

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknistaloudellinen tiedekunta

Tietotekniikan laitos

Timo Kiviharju

Käsiaseen ulkoballistiikan mallintaminen mobiililaitteella

Kandidaatintyö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi kandidaatin tutkintoa varten Lappeenrannassa 29.4.2012. Kandidaatintyön aihe on hyväksytty 9.10.2011.

Työn valvoja: Professori Jari Porras

Työn ohjaaja: Professori Jari Porras

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Teknistaloudellinen tiedekunta

Tietotekniikan laitos

Timo Kiviharju

Käsiaseen ulkoballistiikan mallintaminen mobiililaitteella

Kandidaatintyö

29.4.2012

29 sivua, 5 kuvaa, 8 taulukkoa ja 1 liite

Tarkastaja: Professori Jari Porras

Hakusanat: ballistiikka, mobiililaitte, Android, ohjelmistokehitys

Työn tavoitteena on poistaa tulostettujen lentoratataulukoiden ja laskukoneen tarve pitkän matkan ammunnessa, sekä myös parantaa osumapisteen arvioinnin tarkkuutta ja nopeutta. Tavoite saavutetaan mobiililaitteelle kehitettävällä ulkoballistiikkasovelluksella, joka mallintaa luotien lentoratoja Arthur J. Pejsan kaavojen avulla. Työ tutkii sovelluksen käytön etuja sekä verifioi tulokset käytännön testeillä ja vertaamalla kilpaileviin hyväksihavaittuihin sovelluksiin.

ABSTRACT

Lappeenranta university of technology
Faculty of technology management
Department of information technology

Timo Kiviharju

Modeling external ballistics of handgun with mobile device

Bachelor's thesis

29.4.2012

29 pages, 5 pictures, 8 diagrams ja 1 appendix

Examiner: Professor Jari Porras

Keywords: ballistics, mobile device, Android, software development

The goal for this project is to eliminate the need for printed bullet flight path tables and regular calculators and also to improve the hit point estimation accuracy in long range shooting. This is achieved by developing an external ballistics software for mobile devices which calculates bullet flight path from data by using formulas developed by Arthur J. Pejsa. This project examines the benefits of using such a software and also verifies the calculated results in practice and by comparing them against other well known applications.

SISÄLLYSLUETTELO

| | |
|----------------------------------------------------------------|-----------|
| 1. JOHDANTO | 5 |
| 1.1. Tavoitteet | 6 |
| 1.2. Rajaukset | 7 |
| 1.3. Työn rakenne..... | 8 |
| 2. OSUMAPISTEEN ESTIMOINTI PERINTEISIN TAVOIN | 9 |
| 2.1. Ongelmat..... | 11 |
| 3. OSUMAPISTEEN LASKENTA TIETOKONEELLA | 12 |
| 4. OHJELMAN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS MOBILILAITTEELLE .. | 14 |
| 4.1. Ase-kiikari-lataus näkymä | 17 |
| 4.2. Ympäristömuuttujat näkymä | 18 |
| 4.3. Laskentatulokset näkymä..... | 19 |
| 5. TESTAAMINEN..... | 20 |
| 5.1. Vertaaminen verrokkiohjelmiin | 20 |
| 5.2. Käytännön kokeet | 23 |
| 6. YHTEENVETO | 25 |
| LÄHDELUETTELO | 26 |
| LIITTEET..... | 28 |
| Liite 1. Lentoratataulukko | 28 |

LYHENTEET

| | |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| .22 lr | .22 long rifle, pienoiskivääri |
| AMET | Ampumaetäisyys |
| FMJBT | Full Metal Jacket Boat Tail, veneperäinen kokovaippaluoti |
| G1 BC | G1 Ballistic Coefficient, yleisimmin käytetty ballistisen kertoimen tyyppi |
| G7 BC | G7 Ballistic Coefficient, joidenkin valmistajien ja kaavojen VLD luotien kanssa käytettävä ballistisen kertoimen tyyppi |
| HPBT | Hollow Point Boat Tail, veneperäinen reikäpäluoti |
| MIL | milliradiaani |
| MOA | Minute-of-Angle, kulmaminuutti |
| PVKK | Puolustusvoimien koulutuksen kehittämiskeskus |
| SRA | Sovellettu reserviläisammunta |
| VLD | Very Low Drag, tarkoittaa yleensä modernia matalan ilmanvastuksen omaavaa luotia |
| XML | Extensible Markup Language |

1. JOHDANTO

Perinteisissä olympialaisistakin tutuissa lyhyen matkan tarkkuusammuntalajeissa menestyminen on suurimmaksi osaksi kiinni ampujasta ja aseesta. Menestymisen edellytykset ovat olemassa, kun aseiden mekaaninen tarkkuus on kunnossa ja ampujalla on hyvä ammuntatekniikka, sekä henkinen että fyysinen kestävyys. Aseet ovat yleensä pienois- tai ilma-aseita, ja tulevat ainoastaan muutamalta harvalta huippuvalmistajalta, kuten myös näissä käytettävät ammuksot, eikä siten välineissä ole kovinkaan paljoa vaihtelua. Kun ampumamatkaa kasvatetaan, tulee mukaan muita osuutaan vaikuttavia tekijöitä, joka vaatii ampujalta myös muuta kuin ampumatekniikan hallitsemista.

Pitkien matkojen ampumalajeja on useita erilaisia joita muun muassa ovat kasa-ammunta, Yhdysvalloista lähtöisin oleva "High Power Rifle", SRA ja tarkka-ampujakilpailut. Ampumalajien lisäksi pitkille matkoille voidaan joutua ampumaan metsästyksessä ja viranomaistoiminnassa. Kaliberit ovat huomattavasti järeämpiä, sekä terminaali- että ulkoballistisista syistä, sillä ampumamatkat voivat olla yli kilometrin mittaisia. Yksityiskohtana mainittakoon, että pisin matka jolle viranomaistoiminnassa on tehty onnistunut laukaus on 2475 metriä. Käytetty kaliberi oli .338 Lapua Magnum eli 8,6x70 [Drury 2012]. Ampuja osui vasta ohilaukauksen jälkeen. Aseille ja patruunoille, käyttötarkoituksesta riippuen, on molemmille tyypillistä, että käytetään sekä tehdas-, tilaustyö- että omavalmistatut kasetit. Etenkin patruunoiden lataaminen itse on erittäin yleistä.

Ampumatekniikasta riippumattomia osuutaan liittyviä tekijöitä tutkittaessa tulee eteen ballistiikka, joka jakautuu neljään osa-alueeseen; sisä-, väli-, ulko ja terminaaliballistiikka [Paananen 2002, 377] [Salo 2007/1, 32]. Sisäballistiikka tutkii mitä aseessa tapahtuu liipaisimesta puristamisen ja luodin piipusta ulostautumisen välillä. Luodin jättäessä piipun siirrytään väliballistiikan alueelle, joka tutkii luodin käyttäytymistä heti piipusta päästyään kun kaasunpaine vielä vaikuttaa luotiin. Nämä kaksi vaikuttavat olennaisesti aseiden mekaaniseen tarkkuuteen eli hajontaan. Ulkoballistiikka tutkii ammuksen kulkua ilmassa tai avaruudessa, jonka mallintaminen mobiililaitteen avulla on tämän kirjoituksen aihe. Terminaaliballistiikka tutkii

projektiin toimintaa kohteessa, esimerkiksi minkäläistä vahinkoa metsästysluoti tekee riistaeläimessä.

