Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology

OSUMAN HAVAITSEVAN MAALILAITTEEN ANTUROINTI
Selection of a transducer for detecting a hit in a shooting target

Kimmo Tirri

Kandidaatintyö
LUT Energia
Sähkötekniikan koulutusohjelma

12.10.2011

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
Teknillinen tiedekunta
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Kimmo Tirri
Osuman havaitsevan maalilaitteen anturointi

2011

Kandidaatintyö.
20 s.

Tarkastaja: Tutkijaopettaja Mikko Kuisma

Työssä tutkittiin anturointimahdollisuuksia havaita ammutun luodin osuminen maalitauluun ja mitata helposti saatavilla olevia passiivisia antureita. Luodin osuminen maalitauluun luo muutoksia maalilaitteessa ja maalitaulussa. Nämä voidaan havaita kiihtyvyytenä, äänenä tai muutoksena maalitaulussa.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
Faculty of Technology
Degree Programme in Electrical Engineering

Kimmo Tirri
Selection of a transducer for detecting a hit in a shooting target

2011

Bachelor's Thesis.
20 p.

Examiner: Research Scientist Mikko Kuisma

The goal of this thesis was to search possible transducers for detecting a hit in a shooting target and in the thesis measurement part to test easily obtained passive sensors. Bullet hit causes changes to shooting target and to the system holding the target. These can be detected by acceleration, noise or changes in the target.

SISÄLLYSLUETTELO

Käytetyt merkinnät ja lyhenteet 5
1. Johdanto 6
2. Eri vaihtoehtoja anturoinnin toteuttamiseksi 8
2.1 Kiihtyvyysanturi 8
2.1.1 Pietsosähköiset anturit 9
2.1.2 Pietsoresistiiviset kiihtyvyysanturit 9
2.1.3 Kapasitiivinen kiihtyvyysanturi 9
2.2 Mikrofoni 10
2.3 Optinen anturi 10
3. Maalilaitteen suunnittelu 10
3.1 Maalilaitteen rakenne 11
3.2 Anturit ja niiden kiinnitys 12
4. Antureiden mittaukset 13
4.1 Muratan anturin laboratoriomittaukset 14
4.2 Ampumaratamittaukset Muratan ja Senceran antureilla 14
4.3 Tulosten analyysi 18
5. Johtopäätökset 19
LÄHTEET 20

Liitteet I Laboratoriomittaukset
II Ampumaratamittaukset pienoispistoolilla
III Ampumaratamittaukset pistoolilla

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

.22 LR	.22 Long Rifle, pienoispistooleissa ja pienoiskivääreissä käytetty kaliiperi
.40 S&W	.40 Smith and Wesson, pistooli kaliiperi
IEPE	Internal electronic piezoelectronic, sisäinen elektroninen pietsosähkö
ISSF	International Shooting Sport Federation, kansainvälinen ampumaurheiluliitto
MEMS	Microelectromechanical systems

g	Normaaliputoamiskiihtyvyys, 9.80665 m/s^2
m	Massa
p	Liikemäärä
s	Pituus

1. JOHDANTO

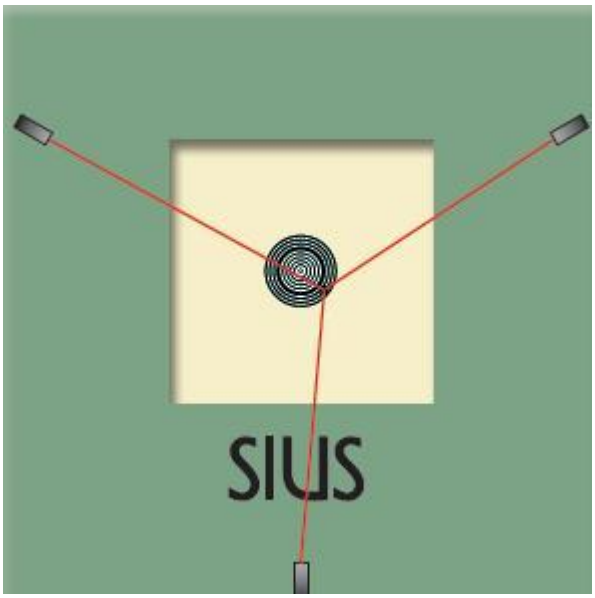
Ammunnan harrastaminen tai sen harjoittelu vaatii kohteen jota ampua. Eräs kohde on kaatuva maalitaulu, mikä kaatuu luodin osuman aiheuttamasta energiasta. Yleisesti käytetään myös pahvista tai paperista valmistettuja maatauluja, joista voidaan paikantaa osumat. Kun halutaan nähdä osuma ilman, että menee taulun viereen katomaan osumia tai haluaa taululle muitakin ominaisuuksia kuin sen kaatuminen, niin tarvitaan maalilaitteelle elektroniikkaa. Tästä eräs esimerkki on Suomen Puolustusvoimien käyttämä jaster-tyyppinen maalilaite, missä on moottori sen nostamista varten, ja kun se havaitsee osuman, niin maalitaulu kaatuu. Tätä maalilaitetta ohjataan kaukosäätimellä ja maalilaitteessa on useaita eri ominaisuuksia. Tämmöinen maalilaite on esiteltynä kuvassa 1.1.

Luodin osuminen maalitauluun aiheuttaa erillaisia muutoksia, joko maalitauluun tai maalilaitteeseen. Nämä muutokset voidaan havannoida eri keinoin. Työssä puhuttaessa maalilaitteesta tarkoitetaan sitä osaa mihin maalitaulu on kiinnitetty.

Kuva 1.1 Muun muassa Puolustusvoimien käyttämä jasteri-tyyppinen maalilaite ja maalitaulu.

Työssä tavoitteena on kirjallisuustutkimuksen avulla selvittää anturointi mahdollisuuksia osuman tunnistamiseksi maalaitteessa, ja antureiden pääperiaatteet. Eräs tavoitteista oli suunnitella ja toteuttaa maalilaitteen prototyyppi, millä pystyy testaamaan erityyppisiä anturointeja. Työssä myös tavoitteena suorittaa alustavat mittaukset jatkotutkimuksia varten. Työn kokeellisessa osassa rajattiin anturointi pelkästään osuman havaitseviin antureihin, joita oli helposti saatavilla.

Luoti aiheuttaa osuessaa maalitauluun muun muassa mekaanisen tärähdyksen, mikä voidaan mitata kiihtyvyytenä maalilaitteessa tai maalitaulussa. Osuma voidaan havaita optisilla antureilla, mikä pystyy jopa kertomaan osumakohdan maalitaulussa. Esimekkinä optisesta menetelmästä kuvan 1.2 tapa, jossa käytetään kolmea laseria paikantamaan osuma (Sius 2011). Luodin osuman aiheuttama ääni voidaan havaita vastaavasti myös mikrofonilla. Tässä menetelmässä tulee vastaan joidenkin luotien aiheuttamat iskuaallot. Iskuaalto syntyy, kun kappaleen nopeus ylittää äänennopeuden väliaineessa. Ratkaisuna tähän mikrofonien sijoitus maalitaulun ympärille, kuten kuvassa 1.2.



Kuva 1.2 Kolmea laseria apuna käyttäen paikannettu osuma (Sius 2011). Sama periaate toimii myös akustisesti käyttämällä laserin sijaan mikrofoneja.

2. ERI VAIHTOEHTOJA ANTUROINNIN TOTEUTTAMISEKSI

Tässä osiossa käydään läpi mahdollisia anturointi tyyppejä, jotka sopivat osuman havaitsemiseen. Samalla käydään läpi luodin osumien aiheuttamat muutokset joko maalitauluun tai koko systeemiin.

2.1 Kiihtyvyysanturi

Maalitauluun kohdistuva värähtely voidaan mitata nopeuden muutoksena eli kiihtyvyytenä. Tämän mittaamiseen on käytössä eri tyyppisiä kiihtyvyysantureita. Anturi voidaan sijoittaa maalitauluun tai maalilaitteeseen, koska kiihtyvyyden aiheuttama värähtely välittyy koko systeemiin mekaniikasta riippuen. Tässä osiossa ei ole muita kuin kolmeen eri tekniikkaan pohjautuvia kiihtyvyysantureita, sillä muun tyyppiset kiihtyvyysanturit soveltuvat hitaampiin muutoksiin kuin luodin osuminen maalitauluun (Wilson 2005).

Tyyppillisten kiihtyvyysantureiden taajuusalueet, herkkyydet, mittausaluueet, dynaamiset alueet ja tyypilliset massat on taulukossa 2.1. Elektroniikassa käytetään myös kiihtyvyysantureina MEMS-antureita, jotka ovat pääosin pietso ja kapasitanssi kiihtyvyysantureita, ja ovat kooltaan ja massaltaan pienempiä kuin taulukossa 2.1 mainitut anturit ja eivätkä vastaa näiltä osin taulukossa mainittuja massoja. (Andrejašic 2008) (Wilson 2005)

Taulukko 2.1 Kiihtyvyysantureiden taajuusalueet, herkkyydet, mittausaluueet, dynaamiset alueet ja tyypilliset koot (Wilson 2005).

