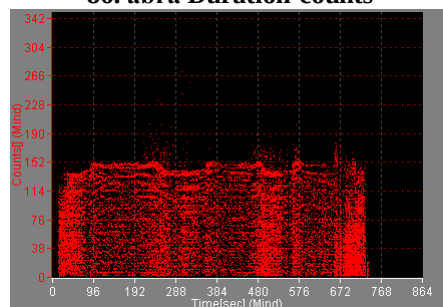
84. ábra Idő-duration



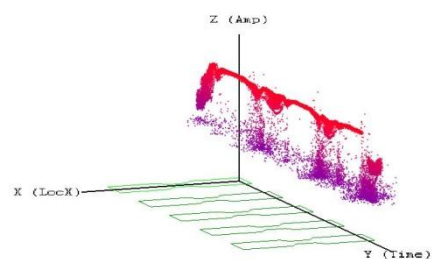
85. ábra Idő-duration/counts



86. ábra Duration-counts



87. ábra Idő-counts

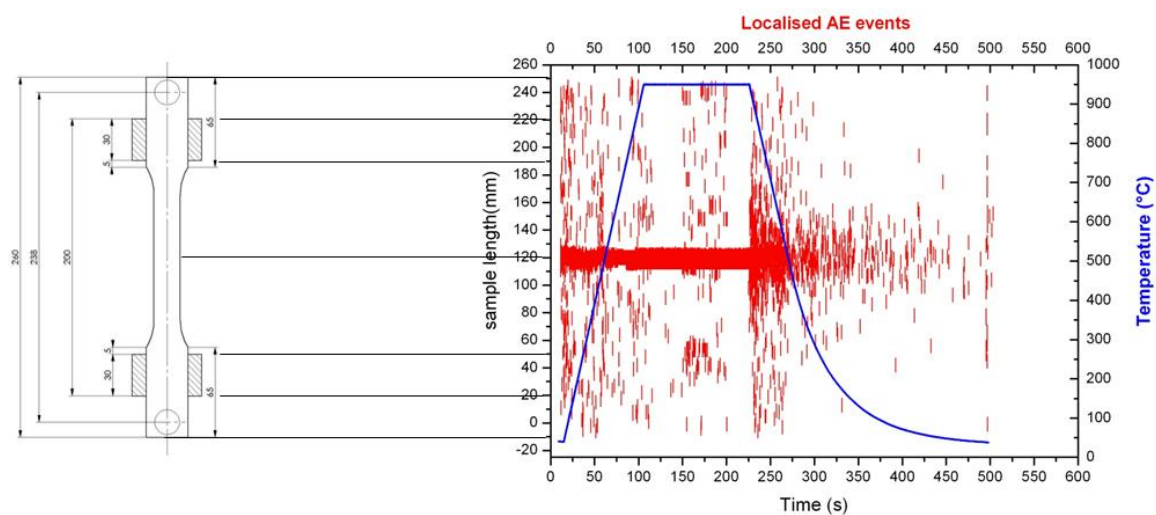


88. ábra Amplitúdó-time-Lockx

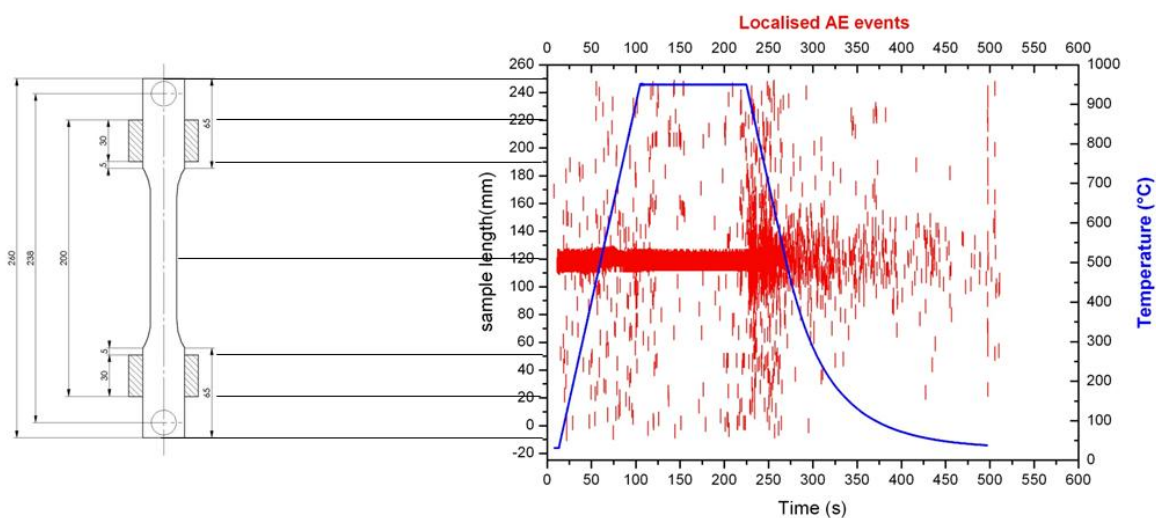
11.2.2. Cr-Mo ötvözetű acél

Cr-Mo ötvözött acél típusú próbatest háromlépcsős hőkezelése akusztikus emisszióval:

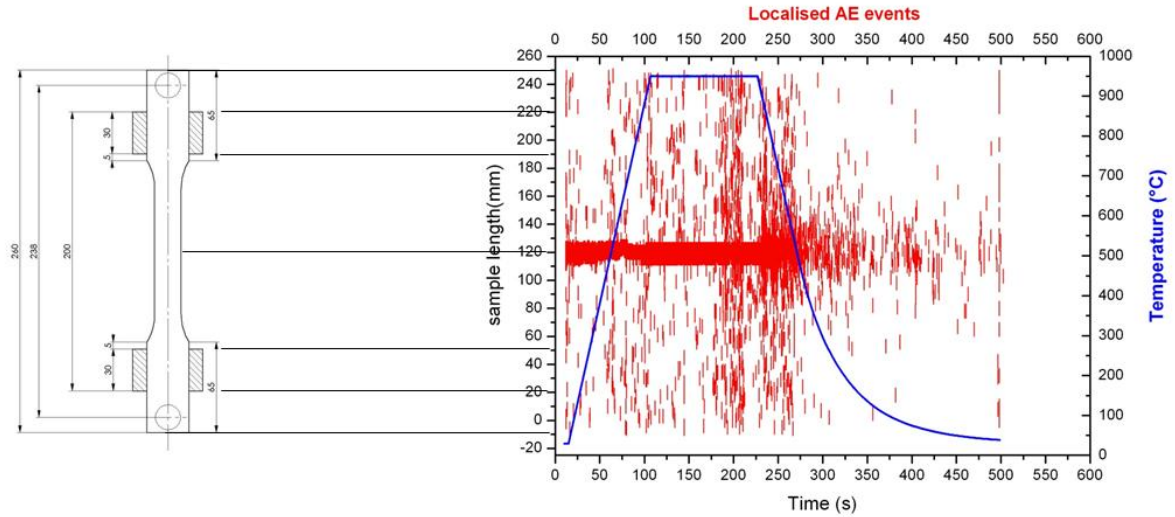
904-es anyag:



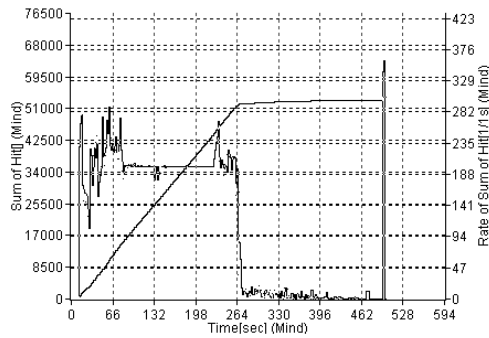
89. ábra Time-lockx+Temp 1. lépcső



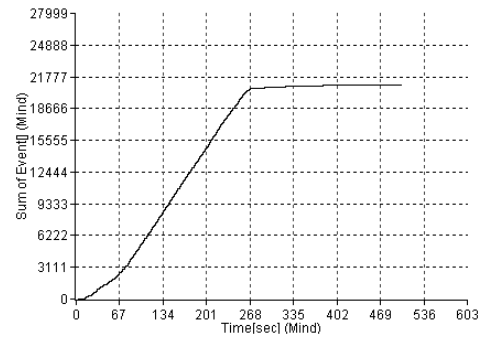
90. ábra Time-lockx+Temp 2. lépcső



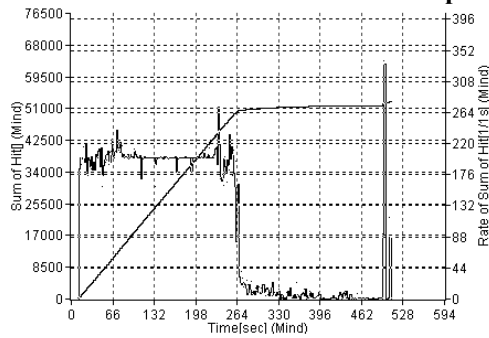
91. ábra Time-lockx+Temp 3. lépcső



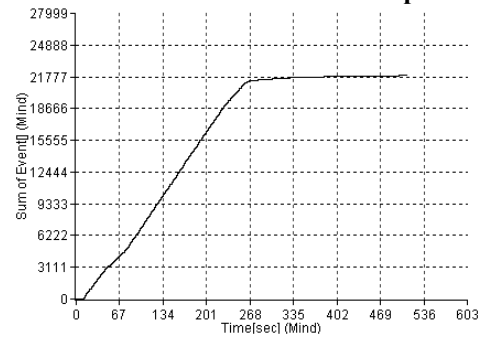
92. ábra Idő-sum of hit-rate of hit 1. lépcső



