

LAPPEENRANNAN-LAHDEN TEKNILLINEN YLIOPISTO LUT

School of Engineering Science

Laskennallisen tekniikan koulutusohjelma

Kandidaatintyö

*Elias Räsänen*

**Yksilövahvuusluvut joukkuelajeissa: Case Counter-Strike: Global Offensive**

Ohjaaja: Yliopisto-opettaja, TkT Jouni Sampo

## **TIIVISTELMÄ**

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT

School of Engineering Science

Laskennallisen tekniikan koulutusohjelma

Elias Räsänen

### **Yksilövahvuusluvut joukkuelajeissa: Case Counter-Strike: Global Offensive**

Kandidaatintyö

2019

26 sivua, 23 kuvaa, 2 taulukkoa, 2 liitettä

Ohjaaja: Yliopisto-opettaja, TkT Jouni Sampo

Avainsanat: korrelaatio; ennuste; e-urheilu; Counter-Strike; rating; vahvuusluku;

Työn tarkoituksena oli kehittää yksilöt ja joukkueet arvioiva vahvuuslukujärjestelmä Counter-Strike: Global Offensive -peliin. Lisäksi selvitettiin, mitkä pelaajatilastot ennustavat ottelutuloksia parhaiten ja tehtiin katsaus valmiisiin vahvuuslukujärjestelmiin.

Työssä testattiin useita eri vahvuuslukujärjestelmiä, joista osa käytti hyväkseen valittuja pelaajatilastoja ja osa vain ottelutuloksia. Vertailukriteerinä käytettiin ottelutulosten ennustamistarkkuutta.

Parhaiten ottelutuloksia ennustavaksi pelaajatilastoiksi valittiin Survivals Per Round (SPR) ja Kill Assist Death Ratio (KADR). Näiden lisäksi testatuissa järjestelmissä käytettiin pelaajatilastoja Average Time of Death (ATD), Kill Death Ratio (KDR) ja Kill Death Difference (KDD). Järjestelmien vertailussa parhaiten pärjäksi järjestelmä, joka käytti hyödykseen SPR:ää ja KDD:tä.

# Sisältö

<b>Symboli- ja lyhenneluettelo</b>	<b>5</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>6</b>
1.1 Tausta . . . . .	6
1.2 Tutkimusongelma, tavoitteet ja rajaus . . . . .	8
<b>2 TEORIA</b>	<b>9</b>
2.1 Spearmanin järjestyskorrelaatiokerroin . . . . .	9
2.2 Pearsonin korrelaatiokerroin . . . . .	10
<b>3 VAHVUUSLUKUJÄRJESTELMÄT</b>	<b>11</b>
3.1 Valmiit vahvuuslukujärjestelmät . . . . .	11
3.1.1 HLTV Rating 2.0 . . . . .	11
3.1.2 Elo-luku . . . . .	12
3.1.3 TrueSkill . . . . .	12
3.1.4 Muut vahvuuslukujärjestelmät . . . . .	13
3.2 Merkittävät pelaajatilastot . . . . .	13
3.3 Testattavat vahvuuslukujärjestelmät . . . . .	17
3.3.1 Järjestelmät 1-12 . . . . .	17
3.3.2 Järjestelmä 13 . . . . .	18
3.3.3 Järjestelmä 14 . . . . .	19
3.3.4 Järjestelmät 15-25 . . . . .	19
<b>4 ANALYSOINTIA</b>	<b>21</b>
4.1 Järjestelmien vertailu . . . . .	21

4.2	Herkkyysanalyysi . . . . .	22
<b>5</b>	<b>POHDINTAA</b>	<b>23</b>
5.1	Pelaajatilastot . . . . .	23
5.2	Vahvuuslukujärjestelmät . . . . .	24
	<b>LÄHTEET</b>	<b>25</b>
	<b>Taulukot</b>	<b>27</b>
	<b>Kuvat</b>	<b>28</b>
	<b>Liitteet</b>	
	Liite 1: Järjestelmien vertailun tulokset	
	Liite 2: Herkkyysanalyysin tulokset	

## Symboli- ja lyhenneluettelo

ADR	Tehty vahinko per kierros (Average Damage per Round)
ATD	Keskimääräinen kuolemisaika (Average Time of Death)
CS	Counter-Strike
CS:GO	Counter-Strike: Global Offensive
CT	Erikoisjoukot (Counter-terrorist)
DPR	Kuolemien määrä per kierros (Deaths Per Round)
FK	Kierroksen ensimmäinen tappo (First Kill)
FKD	Kierroksen ensimmäisten tappojen ja kuolemien erotus (First Kill Difference)
HS-%	Pääosumalla tehtyjen tappojen suhteellinen osuus (Head Shot percentage)
KADR	Tappojen ja assistien suhde kuolemiin (Kill Assist Death Ratio)
KDD	Tappojen ja kuolemien erotus (Kill Death Difference)
KDR	Tappojen ja kuolemien suhde (Kill Death Ratio)
KPR	Tappojen määrä per kierros (Kills Per Round)
Kartta	Ottelun yhdellä kartalla pelattava osaottelu
MVP	Kierroksen arvokkaimman pelaajan palkinto (Most Valuable Player)
SPR	Hengissä säilyttyjen kierrosten suhteellinen osuus (Survivals Per Round)
SSE	Ennusteiden virheiden neliösumma
T	Terroristit
$\Delta$	Suureen muutos
$F$	Studentin $t$ -jakauman kertymäfunktio
$K$	Skaalauskerroin
$\mu$	Keskiarvo
$n$	Otoksen koko
$p$	Joukkueen voiton todennäköisyys
$r$	Spearmanin järjestyskorrelaatiokerroin
$R(x)$	Havainnon $x$ järjestysnumero otoksen suuruusjärjestyksessä
$\rho$	Pearsonin korrelaatiokerroin
$\sigma$	Keskihajonta
$\sigma^2$	Varianssi
$\sum$	Summa
$\Phi$	Standardinormaalijakauman kertymäfunktio

# 1 JOHDANTO

Kaikissa kilpailullisissa lajeissa on tarve luokitella joukkueita ja pelaajia kykyjen perusteella. Oli motivaationa sitten kahden pelaajan saavutusten vertailu, ottelutulosten ennustaminen, tasaisten otteluparien muodostamien tai ideaalisen joukkueen kasaaminen, on hyödyllistä, että kaksi joukkuetta tai pelaajaa kyetään erottamaan toisistaan muutenkin kuin yksittäisten tulosten perusteella.

Työn tarkoituksena on tehdä Counter-Strike: Global-Offensive -peliin (CS:GO) vahvuuslukujärjestelmä ammattilaispelaajille ja -joukkueille. CS:GO:n tapauksessa tarjolla on kaksi yleisesti arvostettua joukkuerankingia: HLTV:n [1] ja Duncan Shieldsin [2] ylläpitämät listat. Ainoa arvostettu ja jatkuvasti päivittyvä yksilövahvuusluku on HLTV:n tarjoama Rating 2.0 [3], joka ei kuitenkaan ota huomioon esimerkiksi vastustajan tasoa.

## 1.1 Tausta

CS:GO on vuonna 1999 Half-Life -peliin tehdystä modista alkunsa saaneen Counter-Strike -pelisarjan (CS) tuorein peli. Valve Corporationin kehittämän pelisarjan pelit ovat ensimmäisen persoonan ammuntapelejä, jotka keskittyvät erikoisjoukoista (CT) ja terroristeista (T) koostuvien joukkueiden välisiin taisteluihin. CS-ottelu koostuu useista yksittäisistä taisteluista eli kierroksista. Ottelun voittajaksi selviää se, joka voittaa eniten kierroksia maksimian ajan tai maksimikierrosmäärän puitteissa. Taisteluissa pelaajien käytettävissä on erilaisia aseita ja kranaatteja. Lisäksi heillä on käytettävissään varusteita, joilla he voivat nopeuttaa pommin purkamista tai panttivangin vapauttamista ja suojata itseään vahingolta. Jokainen pelaaja aloittaa kierroksen sadalla elämäpisteellä. Elämäpisteitä ei voi saada lisää kierroksen aikana ja pelaaja kuolee eikä enää osallistu kierrokseen, mikäli hän menettää kaikki elämäpisteensä.

Jo vuosituhatien alusta lähtien kilpapelaminen on ollut suuressa osassa CS:n kehitystä ja pelien ympärille syntyneitä kulttuuria. Kilpapelamisen valtavirtaistumisen myötä peliin on syntynyt turnausekosysteemi, jossa ammattipelaajat kilpailevat keskenään joko internetin välityksellä järjestettävissä Online-turnauksissa tai perinteisten urheilulajien tapaan pai-

kan päällä pelattavissa LAN-turnauksissa. LAN-turnauksia pidetään yleisesti arvokkaampina, sillä niissä pelaajien valvominen on helpompaa ja huijausyritykset siten harvinaisempia. Lisäksi LAN-turnauksissa pelaajien peliolosuhteet ovat tasaisemmat eikä eroja synny esimerkiksi erilaisten internetyhteyksien takia.

Ammattilaistuminen on erottanut kilpa-CS:n peruspelistä. Siinä missä peruspelissä on lukuisia pelimuotoja ja kartoja - sekä virallisia että pelaajien kehittämiä - kilpailullisissa turnauksissa näitä on rajoitettu. Tällä hetkellä ainoa turnauksissa käytettävä pelimuoto on defusal, jossa T-joukkue pyrkii räjäyttämään toisen CT-joukkueen suojelemista kohteista ja CT-joukkue vastavuoroisesti estämään pommin räjähtämisen. Kartoja CS:GO:n suurissa turnauksissa on ollut käytössä kahdeksan, näistä seitsemän edelleen. Turnausotteluissa pelataan joko yksi, kolme tai viisi joukkueiden valitsemaa karttaa. Useamman kartan ottelut pelataan paras x:stä -periaatteella. Näissä tilanteissa yhdellä kartalla käytävää osaottelua kutsutaan yleisesti vain kartaksi. Yksittäisen kartan pituutta rajoittaa kierrosten määrä: ensimmäinen 16 kierrosta kartassa voittanut joukkue voittaa kartan. Tasatilanteessa karttaa yleensä jatketaan kuuden kierroksen mittaisilla yliajoilla, kunnes voittaja on selvinnyt. Kartat koostuvat kahdesta maksimissaan 15 kierroksen mittaisesta puoliskosta. Toisen puoliskon joukkue aloittaa T-joukkueena ja toisen CT-joukkueena. Näitä puoliskoja kutsutaan vastaavasti T-puoliskoksi ja CT-puoliskoksi.

Turnausotteluissa on myös käytössä pelin rahajärjestelmä [4]. Taisteluvälineitään ei voi valita vapaasti vaan niitä rajoittaa pelaajan rahatilanne. Hyvät välineet maksavat enemmän kuin huonot ja aseet enemmän kuin kranaatit tai varusteet. Pelin alussa pelaajilla on käytettävissään vain vähän rahaa ja heillä on varaa vain kranaatteihin, varusteisiin ja halvimpiin aseisiin eli pistooleihin. Tästä syystä pelit aloitetaan niin sanotulla pistoolikierroksella. Rahaa voi ansaita pelin edetessä virittämällä tai purkamalla pommin, tappamalla vastustajia ja kierroksen jälkeen voitto- tai tappiobonuksella. Voittobonus on yleensä suurempi kuin tappiobonus, joten kierroksia voittamalla saa etuaseman paremmista varusteista. Tämä aiheuttaa sen, että kierrosvoitot kasaantuvat helposti. Enemmän hävinnyt joukkue ei saa jokaiselle kierrokselle hyviä välineitä vaan joutuu osalla kierroksista säästämään rahojaan, jotta pystyisi ostamaan seuraavalla kierroksella hyvät varusteet ja taistelemaan kierrosvoitosta.