Tyyppi	Taajuus (Hz)	Herkkyys	Mittausalue (G)	Dynaaminen alue (dB)	Massa (g)
IEPE pietsosähkö	0.5 - 50000	0.05 mV/G – 10 V/G	1 µ – 0.1 M	120	0.2 - 200
Varaus pietsosähkö	0.5 - 50000	0.01 pC/G – 100 pC/G	1 µ – 0.1 M	110	0.14 – 200
Pietsoresistiivinen	0 – 10000	0.0001 – 10 mV/G	1 m – 0.1 M	80	1 - 100
Kapasitiivinen	0 - 1000	0.01 – 1 V/G	5 µ – 1 k	90	10 - 100

2.1.1 Pietsosähköiset anturit

Pietsosähköisten toiminta perustuu polarisoituihin kiteisiin. Kun anturiin kohdistuu mekaaninen voima, kuten tärähdys, niin anturin muoto muuttuu ja kiteiden polarisoinnin takia syntyy jännitettä. (Birkholz 1994)

Pietsosähköiset anturi luokitellaan joko varaus pietsosähköisiin tai IEPE eli internal electronic piezoelectronic pietsosähköisiin antureihin. Niillä on laajat dynaamiset- ja taajuusalueet. IEPE:ssä rajoituksena on matalemmat lämpötilat kuin varaus pietsosähköisissä antureissa, maksimissaan 175°C. Kun taas varaus tyypin pietsosähköiset anturit kestävät 700°C asti. (Wilson 2005)

Pietsoantureissa käytetään materiaaleina kahta eri tyyppisiä pietsosähköistä materiaalia, luonnon kristalleja kuten kvartsi ja valmistettuja keraamisia aineita. Jälkimmäinen polarisoidaan ja kristallista valmistetut ovat luonnostaan pietsosähköisiä. Kristallista valmistetut anturit ovat luotettavia, pitkäikäisiä ja toiminta lämpötila-alueellaan, anturin ominaisuudet eivät muutu huomattavasti. Keraamiset pietsoanturit puolestaan kestävät suurempaa kuumuutta kuin kristalliset anturit, mutta lämpötilan rajan ylitys muuttaa anturin pietsosähköisyyttä. Samoin keraamisen anturin altistaminen sähkökentille muuttaa sen pietsosähköisiä ominaisuuksia. Keraamisen anturin polarisoinnin takia se menettää herkkyyttään ajan myötä. (Wilson 2005)

2.1.2 Pietsoresistiiviset kiihtyvyysanturit

Toiminta perustuu siihen, että anturiin kohdistuva mekaaninen rasitus muuttaa anturin resistanssia. Näissä antureissa käytetään valmistusmateriaaleina metalleja tai puolijohteita, kuten piitä tai germaniumia. Puolijohteesta valmistetut anturit ovat luotettavampia verrattuna metallista valmistettuihin pietsoresistiivisiin antureihin. Haittana näille on pieni dynaaminen alue ja kestävyys, verrattuna pietsosähköisiin antureihin. (Wilson 2005) (Window 1983)

2.1.3 Kapasitiivinen kiihtyvyysanturi

Kapasitiivisessä kiihtyvyysanturissa anturiin kohdistuva kiihtyvyys havainnoidaan kapasitanssin muutoksena. Anturin toiminta perustuu siihen, että kiihtyvyys aiheuttaa anturissa ilmavälin muutoksen, mikä on kahden elektrodin välillä. Kapasitiivisessä kiihtyvyysanturilla on parempi resoluutio kuin pietsoresistiivisellä anturilla (Wilson 2005).

Haittana on pieni taajuusalue, mittausalue ja herkkyys verrattuna muihin kiihtyvyysantureihin.

2.2 Mikrofoni

Mikrofoni muuntaa äänen painetason sähköiseksi signaaliksi. Menetelmässä, jossa käytetään yhtä mikrofonia osuman havaitsemiseen on ongelma, mikä johtuu luodin yliääninopeudesta. Tämä aiheituu, kun luodin nopeus ylittää äänennopeuden ilmassa, mikä on normaalipaineessa ja lämpötilassa 343 m/s. Kun luoti ylittää tämän nopeuden, niin se luo shokkiaalloon, mikä puolestaan häiritsee osuman havaitsemista.

Osuman paikannus voidaan ratkaista eräänlaisella paikannusjärjestelmällä, jossa sijoitetaan kolme tai useampi mikrofonia maalitaulun kehän ulkopuolelle. Kahdella anturilla pystyy paikantamaan osuman horisontaalisesti ja viimeisellä vertikaalisesti, jos käytössä on kolme mikrofonia.

2.3 Optinen anturi

Optinen anturi muuntaa valomäärän muutoksen sähköiseksi signaaliksi. Tämä menetelmä maalilaitteessa vaatii valonlähteen, jotta anturi pystyy havaitsemaan osuman. Haitoina ovat auringonvalo, valonlähteen pitäminen vakioetäisyydellä ja alttius häiriötekijöille. Koska anturi havannoi valonmäärän muutosta, reagoisi se mihin tahansa liikkeeseen, mitä anturi näkee. Etuna tässä on, että maalitauluna voi käyttää mitä tahansa, jonka luoti lävistää. (Snipetec 2011)

Laserilla toteutettava paikannus olisi varmempaa verrattuna optisiin antureihin, mitkä tarvitsevat valonlähteen. Esimerkiksi SIUS on tehnyt laseriin perustuvan tuotteen, mikä pystyy paikantamaan osuman millimetrin sadasosan tarkuudella (SIUS 2011). Osuma havaitaan kolmella eri laserilla ja näiden avulla osuma paikallistetaan. Tämänlainen anturointi on käytössä ISSF:än ilmakivääri- ja ilmapistoolikisoissa, ja pienikaliiperisissa kiväärikisoissa.

3. MAALILAITTEEN SUUNNITTELU

Maalilaitteen suunnittelussa on otettu huomioon vain, että sillä pystyisi testaamaan anturit suojattuna luodeilta eikä ole otettu huomioon mitään mekaniikan kannalta. Maalilaitteen

vaatimuksena myös, että siinä pysyy maalitaulu kiinni eikä se myösään kaaduu osuman vaikutuksesta. Antureiden sijoitus mittauksissa on eri kuin mitä oli alunperin suunniteltu.

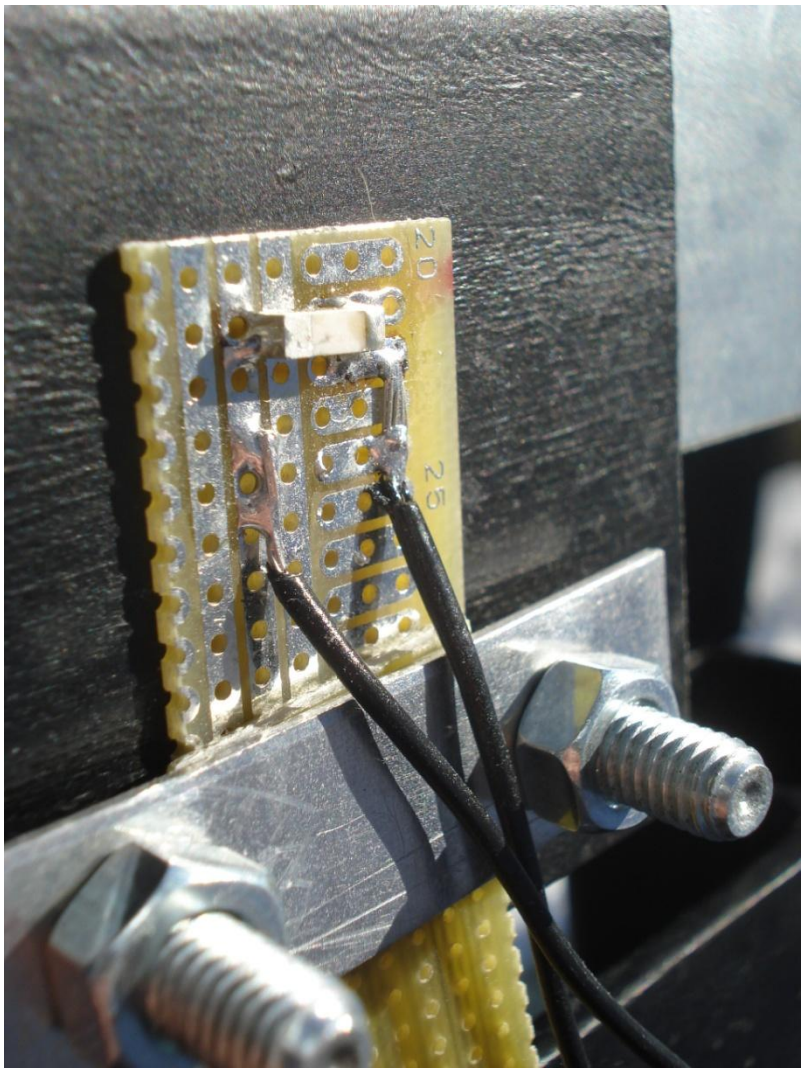
3.1 Maalilaitteen rakenne

Maalilaitteena rakentamiseen käytettiin teräsputkia ja teräslevyjä, jotka on hitsattu toisiinsa. Maalilaite on maalattu ruostumisen ehkäisemiseksi. Maalilaite on 23 cm leveä, jalkojen pituus on pituussuunnassa 16 cm, jalkoina käytetyt putket on sivun pituudelta 4 cm ja maalilaitteen korkeus on 22 cm. Maalilaite on esiteltynä kuvassa 3.1. Maalitaulu on 1 mm paksua teräslevyä. Maalitaulun kiinnitys tapahtuu maalilaitteeseen kahdella ruuvilla ja mutterilla puristettuna.

Kuva 3.1 Maalilaite ja mittauksissa käytetty pelti. Maalilaite ja maalitaulu on terästä. Maalitaulu on paksuudeltaan 1 mm.

3.2 Anturit ja niiden kiinnitys

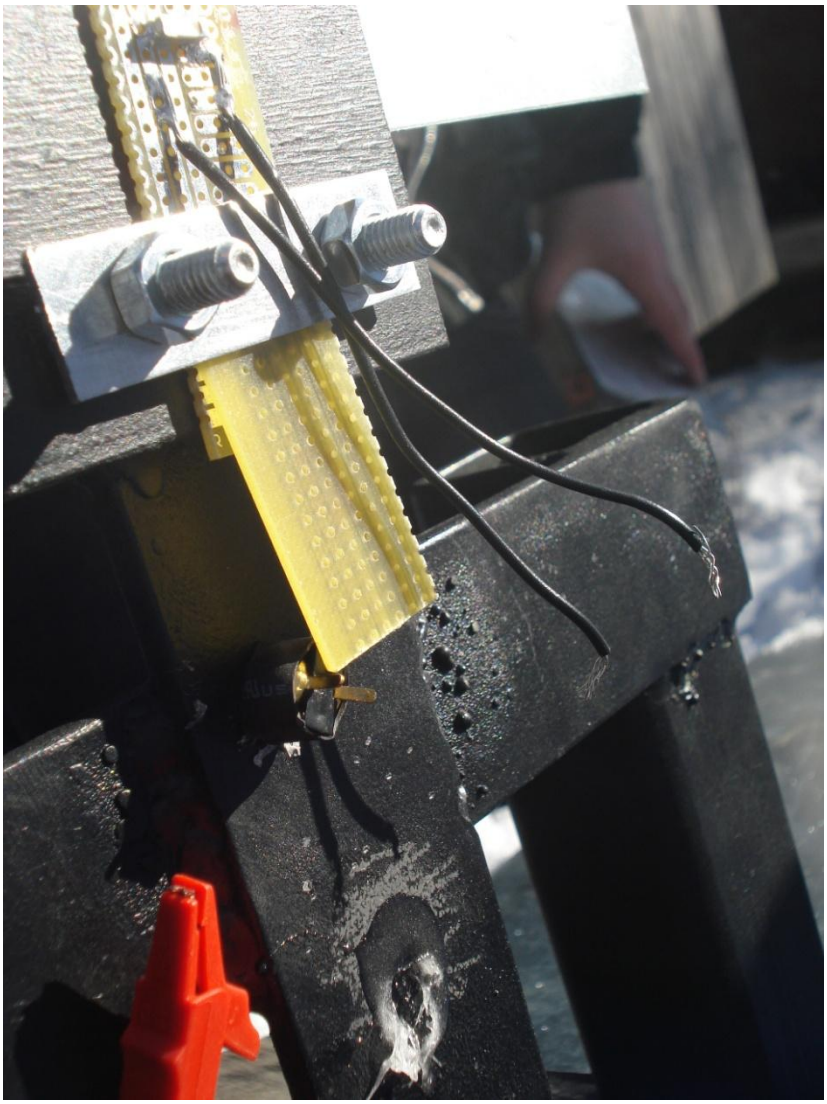
Laboratoriomittauksissa oli käytössä sama maalitaulu ja maalilaite kuin myöhemmin ampuradalla tapahtuvissa mittauksissa. Laboratoriomittauksissa Murata Manufacturing valmistama PKGS-90LD-R pietsosanturi oli kiinnitetty maalilaitteeseen kuvan 3.2 mukaisella tavalla. Piirilevy on kiristetty maalilaitteeseen samoilla ruuveilla, joilla maalitaulun kiinnitys tapahtuu. Lopullinen piirilevyn ja maalitaulun kiinnitys maalilaitteeseen tapahtuu muttereita kiristämällä. Anturi on kiinnitetty juottamalla piirilevyyn. Samoin anturiin sähköisessä yhteydessä olevat johdot, joihin on tehty vedonpoisto juottamalla.