Ampujan tulee osata ulkoballistiikkaan liittyvää matematiikkaa osuakseen pitkille matkoille, sillä tällä pyritään ennustamaan luodin lentorata, sekä kompensoimaan ympäristötekijöiden aiheuttamat muutokset luodin osuapisteelle. Aikaisemmin tätä työtä on tehty muistivihkojen, kaavojen, ampuma- tai lentoratataulukoiden, taskulaskumien, laskutikkujen ja muiden apuvälineiden avulla [PVKK 2003, 106-113] [Salo 2007/1, 32-41]. Ampumataulukoita käytettäessä pudotukselle ja tuulelle on molemmille oltava erilliset korjaustaulukot, jotta korjaukset saadaan arvioitua riittävän tarkasti.

Taulukoista lentoradan arviointi on yleensä liian epätarkkaa ja käsin laskeminen liian hidasta. Molempia vaikeuttaa myös suorituspaineen aiheuttamat virheet ja ympäristön häiritteijät kuten sää. Lisäksi on huomioitava, että metsästys- ja viranomaistoiminnassa listojen selaaminen voi aiheuttaa myös paljastavaa liikettä. Tietokoneella laskenta on automatisoitavissa ja nykyajan mobiililaitteet mahdollistavat sen, että laskenta on mahdollista missä tahansa. Laskenta nopeutuu ja samalla laskuvirheiden riski minimoituu. Lisäksi saadaan parannettua ensimmäisen laukauksen osumatodennäköisyyttä, joka on olennaista kaikessa ampumatoiminnassa, mutta korostuu metsästyksessä ja viranomaistoiminnassa.

1.1. Tavoitteet

Työn tavoitteena on tuottaa helposti siirrettävissä oleva Pejsan kaavoihin perustuva lentoradan laskentaluokka, ja luokkaa hyödyntävä sovellus Android-ympäristöön. Työssä tutkitaan myös ballistiikkalaskurin mobiilitoteutuksen käytettävyyttä sekä sen antamien tulosten oikeellisuutta vertaamalla niitä hyviksi havaittujen työpöytäsovellusten antamiin tuloksiin, sekä käytännön kokein eli ampumalla.

Sovellus ottaa huomioon etäisyyden, tuulen ja pystykulman, ja näyttää käyttäjälle tähtäimen säätöihin tai tähtäyspisteeseen tehtävät korjaukset, jos käytössä on mittaristikko. Laskenta tapahtuu asekiikariyhdistelmän, asekohtaisen latauksen ja ympäristötekijöiden tietojen perusteella. Käyttäjä voi syöttää sovellukseen tiedot aseesta, asekiikarista ja asekohtaisista latauksista joiden perusteella tähtäyspisteen kompensointi lasketaan. Käyttäjän on mahdollista tuoda ja viedä sovelluksen asetustiedosto, joka mahdollistaa tietojen muokkauksen ja varmuuskopioinnin. Suuri painoarvo suunnittelussa on sovelluksen käytön helppoudella. Ammuntatilanteessa on yleensä kiire sillä ympäristöolosuhteet, sekä joissain tapauksissa myös maalin tila, muuttuvat jatkuvasti. Sovelluksen tulee olla mahdollisimman helppo ja nopea käyttää. Lasketut korjaukset tulee esittää yhtäläillä yksinkertaisesti ja ymmärrettävästi.

1.2. Rajaukset

Työssä otetaan huomioon ainoastaan G1-tyypin ballistiset kertoimet, sillä luotivalmistajat eivät yleensä ilmoita muita ballistisia kertoimia. Etukäteen tiedetään, että suurin osa yleisesti saatavilla olevista lentoratomalleista ei sovellu alisoonisille latauksille. Toteutusta tullaan testaamaan myös alisoonilla latauksilla ja ongelmatapauksissa näiden latausten mallintamista pidetään applikaation lisäominaisuutena, joka toteutetaan jos aikaa jää ja soveltuvat kaavat löytyvät. Alisoonisten latausten ongelma voidaan kiertää myös tarjoamalla käyttäjälle mahdollisuus syöttää havainnoimalla tehty lentoratataulukko, jonka perusteella voidaan aproksimoida luodin sijainti eri etäisyyksillä. Tämän tyyliässä ratkaisussa tuulen arviointi voidaan suorittaa Salon esittämällä menetelmällä [Salo 2007, 38]. Pystykulmilla ampumisen mallintamista ei voitane testata, sillä ainakaan toistaiseksi ei ole tiedossa ampumapaikkaa joka mahdollistaisi ampumisen merkittävällä ylä- tai alakulmilla.

Ohjelma ei ota huomioon Coriolis-ilmiötä, jossa maapallon pyörimisliikkeen takia maalin sijainti muuttuu ilmassa olevaan luotiin nähden, sillä tämän aiheuttama virhe

kiväärikaliberisten aseiden ampumamatkoilla on hyvin pieni. Myös kiertopoikkeama, eli luodin pyörimisliikkeen aiheuttama lentoradan kaartaminen pyörimissuunnan suuntaan, jätetään tässä vaiheessa huomiotta.

1.3. Työn rakenne

Luvussa kaksi kerrotaan miten osumapistettä estimoimoidaan kirjoitushetkellä. Luku kertoo myös miten eri ympäristömuuttujia mitataan ja miten ne otetaan huomioon estimoinnissa ja mitä ongelmia nykytavassa on. Luvussa kolme kerrotaan miten osumapisteen laskenta suoritetaan tietokoneella. Luvussa käsitellään ballistiikkaan liittyvää kirjallisuutta ja selitetään miksi päädyttiin käyttämään Arthur J. Pejsan kaavoja. Luku neljä kertoo miten sovellus toteutettiin. Luku kuvaa sovelluksen rakenteen ja käyttöliittymän. Luvussa viisi kerrotaan miten kehitettyä sovellusta testattiin. Testaaminen tapahtui vertaamalla sovelluksen tuloksia hyväksi havaittuihin työpöytäsovelluksiin, sekä todentamalla tulokset ampumaradalla. Luvussa kuusi kerrotaan työn yhteenveto.

2. OSUMAPISTEEN ESTIMOINTI PERINTEISIN TAVOIN

Etäisyys kohteeseen ja tuulen nopeus ja suunta ovat osumapisteen muutoksen määräävimmit tekijät. Perinteisesti osumapisteen ja tarvittaessa korjausten estimointi tehdään yleensä lentoratataulukoiden ja laskukoneen avulla. Lentoratataulukko tuotetaan yleensä tietokoneohjelmalla ulkoballistiikkaohjelmalla ja todennetaan ampumalla eri etäisyyksille. Lentoratataulukko sisältää painovoiman ja tuulen aiheuttamia osumapisteen siirtymisen kiintopisteitä tietyille etäisyyksille ja tietyille tuulen nopeuksille. Koska taulukon jako on karkea, eikä kaikkea tietoa voida ilmaista tulostetussa muodossa, sopiva arvo saadaan interpoloimalla taulukosta väliarvoja laskukoneen avulla. Tämä kuten kaikki interpolointi aiheuttaa lopputulokseen virhettä. Mikäli kiikarin säätöjen suuruus ei ole yhteensopiva taulukon arvojen kanssa (MIL vs MOA vs cm/m), tulee tämä ottaa huomioon laskettaessa tarvittavien säätöjen määrää. Työpöytäkäyttöön tarkoitettulla QuickTarget sovelluksella tuotettu esimerkkitaulukko löytyy liitteestä 1. Lentoratataulukko antaa tuulikorjauksen tässä tapauksessa ainoastaan suuruudella 5 m/s.