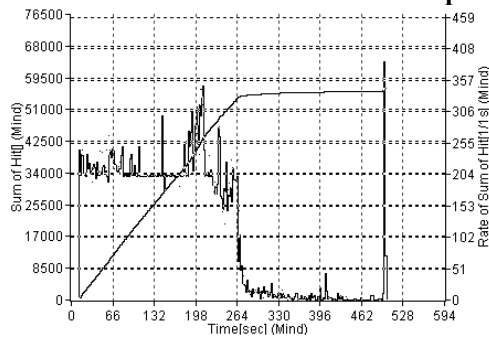
95. ábra Idő-sum of event 1. lépcső



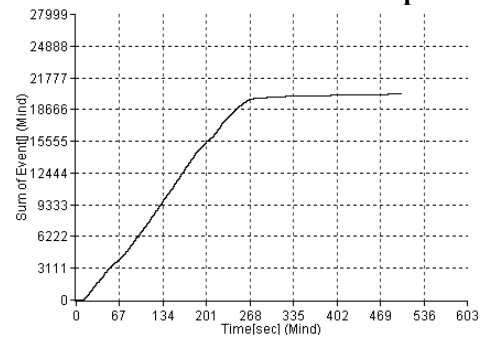
93. ábra Idő-sum of hit-rate of hit 2. lépcső



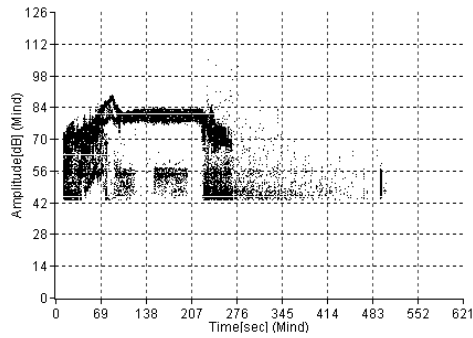
96. ábra Idő-sum of event 2. lépcső



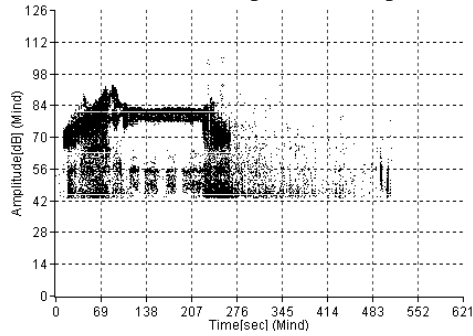
94. ábra Idő-sum of hit-rate of hit 3. lépcső