Kuva 3.2 Muratan anturin kiinnitys maalilaitteeseen. Piirilevyn kiinnitys samoilla ruuveilla kuin maalitaulun kiinnitys. Anturi on kiinnitetty juottamalla piirilevyyn.

Radalla tehdyissä mittauksissa oli mukana shock sensor eli shokki sensori 102 valmistajana Sencera. Tästä anturista on vähän tietoja, sillä valmistajan tarjoama datalehti kertoo vain tarkat mitat, kuinka monta tärähdystä se kestää ja tyypillisemmät kytkennät

(Sencera 2011). Senceran anturi oli kiinnitetty kuvan 3.3 osoittamalla tavalla. Alunperin Senceran anturi oli kiinnitetty alemmaksi, kuin missä se on kuvassa 3.3, mutta anturin liimaus petti.



Kuva 3.3 Senceran anturin kiinnitys maalilaitteeseen. Anturi on puristuksissa maalilaitteeseen piirilevyllä, joka on puolestaan samassa kiristyksessä kuin pietsoanturi.

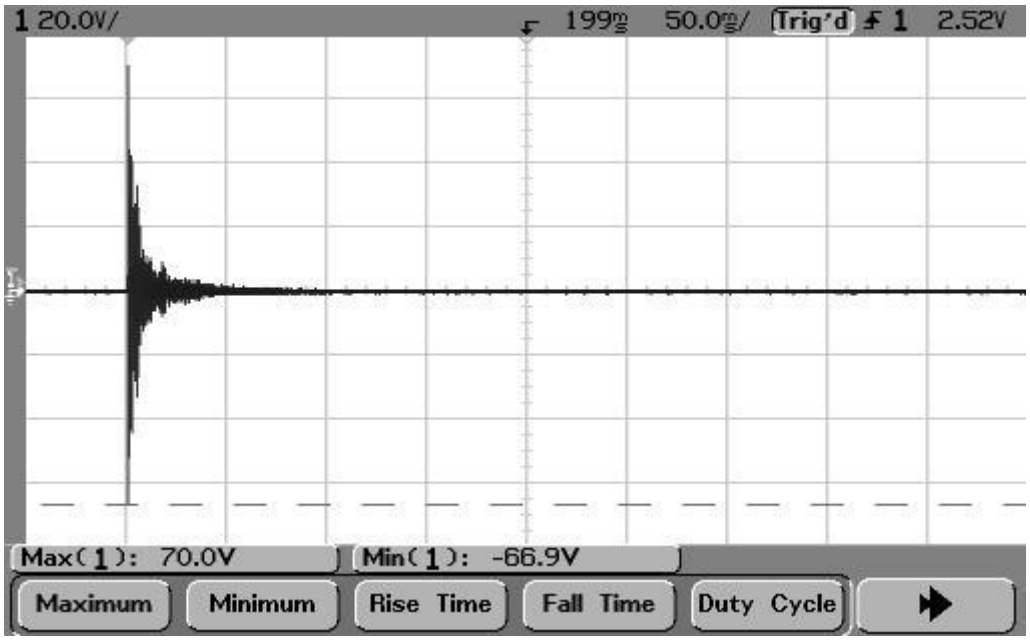
4. ANTUREIDEN MITTAUKSET

Antureista odotetaan saavan jännitettä, kun niihin kohdistuu mekaaninen voima. Tämä jännite muuttuu ajan kuluessa, oletettavasti väheten. Laboratoriomittauksissa oli käytössä Agilentin oskilloskooppi 54622D ja ampumaradalla kannettava oskilloskooppi Handyscope HS4 DIFF 5 MHz:n malli, mikä oli yhteydessä kannettavaan tietokoneeseen.

4.1 Muratan anturin laboratoriomittaukset

Peltiä lyötiin eri suunnista ja lyönnin voimakkuus pyrittiin pitämään vakiona, mutta tästä ei ole varmuutta, koska lyöjä oli ihminen. Suurin mitattu jännite saavutettiin, kun maalitauluun kohdistui isku suoraan edestäpäin. Tämän jännitteen amplitudi oli 70 V ja tämä käy ilmi kuvasta 4.1. Iskun tullessa ylhäältä osumasta aiheutuva jännite oli maksimissaan 60 V ja sivulta tullessa 40 V (LIITE I). Värähtelyn pituus lyönnin tullessa edestä päin oli 90 ms. Sivulta ja päältä lyödessä värähtelyn pituus oli alle 50ms (LIITE I).

Nämä ajat ja jännite erot johtuvat maalilaitteen rakennustavasta ja maalitaulun mekaniikasta. Systeemi värähtelemään eniten iskun tullessa kohtisuoraan maalitauluun, verrattuna sivulta ja päältä tulleisiin iskuihin. Näiden tulosten perusteella Muratan anturi kykenee havaitsemaan myös luodin osuman maalitauluun.



Kuva 4.1 Maalitauluun on lyöty edestäpäin keskelle maalitaulua. Jännite saa maksimissaan arvo 70 V ja minimissään -66.9 V. Värähtelyn pituus on 90 ms

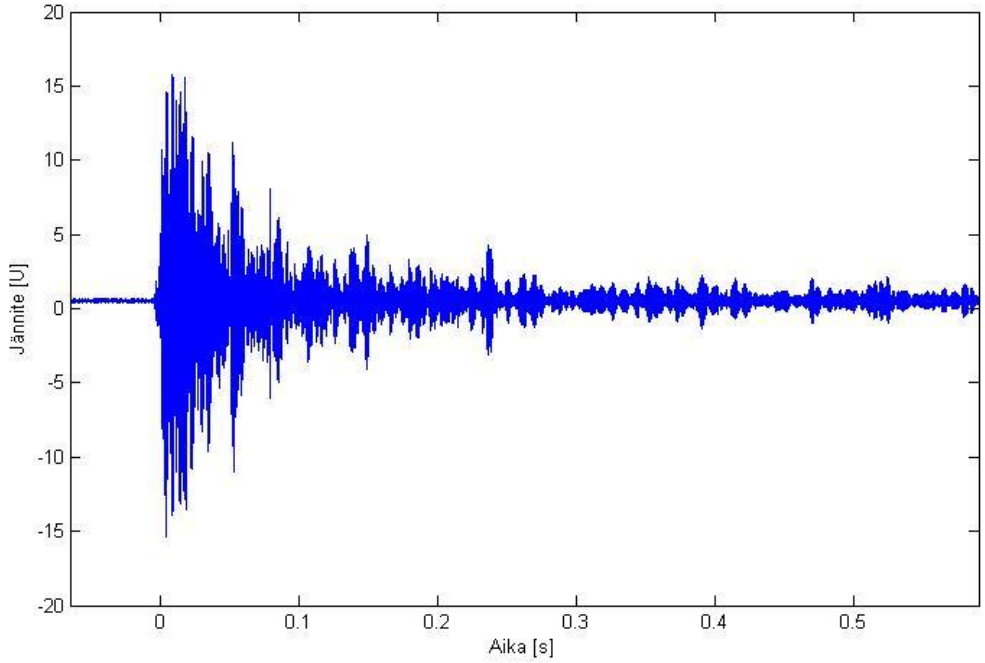
4.2 Ampumaratamittaukset Muratan ja Senceran antureilla

Mittaukset tapahtuivat Lappeenrannan Reservialiupseerien Salpamajalla, joka on 4 km päässä Lappeenrannan lentoasemasta. Lappeenrannan lentoaseman sää oli mittaushetkellä 1°C. Maalilaite oli sijoitettu 2 m päähän koaksiaalikaapelilla oskilloskooppiin. Ampumamatkana oli 10 m. Ensin ammuttiin pienoispistoolilla eli kaliiperina .22 LR ja tämän jälkeen pistoolilla, jonka kaliiperi oli .40 S&W.

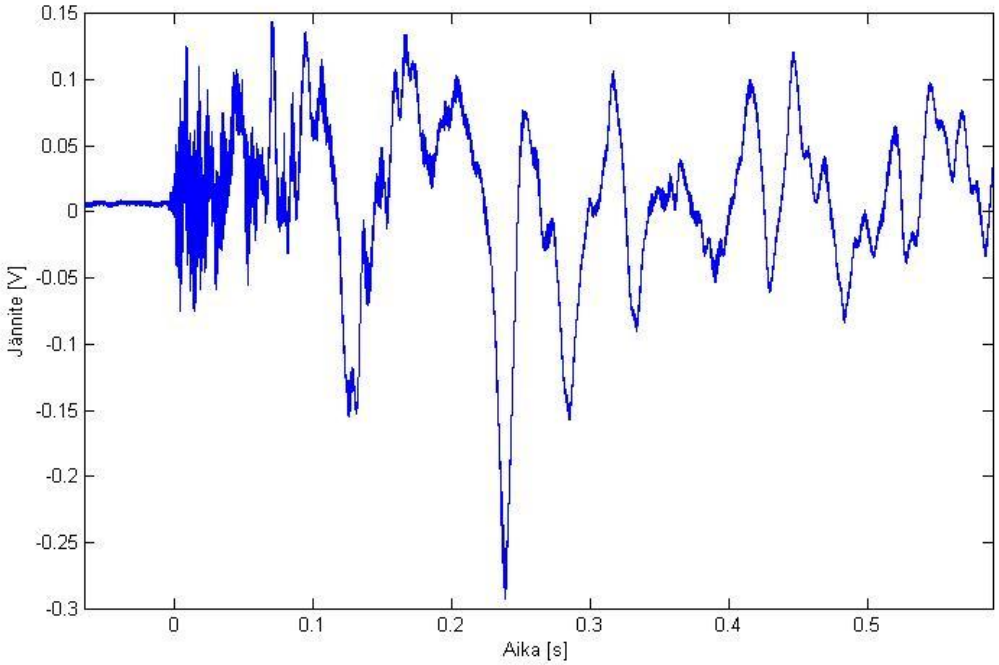
Koko mittaussysteemi ammuntojen jälkeen on esitelty kuvassa 4.2. Mittauksissa oli useampia laukausia ennen varsinaista mittausta kullakin aseella, jotta oskilloskoopin säädöt olisivat kunnossa. Tämän jälkeen ammuttiin viisi laukausta molemmilla aseilla.