Joissakin kilpailulajeissa, kuten kasa-ammunnassa, ammutaan vakioituille etäisyyksille, jolloin ampujan tehtäväksi jää ainoastaan tuulen huomioon ottaminen. Tuuli voidaan mitata ilman apuvälineitä tutkimalla maastoa, esimerkiksi miten ilmanväreily, heinä ja puut taipuvat ja miten vesi aaltoilee, mutta yleensä mittaaminen tapahtuu apuvälineiden avulla. Apuväline voi olla esimerkiksi narunpätkä jonka taipuminen tuulessa kertoo riittävällä tarkkuudella tuulen nopeuden ja suunnan, mutta nykyään elektronisia tuulennopeusmittareita on saatavilla huokeaan hintaan [Salo 2007/1, 37]. Yksittäinen narunpätkä tai mittari kertoo tuulen nopeuden ja suunnan ainoastaan siinä sijainnissa missä mittari on, ja matkan varrella tuulen suunta ja nopeus voivat vaihdella hyvin suuresti. Tästä syystä kasa-ammunnassa on sijoitettu tuuliviirejä tasaisin välein jolloin keskimääräisen vaikutuksen arviointi helpottuu. Yksittäiset mittarit tai narunpätkät ovat silti käyttökelpoisia sillä tuuli vaikuttaa lentorataan merkittävimmin lentoradan alkupäässä ja merkitsevyys vähenee maalia lähestyttäessä [Pejsa 2008, 41]. Ainoastaan sivusuunnasta tulevan tuulen vaikutus on merkitsevä. Kohtisuoraan tulevalla tuulella ei ole merkittävää vaikutusta luodin lentorataan [Pejsa 2008, 43] [Salo 2007/1, 37].

Kenttäolosuhteissa tuulikorjaus saadaan lentoratataulukosta. Tuulensuunta otetaan huomioon kellomenetelmällä joka vaikuttaa arvioinnissa käytettävään tuulen nopeuteen. [Salo 2007/1, 38] [PVKK 2003, 112].

Ampumaetäisyyden vaihdellessa tulee ampujan arvioida myös etäisyys kohteeseen. Tämä voidaan tehdä joko aktiivisella tai passiivisella välineistöllä. Aktiivisella tarkoitetaan esimerkiksi laseretäisyysmittaria, jonka emittoiman lasersäteen heijastuman perusteella laite arvioi etäisyyden kohteeseen. Passiivinen mittaus voi tapahtua esimerkiksi milliradiaaniristikon omaavan optisen tähytystyminen avulla, jolloin etäisyys voidaan arvioida karkealla tasolla kun tiedetään kohteen mittoja [Salo 2007/1, 58]. Korjaukset tehdään lentoratataulukon perusteella.

Muita osumapisteeseen vaikuttavia huomioon otettavia muuttujia ovat maastokulma, lämpötila, ilmanpaine ja -kosteus. Aina kun aseella, joka on kohdistettu vaakatasoon, ammutaan ylä- tai alaviistoon, menevät iskevät kohteen yli. Maastokulma voidaan mitata esimerkiksi piirtokolmion ja luotinarun tai tarkoitukseen tehdyn vesivaa'an avulla. Maastokulman vaikutus voidaan laskea laskukoneen avulla ja laskenta pienentää osumapisteen arvioinnissa käytettävää etäisyyttä kohteeseen [Pejsa 2008, 98]. Salon kirjassa on esitetty yksinkertaistettu laskentatapa Pythagoraan kaavan avulla jolla päästään karkeaan tarkkuuteen, mutta Pejsan kirja todistaa menetelmän epätarkaksi [Salo 2007/1, 34-35]. Useimmiten maastokulmat ovat kuitenkin niin loivia ettei niillä ole merkittävää vaikutusta tarkkuuteen. Ammuttaessa 200m etäisyydelle 30m korkean kuusen latvaan on tarvittava korjaus yhden tai kahden prosentin luokkaa. Ilmanpaine, kosteus ja lämpötila vaikuttavat ilman tiheyteen ja sitä kautta hidastuvuuteen. Usein elektroninen tuulimittari sisältää myös sääasematoiminnalli-suuksia jota kautta tiedot saadaan selville. Matala ilmanpaine, matala kosteus ja korkea lämpötila harventaa ilmaa, jolloin kitka pienenee. Lisäksi lämpötila vaikuttaa sisäballistiikkaan siten, että ruudin palamisnopeus hidastuu lämpötilan pienetessä ja siten luodin lähtönopeus laskee. Osa ruutityypeistä on myös herkempiä lämpötilan muutoksille kuin toiset [Paananen 2002, 381]. Lämpötilan muutoksen vaikutus 100 metriin +20 °C kohdistetulle 7,62 TKIV 85 kiväärille siirryttäessä -10 °C lämpötilaan on 100 metrissä -1cm ja 300

metrissä -10cm. Ilmanalan vaikutusten laskeminen käsin on vaikeaa ja yleensä tässäkin tapauksessa turvaudutaan erillisiin taulukoihin [Salo 2007/1, 35].

Tässä työssä ei huomioida Coriolis-ilmiötä eikä kiertopoikkeamaa, mutta käsiteltäköön ne tärkeinä asioina tutkimuksen kannalta. Coriolis-ilmiö aiheutuu maan pyörimisliikkeestä ja vaikuttaa luodin lentorataan eniten ammuttaessa suoran itä-länsi-akselin suuntaisesti. Pyörimisen ja maapallon pyöreiden vuoksi, kohde ikäänkuin lähestyy tai pakenee tai nousee tai laskee, joten ilmiön vaikutukseen vaikuttaa myös millä leveysasteella ampuja on [Pejsa 2008, 79]. Rihlaus aseissa on yleensä oikealle eli aseeseen takaa katsottuna luoti kiertää myötäpäivään. Tällöin kiertopoikkeamakin suuntaa oikealle. 100 metriin kohdistetulla 7,62 TKIV 85:lla kiertopoikkeama 300 metrissä on 2 cm [Salo 2007/1, 38].

2.1. Ongelmat

Luvussa kaksi on kerrottu eri menetelmiä miten osumapisteeseen vaikuttavia ympäristötekijöitä voidaan mitata, arvioida ja ottaa huomioon osumapisteen estimoinnissa. Estimointi vaatii saattaa vaatia jopa useita erilaisia taulukoita sekä laskukoneen väliarvojen laskemista varten. Väliarvojen laskeminen vie aikaa jolloin kohteen tai ympäristön tila saattaa ehtiä muuttumaan. Myös virheen mahdollisuus kasvaa laskutoimitusten myötä. Tämän lisäksi erilaiset tulosteet ovat ylläpidettävää tietoa ja ampujan mukanaan kannettavaa tavaraa. Tulosteiden sisältämä tieto, niihin liittyvä vaiva, laskukone ja itse laskutoimenpiteet voidaan korvata laskukoneen kokoisella mobiililaitteilla johon on toteutettu ballistiikkalaskuri. Näin osumapisteen ja korjausten laskenta nopeutuu ja virheiden määrä minimoidaan.