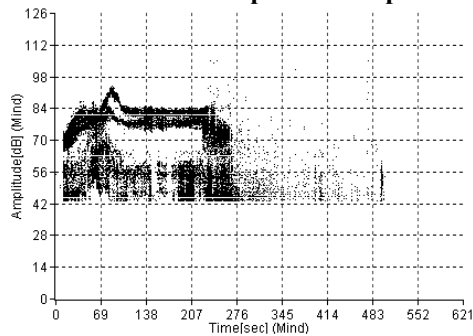
97. ábra Idő-sum of event 3. lépcső



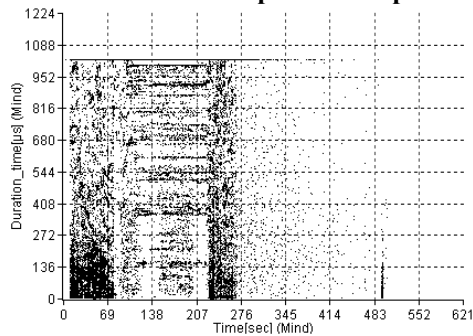
98. ábra Idő-amplitúdó 1. lépcső



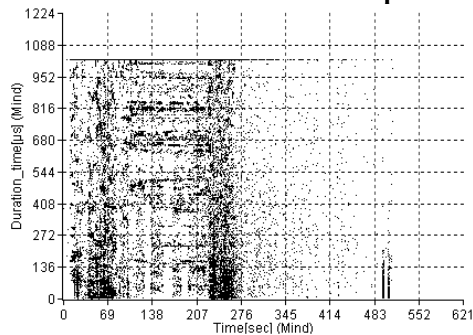
99. ábra Idő-amplitúdó 2. lépcső



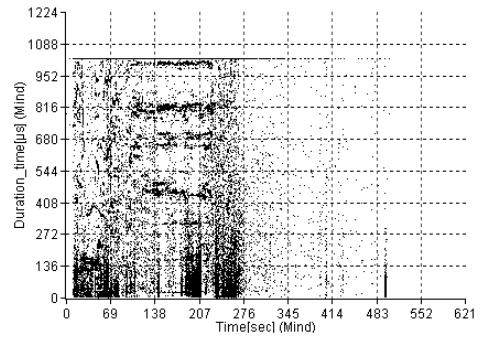
100. ábra Idő-amplitúdó 3. lépcső



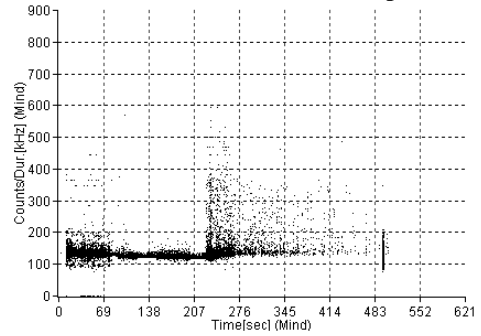
101. ábra Idő-duration 1. lépcső



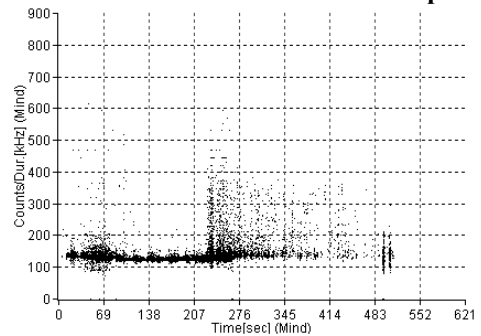
102. ábra Idő-duration 2. lépcső



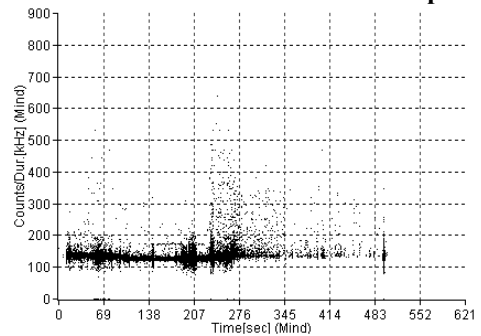
103. ábra Idő-duration 3. lépcső



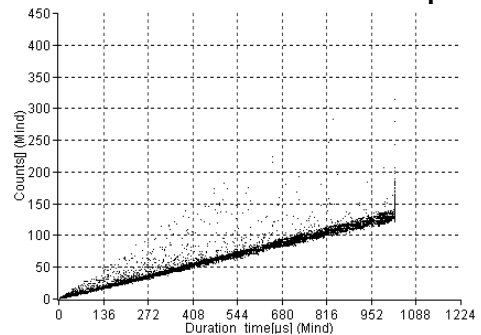
104. ábra Idő-duration/counts 1. lépcső



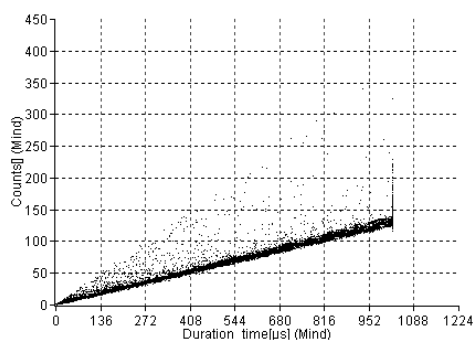
105. ábra Idő-duration/counts 2. lépcső



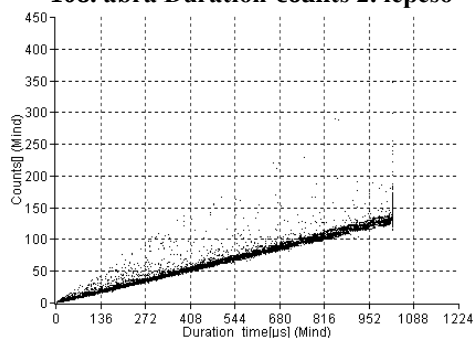
106. ábra Idő-duration/counts 3. lépcső



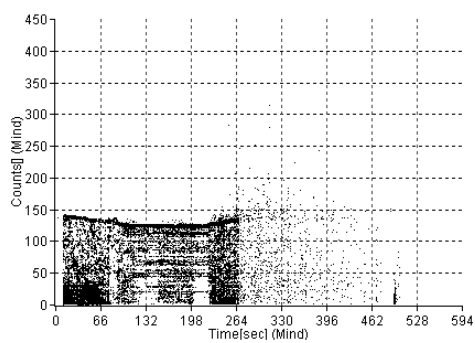
107. ábra Duration-counts 1. lépcső



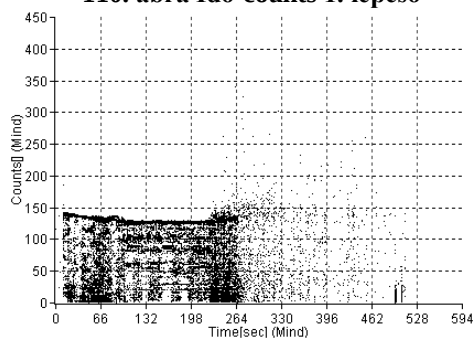
108. ábra Duration-counts 2. lépcső



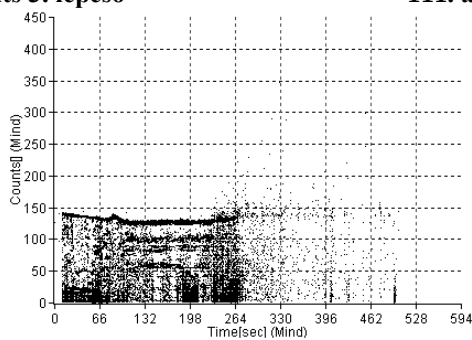
109. ábra Duration-counts 3. lépcső



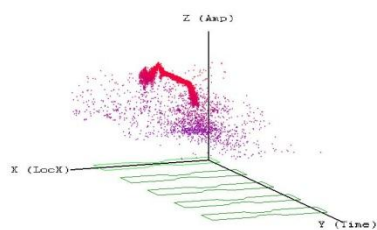
110. ábra Idő-counts 1. lépcső



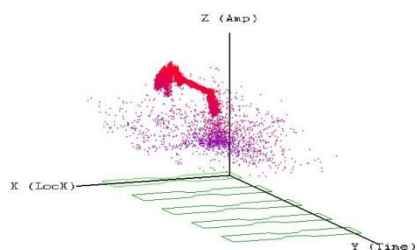
111. ábra Idő-counts 2. lépcső



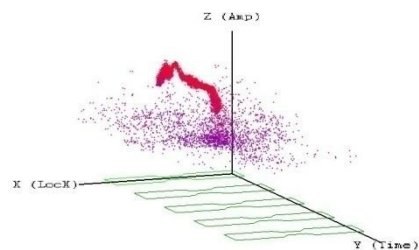
112. ábra Idő-counts 3. lépcső



113. ábra Amplitúdó-time-Lockx 1. lépcső

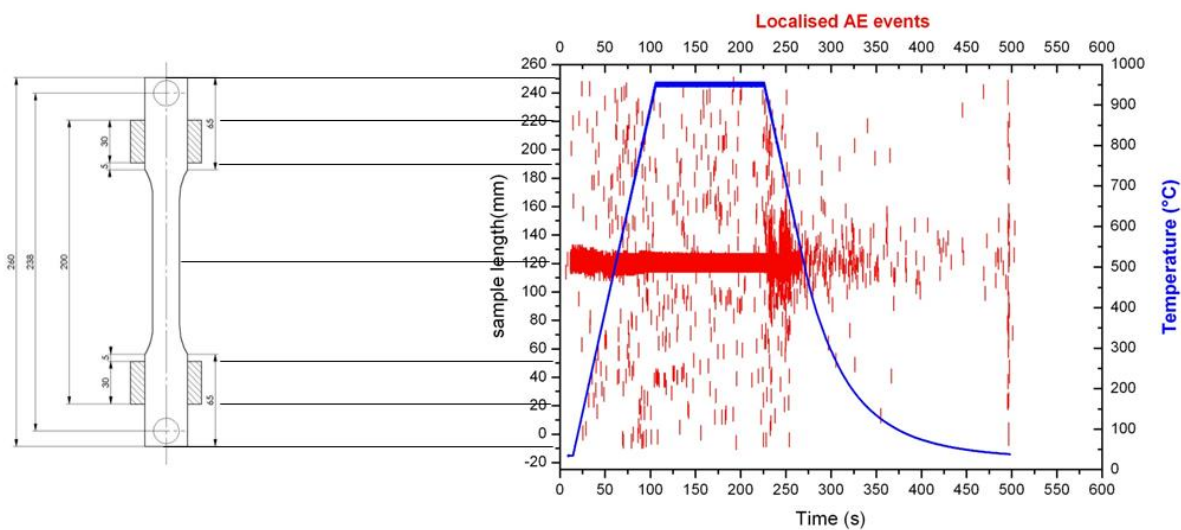


114. ábra Amplitúdó-time-Lockx 2. lépcső

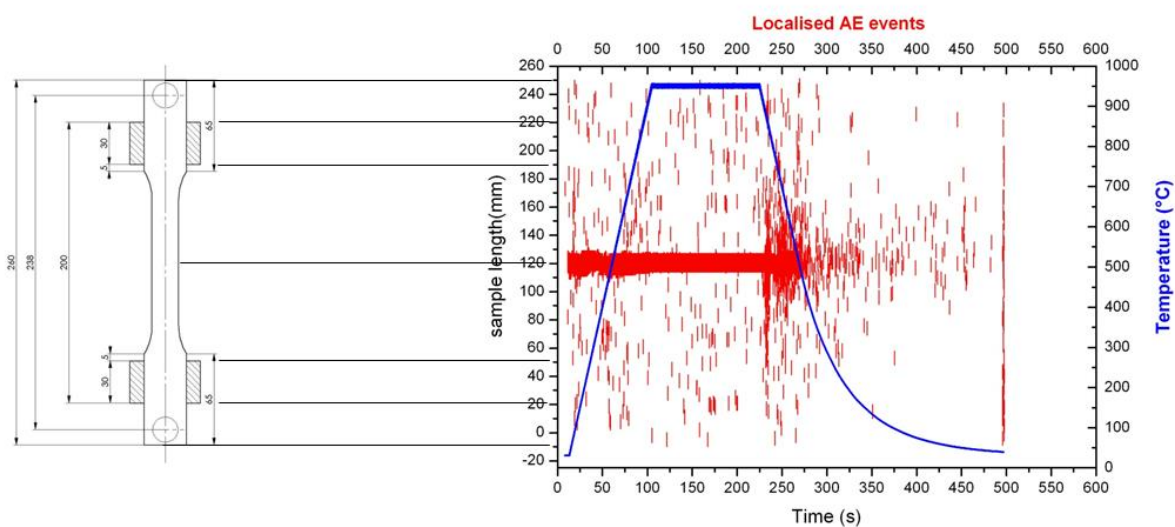


115. ábra Amplitúdó-time-Lockx 3. lépcső

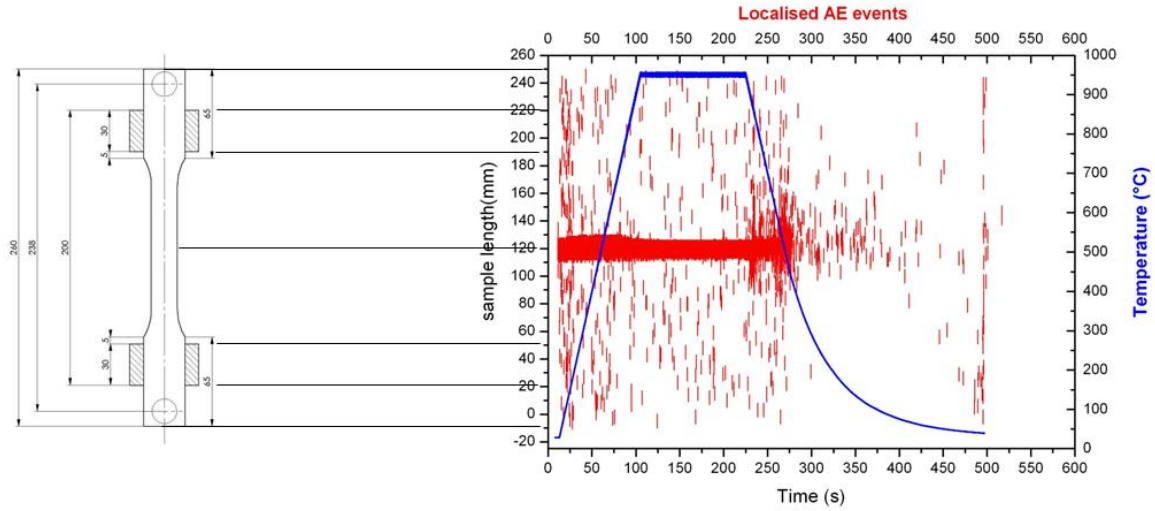
905-ös anyag:



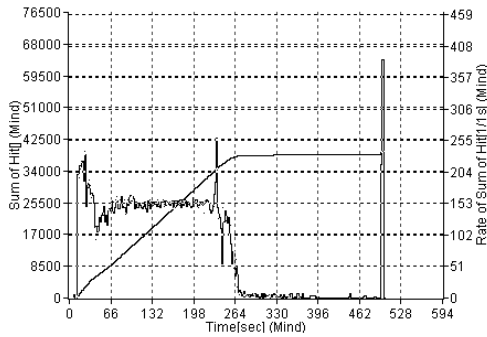
116. ábra Time-lockx+Temp 1. lépcső



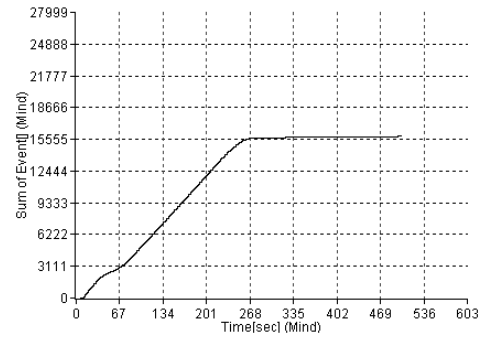
117. ábra Time-lockx+Temp 2. lépcső



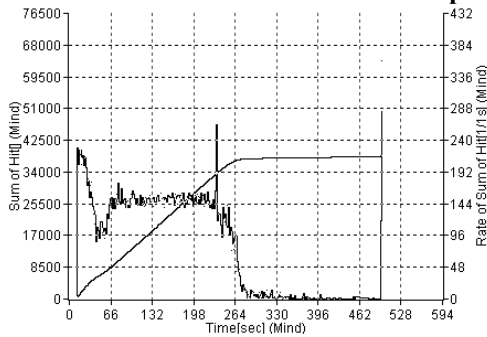
118. ábra 3. lépcső



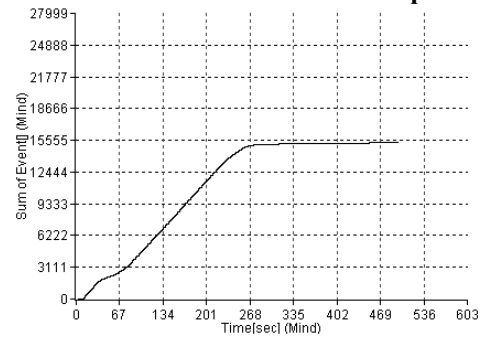
119. ábra Idő-sum of hit-rate of hit 1. lépcső



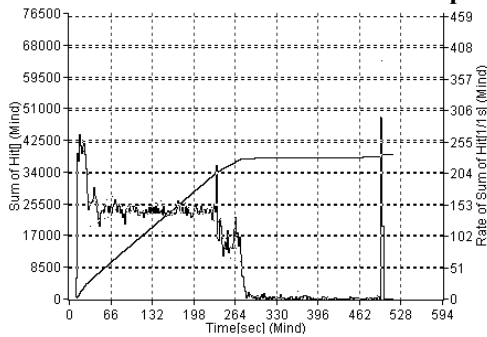
122. ábra Idő-sum of event 1. lépcső



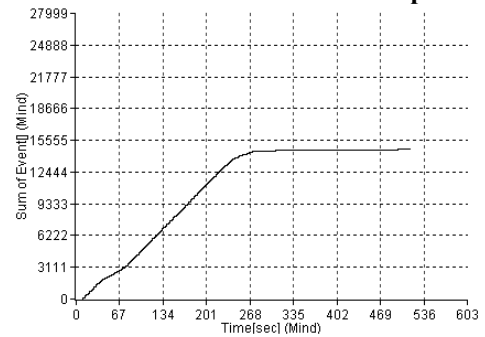
120. ábra Idő-sum of hit-rate of hit 2. lépcső