Kuva 4.2 Johtojen suojauksessa käytetty teräksisiä peltejä ja maalilaitteen paikallaan pitämiseksi käytetty noin 5 kg paino maalilaitteen etupuolella.

Pienoispistoolilla ammuttaessa maksimijännitteen vaihteluväli Muratan anturille oli 19 V ja 14 V. Tyypillisesti värähtelyn pituus oli 0.1 s ja joissain tapauksissa yli 0.5 s. Senceran anturissa maksimijännitteet ovat välillä 0.4 V ja 0.06 V. Senceran anturissa värähtely aika oli noin 0.3 s tai yli 0.5 s. Senceran anturissa maksimijännitteet ovat välillä 0.4 V ja 0.06 V. Näistä esimerkkinä kuvat 4.3 ja 4.4. (LIITE II)



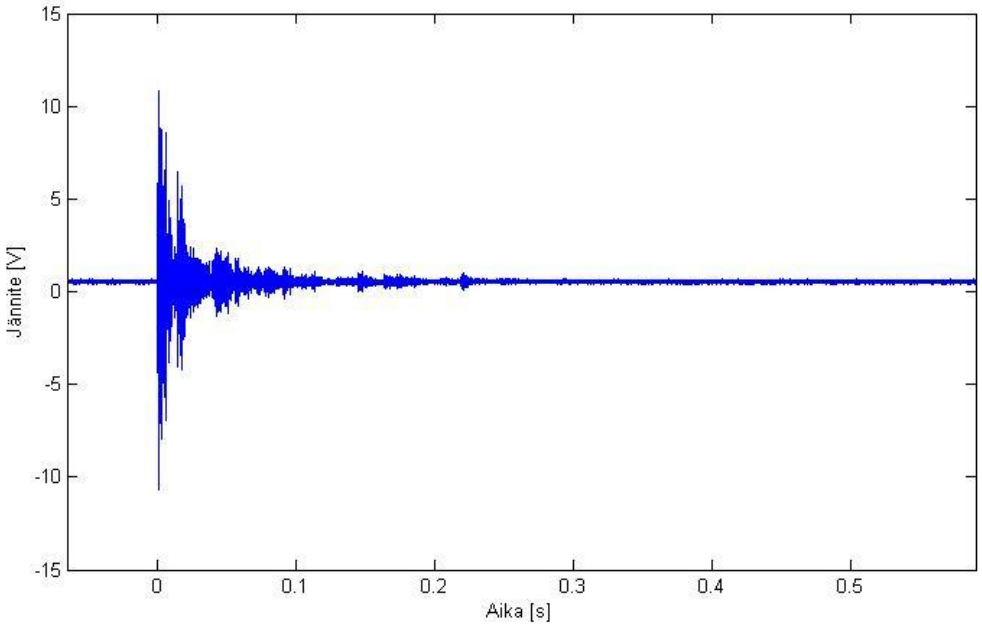
Kuva 4.3 Pienoispistoolilla ammutun luodin aiheuttama jännite ja värähtely Muratan anturiin. Osumapiikki ajan hetkellä 0s. Kyseessä sama osuma kuin kuvassa 4.4.



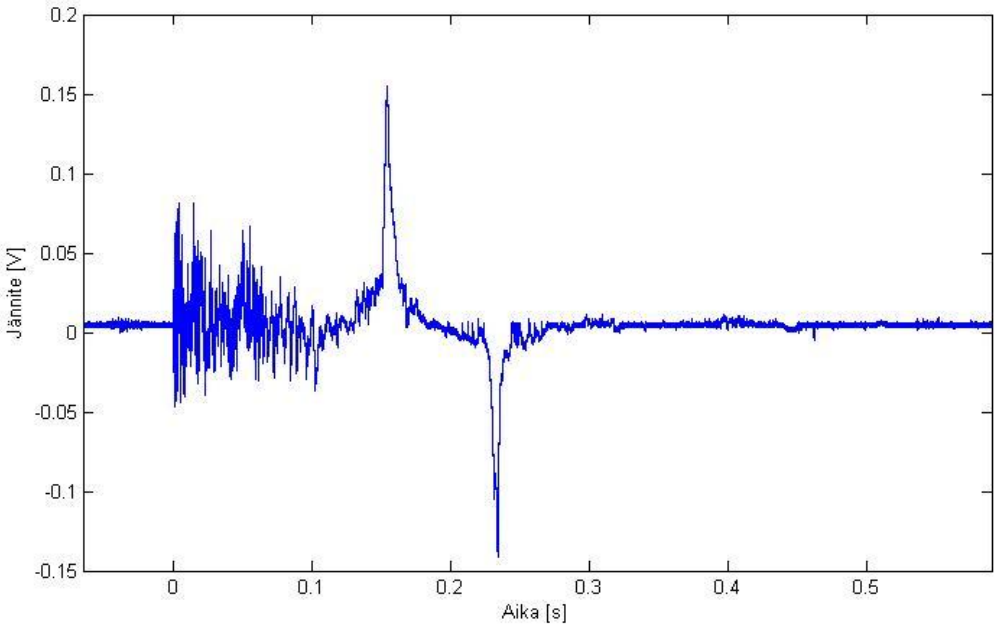
Kuva 4.4 Senceran anturin antama jännite ja värähtely, kun on ammuttu pienoispistoolilla. Osumasta aiheutuvaa osumapiikkiä ei pysty havaitsemaan tällä anturilla. Kyseessä sama osuma kuin kuvassa 4.3.

Pistoolilla ammuttaessa on jännitteet ja värähtelyajat ovat lähes samanlaiset kuin pienoispistoolilla ammuttaessa. Jännitteet ovat alhaisemmat kuin pienoispistoolilla eli

Muratan anturilla väli on 14 V:sta 8 V:iin, ja Senceran anturilla 0.15 V:sta 0.06 V:iin (LIITE III). Esimerkkinä on kuvat 4.4 ja 4.5, jossa on pistoolilla ammutun luodin osumasta aiheutuneet jännitteet.



Kuva 4.4 Muratan anturin luoma jännite, joka aiheutuu pistoolilla ammutun luodin osumasta. Kuvasta nähdään osumapiikki kohdassa 0 s ja osumasta aiheutuva jännite 10 V. Värähtely vaimenee 0.22 s kohdalla. Kuvassa sama osuma kuin kuvassa 4.5.



Kuva 4.5 Pistoolin luodin osumasta aiheutuva jännite Sencaran anturille. Luodin aiheuttama värähtely ennen osumapiikkiä, joka on kohdassa 0.18 - 0.22 s. Anturin luoma jännite on osumapiikin kohdalla 0.15 V. Kyseessä sama osuma kuin kuvassa 4.4.

4.3 Tulosten analyysi

Osumaenergia vaimenee maalilaitteen rakenteista ja maalitaulusta. Ottaen huomioon, että maalitauluna ja maalilaitteena on jäykkäkappale, jotta osumasta johtuva energia pysyisi vakiona, riippumatta osumakohdasta. Koska jos maalitauluna ei ole jäykkää kappaletta, niin osumien aiheuttavat voimat ovat erillaiset, osuttaessa lähelle kiinnitys kohtaa ja kauas siitä. Maalitaulun reikäisyys vaikuttaa osuman voimaan. Osuma ei tällöin välttämättä osu kokonaan maalitauluun, vaan osa menee tyhjän läpi. Jos maalitaulu on reikäinen, niin maalitaulun mekaniikkakin muuttuu.

Rakennetulla maalilaitteella pystyi mittamaan anturit, niiltä osin kuin oli tarpeellista. Tosin maalilaite vaati painoin sen etupuolelle, että maalilaite pysyisi pystyssä luodin osuman takia.

Valituista antureista sopii osuman havaitsemiseksi paremmin Muratan anturilla, koska siitä näkee selvän osumakohdan. Osumakohta on aina värähtelyn alussa, toisin kuin Senceran anturilla. Senceran anturilla ei aina pysty havaitsemaan osumakohtaa.

Kaliiperien väliset erot jännitteissä johtuvat luodin liikemäärästä. Luodin luovuttama energia kohteeseen on riippuvainen siitä, että kuinka suurella liikemäärällä luoti lävistää kohteen. Isompi kaliiperisella .40 S&W luodilla liikemäärä on suurempi kuin .22 LR, joten .40 S&W läpäisykyky on suurempi kuin .22 LR luoti. Tämän voi laske yhtälöllä (1), missä .40 S&W massa *m* on 13 g ja nopeus *v* on 267 m/s (Vihtavuori 2002). Pienempi kaliiperiselle .22 LR massa on 2.59 g ja nopeus 290 m/s (Skinner 2005).

$$p = mv \tag{1}$$

Tällöin .40 S&W liikemääräksi tulee 3471 g*m/s ja .22 LR liikemäärä on 751 g*m/s. Anturikohtaiset erot johtuvat luodin osumakohdasta, jossa tulee esille maalitaulun ja maalilaitteen mekaniikka.

Antureiden luomat signaalit voi käsitellä komparaattorilla, mikä vertailee kahta jännitetasoa toisiinsa. Kun tietty jännitetaso ylittyy, niin komparaattori muuttaa tilaansa nollasta ykköseen. Esimerkiksi mittauksissa käytetty Muratan anturin luoma jännite ylittää yhden voltin, niin komparaattori muuttaa tilansa nollasta ykköseen eli osuma on havaittu.