## 1.2 Tutkimusongelma, tavoitteet ja rajaus

Työn tavoitteena on tehdä vahvuuslukujärjestelmä, joka kykenee arvioimaan sekä joukkueita että pelaajia. Vahvuuslukujärjestelmän tulee ennustaa ottelutuloksia luotettavasti ja sen tulee soveltua tilanteisiin, joissa joukkueiden kokoonpanot muuttuvat. Jotta pelaajien tasoa pystyttäisiin arvioimaan, tavoitteena on lisäksi selvittää, mitkä tilastot ennustavat otteluiden tuloksia parhaiten.

Työn aluksi tehdään lyhyt katsaus yleisesti käytössä sekä erityisesti moninpeleihin tai joukkuelajeihin suunniteltuihin vahvuuslukujärjestelmiin. Lisäksi tutustutaan tarkemmin HLTV:n Rating 2.0 -järjestelmään.

Työn laskut toteutetaan MATLABilla ja vahvuuslukujen laskemiseen käytettävissä oleva data on säilötty SQLite-tietokantaan. Käytettävissä on tilastot ja tulokset 2034 kartasta. Näissä on pelannut 252 pelaaja. Kartat on pelattu välillä 2.10.2015-21.1.2019. Tarjolla olleiden karttojen suuren määrän takia käytetyt kartat on rajattu LAN-turnauksien otteluihin, joissa molemmat joukkueet ovat olleet ottelun alkaessa HLTV:n joukkuerankingissa vähintään sijalla 20.

Ottelutulokset ja pelaajatilastot on kerätty HLTV:n sivuillaan tarjoamista ottelutallenteista eli demoista. Keräämiseen käytettiin CSGO Demos Manager -ohjelmaa [5].

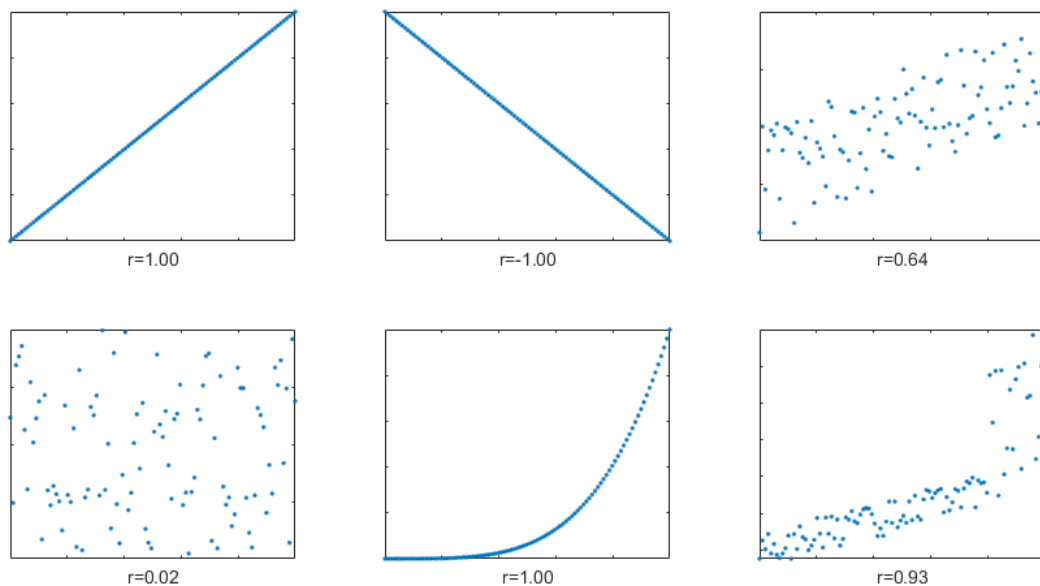
Otteluista on käytettävissä seuraavat pelaajatilastot: tapot, assistit [6] ja kuolemat koko ottelussa, Head Shot percentage (HS-%) eli pääosumien suhteellinen osuus pelaajan tapoista, First Kills (FKs) eli kierroksen ensimmäiset tapot, Most Valuable Player awards (MVPs) [7] eli kierroksen arvokkaimman pelaajan palkinnot, Average Time of Death (ATD) eli keskimääräinen kuolemisaika, Kills Per Round (KPR) eli  $\frac{\text{tapot}}{\text{kierrokset}}$ , Deaths Per Round (DPR) eli  $\frac{\text{kuolemat}}{\text{kierrokset}}$ , Survivals Per Round (SPR) eli  $1 - \frac{\text{kuolemat}}{\text{kierrokset}}$ , Average Damage per Round (ADR) eli  $\frac{\text{tehty vahinko}}{\text{kierrokset}}$ , Kill Death Ratio (KDR) eli  $\frac{\text{tapot}}{\text{kuolemat}}$ , Kill Assist Death Ratio (KADR) eli  $\frac{\text{tapot} + \text{assistit}}{\text{kuolemat}}$ , Kill Death Difference (KDD) eli tapot - kuolemat, First Kill Difference (FKD) eli FKs - kierroksen ensimmäiset kuolemat.

## 2 TEORIA

### 2.1 Spearmanin järjestyskorrelaatiokerroin

Spearmanin järjestyskorrelaatiokerroin  $r$  on kahden muuttujan - esimerkiksi  $x$  ja  $y$  - välisiä korrelaatiota kuvaava luku, joka saa voi saada arvoja väliltä  $[-1, 1]$ . Kertoimen arvo ei riipu verrattavien muuttujien arvoista tai eri havaintojen välisten erojen suuruudesta vaan ainoastaan arvojen suuruusjärjestyksestä. Jos suuriin  $x$ :n arvoihin liittyy suuret  $y$ :n arvot ja toisaalta pieniin  $x$ :n arvoihin pienet  $y$ :n arvot,  $r \approx 1$ . Vastaavasti  $r \approx -1$ , jos  $x$ :n arvojen kasvaessa  $y$ :n arvot pienenevät. Mikäli havaintopisteiden  $x$ :n ja  $y$ :n arvojen sijoitukset omissa suuruusjärjestyksissään eroavat toistaan,  $r$ :n itseisarvo on pienempi.

Kuten kuvasta 1 huomataan, suuria  $r$ :n arvoja saavat ne otokset, jotka asettuvat aidosti kasvavalle tai vähenevällä käyrällä ja pienempiä arvoja ne otokset, joissa on enemmän hajontaa.



**Kuva 1.**  $r$ :n arvoja eri otoksille

Spearmanin järjestyskorrelaatiokertoimen arvo voidaan laskea kaavalla

$$r = 1 - \frac{6 \sum (R(x_i) - R(y_i))^2}{n(n^2 - 1)}, \quad (1)$$

missä  $n$  on otoksen koko sekä  $R(x_i)$  ja  $R(y_i)$  ovat havainnon  $i$  muuttujien järjestysnumerot

$x$ :n ja  $y$ :n suuruusjärjestyksissä. Spearmanin järjestyskorrelaatiokertoimen merkitsevyyttä voidaan arvioida testisuureen

$$t = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \quad (2)$$

avulla. Testisuure noudattaa Studentin  $t$ -jakaumaa vapausasteella  $n-2$ , jos muuttujien välillä ei ole korrelaatiota. Merkitsevyyden mittana käytetään  $p$ -arvoa eli saadun  $r$ :n arvon todennäköisyyttä, mikäli muuttujien välillä ei ole korrelaatiota. Korrelaatiokertoimen  $p$ -arvo on  $1 - F(|t|)$ , kun  $F$  on  $t$ -jakauman kertymäfunktio. Korrelaatiokertoimia, joiden  $p$ -arvot ovat alle 0.01 voidaan pitää tilastollisesti merkitsevinä.

## 2.2 Pearsonin korrelaatiokerroin

Pearsonin korrelaatiokerroin  $\rho$  on tilastotieteessä yleisesti käytetty lineaarisen korrelaation mitta. Se kuvaa kahden muuttujan,  $x$  ja  $y$ , välistä korrelaatiota luvulla väliltä  $[-1, 1]$ . Kuvasta 2 nähdään, että havainnoilla, jotka asettuvat suoralle, on suuri  $\rho$  ja satunnaisemmilla tai käyrälle asettuvilla havainnoilla pienempi. Mikäli  $y$ :n muutos kahden eri havainnon välillä riippuu ainoastaan  $x$ :n muutoksesta samojen havaintojen välillä, korrelaatio on täydellistä ja  $\rho$  saa arvon  $-1$  korrelaation ollessa negatiivista ja arvon  $1$  korrelaation ollessa positiivista. Muuttujien satunnaisuuden kasvaessa  $\rho$ :n itseisarvo lähestyy nollaa ja muuttujien ollessa täysin riippumattomia  $\rho = 0$ . Pearsonin korrelaatiokertoimen arvo ei kerro mitään korrelaation suuruudesta ja jyrkästi nousevan suoran pisteet saisivat saman  $\rho$ :n kuin loivasti nousevan suoran pisteet.

Kuvasta 2 nähdään, että suoralle asettuvat havaintopisteet saavat suuria  $\rho$ :n arvoja ja pienempiä arvoja saavat ne pisteet, jotka asettuvat käyrälle tai joissa on enemmän hajontaa.

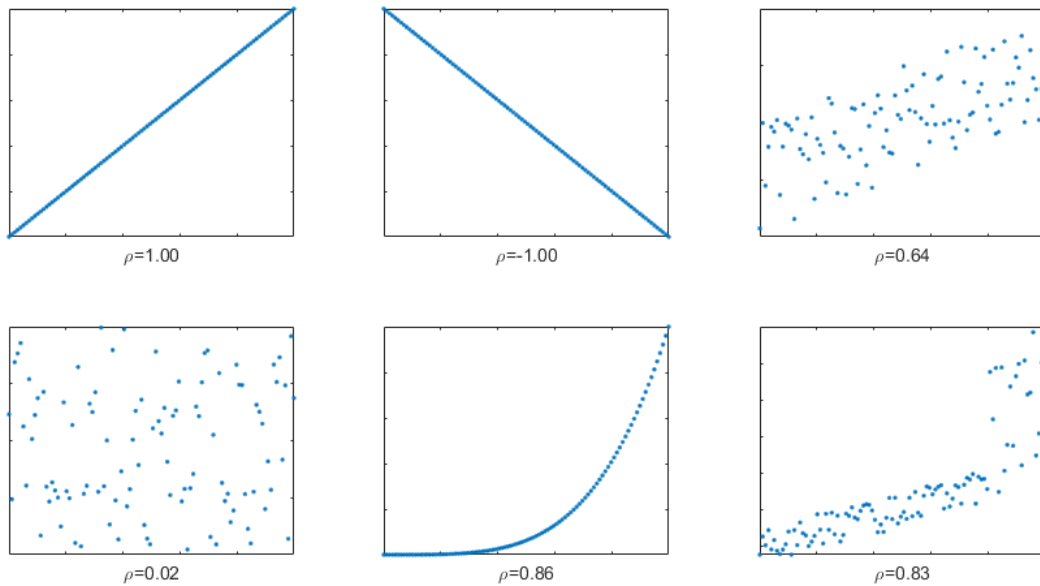
Muuttujista  $x$  ja  $y$  otetulle otokselle, jonka koko on  $n$ , kerroin  $\rho$  voidaan laskea kaavalla

$$\rho = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \sqrt{n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}}. \quad (3)$$

Pearsonin korrelaatiokertoimen merkitsevyyttä pystytään arvioimaan samalla testisuurella

$$t = \rho \sqrt{\frac{n-2}{1-\rho^2}} \quad (4)$$

kuin Spearmanin järjestyskerroimen tapauksessa.