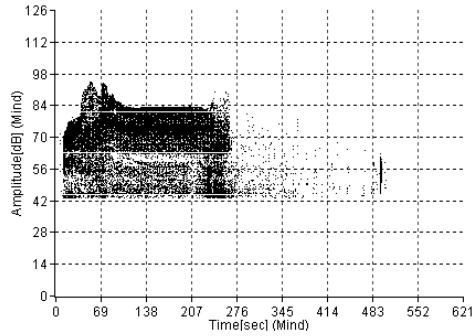
123. ábra Idő-sum of event 2. lépcső



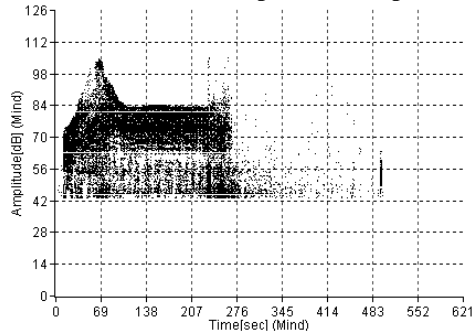
121. ábra Idő-sum of hit-rate of hit 3. lépcső



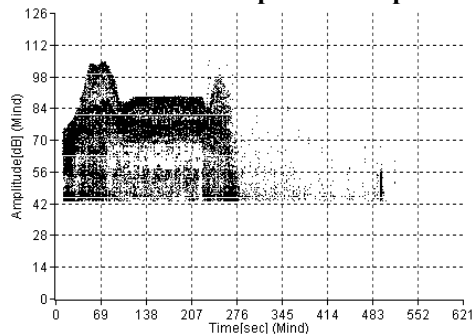
124. ábra Idő-sum of event 3. lépcső



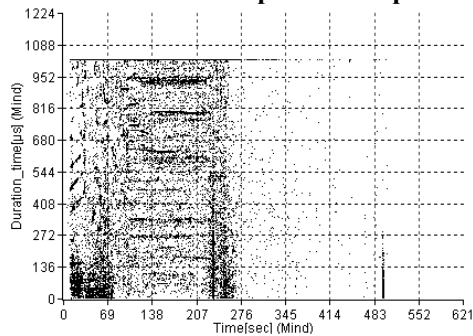
125. ábra Idő-amplitúdó 1. lépcső



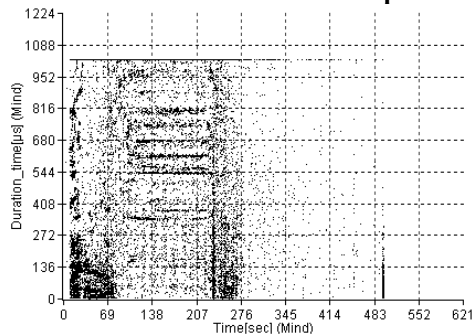
126. ábra Idő-amplitúdó 2. lépcső



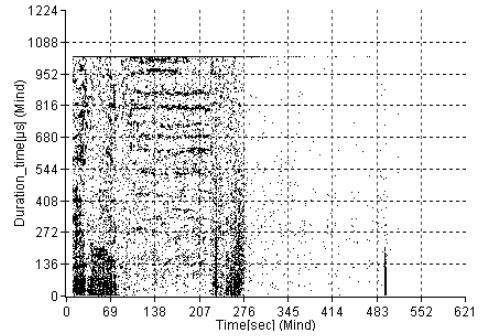
127. ábra Idő-amplitúdó 3. lépcső



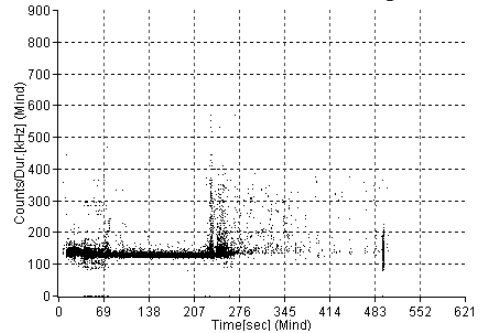
128. ábra Idő-duration 1. lépcső



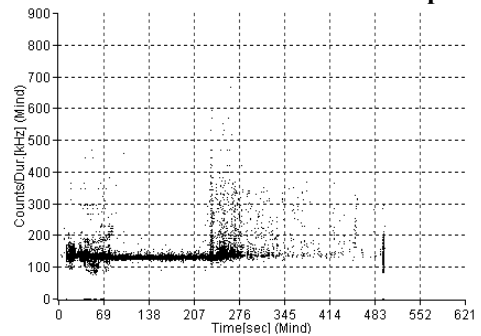
129. ábra Idő-duration 2. lépcső



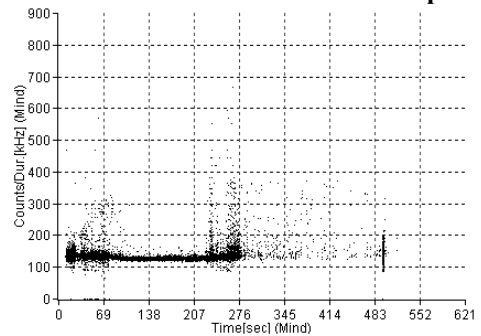
130. ábra Idő-duration 3. lépcső



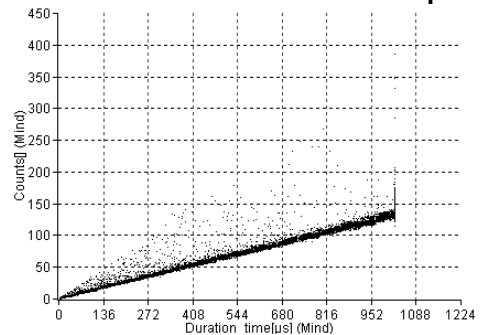
131. ábra Idő-duration/counts 1. lépcső



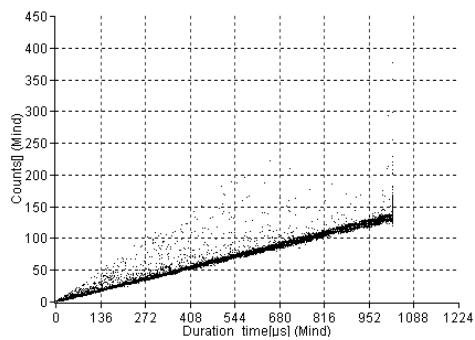
132. ábra Idő-duration/counts 2. lépcső



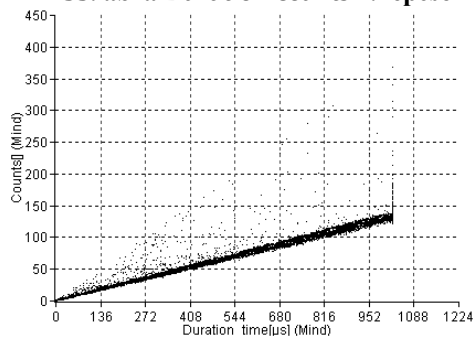
133. ábra Idő-duration/counts 3. lépcső



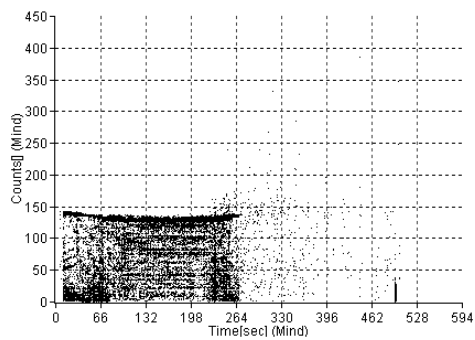
134. ábra Duration-counts 1. lépcső



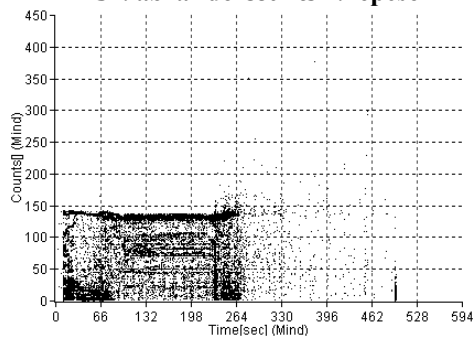
135. ábra Duration-counts 2. lépcső



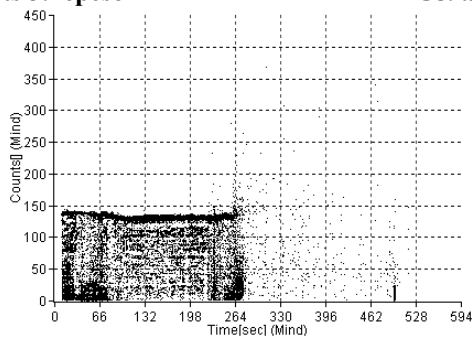