5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Työssä testattiin kahta kiihtyvyyteen reagoivaa anturia. Sopivia anturointeja tyyppejä maalilaitteelle, joilla halutaan pelkästään havaita osuma maalitauluun on monia. Yksinkertaisin ja luotettavin on IEPE-tyypin pietsosähköinen anturi. Nämä anturit ovat sopivia mittaamaan luodin osuman maalitauluun. Kiihtyvyydet joita luodit aiheuttavat, sopivat näiden antureiden mittausalueeseen. Kyseiset anturit ovat lisäksi kestäviä ja luotettavia.

Laboratoriomittaukset Muratan anturilla olivat suuntaa antavia, eli niiden perusteella anturi pystyy havainnoimaan myös luodin osumat maalitauluun. Ampumaratamittauksissa Muratan anturi oli kahdesta parempi, sillä siinä oli selkeä osumapiikki. Toisena vertailu anturina ollut Sencaran anturi, missä varsinainen osumapiikki tapahtui värähtelyn jälkeen tai ei olleenka. Muratan anturin jännitteet olivat mittausjärjestelyssä välillä 19 - 8 V, kun Senceran anturilla välillä 0.40 - 0.06 V.

Mittauksissa havaittiin myös alkuolettamuksesta poiketen, että suurempi kaliiperi luovuttaa vähemmän energiaa maalitauluun osumiseen, sillä sen läpäisykyky on yleensä suurempi kuin pienikaliiperisilla. Läpäisykykyyn vaikuttaa luodin liikemäärä. Liikemäärä muodostuu luodin massasta ja nopeuden tulosta. Antureiden väliset jännite-erot johtuivat maalitaulun ja maalilaitteen mekaniikka.

Mittauksissa havaittua värähtelyä pystyy estäämään, suunnittelemalla mekaniikkan paremmin. Todennäköisesti tämä vaatii tekemällä maalilaitteesta muuten raskaamman tai sijoittamalla maalitaulun kiinnityksen lähemmäksi maata.

LÄHTEET

Andrejašic, Matej. 2008 Mems accelerometers. [verkkodokumentti]. [viitattu 26.3.2011]. Saatavilla http://mafija.fmf.uni-lj.si/seminar/files/2007_2008/MEMS_accelerometers-koncna.pdf

Birkholz, Mario. 1994 Crystal-field induced dipoles in heteropolar crystals II: physical significance. [verkkodokumentti]. [viitattu 26.3.2011]. Saatavilla http://www.mariobirkholz.de/ZPB1995b.pdf

Ed Skinner 2005. .22 Long Rifle Ammunition Specifications and Experience. [verkkodokumentti]. [viitattu 29.6.2011]. Saatavilla http://www.flat5.net/22LR_velocities.html

Murata Manufacturing Co., Ltd. Tuotteiden datasivu. [verkkodokumentti]. [viitattu 13.3.2011]. Saatavilla http://www.murata.com/products/catalog/pdf/k99/k99e.pdf

Sencera Co. Ltd. Tuotteen 102 datasivu. [verkkodokumentti]. [viitattu 14.3.2011]. Saatavilla http://www.sensorelement.com/shock/102%20shock%20sensor%20spec.pdf

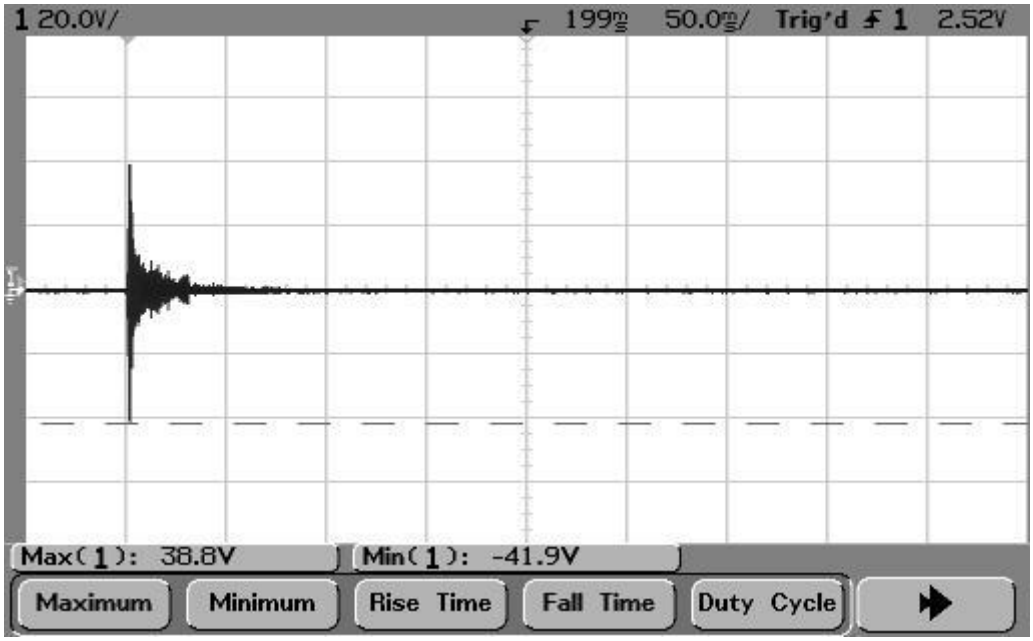
SIUS tuotteen Laserscore datasivu. [verkkodokumentti]. [viitattu 19.4.2011]. Saatavilla http://www.sius.com/downloads/Flyer/BO18-EN_Laserscore.pdf

Snipetec tuotteen datasivu. [verkkodokumentti]. [viitattu 27.6.20011]. http://www.snipetec.com/osumanilmaisin.html

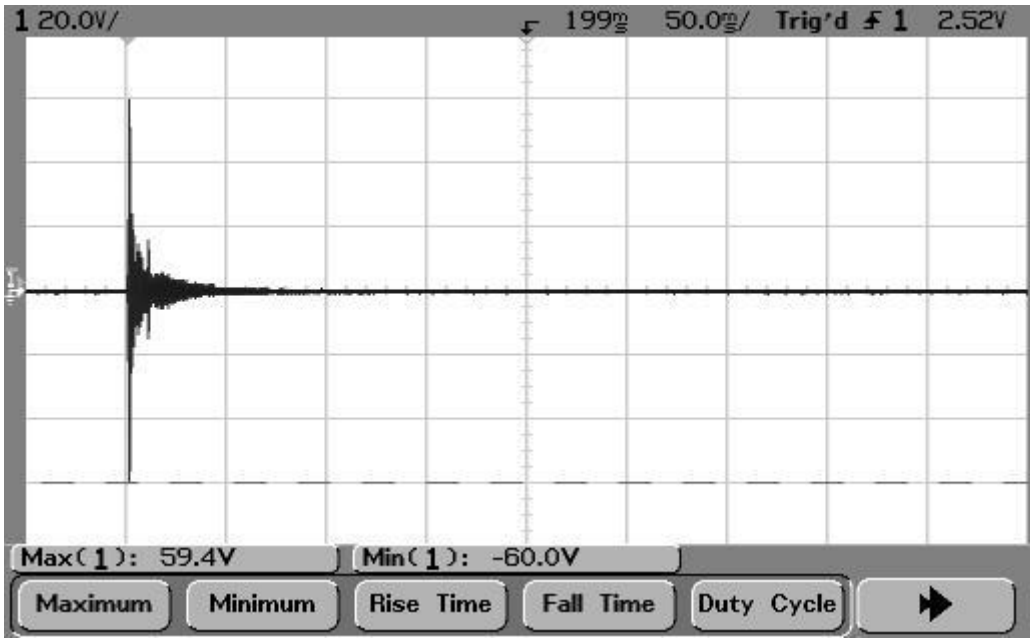
Vihtavuori. Metric reloading guide for Centerfire Cartridges 2/2002. [verkkodokumentti]. [Viitattu 30.3.2011] Saatavilla http://www.lntrade.dk/pdfdoc/Vihtavuori_ladedata.pdf

Wilson, Jon S. 2005 Sensor Technology Handbook. Amsterdam: Elsevier.

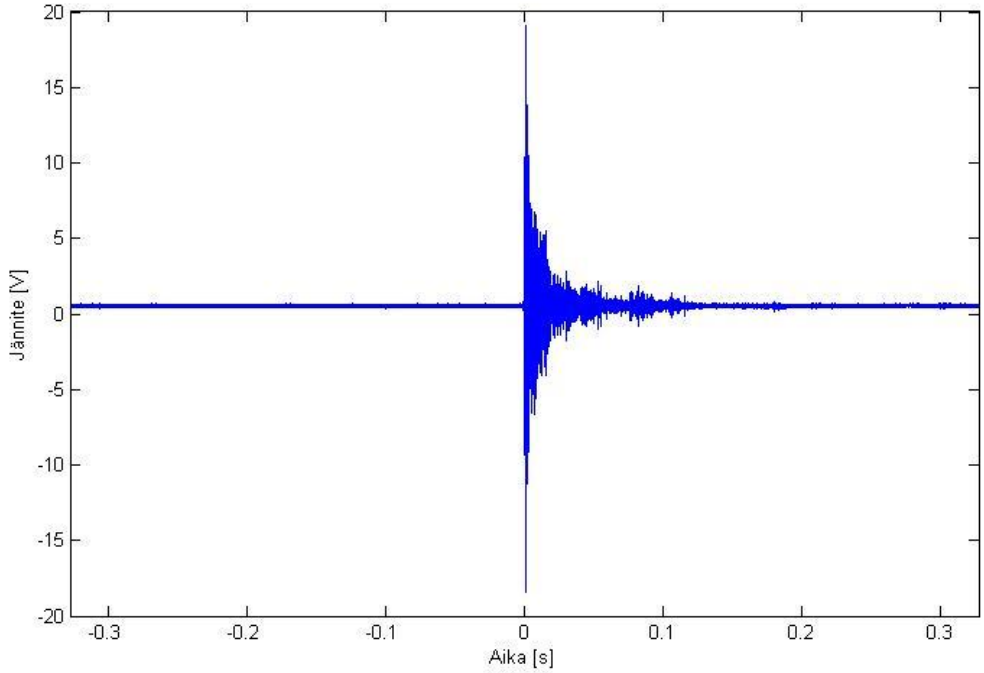
Window, A. L. and Holister G. S. 1983. London: Applied Science