**Kuva 2.**  $\rho$ :n arvoja eri otoksille

## 3 VAHVUUSLUKIJÄRJESTELMÄT

### 3.1 Valmiit vahvuuslukujärjestelmät

#### 3.1.1 HLTV Rating 2.0

HLTV Rating 2.0 [3] on HLTV:n kehittämä CS:GO:ta varten kehittämä vahvuusluku. Sen tarkoituksena on tarjota tilasto, jonka perusteella pelaajan suoritusta yksittäisessä ottelussa pystytään arvioimaan. Rating 2.0:n tarkat kaavat eivät ole julkisia, mutta sen peruseriaatteenä on selvittää, kuinka monen keskihajonnan päässä pelaajan eri tilastot ovat kyseisten tilastojen keskiarvoista. Näiden tietojen perusteella pelaajalle lasketaan luku niin, että keski-verta suoritusta kuvaa arvo 1.

Rating 2.0:ssa huomioitavia tilastoja ovat KPR, SPR, ADR, Impact rating, joka ottaa huomioon pelaajan voittamat yksi vastaan X tilanteet ja kierrokset, joilla pelaaja on tappanut useamman vastustajan tai saanut kierroksen ensimmäisen tapon, sekä pelaajan tasaisuutta kuvaava KAST eli Kill, Assist, Survival and Trade percentage. Trade tarkoittaa tässä yhteydessä pelaajan kuolemaa, jonka joukkueoveri on kostanut tappamalla vastustajan välittö-

mästi. Tilastojen keskiarvot ja -hajonnat lasketaan erikseen T- ja CT-puolille.

### 3.1.2 Elo-luku

Elo-luku [8] on Arpad Elon alunperin shakkia varten kehittämä vahvuusluku. Se pohjautuu oletukseen, että pelaajan pelisuoritukset ovat normaalijakautuneita keskiarvolla  $\mu$  ja varianssilla  $\sigma^2$ . Keskiarvo pyöristettynä lähimpään kokonaislukuun on suoraan Elo-luku ja varianssi pysyy vakiona ja on kaikille pelaajille sama. Elo-luku muuttuu pelaajien välisten otteluiden tulosten mukaan. Jos kaksi pelaajaa joiden Elo-luvut ovat  $\mu_1$  ja  $\mu_2$  kohtaavat, voidaan heidän lukujensa muutokset laskea kaavalla

$$\Delta\mu_i = K \left( \frac{y + 1}{2} - \Phi \left( \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sigma\sqrt{2}} \right) \right), \quad (5)$$

jossa  $y$  on -1, 1 tai 0 riippuen siitä häviääkö pelaaja  $i$ , voittaako hän vai onko ottelu tasapeli,  $\Phi$  on standardinormaalijakauman kertymäfunktio ja  $K$  on vakio, jonka suuruus kertoo siitä kuinka nopeasti Elo-luvun halutaan muuttuvan.  $\Phi \left( \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sigma\sqrt{2}} \right)$  kuvaa todennäköisyyttä, että pelaaja 1 voittaa pelaajan 2.

Elo-luvusta on kehitetty eri muunnelmia. Maailman shakkiliitto FIDE käyttää nykyisin Elo-lukuun pohjautuvaa vahvuuslukujärjestelmää [9], jossa normaalijakauma on korvattu logistisella jakaumalla ja  $K$ :n arvo on 40 uusille ja nuorille pelaajille, 20 heikoille ja keskitason pelaajille tai 10 huippupelaajille.

### 3.1.3 TrueSkill

Microsoftin kehittämä TrueSkill [10] on Elo-lukuun perustuva vahvuuslukujärjestelmä, joka on suunniteltu varta vasten joukkuelajeja ja moninpelejä ajatellen. TrueSkill soveltuu myös tapauksiin, joissa joukkueita on enemmän kuin kaksi. Elo-luvun kuvatessa pelaajan pelisuorituksia kahdella suureella, TrueSkill käyttää kolmea. Pelaajan arvioitu taitotaso ei ole enää yksittäinen luku vaan sitä kuvaa normaalijakauma kuten Elon tapauksessa pelisuorituksia. Mitä varmempi TrueSkill on pelaajan taitotasosta, sitä pienempi on normaalijakauman varianssi. Myös pelisuorituksia kuvaa normaalijakauma, jonka varianssi on kaikille pelaajilla sama kuten Elossakin.

Joukkueita TrueSkill kohtelee osiensa summana. Joukkueen pelaajat pelaavat taitotasonsa mukaisia pelisuorituksia ja joukkueen suoritus on pelaajien suoritusten summa. Ottelutuloksia käsiteltäessä TrueSkill käsittelee tasapelit ja voitot eri tavoin. Käsittelyssä otetaan huomioon myös tasapelimarginaali, joka kertoo, kuinka suuri joukkueiden tasoeron täytyy olla, jottei ottelu pääty tasapeliin. Pienillä tasapelimarginaaleilla tasapelit kertovat paljon ja niistä johtuvat muutokset rankingissa ovat suuria. Toisaalta suurilla tasapelimarginaaleilla voitot kertovat paljon.

### 3.1.4 Muut vahvuuslukujärjestelmät

Omia moninpeleihin soveltuvia vahvuuslukujärjestelmiään ovat suunnitelleet esimerkiksi Tom Kerrigan [11] ja Online Terra Mystica -lautapelisivustoa ylläpitävä Juho Snellman [12].

Kerriganin järjestelmä perustuu Elo-lukuun ja järjestää yksittäiset pelaajat järjestykseen pelisuoritusten perusteella. Elon päivityksen järjestelmä tekee niin, että jokaiselle pelaajalle lasketaan häviö yläpuolellaan olevaa pelaajaa vastaan ja voitto alapuolellaan olevaa pelaajaa vastaan. Siis esimerkiksi pelisuorituksen perusteella neljänneksi paras pelaaja häviää kolmanneksi parhaalle ja voittaa viidenneksi parhaan.

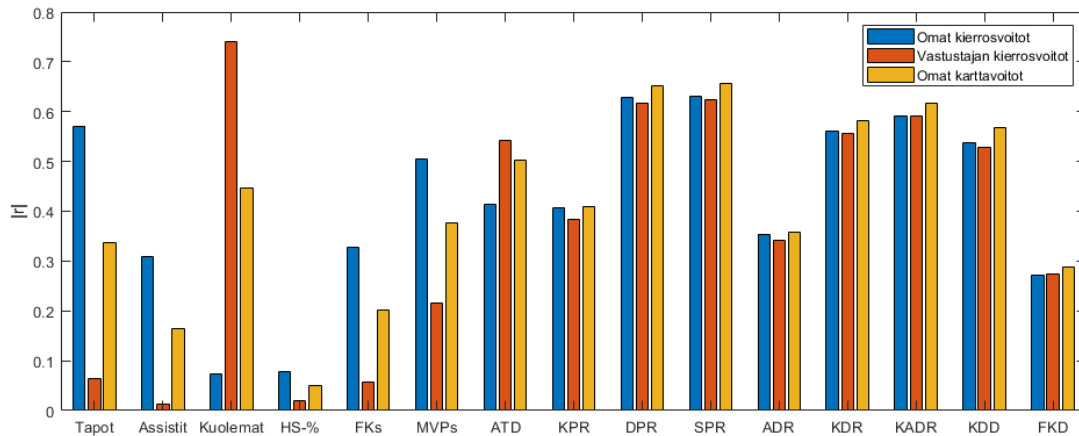
Snellman on testannut sivustoaan varten useita erilaisia järjestelmiä. Suurimpana lisäyksenä aiemmin mainittuihin järjestelmiin on iteratiivinen vahvuusluku. Snellmannin käyttämässä vahvuuslukujärjestelmässä kaikki ottelutulokset käydään läpi kolme kertaa vahvuuslukua laskettaessa, niin että kaavan (5)  $K$ :ta vastaavan vakion arvo pienenee jokaisella iteraatiolla.

## 3.2 Merkittävät pelaajatilastot

Yksi vaihtoehto pelaajien taitotason arvioimiseen ottelutulosten perusteella on jakaa kartta-voitto pelaajien kesken pelaajatilastojen perusteella. Voittojen jakoperusteeksi on hyvä valita tilasto, joka ennustaa sekä omia että vastustajan tuloksia, niin että toisen joukkueen tuloksiin verratessa korrelaatio on negatiivista ja toisen positiivista.

Ottelutuloksia parhaiten ennustavien pelaajatilastojen selvittämiseksi jokaista tilastoa ver-

rattiin oman joukkueen ja vastustajajoukkueen kierrosvoittoihin sekä omiin karttavoittoihin. Jokaisessa tapauksessa laskettiin Spearmanin järjestyskorrelaatiokerroin  $r$  ja Pearsonin korrelaatiokerroin  $\rho$ . Tulokset on esitetty kuvassa 3 ja taulukossa 1.



**Kuva 3.** Spearmanin järjestyskorrelaatiokertoimien itseisarvot eri pelaajatilastoille

Omat kierrosvoitot			Vastustajan kierrosvoitot			Omat karttavoitot		
Tilasto	$r$	$\rho$	Tilasto	$r$	$\rho$	Tilasto	$r$	$\rho$
SPR	0.63	0.61	Kuolemat	0.74	0.81	SPR	0.66	0.63
DPR	-0.63	-0.61	SPR	-0.62	-0.63	DPR	-0.65	-0.62
KADR	0.59	0.47	DPR	0.62	0.62	KADR	0.62	0.53
Tapot	0.57	0.62	KADR	-0.59	-0.62	KDR	0.58	0.51
KDR	0.56	0.44	KDR	-0.56	-0.58	KDD	0.57	0.55
KDD	0.54	0.51	ATD	0.54	0.54	ATD	-0.50	-0.48
MVPs	0.50	0.51	KDD	-0.53	-0.51	Kuolemat	-0.45	-0.41
ATD	-0.41	-0.40	KPR	-0.38	-0.40	KPR	0.41	0.41
KPR	0.41	0.40	ADR	-0.34	-0.36	MVPs	0.38	0.36
ADR	0.35	0.36	FKD	-0.27	-0.26	ADR	0.36	0.36
FKs	0.33	0.35	MVPs	-0.22	-0.16	Tapot	0.34	0.31
Assisit	0.31	0.34	Tapot	-0.06	0.04	FKD	0.29	0.28
FKD	0.27	0.26	FKs	-0.06	-0.01	FKs	0.20	0.19
HS-%	-0.08	-0.09	HS-%	0.02	0.02	Assisit	0.16	0.16
Kuolemat	-0.07	0.06	Assisit	-0.01	0.04	HS-%	-0.05	-0.05

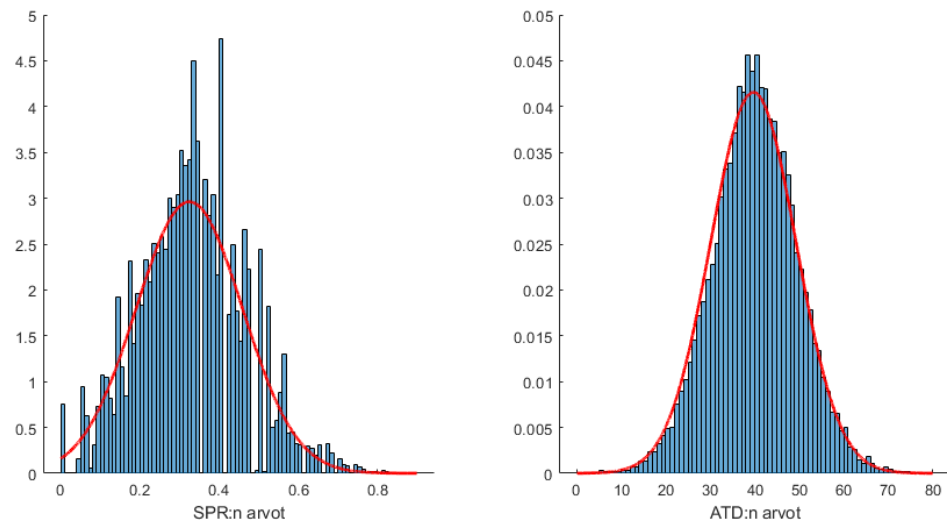
**Taulukko 1.** Eri pelaajatilastojen korrelaatiokertoimet

SPR:llä oli itseisarvoltaan suurimmat  $r$ :t kahdessa kategoriassa ja yhdessä toiseksi suurimmat. Lisäksi vastustajajoukkueen kierrosvoittoihin verrattessa  $r$  oli negatiivinen ja omiin kierros- ja karttavoittoihin verrattessa positiivinen, joten SPR on ensimmäinen ehdokas jakoperusteeksi. Toiseksi parhaat kertoimet olivat DPR:llä, mikä ei ole yllättävää sillä  $DPR = 1 - SPR$ . Tästä syystä DPR tuskin antaisi merkittävästi SPR:stä eroavia tuloksia, jos se valittaisiin jakoperusteeksi. Myös ATD:n kertoimet olivat kohtuullisia, joten se on toinen ehdokas. Muita passiivisia tilastoja ei ollut käytettävissä.