136. ábra Duration-counts 3. lépcső



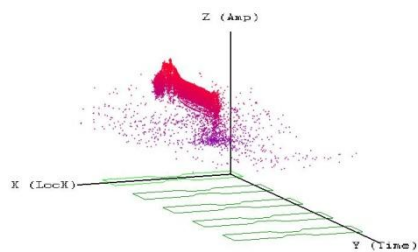
137. ábra Idő-counts 1. lépcső



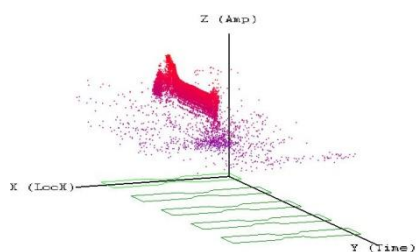
138. ábra Idő-counts 2. lépcső



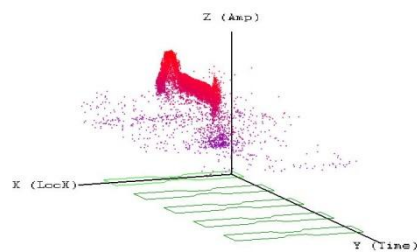
139. ábra Idő-counts 3. lépcső



140. ábra Amplitúdó-time-Lockx 1. lépcső



141. ábra Amplitúdó-time-Lockx 2. lépcső

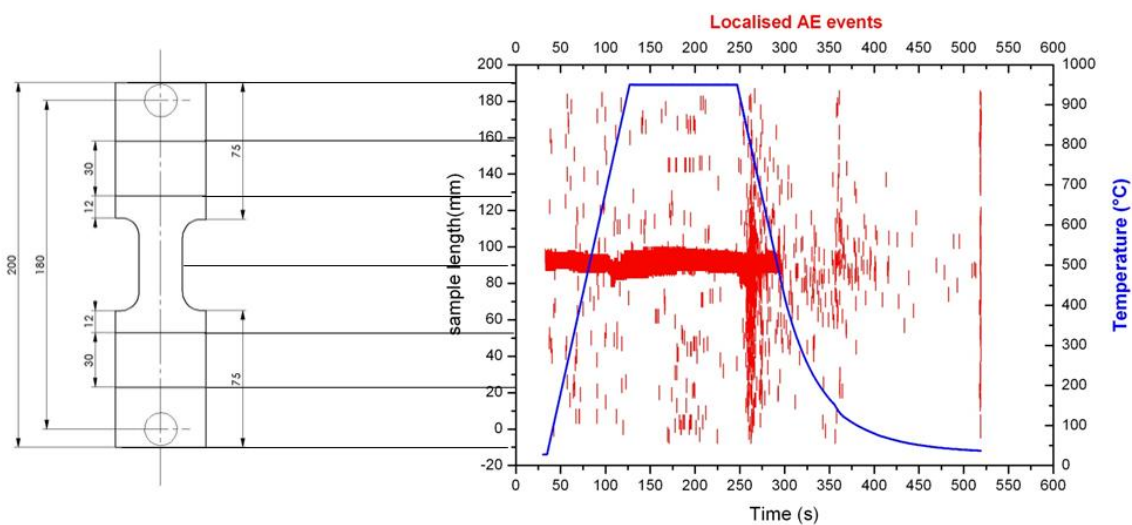


142. ábra Amplitúdó-time-Lockx 3. lépcső

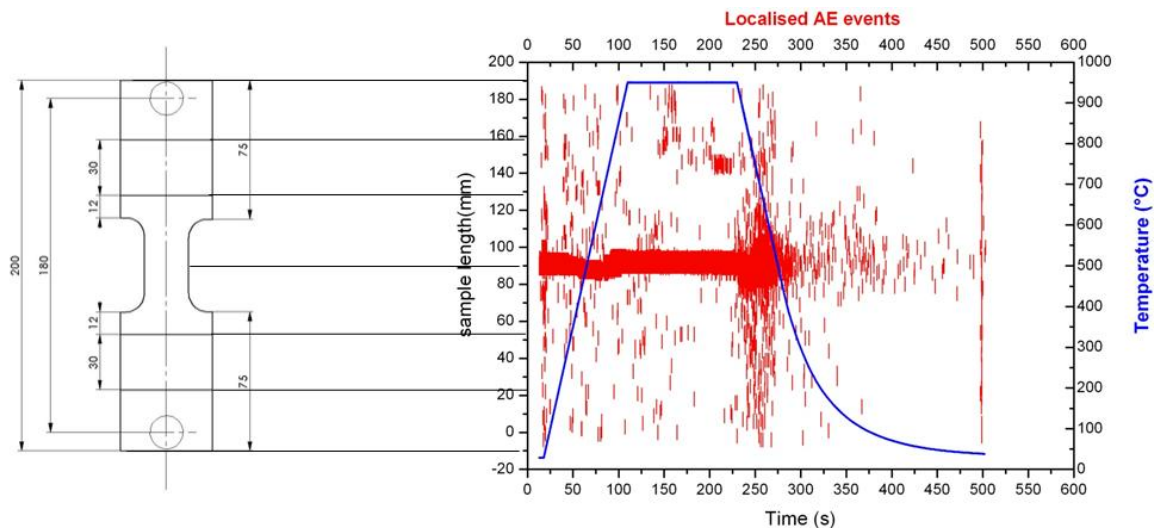
11.2.3. TRIP acél

TRIP acél típusú próbatest háromlépcsős hőkezelése akusztikus emisszióval:

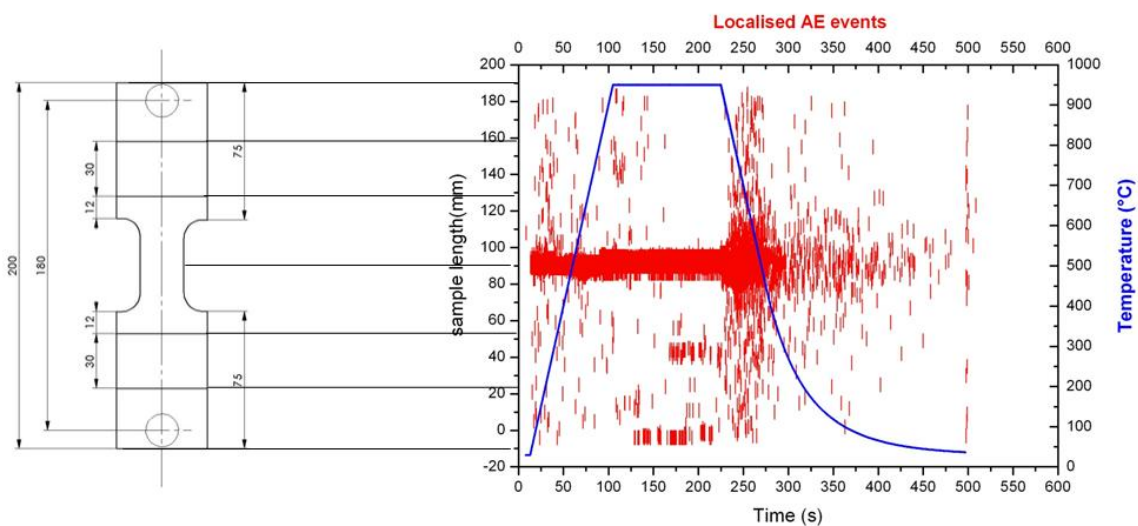
801-es anyag:



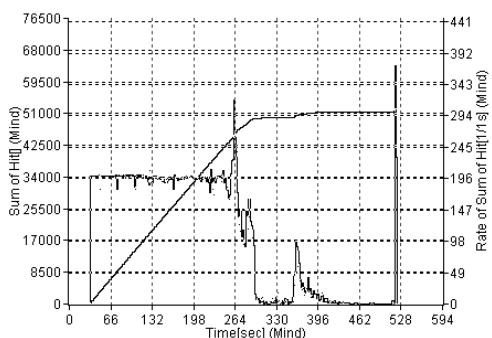
143. ábra Time-lockx+Temp 1. lépcső



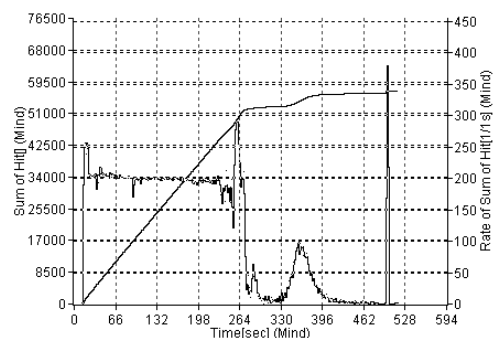
144. ábra Time-lockx+Temp 2. lépcső



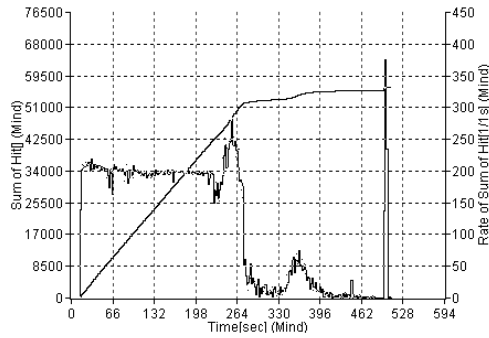
145. ábra Time-lockx+Temp 3. lépcső



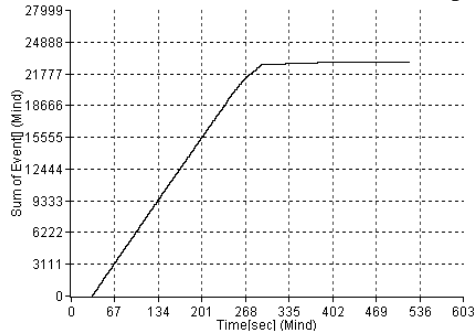
146. ábra Idő-sum of hit-rate of hit 1. lépcső



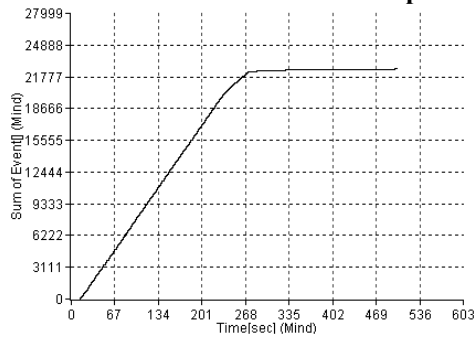
147. ábra Idő-sum of hit-rate of hit 2. lépcső



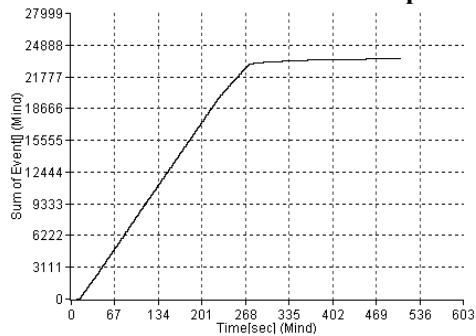
148. ábra Idő-sum of hit-rate of hit 3. lépcső