3. OSUMAPISTEEN LASKENTA TIETOKONEELLA

Osumapistettä tietokoneella laskettaessa tulee ottaa huomioon luvussa "Osumapisteen estimointi perinteisin keinoin" mainittujen ympäristömuuttujien lisäksi myös luodin lähtönopeus, massa ja ballistinen kerroin. Luodin korkea lähtönopeus suurentaa lentorataa ja vähentää tuuliherkkyyttä, mutta ilmanvastus kasvaa eksponentiaalisesti nopeuden kasvaessa ja tätä vastaan pyritään taistelemaan aerodynaamisesti edullisilla luotimuodoilla. Luodin ballistinen kerroin kuvaa luodin kykyä säilyttää nopeutensa ja vastaa tavallaan luodin ilmanvastuskerrointa. Kyseessä on etumerkitön ykköstä pienempi luku. Alla oleva ballistiikkaohjelmalla tuotettu taulukko kuvaa ballistisen kertoimen ja luodin massan vaikutusta putoumaan ja tuuliherkkyyteen. Kaikissa tapauksissa lähtönopeus on 800 m/s, kohdistusetäisyys 100 metriä, kohde on 300 metrissä ja tuuli on suoraan sivusta 5m/s.

| Kaliberi | G1 ballistinen kerroin | Putouma (amet 300m) [cm] | Tuuli 5m/s (amet 300m) [cm] |
|------------------------------|------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| 5,56mm (2,6g pienoiskivääri) | 0,10 | 149 | 169 |
| 5,56mm (3,6g FMJBT) | 0,25 | 64 | 54 |
| 7,62mm (10,0g FMJBT) | 0,46 | 50 | 27 |
| 8,6mm (19,5g HPBT) | 0,74 | 45 | 16 |
| 12,7mm (52g solid) | 0,98 | 43 | 12 |

Taulukko 1 Luodin massan ja ballistisen kertoimen vaikutus

Ballistiikkaan liittyvää kirjallisuutta on saatavilla, mutta ymmärrettävyydellään muista eroaa Arthur J Pejsan kirjoittama kirjallisuus, jos näitä verrataan esimerkiksi Carluccin ja Jacobsonin kirjaan [Carlucci & Jacobson 2008]. Pejsan kaavojen etuna on myös se, että kaavat käyttävät G1 tyyppin ballistista kerrointa. Tätä tyyppiä tukevat kaikki luotivalmistajat. Luodin nopeuden mukaan muuttuvan ballistisen kertoimen sijasta Pejsa käyttää hidastuvuuskertoimia [Pejsa 2008, 14]. Nykyään yleisten VLD luotien kanssa käytetään usein G7 tyyppin ballistista kerrointa ja näin tekee myös tunnustettu Berger Bullets:n ballistikko Brian Litzin [Litz 2012]. G7 tyyppin ballistisen

kertoimen käyttämisen sijasta Pejsa käyttää hidastuvuuskertoimiin vaikuttavaa muuttujaa, jonka suuruus vaihtelee luodin muodon mukaan, mutta tämän paikalla voidaan käyttää myös sopivaa keskiarvoa ja silti päästään hyviin laskentatuloksiin [Pejsa 2008, 16]. Pejsan lentoratakaavojen perusta on julkisesti nähtävillä Internetissä [Pejsa 2012]. Jackson Rifles yrityksen www-sivuilla on Pejsan-kaavoja käyttävä Excel-
taulukko, jonka toteutus vastaa täysin Pejsan kirjassa esitettyjä kaavoja. Tämä toteutus toimi hyvänä vertailupohjana omalle toteutukselle.

4. OHJELMAN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS MOBIILILAITTEELLE

Lähtökohtana toteutukselle oli Androidin valinta toteutusympäristöksi. Tähän päädyttiin Androidin yleisyyden, henkilökohtaisen mielenkiinnon ja laitesaatavuuden takia. Kokeiluja varten käytössä oli ZTE Blade älypuhelin varustettuna Android-versiolla 2.35. Myös kehitystyökalut ovat ilmaisia ja varsin hyviä. Työ suoritettiin käyttämällä Eclipseä. Mainittakoon että sovelluksen saaminen älypuhelimeen testikäyttöä varten vaati sopivien oikeuksien asettamisen puhelimeen, kytkemisen USB:llä työasemaan ja Eclipsestä run-painikkeen painamisen. Tällöin sovellus asentuu puhelimeen automaattisesti.

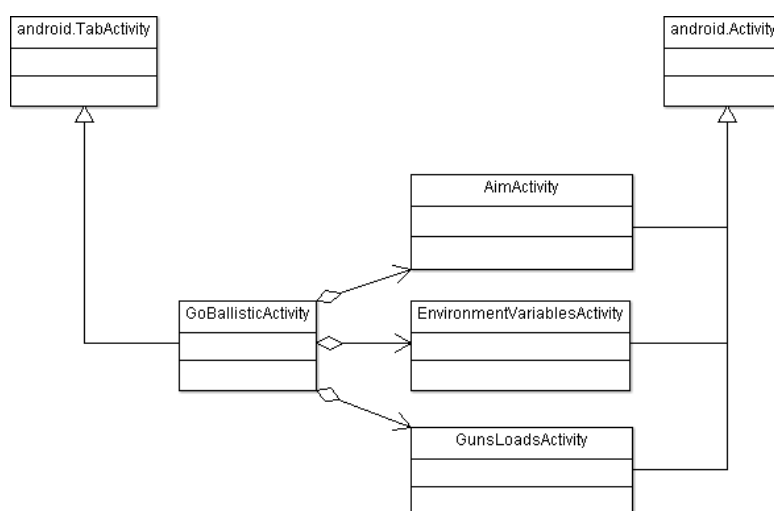
Sovelluksen käyttöliittymä tehdään mahdollisimman pitkälle hyödyntäen XML:ää ja muu tarvittava toteutus ja dynaamisuus Androidille tyypillisellä Javalla. Androidissa voidaan XML:n avulla todella helposti ja nopeasti luoda staattisia kontrolleja sisältäviä näkymiä. Näkymien elementtejä voidaan taasen muokata dynaamisesti ja myös uusia elementtejä voidaan lisätä dynaamisesti. Käyttöliittymäkomponenttien jäsentely näkymään tapahtuu helposti Androidin tarjoamien layouttien avulla [Lee 2011, 81]. XML:n käyttö ei ole pakollista, vaan käyttöliittymäkomponentteja voidaan XML:n sijasta luoda ja käyttää myös suoraan Javalla. Yleisesti voidaan todeta että perustason käyttöliittymäkehitys Androidissa on varsin nopeaa ja helppoa.

Androidissa applikaation perusosa on Activity-luokka. Activity edustaa yksittäistä asiaa mitä käyttäjä voi tehdä, ja lähes kaikilla Activityillä on kanssakäyntiä käyttäjän kanssa. Tyypillinen Activityn ilmentymä on ikkuna [Lee 2011, 27]. Activityt liitetään toisiinsa Intenteillä, joiden avulla voidaan välittää myös dataa. Activity sisältää Viewejä, joilla Androidissa ei tarkoiteta näkymiä tai ikkunoita, vaan käyttöliittymän yksittäisiä rakenneosia eli kontrolleja [Darcey & Conder 2010, 33]. Esimerkiksi tekstikentät ja painikkeet ovat View luokan toteutuksia [Lee 2011, 82].

Ballistiikkalaskurin käytettävyyden suunnittelussa otettiin tavoitteeksi mahdollisimman nopea ja helppo käyttöönotto ja käyttäminen. Päädyttiin käyttöliittymään jossa on kolme välilehteä; ase-kiikari-lataus-yhdistelmän hallinta, ympäristömuuttajat ja