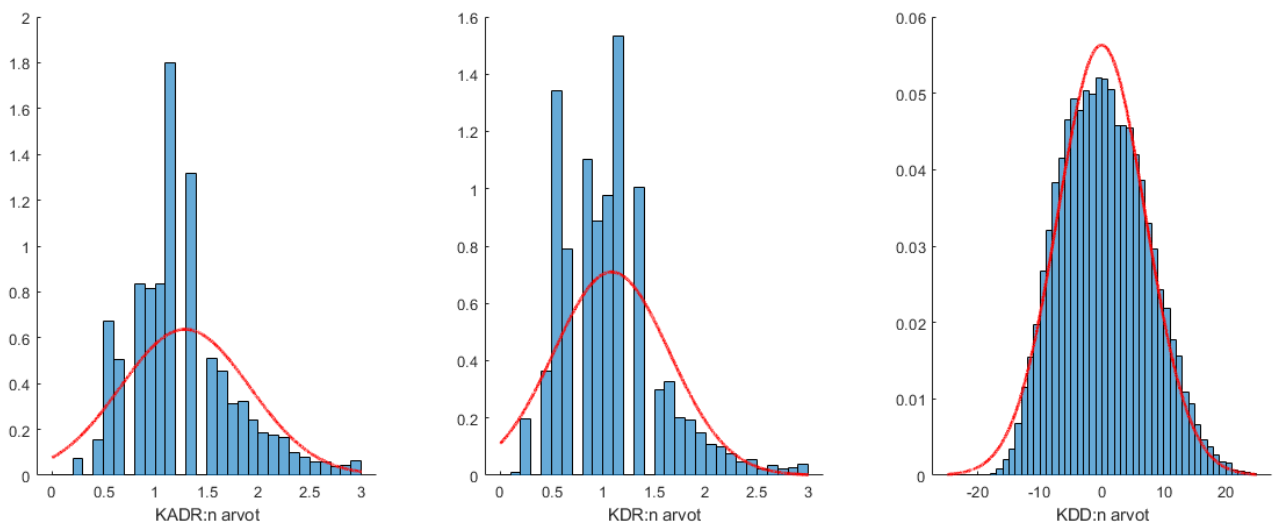
SPR tai ATD yksin olisivat tuskin mielekäs valinta. Pelkkä kierroksista selviäminen tai aikaisin kuoleminen ei tuo joukkueelle voittoja vaan joukkueen täytyy myös pystyä aktiivisiin toimenpiteisiin ottelun voittamiseksi eli joko tappamaan vastustajajoukkue tai asettamaan tai purkamaan pommin. Aktiivisista pelaajatilastoista KADR:n korrelaatiokertoimet täyttivät vaatimukset parhaiten, joten se on myös ehdokas jakoperusteeksi. Korrelaatiokertoimien perusteella kokeilemisen arvoisia tilastoja olivat myös KDR ja KDD.

SPR:n, ATD:n ja KDD:n tapauksessa  $r$  ja  $\rho$  olivat kaikissa tapauksissa hyvin lähellä toisiinsa, joten niiden vaikutus joukkueen suoriutumiseen voidaan olettaa lineaariseksi. KADR:n ja KDR:n tapauksessa  $r$ :n ja  $\rho$ :n erot olivat suurempia ja korrelaatio siten epälinearisempää kuin muilla tilastoilla. Rankingmuutosten määrittämisen yksinkertaistamiseksi oletetaan korrelaatio kuitenkin lineaariseksi. Kaikkien jakoperusteiksi valittujen tilastojen tapauksissa korrelaatiokertoimien  $p$ -arvot olivat merkittävästi pienempiä kuin 0.01, joten arvoja voidaan pitää tilastollisesti merkitsevinä.

Valittujen tilastojen arvot eivät olleet normaalijakautuneita. Kuten kuvista 4 ja 5 nähdään, normaalijakauma sopi arvoihin tästä huolimatta kohtuullisesti. Suurimmat erot johtuivat kierrosmäärien, tappojen, assistien ja kuolemien diskreettisuudesta ja rajoitetuista arvojoukoista. Näiden takia kaikki tilastojen arvot eivät olleet mahdollisia tai niitä vastasi vain yksi harvinaisen muiden tilastojen kombinaatio. Puuttuvat arvot näkyvät kuvissa selkeästi puuttuvina palkkeina histogrammeissa ja viereisten arvojen normaalia korkeampina palkkeina.



**Kuva 4.** SPR:n ja ATD:n arvojen jakaumat ja arvoihin sovitetut normaalijakaumat



**Kuva 5.** KADR:n, KDR:n ja KDD:n arvojen jakaumat ja arvoihin sovitetut normaalijakaumat

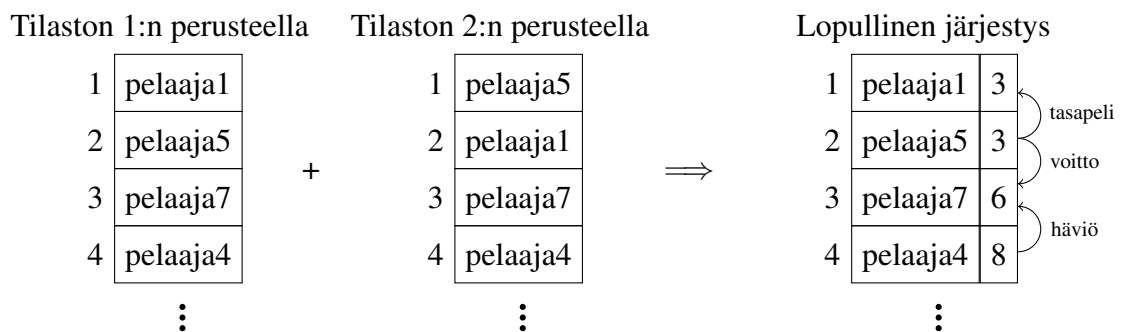
Osin tilastojen helposti selitettävissä olevien ongelmien takia ja osin selkeästi parempien jakaumien puuttumisen takia oletetaan rankingjärjestelmissä tilastot ja siten pelaajien suoritukset ja taitotasot normaalijakautuneiksi.

### 3.3 Testattavat vahvuuslukujärjestelmät

Pelaajien taitotasojen arvioimiseen ja ottelutulosten ennustamiseen testattiin 25:tä eri vahvuuslukujärjestelmää. Kaikissa järjestelmissä pelaajien vahvuusluvun taustalla oli Elo-luku ja vahvuusluvut päivitettiin jokaisen ottelun jälkeen. Elo-luvun muutokset määräävässä kaavassa (5) käytettiin keskihajonnalle arvoa  $\sigma = 210$ , jolloin 200 Elo-luvun päässä toisistaan olevien pelaajien voittomahdollisuuksiksi arvioidaan  $n. 0.75$  ja  $0.25$ . Skaalauskerroimelle käytettiin arvoa  $K = 20$ , kuten FIDE:n järjestelmässä heikoille ja keskitason pelaajille.

Järjestelmissä 13-25 pelaajien Elo-lukujen alkuarvona käytettiin arvoa 1500. Järjestelmissä 1-12, jos kaikilla olisi sama alkuarvo, Elo-lukujen muutoksia tapahtuisi ensimmäisissä otteluissa ainoastaan ottelun parhaalla ja huonoimmalla pelaajalla tai tasapelien takia. Tästä syystä näissä järjestelmissä pelaajille arvottiin viidet alkuarvot väliltä  $[1495, 1505]$ . Lopulliset Elo-luvut olivat näillä alkuarvoilla laskettujen Elo-lukujen keskiarvoja. Kaikissa järjestelmissä käytettiin samoja arvottuja alkuarvoja.

#### 3.3.1 Järjestelmät 1-12



Kuva 6. Järjestelmien 1-12 periaate

Järjestelmät 1-12 käyttävät Kerriganin [11] ideaa. Siinä pelaajat järjestetään ensin parhausejärjestykseen pelaajatilastojen perusteella. Järjestelmät eroavat toisistaan käytettyjen tilastojen perusteella ja järjestelmä 12 lisäksi pelaajien vertailutavassa. Järjestelmissä 1-5 käytössä on yksi tilasto seuraavista: SPR, ATD, KADR, KDR ja KDD. ATD:n tapauksessa pienempi tilaston arvo on parempi, muissa tilastoissa suurempi arvo on parempi. Järjestelmissä 6-11 käytetään kahta edellämainituista tilastoista. Järjestelmässä 12 käytetään samoja tilastoja

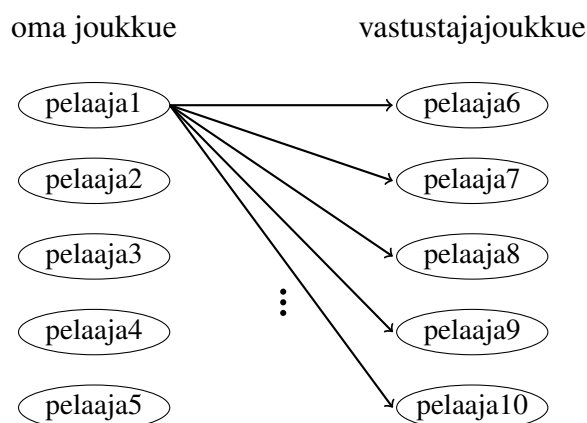
kuin parhaiten otteluiden voittajia ennustavassa aikaisemmassa järjestelmässä.

Niissä järjestelmissä, joissa vertailtavia tilastoja on kaksi, eri tilastojen perusteella muodostettujen listojen sijoitukset lasketaan yhteen ja pelaajat järjestetään lopulliseen parhausjärjestykseen sijoitusten summan perusteella.

Lopullisen järjestyksen perusteella pelaajat häviävät järjestelmissä 1-11 yhden sijan korkeammalla olevalle pelaajalle ja voittavat yhden sijan alempana olevan pelaajan. Pelaajien Elo-lukujen muutokset ovat näistä kahdesta vertailusta laskettujen muutosten summia. Parhaan pelaajan Elo-luvun muutos on suoraan voitetusta vertailusta laskettu muutos ja huonomman pelaajan muutos suoraan hävitystä vertailusta laskettu muutos. Pelaajien välinen vertailu katsotaan tasapeliksi, mikäli pelaajien sijoitusten summa on sama.

Järjestelmässä 12 tehdään kahden vertailun sijasta yhdeksän vertailua. Pelaajia vertaillaan kaikkiin pelaajiin, jotka ovat heidän ylä- tai alapuolellaan. Vertailut voitetaan tai hävitään kuten järjestelmissä 1-11 ja lopullinen Elo-luvun muutos on näiden yhdeksän vertailun keskiarvo.