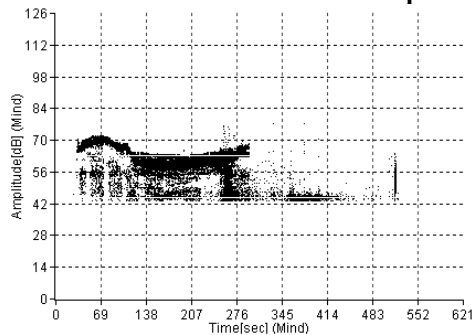
149. ábra Idő-sum of event 1. lépcső



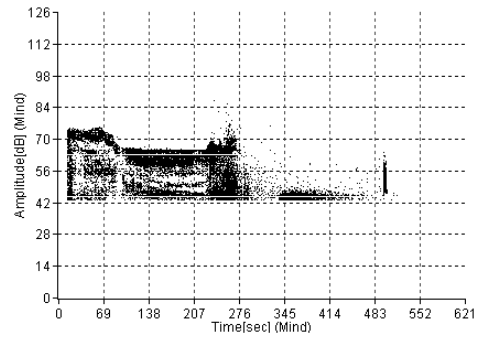
150. ábra Idő-sum of event 2. lépcső



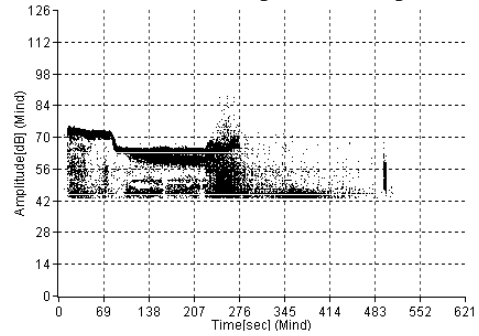
151. ábra Idő-sum of event 3. lépcső



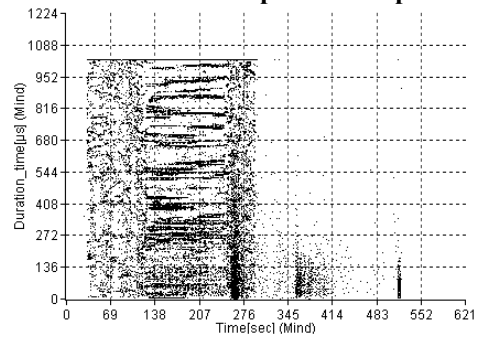
152. ábra Idő-amplitúdó 1. lépcső



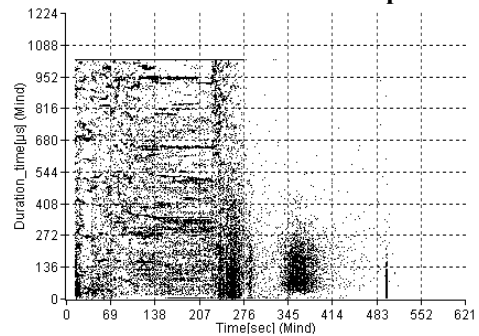
153. ábra Idő-amplitúdó 2. lépcső



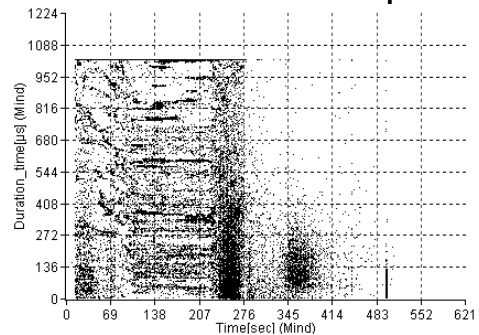
154. ábra Idő-amplitúdó 3. lépcső



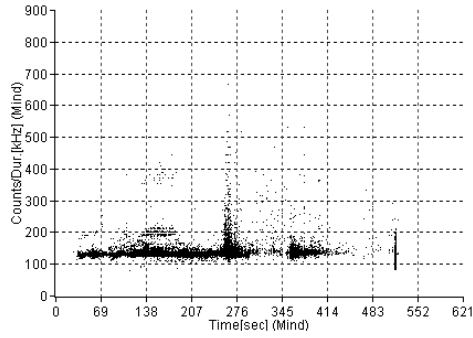
155. ábra Idő-duration 1. lépcső



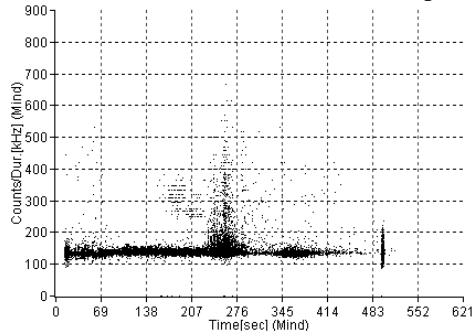
156. ábra Idő-duration 2. lépcső



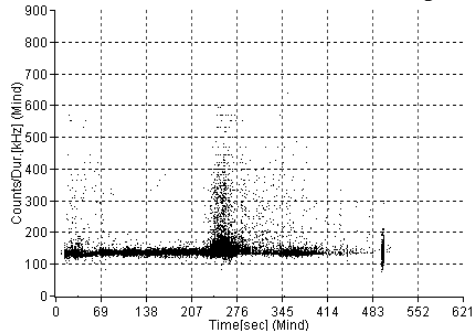
157. ábra Idő-duration 3. lépcső



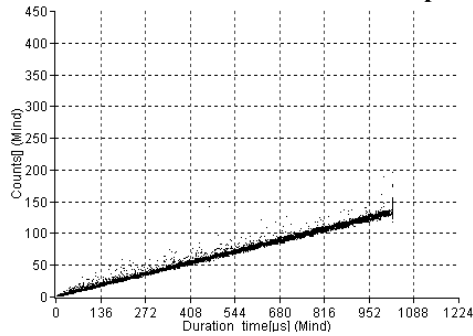
158. ábra Idő-duration/counts 1. lépcső



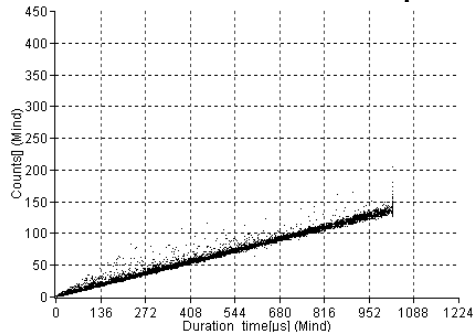
159. ábra Idő-duration/counts 2. lépcső



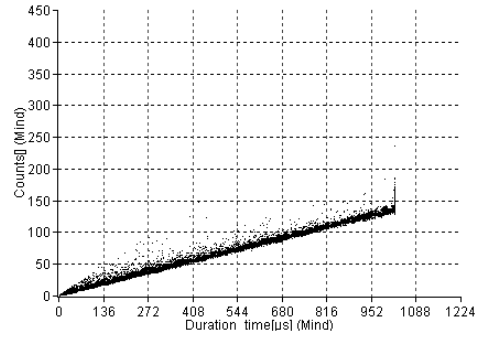
160. ábra Idő-duration/counts 3. lépcső



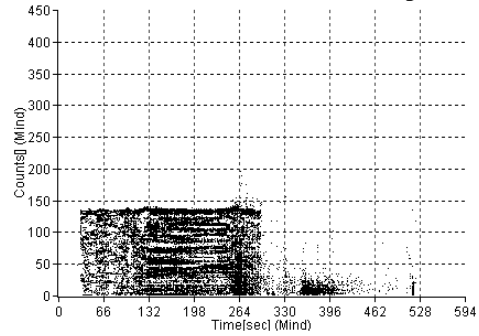
161. ábra Duration-counts 1. lépcső



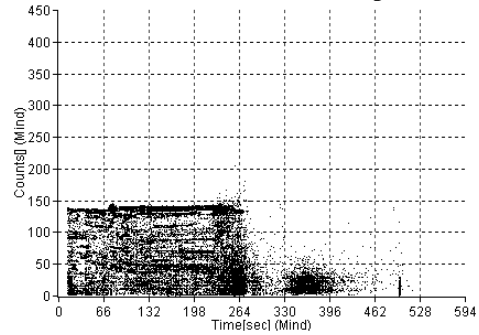
162. ábra Duration-counts 2. lépcső