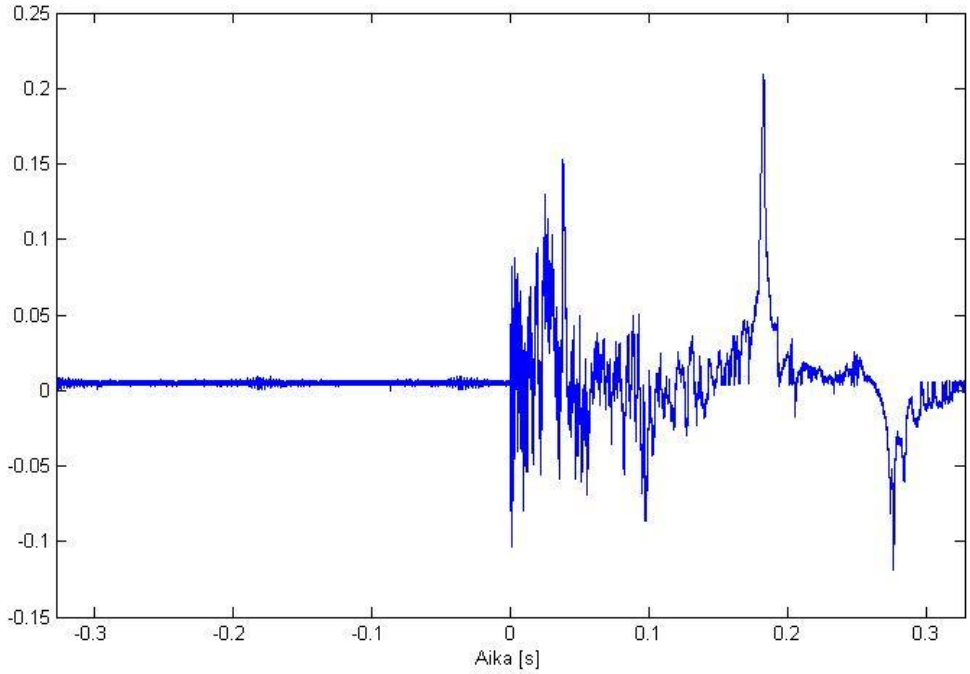
Kuva 1 Maalitauluun on lyöty kohtisuoraan sivulta. Maksimijännite 38.8 V ja minimijännite -41.9 V. värähtelyn pituus on 30 ms.



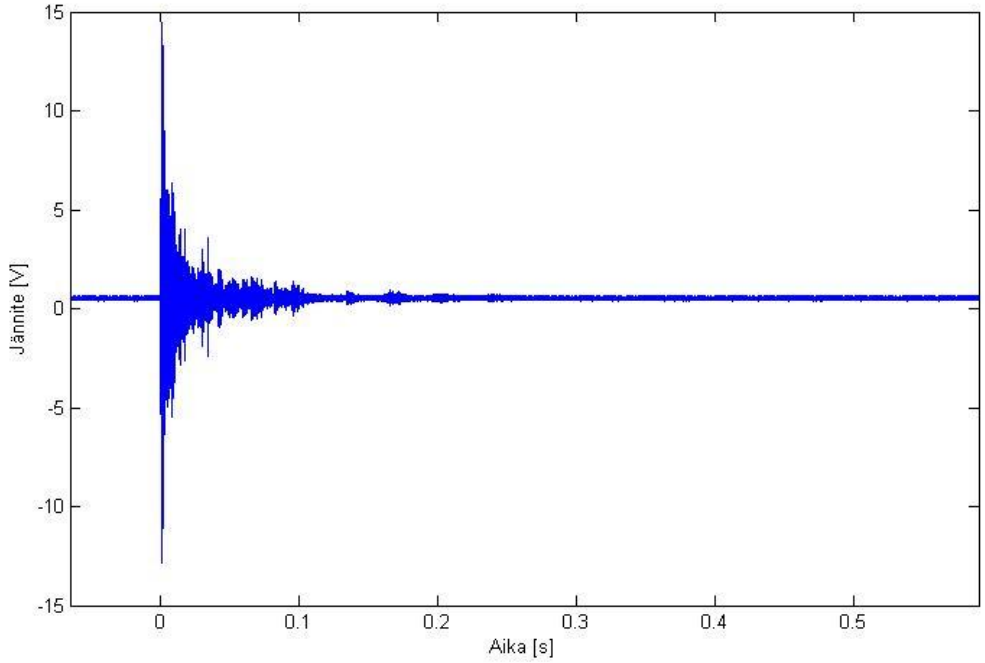
Kuva 2 Maalitauluun on lyöty kohtisuoraan ylhäältä. Maksimijännite 59.4 V ja minijännite -60.0 V. Värähtelyn pituus on 42 ms.



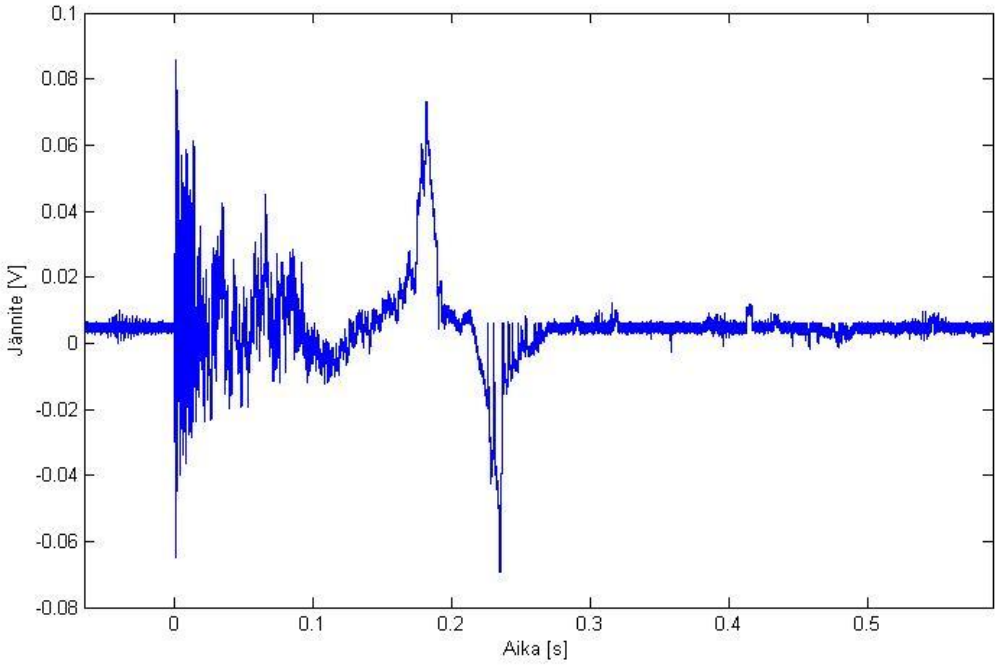
Kuva 1 Muratan anturi mittaus 1.



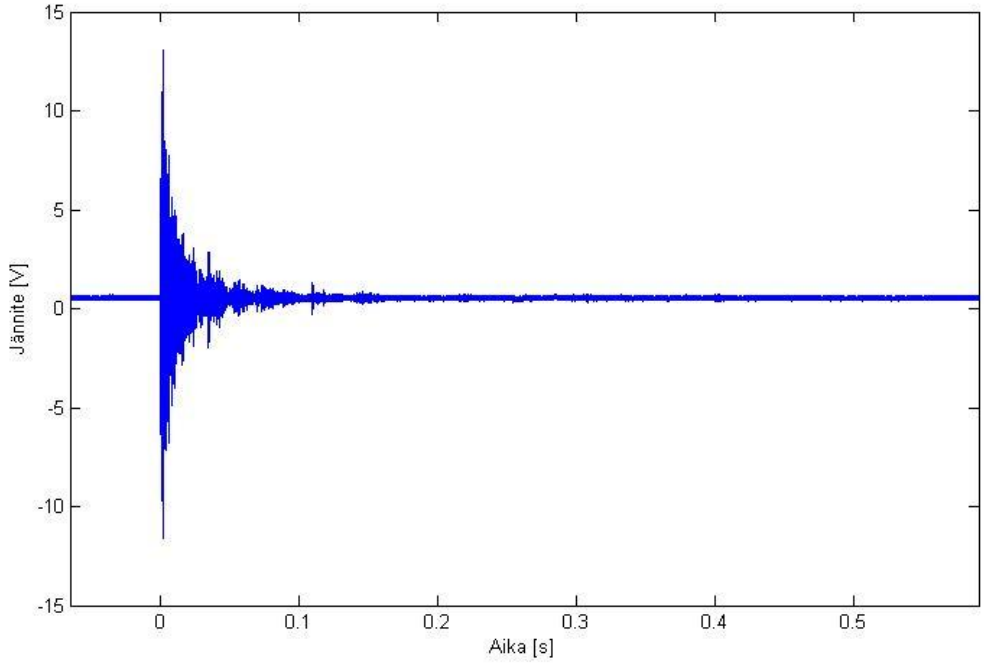
Kuva 2 Senceran anturi mittaus 1.



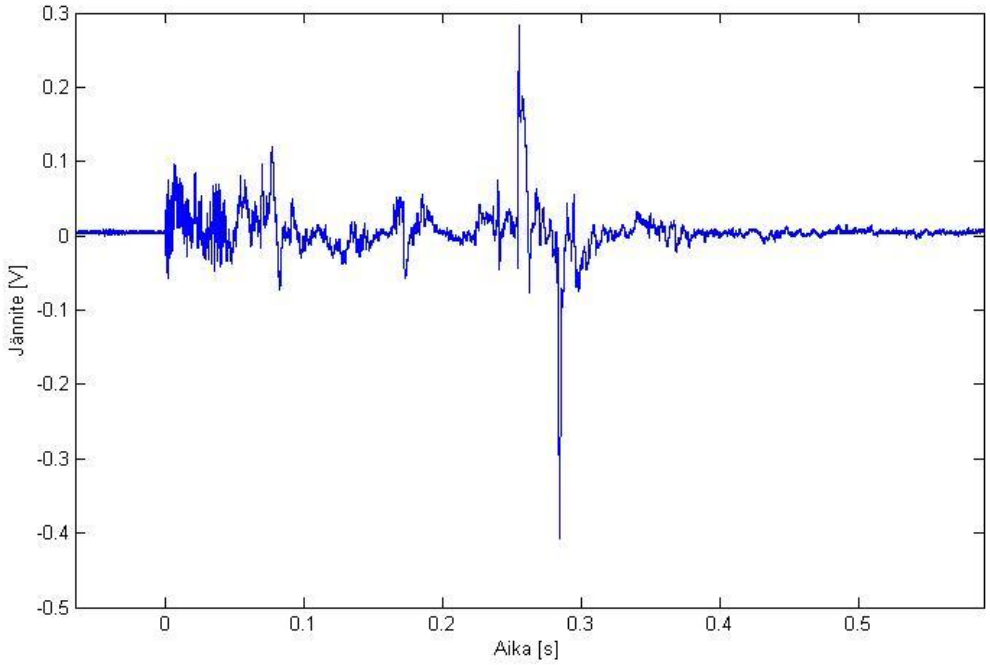
Kuva 3 Muratan anturi mittaus 2.