### 3.3.2 Järjestelmä 13

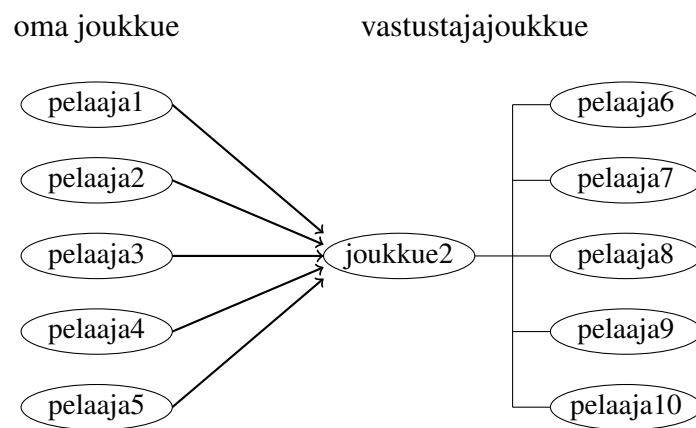


**Kuva 7.** Järjestelmän 13 periaate

Järjestelmässä 13 jokaiselle pelaajalle tehdään viisi vertailua - yksi jokaista vastustajajouk-

kueen pelaajaa vastaan. Ottelun päätyttyä voittoon kaikki vertailut ovat voittoja ja vastaavasti tasapelejä tai häviöitä, mikäli pelaajan joukkue pelasi tasapelin tai hävisi ottelun. Pelaajien Elo-lukujen muutokset ovat näistä vertailuista laskettujen muutosten summia.

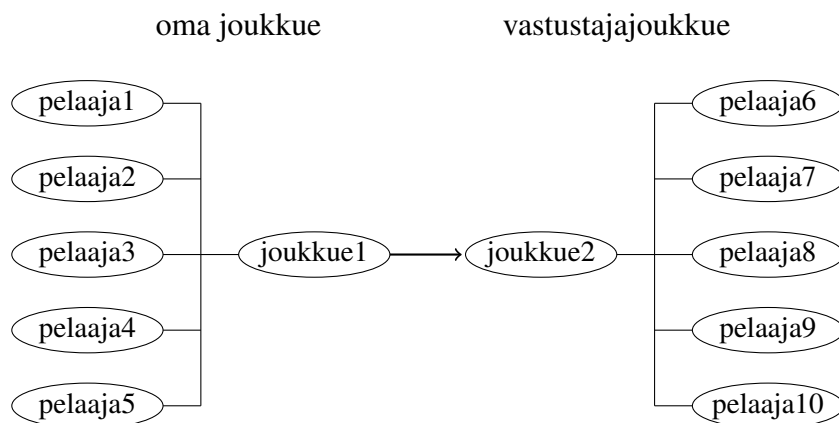
### 3.3.3 Järjestelmä 14



Kuva 8. Järjestelmän 14 periaate

Järjestelmässä 14 jokaiselle pelaajalle tehdään vain yksi vertailu koko vastustajajoukkuetta vastaan. Pelaajien Elo-luvut muuttuvat suoraan tämän vertailun perusteella. Vastustajajoukkueen Elo-luvuksi lasketaan sen pelaajien Elo-lukujen keskiarvo.

### 3.3.4 Järjestelmät 15-25



Kuva 9. Järjestelmien 15-25 periaate

Järjestelmissä 15-25 tehdään vain yksi vertailu joukkueiden välillä. Kuten järjestelmässä 14, joukkueiden Elo-luvut ovat niiden pelaajien Elo-lukujen keskiarvoja. Pelaajien Elo-lukujen muutokset määräytyvän joukkueiden välisen vertailun ja pelaajatilastojen perusteella. Eri järjestelmien väliset erot ovat samat kuin järjestelmillä 1-11. Järjestelmät erottaa toisistaan ainoastaan niissä käytetyt tilastot.

Esimerkkinä pelaajien Elo-lukujen muutoksista käytetään järjestelmää, jossa käytettävät tilastot olisivat SPR ja KADR. Joukkueen Elo-luvun kasvaessa, pelaajien Elo-lukujen muutokset saadaan laskettua kaavalla

$$\Delta\mu_i = 2.5 \cdot \Delta\mu \cdot \left( \frac{\text{SPR}_i}{\sum \text{SPR}} + \frac{\text{KADR}_i}{\sum \text{KADR}} \right), \quad (6)$$

missä  $\Delta\mu_i$  on pelaajan  $i$  Elo-luvun muutos,  $\Delta\mu$  on joukkueen Elo-luvun muutos,  $\text{SPR}_i$  ja  $\text{KADR}_i$  pelaajan  $i$  tilastojen arvot sekä  $\sum \text{SPR}$  ja  $\sum \text{KADR}$  joukkueen tilastojen summa. Mikäli joukkueen Elo-luku pienenee, muutokset lasketaan kaavalla

$$\Delta\mu_i = 2.5 \cdot \Delta\mu \cdot \left( \frac{4}{5} - \frac{\text{SPR}_i}{\sum \text{SPR}} - \frac{\text{KADR}_i}{\sum \text{KADR}} \right). \quad (7)$$

Puolet muutoksista siis jaetaan SPR:n ja puolet KADR:n perusteella, siten että pelaajien muutosten summa on viisinkertainen verrattuna joukkueiden välisestä vertailusta saatuun muutokseen. Muutoksen kertoimena käytetään jokaisen pelaajan tilastojen suhteellisia osuuksia. Joukkueen Elo-luvun kasvaessa ne pelaajat, joiden tilastot olivat parhaat, saavat suurimman osan muutoksesta. Toisaalta Elo-luvun pienentyessä parhaimpia pelaajia rankaistetaan vähiten tai heidän Elo-lukuaan jopa kasvatetaan.

Järjestelmissä, joissa käytetään vain yhtä tilastoa, toinen tilastotermi poistetaan kaavoista ja kaavassa (6) vakio 2.5 korvataan 5:llä ja kaavassa (7)  $\frac{5}{3}$ :lla.

Järjestelmän käyttäessä jakoperusteena SPR:ää, KADR:ää tai KDR:ää, voidaan haluttu tilasto sijoittaa kaavoihin suoraan. Kun järjestelmä käyttää jakoperusteena ATD:tä, jolla pienemmät arvot ovat parempia, arvot suhteutetaan 180:een, joka on kierroksen maksimipituus. Kaavoissa (6) ja (7) ATD:tä vastaava tilastotermi on siis  $\frac{180-\text{ATD}_i}{\sum(180-\text{ATD})}$ . Järjestelmän käyttäessä KDD:tä, joka voi saada myös negatiivisia arvoja, arvot suhteutetaan  $-30$ :een, joka vastaa kuolemista 30:n kierroksen mittaisen ottelun jokaisella kierroksella ilman tappoja. Tilastotermi on tällöin  $\frac{30+\text{KDD}_i}{\sum(30+\text{KDD})}$ .

## 4 ANALYSOINTIA

### 4.1 Järjestelmien vertailu

Jokaisella järjestelmällä laskettiin vahvuusluvut tietokannan sisältämien otteluiden perusteella. Eri järjestelmillä saatujen vahvuuslukujen vertailemiseksi, välillä 1.2.2019 - 31.3.2019 pelattujen LAN-otteluiden tuloksia yritettiin ennustaa vahvuuslukujen perusteella. Ennustettaviksi otteluiksi valittiin ne, joissa molempien joukkueiden pelaajat olivat pelanneet ainakin yhdessä tietokannan otteluista. Tällaisia otteluita oli 106 kappaletta, joista ensimmäinen pelattiin 13.2.2019.

Ottelutuloksia ennustettaessa joukkueiden vahvuusluvuksi laskettiin niiden pelaajien vahvuuslukujen keskiarvo. Järjestelmien ennusteet laskettiin jo kaavassa 5 esiintyneellä kaavalla

$$p = \Phi \left( \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sigma\sqrt{2}} \right). \quad (8)$$

Vertailukriteereinä käytettiin väärin ennustettujen voittajien määrää ja ennusteiden virheiden neliösummaa  $SSE = \sum_i (1 - p_i)^2$ , missä  $p_i$  on järjestelmän ennustama voittotodennäköisyys ottelun  $i$  voittajalle. Väärin ennustettujen voittajien määrä laskettiin myös HLTV:n 13.2.2019 voimassa olleelle joukkuerankingille [1]. Vertailun tulokset on esitetty liitteessä 1.

Kuten liitteen 1 taulukosta 2 voidaan lukea, järjestelmien vertailussa pärjäsivät parhaiten Kerriganin ideaa ja SPR:ää sekä KDD:tä käyttävä järjestelmä 8. Se erottui muista järjestelmistä varsinkin ottelun voittajan ennustamisessa saavuttaen melkein saman tarkkuuden kuin HLTV:n joukkueranking. Vertailun vuoksi valitsemalla joukkueiden paremmuusjärjestys niin, että ennustettavista otteluista mahdollisimman moni ennustettaisiin oikein, väärin ennustetut ottelut pystyttäisiin laskemaan ainakin 27:ään.

Vaikka paras järjestelmä käyttikin kahta pelaajatilastoa hyödykseen, ei kahden tilaston käyttäminen tuo suoraan selkeää eroa yhteen tilastoon verrattuna. Molemmista kategorioista löytyy sekä ennusteissaan hyvin että huonosti onnistuvia järjestelmiä. Passiivisista tilastoista ATD näyttäisi toimivan paremmin yksinään ja SPR yhdistettynä aktiiviseen tilastoon. Aktiivisista tilastoista KDD näyttäisi pärjäävän parhaiten Kerriganin ideaan pohjautuvissa järjes-

telmissä. Järjestelmissä 15-25 ei sen sijaan ole selkeästi parhaiten toimivaa aktiivista tilastoa.

Järjestelmässä 12 pelaajien vertaaminen kaikkiin ottelussa pelanneisiin ei tuonut ennusteisiin lisää tarkkuutta vaan nosti väärin ennustettujen voittajien määrää radikaalisti. Järjestelmät 13 ja 14, jotka eivät käyttäneet pelaajatilastoja vahvuuslukujen laskemiseen, sijoittuivat vertailun keskikastiin otteluiden voittajien ennustamisessa. SSE:n perusteella niiden virheet olivat kuitenkin aivan vertailun häntäpäässä.

Kuvista 10, 11, 12 ja 13 nähdään, että erot eri järjestelmien laskemissa vahvuusluvuissa olivat suuria. Pieniä vaihteluvälejä oli lähinnä pelaajilla, jotka olivat pelanneet alle 10:ssä tietokannan ottelussa. Harvalla pelaajalla kuitenkin esiintyy sekä hyvin suuria että pieniä arvoja, joten parhaat ja huonoimmat pelaajat näyttäisivät erottuvat usean eri mittarin perusteella. Parhaiten toimineessa järjestelmässä 8 erot pelaajien välillä olivat pieniä.

## 4.2 Herkkyysanalyysi

Tulosten luotettavuuden arvioimiseksi ja optimaalisen  $K$ :n etsimiseksi tarkasteltiin eri järjestelmien herkkyksiä skaalauskerroimen  $K$  suhteen. Vertailukriteerit laskettiin kaikille järjestelmille  $K$ :n arvojen ollessa kokonaislukuja väliltä  $[10, 50]$ . Herkkyysanalyysin tulokset on esitetty liitteessä 2.

Liitteen 2 kuvista 14, 15, 16, 17 ja 18 nähdään, että Kerriganin ideaan perustuvat järjestelmät käyttäytyvät muista järjestelmistä poiketen. Niissä SSE pienenee  $K$ :n kasvaessa ja toisaalta  $K$ :n vaikutus SSE:n suuruuteen on suhteellisen pientä. Järjestelmä 8 esiintyy edukseen kaikilla  $K$ :n arvoilla lukuun ottamatta aivan pienimpiä arvoja. Se saavuttaa vertailun pienimmän arvon  $SSE = 24.28$   $K$ :n arvolla 49. SSE:n perusteella suuremmat  $K$ :n arvot näyttäisivät tuottavan parempia ennusteita, joten  $K$ :n arvon kasvattaminen vaikuttaisi lupaavalta. Parhaan järjestelmän valintaa voidaan järjestelmän 8 tulosten perusteella pitää luotettavana.