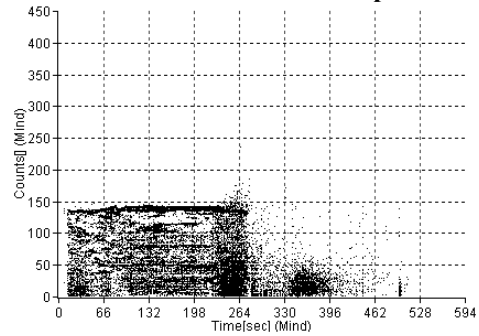
163. ábra Duration-counts 3. lépcső



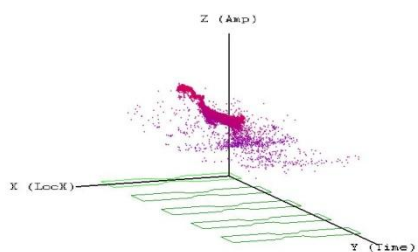
164. ábra Idő-counts 1. lépcső



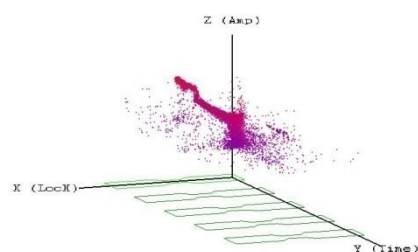
165. ábra Idő-counts 2. lépcső



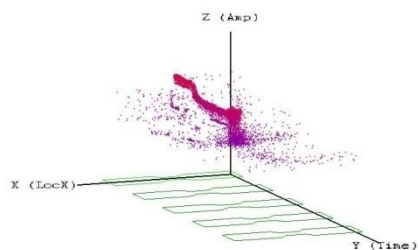
166. ábra Idő-counts 3. lépcső



167. ábra Amplitúdó-time-Lockx 1. lépcső

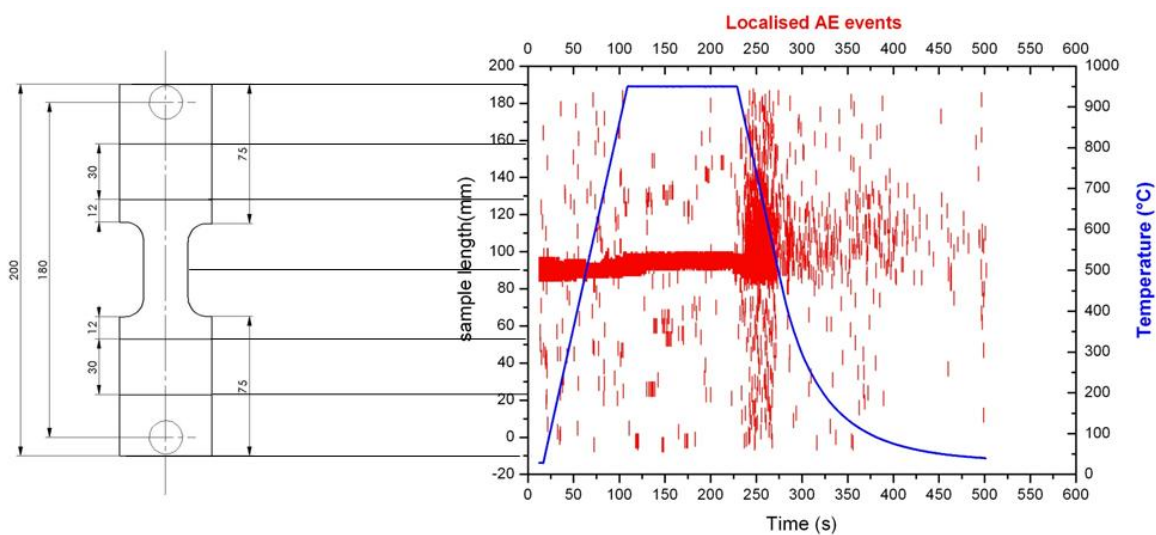


169. ábra Amplitúdó-time-Lockx 3. lépcső

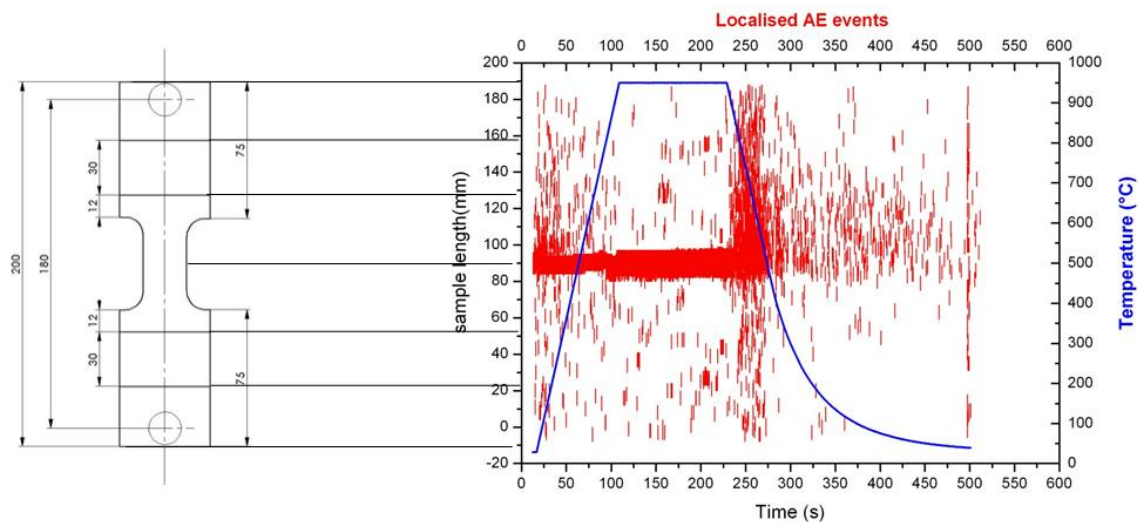


168. ábra Amplitúdó-time-Lockx 2. lépcső

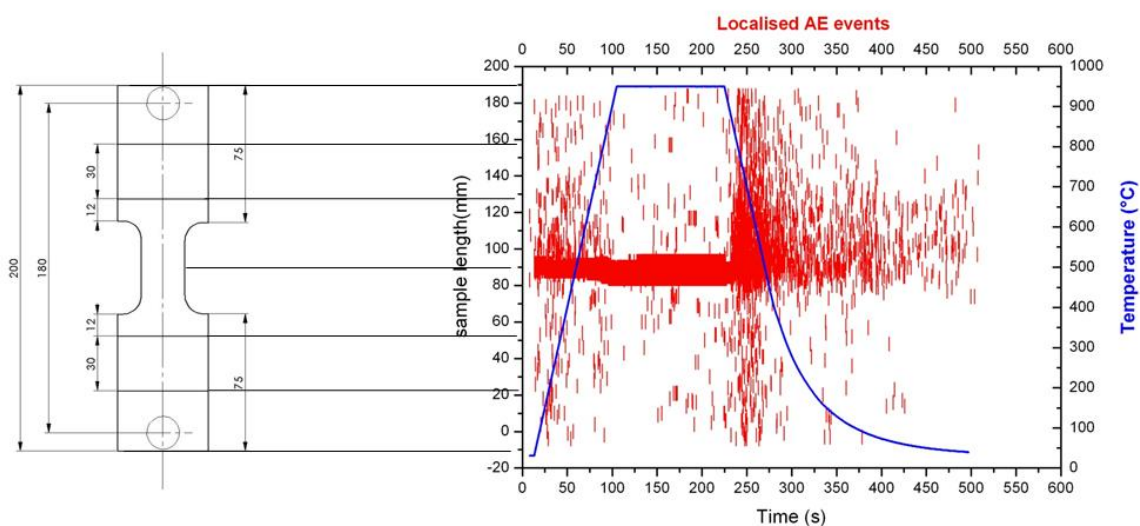
901-es anyag:



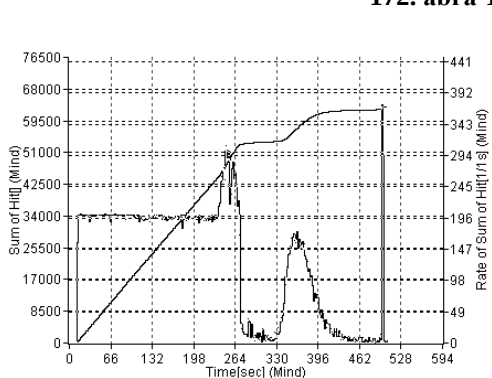
170. ábra Time-lockx+Temp 1. lépcső



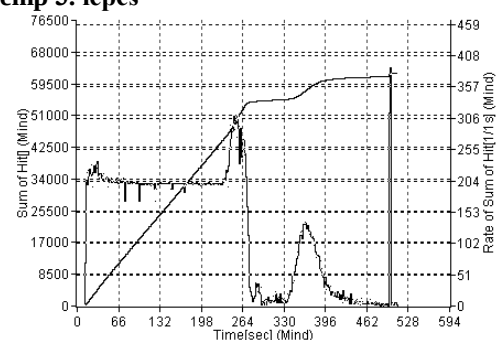
171. ábra Time-lockx+Temp 2. lépcső



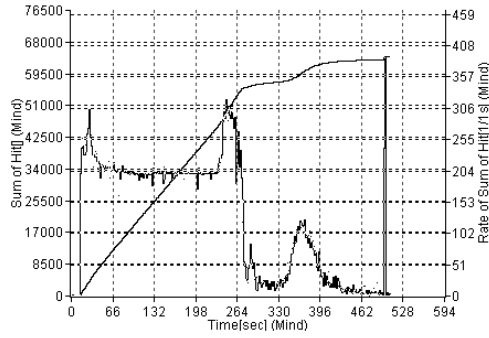
172. ábra Time-lockx+Temp 3. lépcső



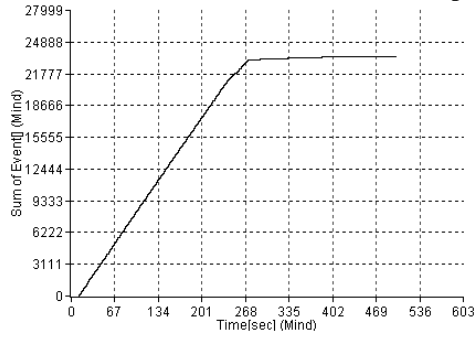
173. ábra Idő-sum of hit-rate of hit 1. lépcső



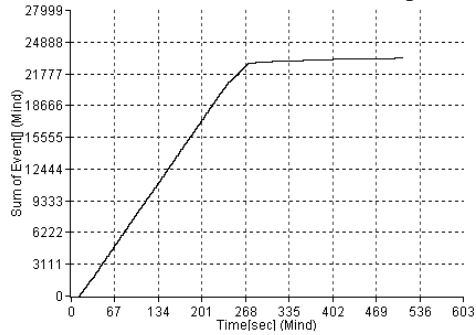
174. ábra Idő-sum of hit-rate of hit 2. lépcső



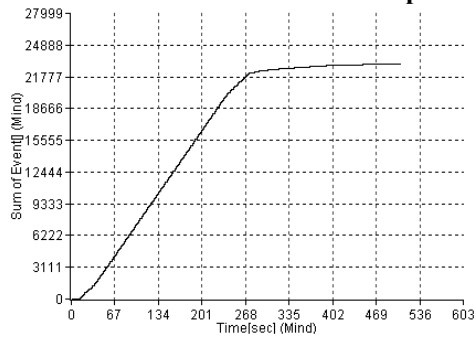
175. ábra Idő-sum of hit-rate of hit 3. lépcső