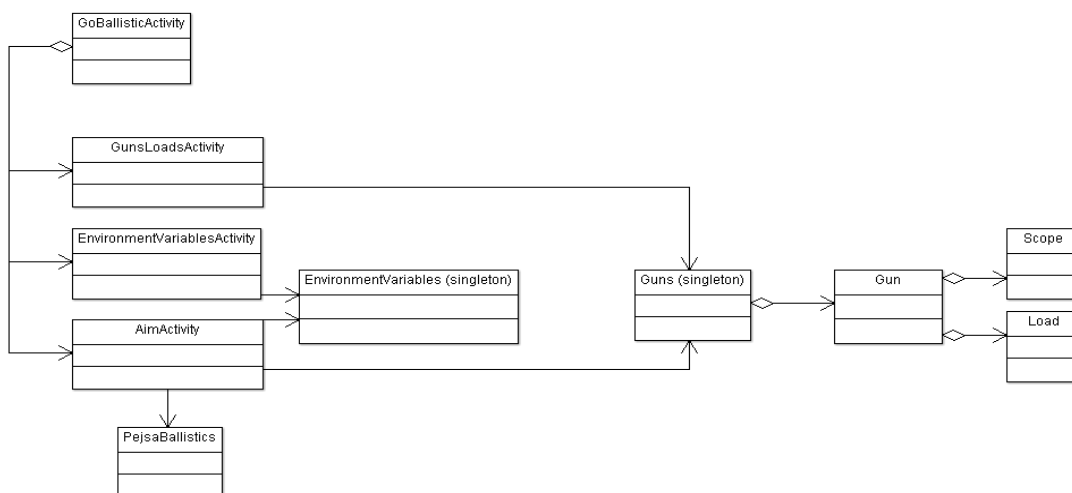
laskentatulokset. Lähtökohta käytölle on se, että käyttäjä on syöttänyt etukäteen ase-
 kiikarin ja patruunan tiedot sovellukselle ja tämä tiedot ovat pysyvästi tallennettu.
 Ohjelma myös muistaa käyttäjän valitseman ase- ja siihen kuuluvan kiikarin ja
 latauksen. Ympäristömuuttujien osalta käyttäjälle tarjotaan valistuneita oletusarvoja,
 jotta käyttäjän ei välttämättä tarvitsisi syöttää muita tietoja kuin ainoastaan etäisyys
 kohteeseen. Ohjelma myös käynnistyy suoraan ympäristömuuttujat näkymään. Näin
 saadaan minimoitua sovelluksen käynnistämisen ampumaratkaisun saamiseen kuluva
 aika.

Toteutettaessa välilehtiä käyttävä android-applikaatio, tarvitaan pääluokka joka on
 peritty androidin TabActivity luokasta. TabActivity luokka voi käyttää tavallisia
 Activity-luokasta perittyjä luokkia esittämään eli välilehdillä näkyvät näkymät [Darcey
 & Conder 2010, 154]. Ballistiikkalaskurin käyttöliittymän rakenne noudattaa juuri tätä
 kaava. GoBallisticActivity on koko applikaation pääluokka joka perii TabActivityn ja
 hyödyntää kolmea Activity-luokasta perittyä näkymää. Jokaisella näkymällä, myös
 TabActivityllä, on oma XML layout-tiedosto, jonka avulla voidaan staattisesti luoda
 halutut View-oliot. Olioihin taasen päästään käsiksi varsinaisesta koodista.
 Käyttöliittymän toteutus XML:n avulla on varsin nopeaa ja vaivatonta, ja tehdyt
 muutokset ovat nopeasti nähtävissä. Käyttöliittymän rakenne selviää kuvasta 1.



Kuva 1. Välilehtiä käyttävän käyttöliittymän rakenne

Applikaatiossa Guns-luokka on singleton ja säilöö Gun-luokan olioita. Gun-olio sisältää yksittäiseen aseeseen liittyvät tiedot ja säilöö Scope- ja Load-olioita. Scope sisältää yhden kiikarin tiedot ja Load vastaavasti yhden latauksen tiedot. Ympäristömuuttujat sisältävä luokka EnvironmentVariables on myös singleton. Tällä tavalla ase- ja ympäristötiedot saadaan helposti jaettua eri näkymien välillä. Osumapisteen laskenta on toteutettu omaan PejsaBallistics-luokkaansa joka on myöhemmin helposti korvattavissa toisella luokalla. Sen käyttö tapahtuu kutsumalla kolmea eri metodia. Initialize metodilla asetetaan luokalle laskennassa käytettävät arvot. CalculateDrop ja calculateWindage metodeilla saadaan selville osumapiste milliradiaaneina. Applikaation rakenne on esitelty kuvassa 2.

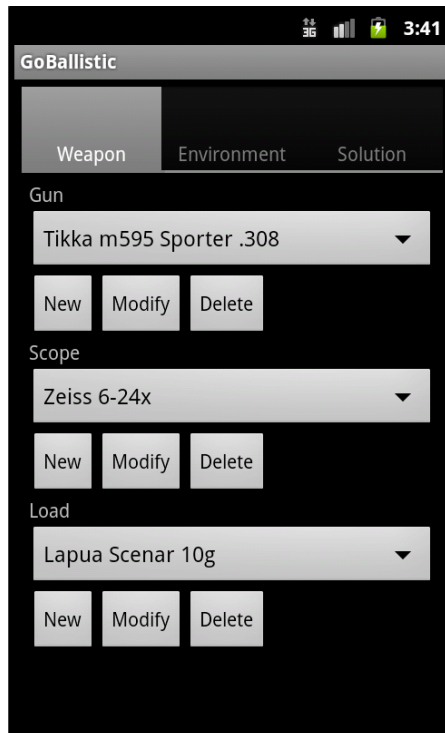


Kuva 2. Applikaation rakenne

Asetiedot päätettiin olla tallentamatta tietokantaan, sillä tiedot on helppo ladata ja tallentaa suoraan tietojärjestelmään. Kaikki edellämainitut neljä aseyhdistelmän sisältävää luokkaa toteuttavat Javan Serializable-rajapinnan jonka avulla tietojen lukeminen ja tallentaminen tiedostojärjestelmään onnistuu helposti.

4.1. Ase-kiikari-lataus näkymä

Tässä näkymässä käyttäjän on mahdollista hallita ase-kiikari-patruuna-yhdistelmiä. Näkymä on esitelty kuvassa 3. Yhdellä aseella voi olla useita kiikareita ja latauksia. Uudet tiedot pyydetään käyttäjältä dialogien avulla. Ase-luokka itsessään ei laskentaan käytettävää tietoa. Kiikari-luokassa laskentaan käytettäviä muuttujia ovat kohdistusetaisyys, kiikarin säätöjen suuruus sekä mittaristikolla varustetuissa kiikareissa myös ristikon viivajako, mittaustarkka suurennos ja suurennoksen ääriarvot. Mikäli ristikko on ensimmäisellä polttotasolla tai suurennos on kiinteä, ei edellä mainituilla suurennosluvuilla ole merkitystä. Lataus-luokassa laskentaan käytettäviä muuttujia ovat luodin lähtönopeus, massa ja ballistinen kerroin. Kaikki tiedot tallennetaan aina mikäli niitä on muokattu.




Kuva 3. Ase-kiikari-lataus näkymä

Aseen, kiikarin ja latauksen valinta tehdään pudotusvalikoiden avulla joita Androidissa kutsutaan Spinner kontrolleiksi. Sisältönsä saamiseksi Spinnerille pitää data adapter

olio, tässä tapauksessa ArrayAdapter luokan ilmentymä [Darcey & Conder 2010, 173] [Lee 2011, 164]. Spinnereillä tehdyt valinnat tulee käsitellä kuuntelijan eli listenerin avulla. Uusien tietojen luonti, muokkaus ja poisto tapahtuvat painikkeilla. New ja Modify painikkeet laukaisevat kontekstiin sopivan dialogin, jonka avulla käyttäjä voi syöttää ja muokata aseiden, kiikareiden ja latausten yksityiskohtia.

4.2. Ympäristömuuttujat näkymä

Ympäristömuuttujat näkymässä on mahdollista syöttää kaikki ympäristön osumapisteeseen vaikuttavat tekijät. Näkymä on esitelty kuvassa 4.