Toisin kuin SSE:n tapauksessa,  $K$ :n vaikutus väärin ennustettujen voittajien määrään ei ole yhtä selkeä. Varsinkin huonoimmilla järjestelmillä ennusteiden tarkkuus vaihtelee paljon eikä selkeästi hyvät ennusteet antavaa  $K$ :n arvoa ole. Järjestelmän 8 ennusteet olivat jälleen parhaimpien ennusteiden joukossa kaikilla  $K$ :n arvoilla ja vaihtelu pientä verrattuna mui-

hin hyviä ennusteita tuottaviin järjestelmiin. Parhaan järjestelmän valintaa voidaan pitää siis myös voittajien ennustamisen perusteella luotettavana.

## 5 POHDINTAA

### 5.1 Pelaajatilastot

Vaikka merkittäviä pelaajatilastoja määritettäessä saatiin hyviä korrelaatioita ja niiden avulla saatiin ennustettua otteluiden voittajia onnistuneesti, käytetyssä datassa oli ongelmia. Pelaajatilastot olivat saatavilla ainoastaan kokonaisista kartoista eikä toisistaan merkittävästi eroavia T- ja CT-puoliskoja siten pystynyt erottelemaan. Defusal-pelimuodon takia aktiivisuuteen kannustavalla T-puoliskolla aktiivisemmat pelaajatilastot mitä luultavammin korreloisivat vahvemmin kuin passiivisemmalla CT-puoliskolla.

Mikäli puoliskojen tilastot olisivat eroteltavissa, korrelaatiot pystyttäisiin lisäksi laskemaan ainoastaan kartan ensimmäiseltä puoliskolta, jonka pituus on aina 15 kierrosta. Tällöin joukkueiden tasoeroista saisi paremman kuvan: toisen joukkueen 16-3 voittoon päättynyt kartta saattaisi päättyä 16-14 tai 27-3, jos sen annettaisiin jatkua 30:een kierrokseen asti. Korrelaatiot olisivat luultavasti myös vahvempia, sillä toisella joukkueella ei tällöin olisi 16:ta kierrosvoittoa lähes puolessa lopputuloksista.

Korrelaatioiden tarkemmalla laskemisella ei olisi vaikutusta käytettyjen järjestelmien ennustuksiin. Sen sijaan erikseen T- ja CT-puolille laskettujen korrelaatioiden avulla voitaisiin valita eri puoliskoille omat tilastot, joiden perusteella pelaajia arvosteltaisiin. Tämä mahdollistaisi HLTV:n Rating 2.0:aa vastaavien järjestelmien kehittämisen.

Korrelaatiokertoimista ATD:n tulokset ovat hyvin yllättäviä. Negatiiviset korrelaatiokertoimet omia voittoja tarkasteltaessa tarkoittaa sitä, että nopeammin kuoleminen edistäisi otteluiden voittamista. Tuntuu luontevalta, että häviävä joukkue kuolisi keskimäärin nopeammin kuin voittava joukkue varsinkin, kun kierrokset usein päättyvät siihen, että kaikki hävinneen joukkueen pelaajat ovat kuolleet. ATD:n avulla tehdyt järjestelmät näyttäisivät kuitenkin toimivan, joten kertoimet tuskin valehtelevat.

## 5.2 Vahvuuslukujärjestelmät

Yhtä tai kahta pelaajatilastoa hyödyntävien järjestelmien lisäksi olisi voinut testata kolmea tilastoa hyödyntäviä järjestelmiä. ATD:tä lukuunottamatta käytettyjen tilastojen arvot ovat huonompia, jos pelaaja kuolee usein. Aggressiivisemmat ja siten usein kuolevat pelaajat kuitenkin usein luovat joukkuetovereilleen tilaisuuksia ja siten mahdollisuuden voittaa kierroksia. Tällaisen pelityylin huomioon ottamiseksi kolmanneksi tilastoksi voisi valita esimerkiksi ADR:n tai KPR:n, vaikkakin pienemmällä painokertoimella johtuen heikommista korrelaatioista.

Testatuista järjestelmistä kehitettävää olisi etenkin järjestelmissä 15-25. ATD:n suhteuttaminen 180:een ei ollut paras valinta, sillä kierrokset harvemmin kestävät maksimiaikaa. Parempi valinta olisi esimerkiksi kierrosten todellinen pituus, mutta tieto kierrosten kestosta ei ollut käytettävissä vahvuuslukuja laskettaessa. Myös KDD:n olisi voinut suhteuttaa kierrosten todelliseen määrää, eikä 30:een.

Myös kaavan (7) toiminnassa olisi kehitettävää. Järjestelmässä, jonka tarkoitus on ennustaa otteluiden tuloksia, tuskin on mielekäästä palkita hävinneen joukkueen pelaajia. Vaikka pelaaja olisi tilastojen valossa maailman paras pelaaja, ei siitä ole hyötyä, jos hänen joukkueensa ei voita otteluita.

Työn tavoitteeksi asetettiin kehittää järjestelmä, joka soveltuu myös tilanteisiin, joissa joukkueiden kokoonpanot muuttuvat. Kaikki järjestelmät sallivat kokoonpanomuutokset, mutta niiden toiminta tällaisissa tilanteissa jäi testaamatta. Ennustettavien otteluiden aikana tapahtui kaksi kokoonpanomuutosta, joiden avulla olisi voinut vertailla ennusteiden tarkkuutta ennen ja jälkeen muutosten, mutta kyseiset joukkueet pelasivat vain 29:ssä ottelussa. Kokoonpanomuutoksista aiheutunut virhe siis tuskin olisi erottunut ennusteissa esiintyneestä vaihtelusta eikä toimintaa siten testattu.

## Lähteet

- [1] *HLTV Team Ranking*. HLTV. URL: <https://www.hltv.org/ranking/teams/2019/february/11> (viitattu 21.04.2019).
- [2] Duncan Shields. *Thorin's CS:GO World Rankings*. URL: <https://www.vpesports.com/csgo/thorins-csgo-world-rankings-11th-december-2018,%20viimeisin%20julkaisu> (viitattu 13.02.2019).
- [3] *Introducing Rating 2.0*. HLTV. URL: <https://www.hltv.org/news/20695/introducing-rating-20> (viitattu 13.02.2019).
- [4] *Money*. URL: <https://counterstrike.fandom.com/wiki/Money> (viitattu 15.02.2019).
- [5] *CSGO Demos Manager*. URL: <https://csgo-demos-manager.com/> (viitattu 30.03.2019).
- [6] *Kill assist*. URL: [https://counterstrike.fandom.com/wiki/Kill\\_assist](https://counterstrike.fandom.com/wiki/Kill_assist) (viitattu 25.03.2019).
- [7] *MVP*. URL: <https://counterstrike.fandom.com/wiki/MVP> (viitattu 25.03.2019).
- [8] Arpad Elo. *The Rating of Chessplayers, Past & Present*. 2. painos. Arco Pub., 1978. ISBN: 9780668047210.
- [9] *FIDE Rating Regulations: 8. The working of the FIDE Rating System*. FIDE. URL: <https://www.fide.com/component/handbook/?id=197&view=article> (viitattu 20.02.2019).
- [10] Ralf Herbrich, Tom Minka ja Thore Graepel. "TrueSkill™: A Bayesian Skill Rating System". Teoksessa: *Advances in Neural Information Processing Systems 19*. Toim. B. Schölkopf, J. C. Platt ja T. Hoffman. MIT Press, 2007, s. 569–576. URL: <http://papers.nips.cc/paper/3079-trueskilltm-a-bayesian-skill-rating-system.pdf>.
- [11] Tome Kerrigan. *Multiplayer Elo*. URL: [http://www.tckerrigan.com/Misc/Multiplayer\\_Elo/](http://www.tckerrigan.com/Misc/Multiplayer_Elo/).

- [12] Juho Snellman. *A rating system for asymmetric multiplayer games*. URL: <https://www.snellman.net/blog/archive/2015-11-18-rating-system-for-asymmetric-multiplayer-games/>.

## Taulukot

1	Eri pelaajatilastojen korrelaatiokertoimet . . . . .	14
2	Järjestelmien ennusteiden tarkkuus $K$ :n arvolla 20 . . . . .	30

## Kuvat

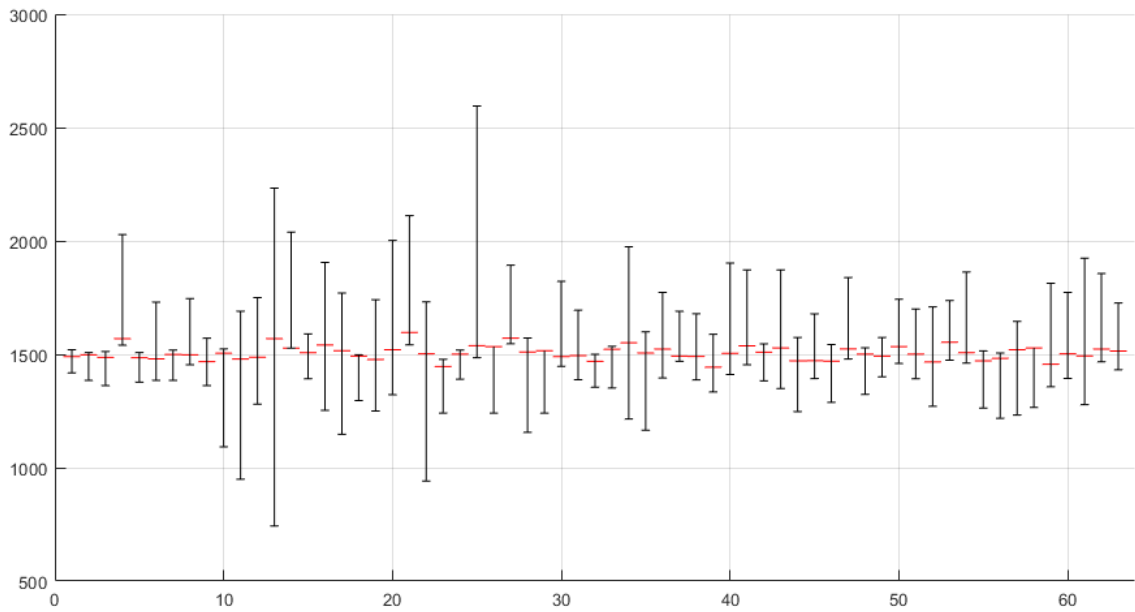
1	$r$ :n arvoja eri otoksille . . . . .	9
2	$\rho$ :n arvoja eri otoksille . . . . .	11
3	Spearmanin järjestyskorrelaatiokertoimien itseisarvot eri pelaajatilastoille .	14
4	SPR:n ja ATD:n arvojen jakaumat ja arvoihin sovitetut normaalijakaumat .	16
5	KADR:n, KDR:n ja KDD:n arvojen jakaumat ja arvoihin sovitetut normaali- jakaumat . . . . .	16
6	Järjestelmien 1-12 periaate . . . . .	17
7	Järjestelmän 13 periaate . . . . .	18
8	Järjestelmän 14 periaate . . . . .	19
9	Järjestelmien 15-25 periaate . . . . .	19
10	Pelaajien 1-63 vahvuuslukujen vaihteluväli ja arvo järjestelmässä 8 . . . . .	31
11	Pelaajien 64-126 vahvuuslukujen vaihteluväli ja arvo järjestelmässä 8 . . . .	31
12	Pelaajien 127-189 vahvuuslukujen vaihteluväli ja arvo järjestelmässä 8 . . . .	32
13	Pelaajien 190-252 vahvuuslukujen vaihteluväli ja arvo järjestelmässä 8 . . . .	32
14	Järjestelmät 5, 6, 7, 8 ja 16 . . . . .	33
15	Järjestelmät 4, 10, 12, 15 ja 20 . . . . .	33
16	Järjestelmät 11, 14, 21, 22 ja 24 . . . . .	34
17	Järjestelmät 3, 13, 17, 19 ja 23 . . . . .	34
18	Järjestelmät 1, 2, 9, 18, 25 . . . . .	34