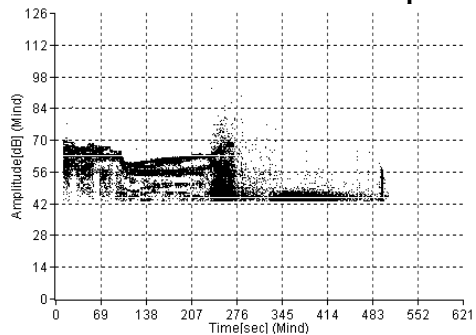
176. ábra Idő-sum of event 1. lépcső



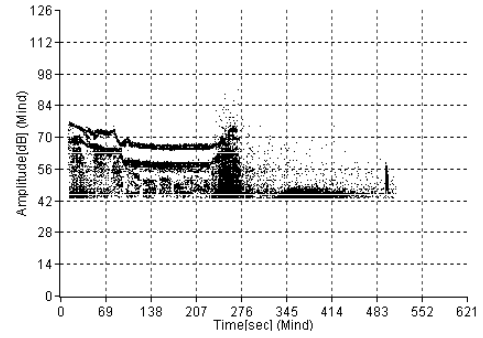
177. ábra Idő-sum of event 2. lépcső



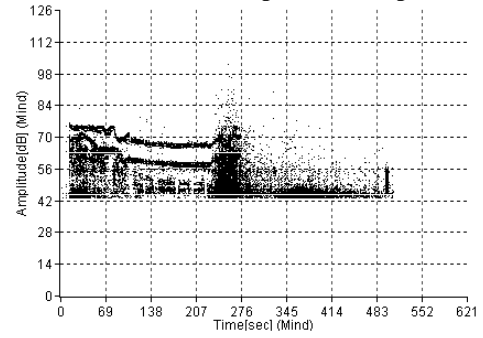
178. ábra Idő-sum of event 3. lépcső



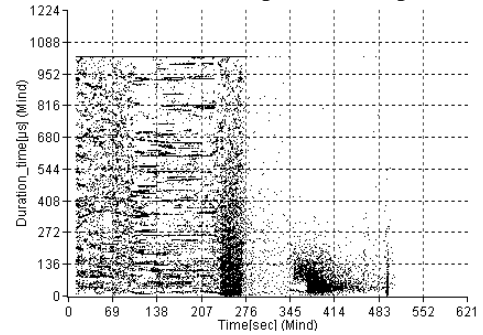
179. ábra Idő-amplitúdó 1. lépcső



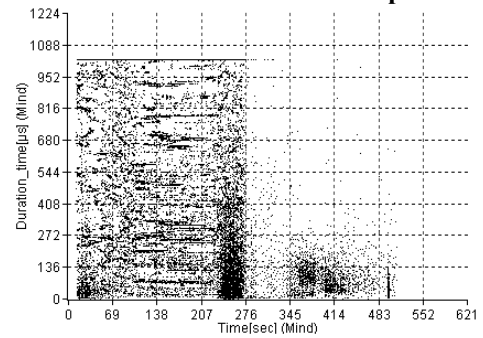
180. ábra Idő-amplitúdó 2. lépcső



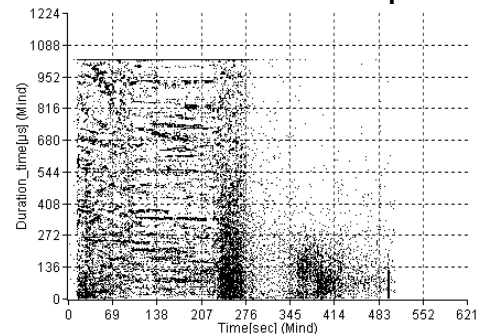
181. ábra Idő-amplitúdó 3. lépcső



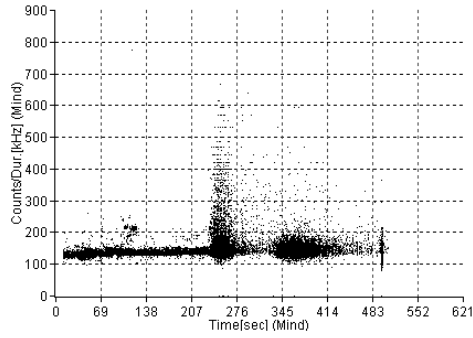
182. ábra Idő-duration 1. lépcső



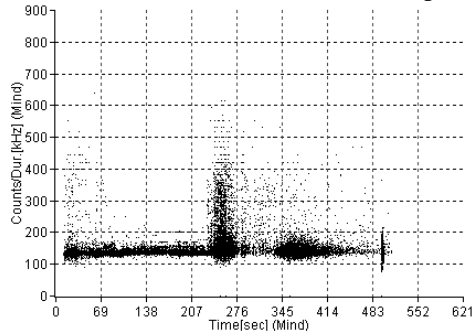
183. ábra Idő-duration 2. lépcső



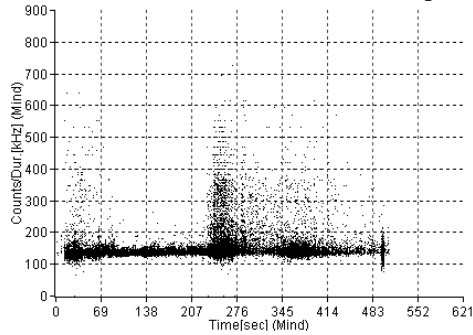
184. ábra Idő-duration 3. lépcső



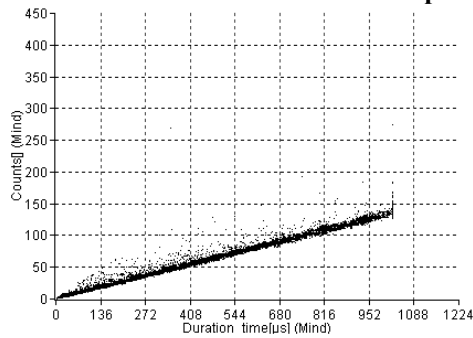
185. ábra Idő-duration/counts 1. lépcső



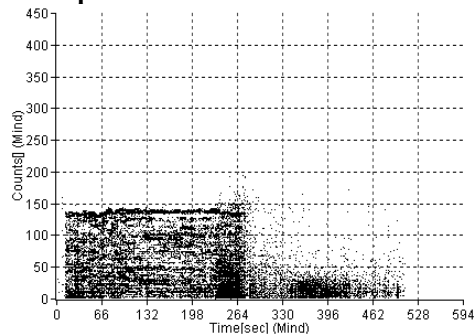
186. ábra Idő-duration/counts 2. lépcső



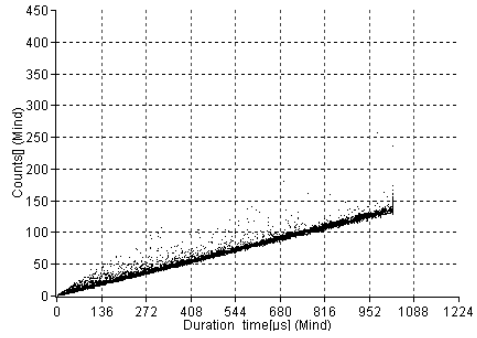
187. ábra Idő-duration/counts 3. lépcső



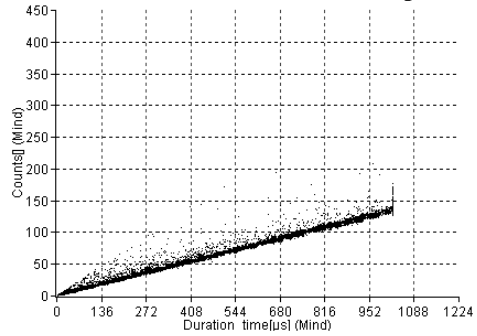
188. ábra Duration-counts 1. lépcső



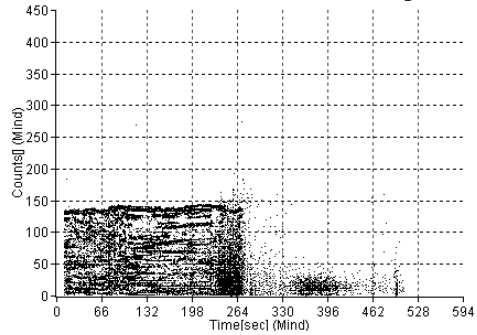
193. ábra Idő-counts 3. lépcső



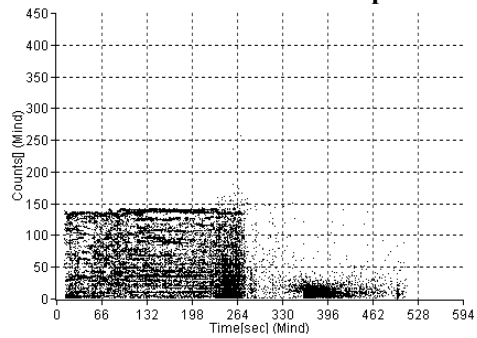
189. ábra Duration-counts 2. lépcső



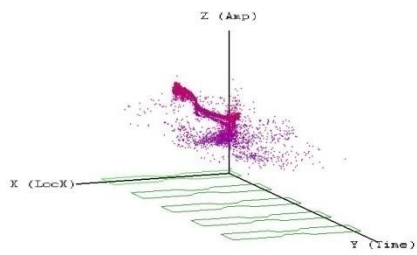
190. ábra Duration-counts 3. lépcső



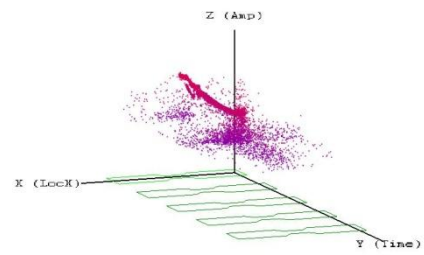
191. ábra Idő-counts 1. lépcső



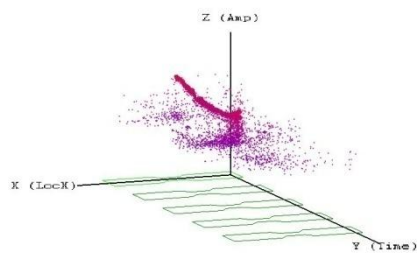
192. ábra Idő-counts 2. lépcső



194. ábra Amplitúdó-time-Lockx 1. lépcső



196. ábra Amplitúdó-time-Lockx 3. lépcső



195. ábra Amplitúdó-time-Lockx 2. lépcső