The screenshot shows the 'GoBallistic' application interface. At the top, there is a status bar with signal strength, battery, and time (3:42). Below the title bar, there are three tabs: 'Weapon', 'Environment', and 'Solution'. The 'Environment' tab is selected. The interface lists several environment variables with their corresponding values in input fields:

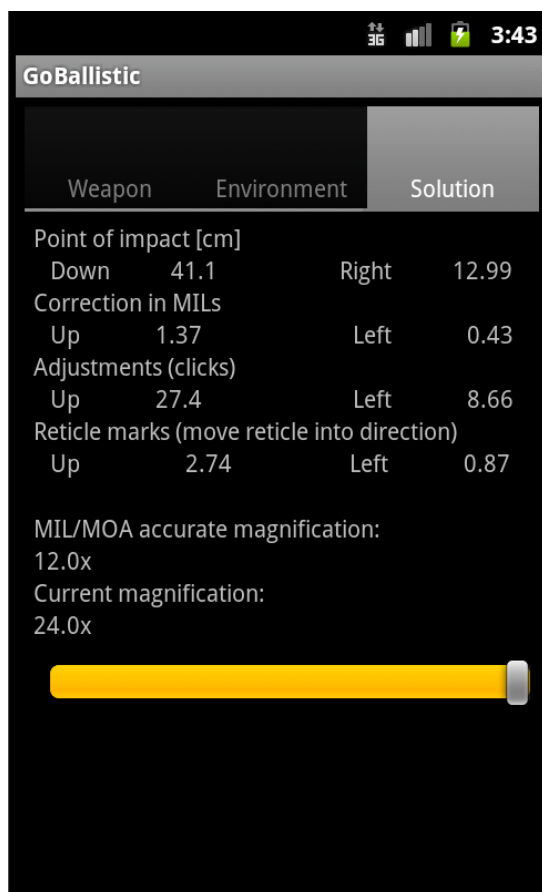
| Variable | Value |
|-------------------------------|-------|
| Range to target [m] | 300 |
| Wind speed [m/s] | 3 |
| Wind direction from [o'clock] | 9 |
| Slope angle [degrees] | 0 |
| Temperature [Celsius] | 15 |
| Air pressure [mB] | 1000 |
| Altitude [m] | 100 |

Kuva 4. Ympäristömuuttujat näkymä

Kuvassa näkymät myös ympäristömuuttujien oletusarvot. Ympäristömuuttujat tallennetaan ajonaikaisesti singleton tyyppiseen luokkaan, jotta ne voidaan myöhemmin helposti välittää osumapisteen laskevalle oliolle. Tietoja ei varastoida tiedostojärjestelmään.

4.3. Laskentatulokset näkymä

Laskentatulokset näkymässä käyttäjälle esitellään estimoitu osumapiste ja osumiseen tarvittavat tiedot. Näkymä on esitelty kuvassa 5.



Kuva 5. Laskentatulokset näkymä

Näkymässä käyttäjälle esitetään osumapiste senttimetreinä ja tarvittavat korjaukset milliradiaaneina, kiikarin säätöjen siirtoina sekä ristikon mittaviivojen määränä. Lisäksi toisen polttopisteen kiikareissa, joissa valittu suurennos vaikuttaa ristikon mittaviivojen väleihin, annetaan käyttäjälle mahdollisuus valita käytössä oleva suurennos.

5. TESTAAMINEN

Ballistiikkalaskurin tuloksia verrattiin kahteen työpöytäkäyttöön tarkoitetun ballistiikkaohjelman antamiin tuloksiin. Lisäksi ohjelman toimivuutta kokeiltiin myös 300m ampumaradalla.

5.1. Vertaaminen verrokkiohjelmiin

QuickLoad on yleisesti tunnustettu ja hyväksi havaittu ballistiikkaohjelma jota voidaan pitää jonkinlaisena de factona ampujapiireissä. Testaamisessa käytettiin Nammo Lapua Oy:n julkaisemaa QuickLoadin QuickTarget ulkoballistiikkaohjelmiston ilmaisversiota [Nammo Lapua Oy 2012/1]. Toisena verrokkiohjelmana oli hyväksi havaittu suomalainen Fox Ballistics III, joka käyttää Pejsan kaavoja aivan kuten tässä työssä toteutettu laskuri [Kettunen 2012] [Määttä 2009]. Erojakin on sillä FoxBallisticsissa on mahdollista syöttää jopa rihlauksen kiertosuunta ja rihlannousu, mutta laskennat tehtiin oletusasetuksilla oikea ja 12 tuumaa.

Valitaan testauksen lähtökohdaksi seuraavat lähtötiedot:

- Ase kohdistettu 100 metrin etäisyydelle. Tuuli 5m/s suoraan sivulta. Kiikarin ja piippulinjan ero 45mm.
- Kaliberi 1: .223 Remington (5.56x45), Lapua S382 FMJ 3,56g FMJ, G1 BC 0,245, lähtönopeus 1020m/s
- Kaliberi 2: .308 Winchester (7.62x51), Lapua Scenar GB491 10,0g HPBT, G1 BC 0,508, lähtönopeus 860m/s
- Kaliberi 3: .22 lr. Kohdistusetäisyys 75m, G1 BC 0,100, luodin massa 2,6g, lähtönopeus 330m/s.

Tulokset käyvät ilmi seuraavista taulukoista. Taulukoissa on ilmoitettu lentoradan putoama tai sivuttaissiirtymä eri matkoilla.

| Sovellus | 200m | 300m | 500m | 800m | 1000m |
|----------------------|-------|--------|---------|---------|----------|
| Oma | 8,1cm | 33,3cm | 165,0cm | 838,6cm | 2305,2cm |
| FoxBallisticsIII | 8,2cm | 33,9cm | 169,2cm | 899,7cm | 1990,8cm |
| QuickTarget Lapua | 8,2cm | 33,8cm | 167,2cm | 798,7cm | - |

Taulukko 2. Etäisyyden vaikutus .223 Remington.

Tuloksista nähdään että vielä 300 metrissä kaikki ohjelmat antavat käytännössä saman tuloksen. 500 metrissäkin eroa molempiin verrokkeihin ainoastaan 2-4 cm. Erot kasvavat selkeästi 800 metrissä, mutta tämä ei ole vakavaa, sillä 223 Remington muuttuu tällä latauksella alisooneiksi noin 600 metrissä jonka jälkeen tarkkuus heikkenee merkittävästi. QuickTarget ei edes suostu antamaan tuloksia 845 metrin jälkeen.

| Sovellus | 200m | 300m | 500m | 800m | 1000m |
|----------------------|--------|--------|---------|---------|----------|
| Oma | 15,4cm | 37,6cm | 126,1cm | 467,3cm | 1041,3cm |
| FoxBallisticsIII | 15,4cm | 37,7cm | 126,1cm | 466,9cm | 1043,3cm |
| QuickTarget Lapua | 15,9cm | 38,7cm | 127,6cm | 408,5cm | - |

Taulukko 3. Tuulen vaikutus .223 Remington.

Erot tuulen vaikutuksen laskemisessa ovat vielä pienempiä kuin putoaman laskemisessa. Ero 500 metrissä verrokki-ohjelmiin on 0 - 1,5cm. Kuten putoaman kanssa, erot kasvavat 800 metrissä merkittävästi luodin muuttuessa alisooneiksi.

| Sovellus | 200m | 300m | 500m | 800m | 1000m |
|----------------------|--------|--------|---------|---------|----------|
| Oma | 10,9cm | 39,8cm | 164,7cm | 592,5cm | 1129,0cm |
| FoxBallisticsIII | 10,9cm | 39,9cm | 165,5cm | 597,4cm | 1140,2cm |
| QuickTarget Lapua | 10,9cm | 39,7cm | 163,8cm | 585,1cm | - |

Taulukko 4. Etäisyyden vaikutus.308 Winchester.