19	Järjestelmät 5, 6, 7, 8 ja 16 . . . . .	35
20	Järjestelmät 4, 10, 12, 15 ja 20 . . . . .	35
21	Järjestelmät 11, 14, 21, 22 ja 24 . . . . .	36
22	Järjestelmät 3, 13, 17, 19 ja 23 . . . . .	36
23	Järjestelmät 1, 2, 9, 18, 25 . . . . .	36

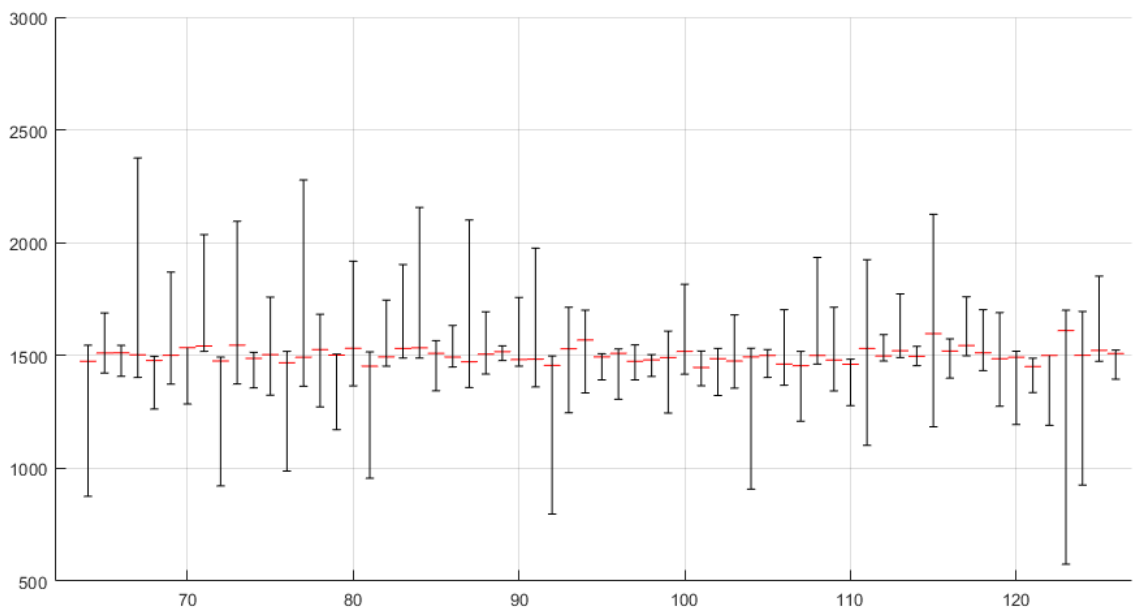
## Liite 1: Järjestelmien vertailun tulokset

	Jakoperusteet	Väärin ennustetut voittajat	SSE
Järjestelmä 1	SPR	56	25.62
Järjestelmä 2	ATD	47	25.75
Järjestelmä 3	KADR	46	25.77
Järjestelmä 4	KDR	42	25.81
Järjestelmä 5	KDD	41	25.68
Järjestelmä 6	SPR,KADR	39	25.61
Järjestelmä 7	SPR,KDR	42	25.39
Järjestelmä 8	SPR,KDD	36	25.26
Järjestelmä 9	ATD,KADR	48	25.51
Järjestelmä 10	ATD,KDR	43	25.59
Järjestelmä 11	ATD,KDD	45	25.79
Järjestelmä 12	SPR,KDD	43	25.24
Järjestelmä 13		46	27.99
Järjestelmä 14		43	26.04
Järjestelmä 15	SPR	43	25.77
Järjestelmä 16	ATD	42	25.81
Järjestelmä 17	KADR	46	25.96
Järjestelmä 18	KDR	48	26.18
Järjestelmä 19	KDD	45	25.94
Järjestelmä 20	SPR,KADR	43	25.76
Järjestelmä 21	SPR,KDR	43	25.80
Järjestelmä 22	SPR,KDD	44	25.84
Järjestelmä 23	ATD,KADR	46	25.78
Järjestelmä 24	ATD,KDR	43	25.85
Järjestelmä 25	ATD,KDD	50	28.35
HLTV:n joukkueranking		35	

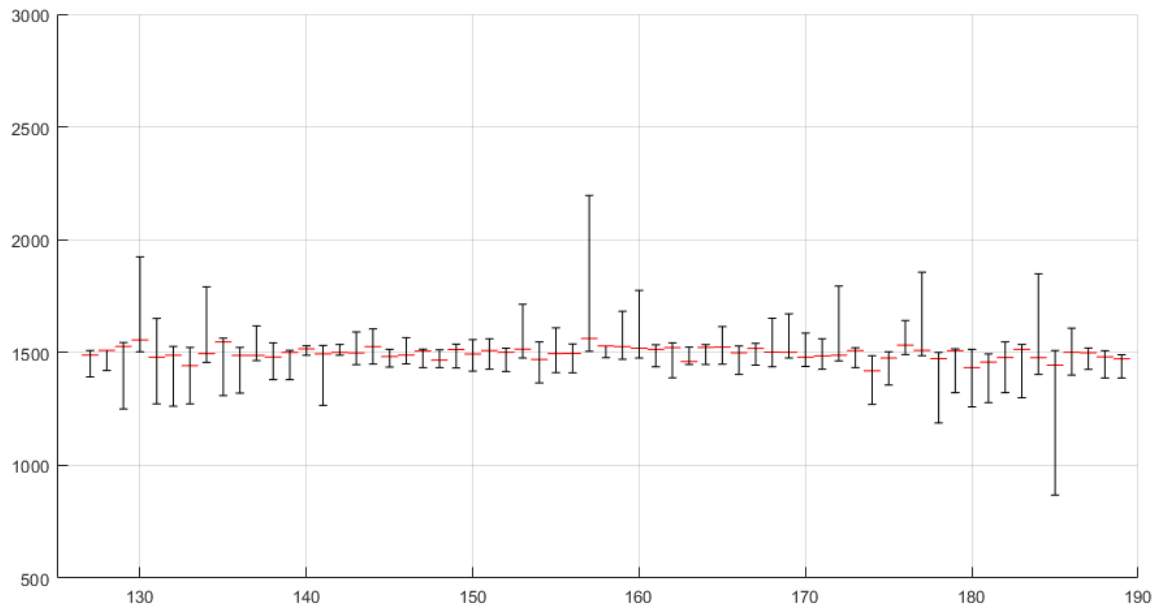
**Taulukko 2.** Järjestelmien ennusteiden tarkkuus  $K$ :n arvolla 20



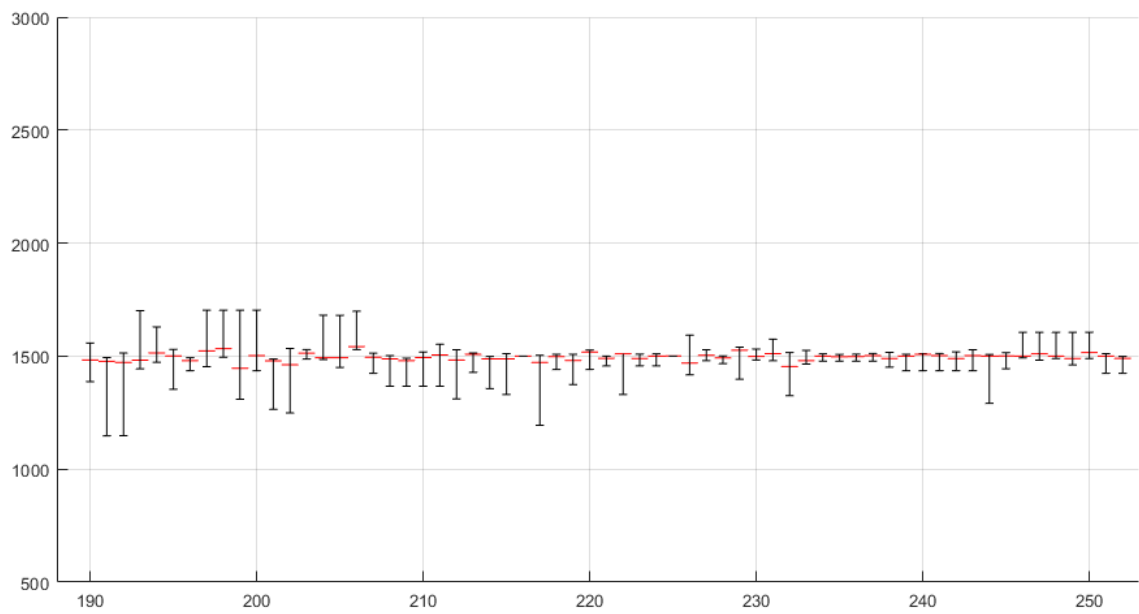
**Kuva 10.** Pelaajien 1-63 vahvuuslukujen vaihteluväli ja arvo järjestelmässä 8



**Kuva 11.** Pelaajien 64-126 vahvuuslukujen vaihteluväli ja arvo järjestelmässä 8



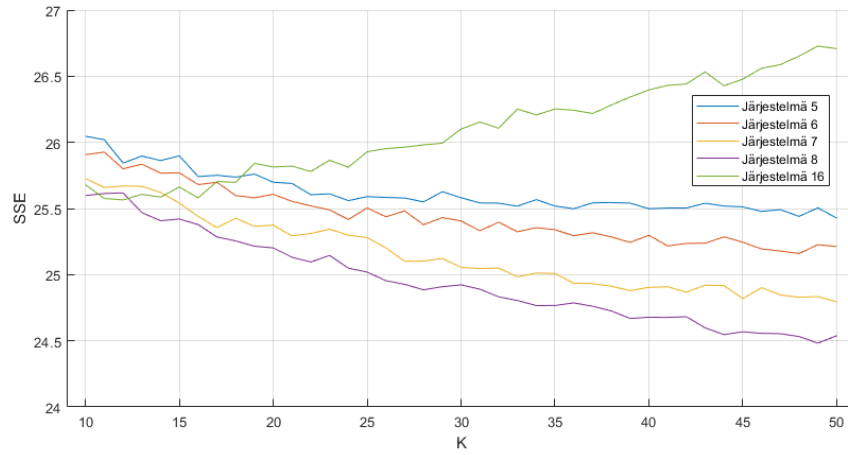
**Kuva 12.** Pelaajien 127-189 vahvuuslukujen vaihteluväli ja arvo järjestelmässä 8



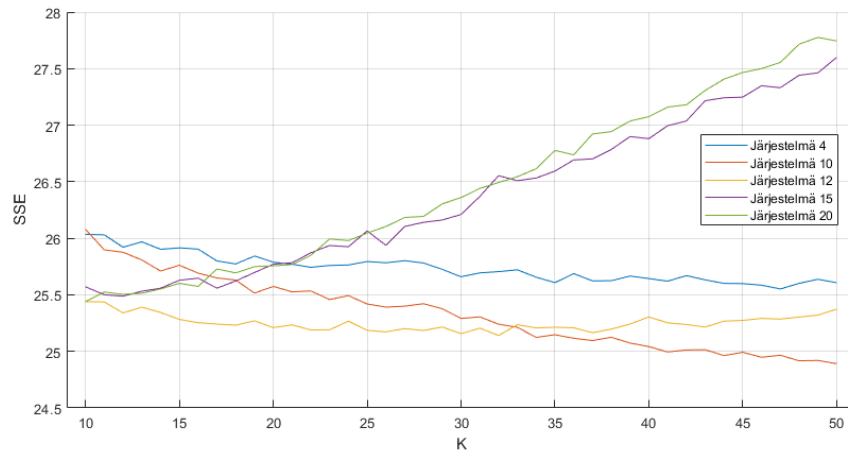
**Kuva 13.** Pelaajien 190-252 vahvuuslukujen vaihteluväli ja arvo järjestelmässä 8