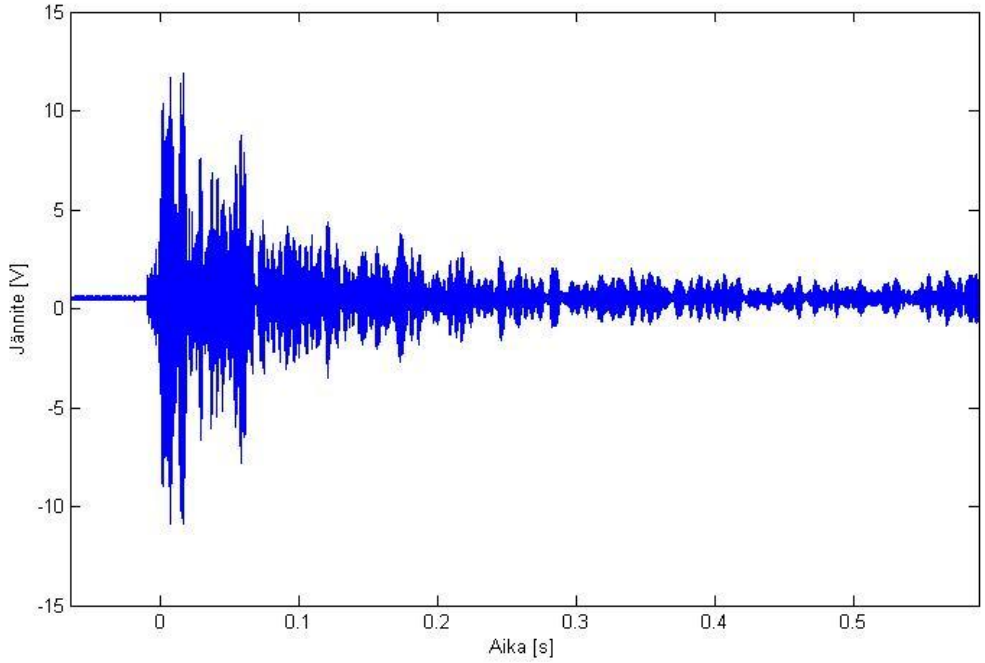
Kuva 4 Senceran anturi mittaus 2.



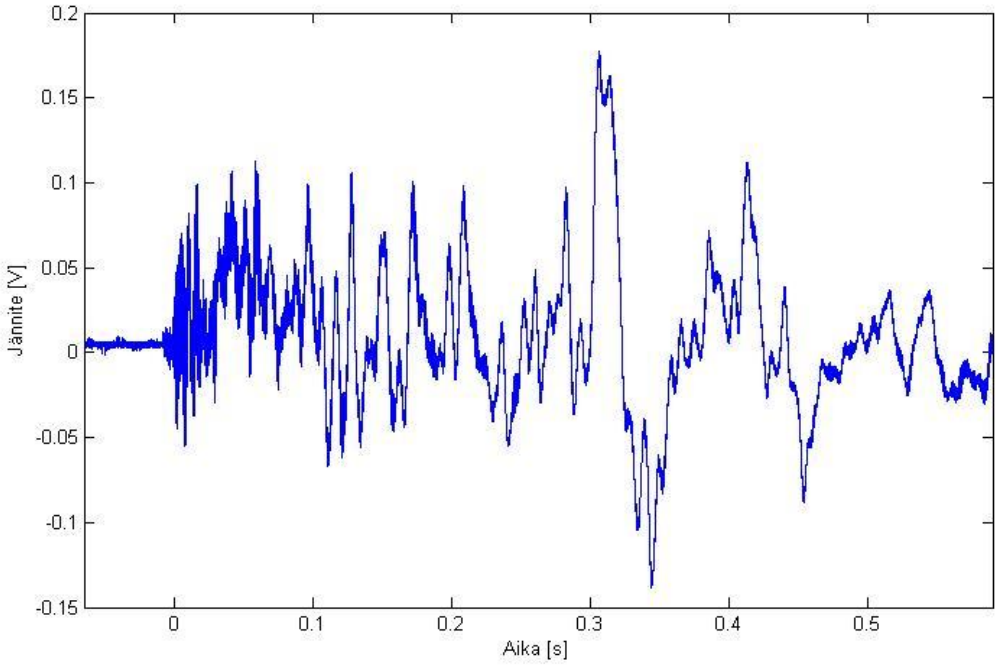
Kuva 5 Muratan anturi mittaus 3.



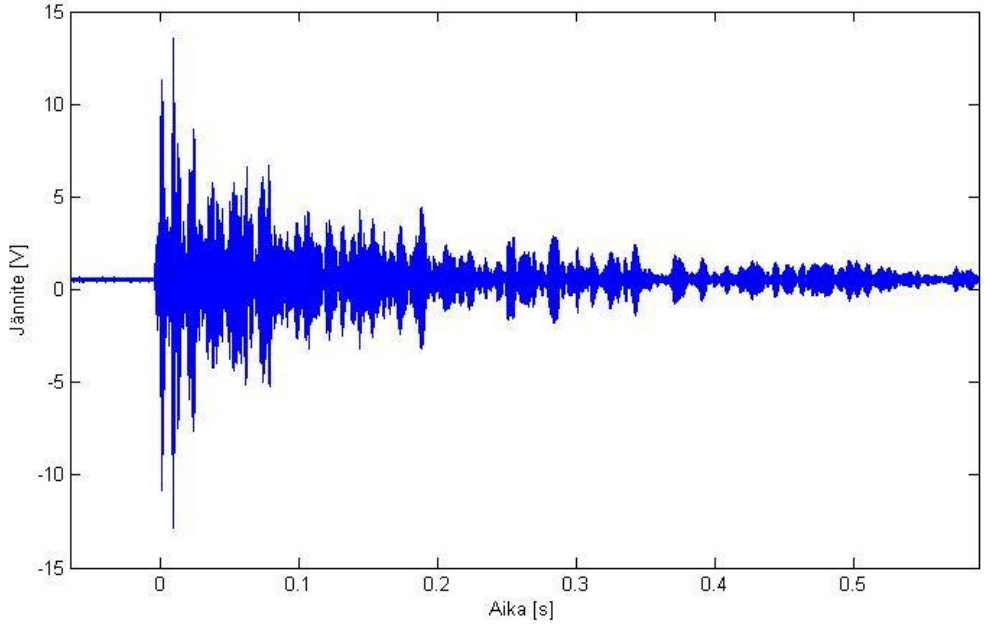
Kuva 6 Senceran anturi mittaus 3.



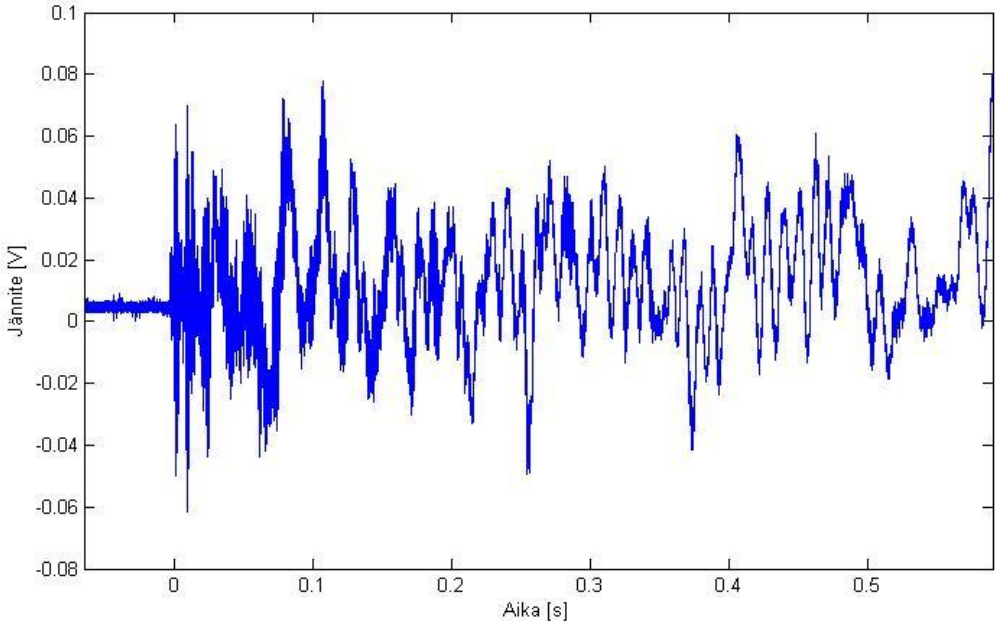
Kuva 7 Muratan anturi mittaus 4.



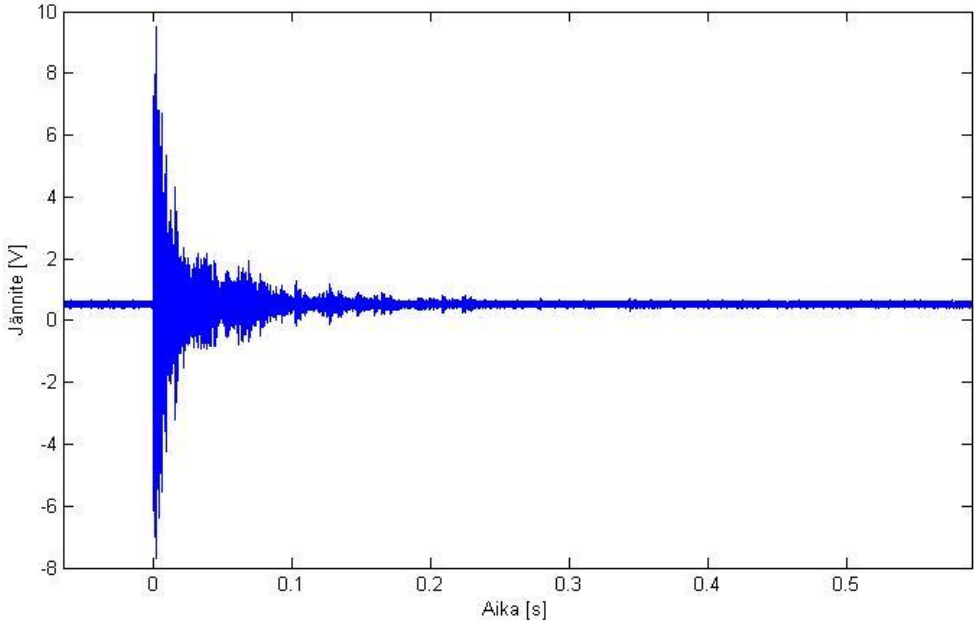
Kuva 8 Senceran anturi mittaus 4.