.308 Winchesterin kanssa erot pysyvät varsin pieninä kilometriinkin asti. 300 metrissä ollaan kahden millin sisällä ja 800 metrissäkin suurin ero verrokkeihin on vain 7,4 senttiä. Luoti muuttuu alisoonisiksi noin yhden kilometrin paikkeilla. QuickTarget antaa tulokset ainostaan 955m asti.

| Sovellus | 200m | 300m | 500m | 800m | 1000m |
|----------------------|-------|--------|--------|---------|---------|
| Oma | 9,1cm | 21,3cm | 64,3cm | 189,9cm | 330,5cm |
| FoxBallisticsIII | 8,6cm | 20,1cm | 60,9cm | 179,7cm | 312,5cm |
| QuickTarget Lapua | 9,0cm | 21,1cm | 63,3cm | 184,2cm | - |

Taulukko 5. Tuulen vaikutus .308 Winchester.

Jostain syystä tuulen vaikutuksessa oman sovelluksen tulokset ovat selvästi lähempänä QuickTargetia kuin Pejsan kaavoja hyödyntävää FoxBallisticsia, kun taas .223 Remington kaliberin kanssa tilanne oli päinvastoin. 800 metrissä ero FoxBallisticsiin on vain 10cm. Testin perusteella kehitetty ohjelma näyttäisi toimivan. Ohjelman antamat tulokset sijoittuvat suuruudeltaan QuickLoadin ja FoxBallisticin antamien arvojen väliin. Tuloksissa syntyy selviä eroja lähestyttäessä transsoonista rajaa mikä oli ennakoitavissa. Ennakkoon tiedettiin että alisoonisten latausten kanssa lentoradan laskenta ei välttämättä ole tarkkaa. FoxBallisticsia kehittävä Pasi Kettunen totesi sähköpostikeskustelussa 29.11.2011, että FoxBallisticsIII ei tue alisoonisista latauksia, eikä sillä voi edes yrittää laskea lähtönopeudeltaan alisoonisista latauksia. Sovellukset antoivat seuraavanlaisia tuloksia.

| Sovellus | 50m | 100m | 150m |
|-------------------|--------|---------|----------|
| Oma | +8,0 | -22,8cm | -143,3cm |
| QuickTarget Lapua | +5,4cm | -13,4cm | -66,8cm |

Taulukko 6. Etäisyyden vaikutus aliääniseen latauksen sovelluksissa.

Lapuan tuotekuvastossa alisooninen kilpapatruuna (v0 327m/s, 2,59g) putoama 50m matkalla on +6,1cm ja 100m matkalla -13,5cm. Tämä vastaa erittäin hyvin QuickTarget ohjelmalla saatuja tuloksia vaikka käytetty BC ei ole edes sama. Omalla sovelluksella saadut tulokset näyttävät olevan kokolailta vääriä.

| Sovellus | 50m | 100m | 150m |
|-------------------|--------|--------|---------|
| Oma | 10,0cm | 47,9cm | 134,5cm |
| QuickTarget Lapua | 4,1cm | 15,4cm | 33,0cm |

Taulukko 7. Tuulen vaikutus aliiäniseen latauksen sovelluksissa.

Lapuan alisoonisella kilpapatruunalla sivuttaisheitto 50m matkalla on 3,0cm ja 100m matkalla 11,5cm. QuickTargetin tulokset ovat melko lähellä näitä arvoja kun taas kehitetyn sovelluksen tulokset ovat kokolailla vääriä. Tästä voidaan päätellä että alisooniset lataukset eivät kehitetyssä sovelluksessa toimi sellaisenaan, vaan ne täytyy huomioida erikseen.

5.2. Käytännön kokeet

Käytännön kokeet suoritettiin Imatralla Immolan varuskunnan 300 metrin ampumaradalla. Testikäyttöön saatiin erinomaisen tarkkuuden omaava ase, Tikka M595 Sporter kaliberissa .308 Winchester. Aseella pystyy ampumaa yhtä rosoista reikää olevia viiden laukausen kasoja 100 metrin matkalle. Toisena testiaseena toimi CZ 527 Synthetic kaliberissa .223 Remington. Luvussa 5.1 tehtyjen havaintojen perusteella olisi täysin turhaa tehdä käytännön kokeiluja alisoonisten latausten kanssa.

Luotien nopeudet mitattiin Shooting Chrony Betalla joka oli varustettu akkukäyttöisillä lisävaloilla mittarin käyttövarmuuden parantamiseksi. Etäisyydet varmistettiin Zeiss Victory 8x26 PRF laseretäisyysmittarilla. Tuulta ei voitu mitata sillä ammunta tapahtui käytännössä tuulettomissa olosuhteissa. Lämpötila oli 12 °C. Ammunnassa käytettiin seuraavia latauksia:

- .223 Remington, Lapua S350, tehdaslataus, v0 960m/s, G1 BC 0,251, 3,6g.
- .308 Winchester, Lapua Scenar GB491, itseladattu, lähtönopeus 858m/s, G1 BC 0,508, 10g.
- .308 Winchester, Lapua Scenar GB432, itseladattu, lähtönopeus 780m/s, G1 BC 0,521, 12g.

Itseladatut patruunat on laadittu käyttäen Vihtavuoren latausmanuaalissa [Nammo Lapua Oy 2012/2] ja Paananen kirjassa [Paananen 2002] olevia ohjeita ja lataustaulukoita. Tähtäimet kohdistettiin 100 metrin matkalle ja varmistettiin että aseiden tarkkuus oli kunnossa. Tämän jälkeen siirryttiin 300 metrin matkalle ja mittattiin kasat ja luodin putoama iskemäkeskeispisteen perusteella. Tulokset käyvät ilmi seuraavasta taulukosta:

| Lataus | Kasa 100m | Kasa 300m | Putoama | Sovellus |
|----------------------|-----------|-----------|---------|----------|
| .223 Rem, Lapua 3,6g | 37mm | 150mm | 40cm | 39,6cm |
| .308 Win, Lapua 10g | 13mm | 74mm | 39cm | 40,1cm |
| .308 Win, Lapua 12g | 10mm | 62mm | 51cm | 50,7cm |

Taulukko 8. Putoama sovelluksella laskettuna ja käytännössä

Suurin mitatun putoaman ja sovelluksen laskeman putoaman ero oli 1,1cm joka on niin pieni että se häviää virhemarginaaliin. Kahdessa muussa tapauksessa ero oli alle 0,5cm. Voidaankin todeta että ainakin 300 metrin matkalle sovellus toimii erinomaisesti. Myös sovelluksen käyttö osoittautui helpoksi ja nopeaksi. Ainoa selkeä moite liittyy auringonpaisteeseen joka tehokkaasti vaikeutti ZTE Blade puhelimessa näytön näkemistä.

6. YHTEENVETO

Pejsan kaavoja käyttämällä ballistiikkaohjelman teko on suhteellisen helppoa. Kehitetty sovellus osoittautui käytännölliseksi ja tarkaksi. Laskentatarkkuus kestää vertailun jopa kaupallisiin työpöytäsovelluksiin ja suurempia eroja alkaa ilmaantumaan kaliberista riippuen vasta 700-900 metrin paikkeilla, kun luoti lähestyy trans- ja alisoonista nopeusaluetta. Tästä pidemmille matkoille osumapistettä estimoidessa ei voida vielä tietää onko kehitetty sovellus enemmän vai vähemmän oikeassa kuin kilpailijat, sillä tuloksia on hyvin vaikea todentaa. Ainoa selkeä pettymyksen aihe oli ohjelman toimimattomuus alisoonisilla latauksissa, jotka täytyy huomioida erikseen. Tästä huolimatta sovellus tulee jäämään kehittäjälle pysyvään käyttöön ja sen kehittämistä jatketaan edelleen.

Android osoittautui erittäin helposti lähestyttäväksi sovelluskehitysympäristöksi. Käyttöliittymien laatiminen XML:n avulla on todella nopeaa ja vaivatonta. Kehitystä helpottaa myös Javan käyttö ohjelmointikielenä.