## Liite 2: Herkkyysanalyysin tulokset

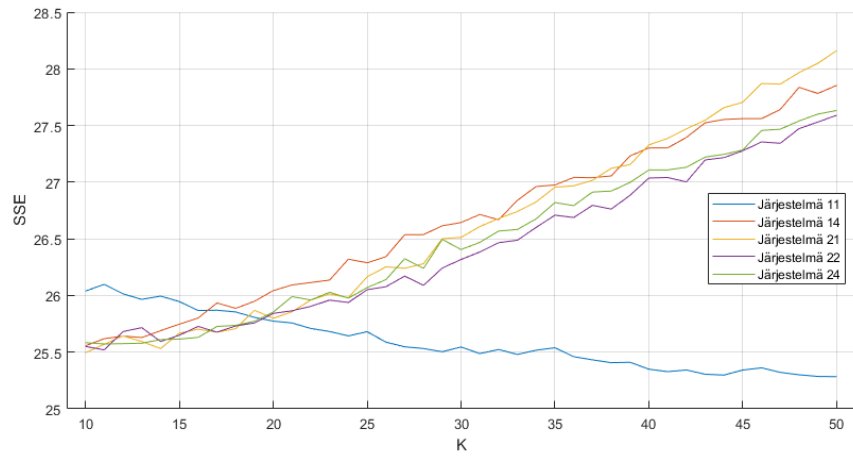
### SSE:n riippuvuus $K$ :sta



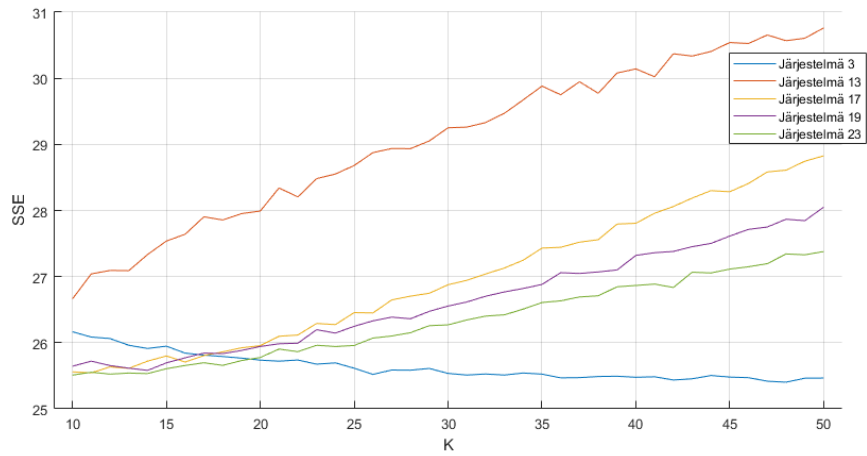
Kuva 14. Järjestelmät 5, 6, 7, 8 ja 16



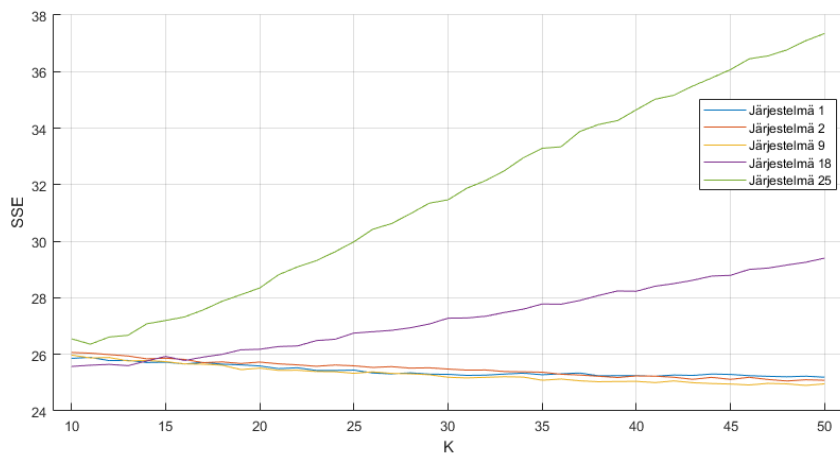
Kuva 15. Järjestelmät 4, 10, 12, 15 ja 20



**Kuva 16.** Järjestelmät 11, 14, 21, 22 ja 24

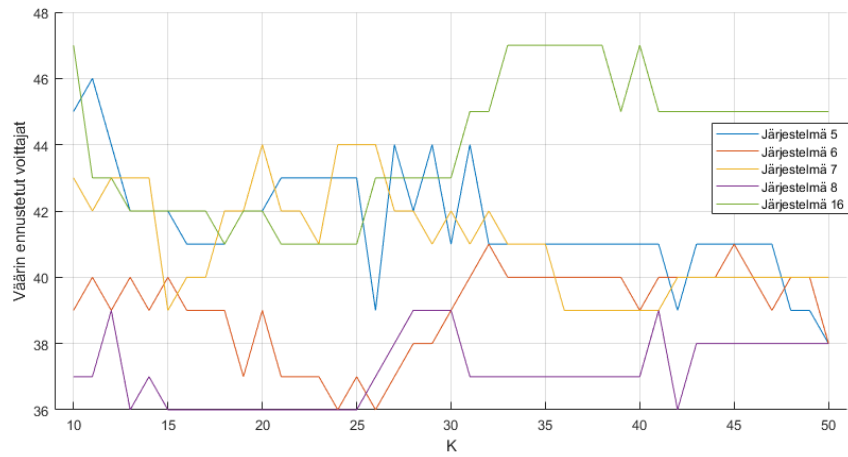


**Kuva 17.** Järjestelmät 3, 13, 17, 19 ja 23

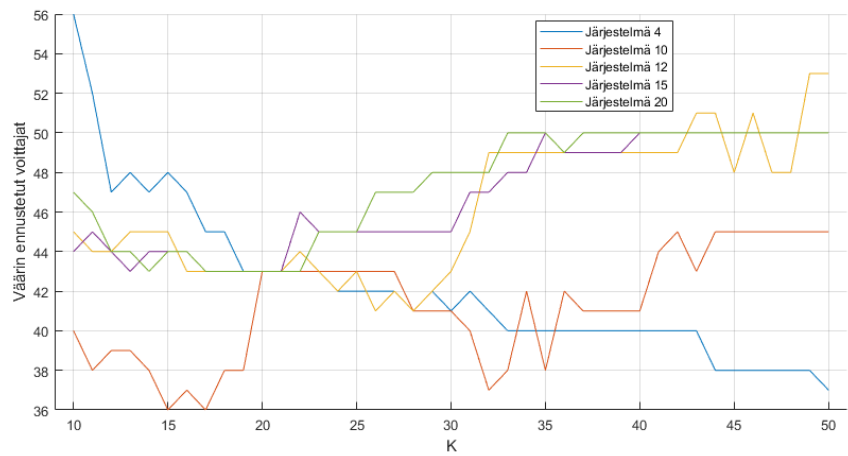


**Kuva 18.** Järjestelmät 1, 2, 9, 18, 25

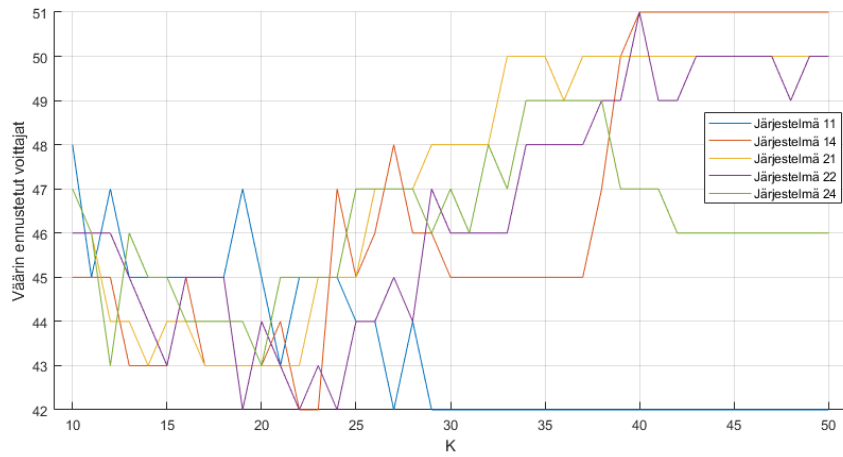
## Väärinennustettujen voittajien riippuvuus $K$ :sta



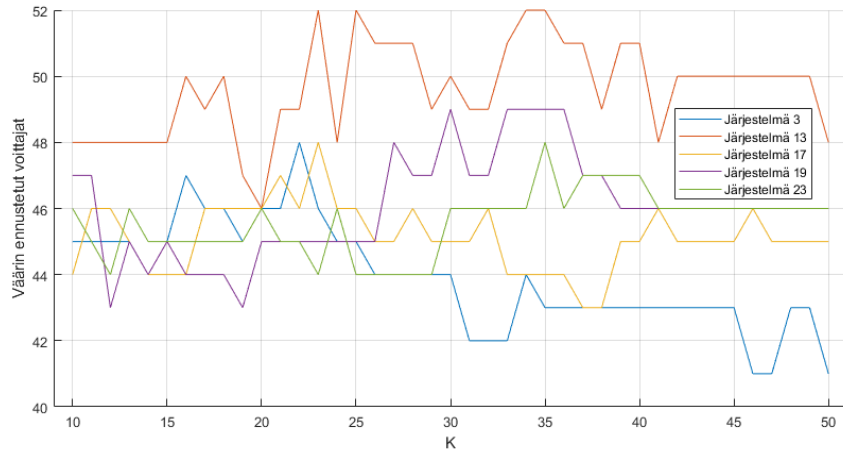
Kuva 19. Järjestelmät 5, 6, 7, 8 ja 16



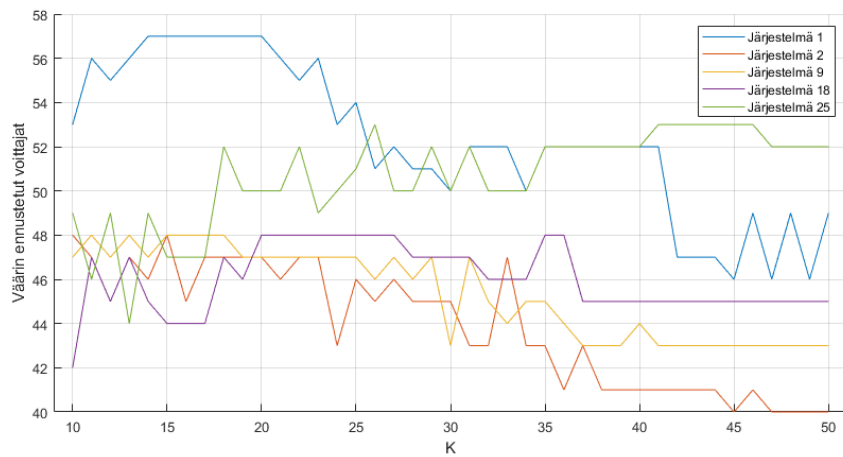
Kuva 20. Järjestelmät 4, 10, 12, 15 ja 20



**Kuva 21.** Järjestelmät 11, 14, 21, 22 ja 24



**Kuva 22.** Järjestelmät 3, 13, 17, 19 ja 23



**Kuva 23.** Järjestelmät 1, 2, 9, 18, 25