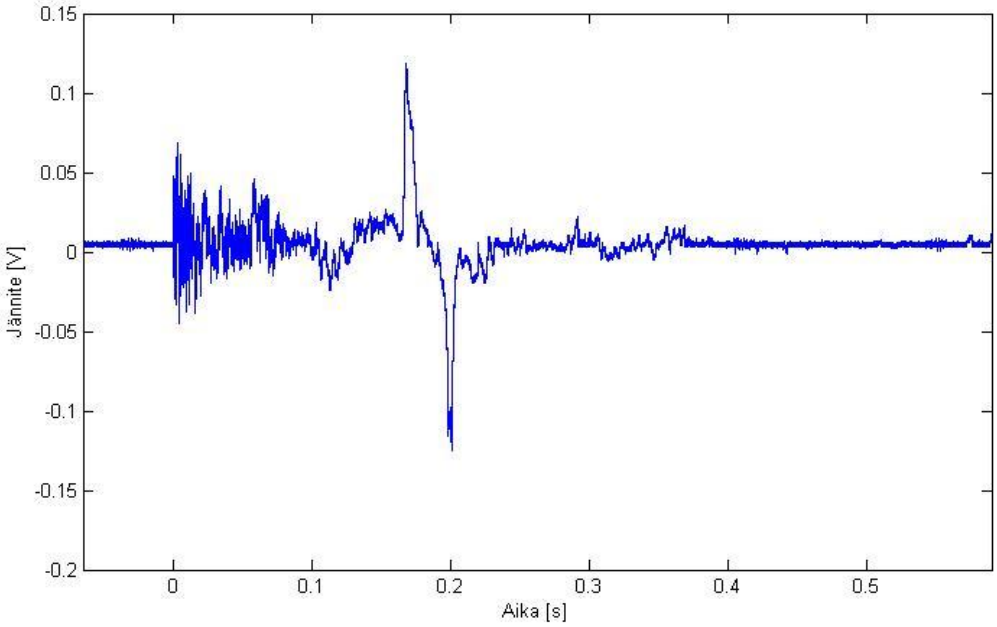
Kuva 1 Muratan anturi mittaus 1.



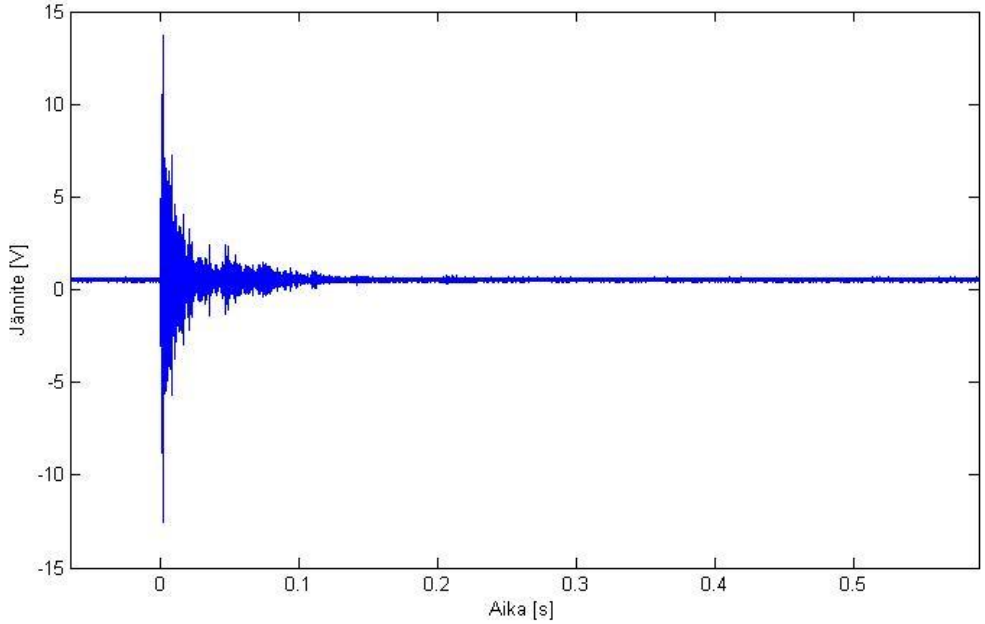
Kuva 2 Senceran anturi mittaus 1.



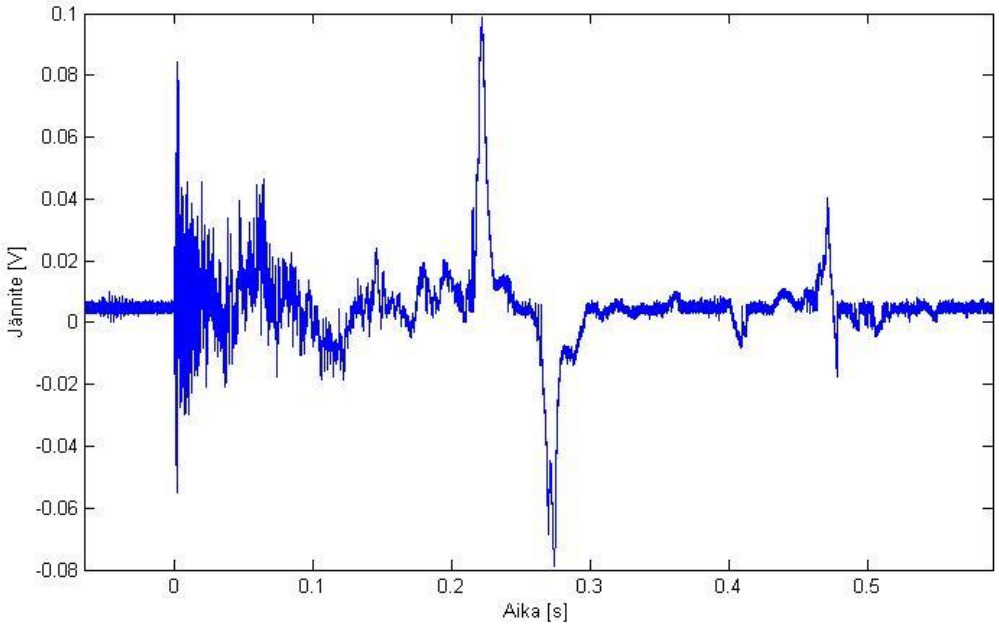
Kuva 3 Muratan anturi mittaus 2.



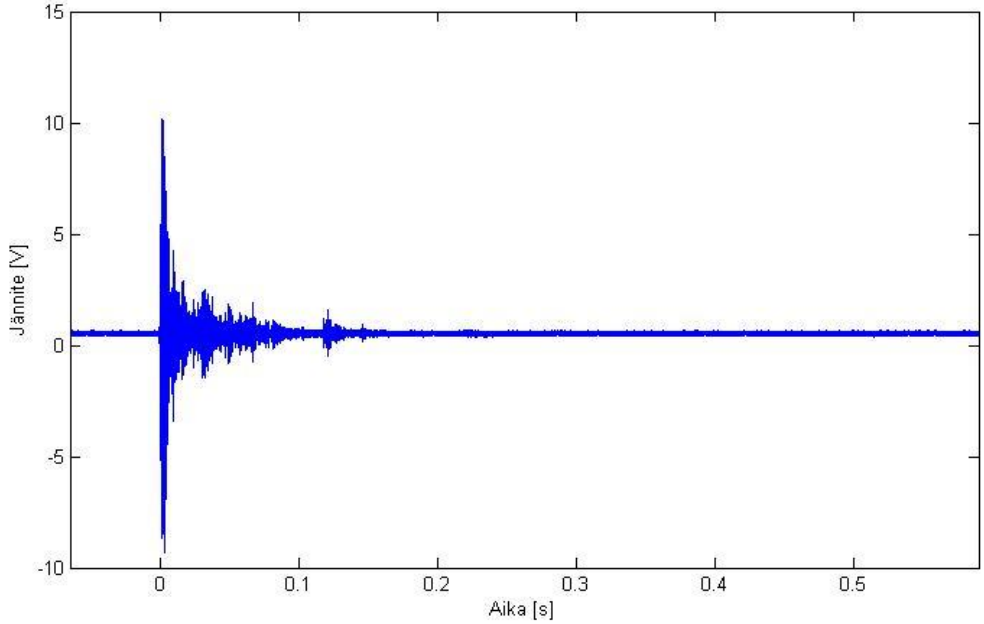
Kuva 4 Senceran anturi mittaus 2.



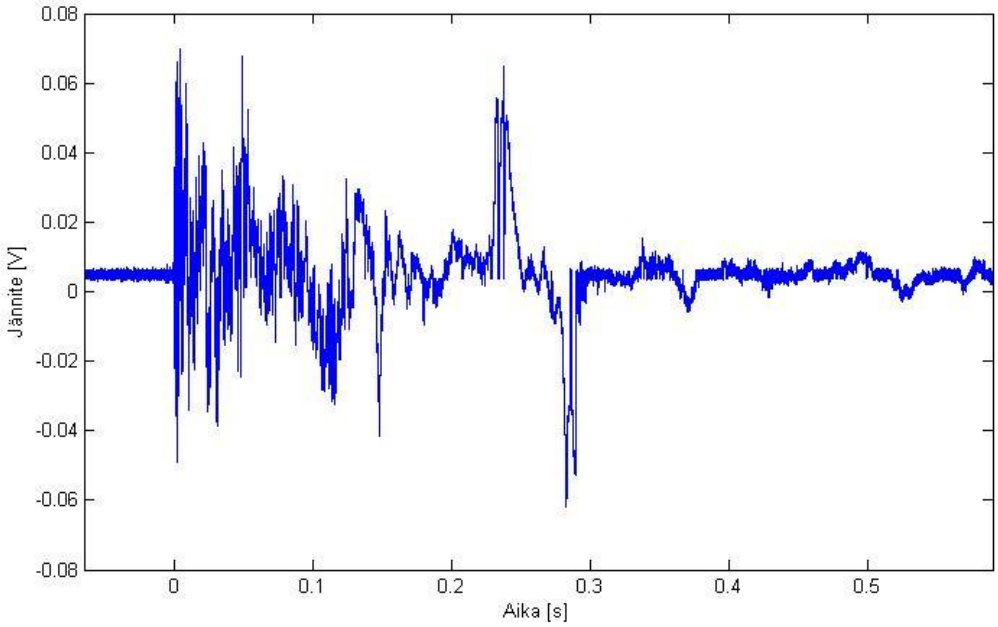
Kuva 5 Muratan anturi mittaus 3.



Kuva 6 Senceran anturi mittaus 3.



Kuva 7 Muratan anturi mittaus 4.



Kuva 8 Senceran anturi mittaus 4.