Seuraavana mobiililaitteilla ajettavien ballistiikkaohjelmien kehitysvaiheena on tulossa kommunikointi mittalaitteiden kanssa. Nyt jo on olemassa laseretäisyysmittareita, tuulimittareita ja sääasemia joista löytyy Bluetooth tuki. Tämä mahdollistaisi sen, että ampuja tai ampujan pari mittaisi etäisyyden kohteeseen ja tulokset olisivat mittauksen jälkeen välittömästi nähtävissä. Myös elektroniikan integroituminen optiikkaan on yleistymässä. Jo nyt Burris-optiikkavalmistajalta löytyy kiikaritähtäin jossa korokorjauksen huomioonottava tähtäyspiste näytetään ristikolle piirtävänä valopisteenä sen perusteella mitä kiikariin integroitu laseretäisyysmittari antaa tulokseksi. Aika näyttää tuoko jokin valmistaja markkinoille Bluetooth-tuella tai aidolla ohjelmoitavalla ballistiikkalaskurilla varustetun tähtäinkiikarin joka siirtää tähtäyspistettä laskurin tulosten mukaan.

LÄHDELUETTELO

- Carlucci D.E. & Jacobson S.S. *Ballistics - Theory and design of guns and ammunition*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 2008.
- Darcey, L. & Conder, S. *Sams teach yourself android application development in 24 hours*. Sams, Indianapolis, Indiana, USA, 2010.
- Drury, Ian. *The super sniper: hero picks off two Taliban from a mile and a half away*. Internet WWW-sivu, URL: <http://www.dailymail.co.uk/news/article-1270414/British-sniper-sets-new-sharpshooting-record-1-54-mile-double-Taliban-kill.html> (19.2.2012)
- Jackson Rifles. *External ballistics*. Internet WWW-sivu, URL: <http://www.jacksonrifles.com/ballistics.htm> (19.12.2012)
- Kettunen, Pasi. *Fox Ballistics III*. Internet WWW-sivu, URL: <http://www.kettunet.com/FoxBallistics.html> (14.2.2012)
- Lee, Wei-Meng. *Beginning android application development*. Wiley Publishing Inc., Indianapolis, Indiana, USA, 2011.
- Litz, Brian. *Applied ballistics*. Internet WWW-sivu, URL: <http://www.appliedballisticsllc.com/> (14.2.2012)
- Nammo Lapua Oy. *QTU Lapua Edition*. Internet WWW-sivu, URL: <http://www.lapua.com/en/customer-center/lapua-ballistics/download-lapua-edition.html> (26.4.2012)
- Nammo Lapua Oy. *Vihtavuori reloading guide for centerfire cartridges, Edition 10*. Internet WWW-sivu, URL: http://www.lapua.com/upload/downloads/brochures/2012/vihtavuorireloadingguideed10_2012eng.pdf (14.2.2012)
- Paananen, Esa. *Messinkihylsyisten patruunoiden jälleenlataus*. Bookwell Oy, Porvoo, 2002.
- Pejsa, Arthur J. *New exact small arms ballistics*. Kenwood Publishing, Minneapolis, Minnesota, USA, 2008.
- Pejsa, Arthur J. *The birth of practical ballistics*. Internet WWW-sivu, URL: <http://home.sprintmail.com/~pejsa/birthOfBallistics.htm> (14.2.2012)

Määttä, Arto. *Rekyyli 8/2009, Fox Ballistics -ballistiikkaohjelmat*. Fire-kustannus Oy, Helsinki, 2009.

PVKK. *Tarkka-ampujan käsikirja*. Edita Prima Oy, Helsinki, 2003.

Salo, Pauli. *Tarkka-ampuja 1*. Pauli Salo, 2007.

Salo, Pauli. *Tarkka-ampuja 2*. Pauli Salo, 2007.

LIITTEET

Liite 1. Lentoratataulukko

QuickTarget Unlimited Lapua Edition>

| Range | Velo city | Time of Flight | Energy J | Path LOS Y | Path LOS Z | Correction to Elevation for Zeroing | Correction to Windage for Zeroing | Correction to Elevation for Zeroing | Correction to Windage for Zeroing | Total Drop |
|-------|--------------|----------------------|-------------|------------------|------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------|
| m | m/s | sec | J | cm | cm | Click | MOA | Click | MOA | cm |
| 0 | 860 | 0,0000 | 3713 | -4,5 | 0,0 | ----- | ----- | ----- | ----- | 0,0 |
| 50 | 829 | 0,0592 | 3452 | -0,6 | -0,4 | 0,0 | +0,43 | 0,0 | +0,29 | 1,7 |
| M 79 | 812 | 0,0946 | 3307 | 0,0 | -1,1 | 0,0 | -0,01 | 0,0 | +0,47 | 4,3 |
| X 84 | 809 | 0,1007 | 3283 | 0,0 | -1,2 | 0,0 | 0,00 | 0,0 | +0,50 | 4,9 |
| 100 | 799 | 0,1206 | 3206 | -0,3 | -1,7 | 0,0 | +0,11 | 0,0 | +0,60 | 7,0 |
| 150 | 770 | 0,1844 | 2974 | -3,8 | -4,0 | 0,0 | +0,88 | 0,0 | +0,91 | 16,1 |
| 200 | 741 | 0,2506 | 2756 | -11,5 | -7,2 | +0,1 | +1,98 | 0,0 | +1,24 | 29,3 |
| 250 | 713 | 0,3194 | 2550 | -23,6 | -11,5 | +0,1 | +3,25 | 0,0 | +1,58 | 47,0 |
| 300 | 685 | 0,3910 | 2357 | -40,6 | -16,8 | +0,1 | +4,65 | +0,1 | +1,93 | 69,6 |
| 350 | 658 | 0,4654 | 2175 | -62,8 | -23,4 | +0,2 | +6,17 | +0,1 | +2,30 | 97,3 |
| 400 | 632 | 0,5429 | 2004 | -90,7 | -31,1 | +0,2 | +7,79 | +0,1 | +2,68 | 130,8 |
| 450 | 606 | 0,6238 | 1844 | -124,7 | -40,2 | +0,3 | +9,52 | +0,1 | +3,07 | 170,4 |
| 500 | 581 | 0,7080 | 1694 | -165,3 | -50,7 | +0,3 | +11,37 | +0,1 | +3,48 | 216,6 |
| 550 | 556 | 0,7960 | 1554 | -213,3 | -62,6 | +0,4 | +13,33 | +0,1 | +3,91 | 270,2 |
| 600 | 533 | 0,8878 | 1425 | -269,2 | -76,1 | +0,4 | +15,42 | +0,1 | +4,36 | 331,6 |
| 650 | 510 | 0,9838 | 1305 | -333,7 | -91,2 | +0,5 | +17,65 | +0,1 | +4,82 | 401,7 |
| 700 | 488 | 1,0841 | 1194 | -407,7 | -108,1 | +0,6 | +20,02 | +0,2 | +5,31 | 481,3 |
| 750 | 466 | 1,1890 | 1092 | -492,0 | -126,7 | +0,7 | +22,55 | +0,2 | +5,81 | 571,1 |
| 800 | 446 | 1,2986 | 999 | -587,5 | -147,4 | +0,7 | +25,25 | +0,2 | +6,33 | 672,3 |
| 850 | 427 | 1,4133 | 914 | -695,4 | -170,0 | +0,8 | +28,13 | +0,2 | +6,87 | 785,8 |
| 900 | 409 | 1,5331 | 838 | -816,8 | -194,6 | +0,9 | +31,20 | +0,2 | +7,43 | 912,7 |

M = Vertex vs. L.O.S, X = Zero-Range, S = Sight-In Range