Salibandyn otteluasettelun optimointi Itä-Suomessa

Jaakko Paavilainen

Perustieteiden korkeakoulu

Kandidaatintyö
Espoo 8.12.2024

Vastuuopettaja

Prof. Ahti Salo

Työn ohjaaja

DI Leevi Olander

Aalto-yliopisto
Perustieteiden korkeakoulu

Aalto-yliopisto
Perustieteiden
korkeakoulu

Aalto-yliopisto, PL 11000, 00076 AALTO

www.aalto.fi

Tekniikan kandidaatintyön tiivistelmä

Tekijä Jaakko Paavilainen

Työn nimi Salibandyn otteluasettelun optimointi Itä-Suomessa

Koulutusohjelma Teknistieteellinen kandidaattiohjelma

Pääaine Matematiikka ja systeemitieteet **Pääaineen koodi** SCI3029

Vastuuopettaja Prof. Ahti Salo

Työn ohjaaja DI Leevi Olander

Päivämäärä 8.12.2024 **Sivumäärä** 26 **Kieli** Suomi

Tiivistelmä

Palloilulajeissa otteluinformaatio koostetaan otteluohjelmiin. Otteluohjelmat ovat erilaisia esimerkiksi joukkueiden matkustusmäärissä tai koti- ja vierasotteluiden järjestyksessä. Osa ohjelmista on parempia kuin toiset. Otteluohjelmien asettelu on monimutkainen ja aikaavievä prosessi, koska mahdollisia otteluohjelmia on valtavasti.

Tässä työssä tutkitaan, voiko optimointia hyödyntää salibandyn harrastesarjojen otteluohjelmien parantamiseksi ja käsin tehtävän asettelun vähentämiseksi. Tavoitteena on kehittää kokonaislukuoptimointimalli, joka minimoi sarjan kokonaismatkusmäärän. Aineistona käytetään Suomen Salibandyliiton Itä-Suomen miesten 3. divisioonan toteutuneita sarjoja, joiden sarjajärjestelmä on laajasti käytössä Salibandyliiton harrastesarjoissa.

Malli onnistui jokaisella kaudella vähentämään kohdefunktiona ollutta kokonaismatkustusta toteuneisiin otteluohjelmiin verrattuna. Vertailussa huomattiin myös, että kohdefunktion arvo käsin tehdyissä otteluohjelmissa vaihteli huomattavasti. Mallin ratkaisut hieman syrjivät muista erillään sijaitsevia joukkueita. Lisäksi ratkaisin ei aina osoittanut ratkaisun optimaalisuutta, mutta pääsi kuitenkin hyvin lähelle optimaalista ratkaisua joka kerta. Optimointimallin ratkaisut voivat olla hyödyksi otteluiden asettelussa, mutta mallin suorituskyvyssä on kehitettävää.

Avainsanat Otteluasettelun optimointi, Kokonaislukuoptimointi,
Aikataulutusongelma, Otteluohjelmat

Aalto-yliopisto
Perustieteiden
korkeakoulu

Aalto University, P.O. BOX 11000, 00076 AALTO

www.aalto.fi

Abstract of the bachelor's thesis

Author Jaakko Paavilainen		
Title Scheduling a non-professional floorball league in Eastern Finland		
Degree programme Bachelor's Programme in Science and Technology		
Major Mathematics and Systems Sciences		**Code of major** SCI3029
Teacher in charge Prof. Ahti Salo		
Advisor M.Sc. (Tech.) Leevi Olander		
Date 8.12.2024	**Number of pages** 26	**Language** Finnish

Abstract

In sports, all information about the upcoming matches, such as opponents, location and date are given in a match schedule. The quality of the schedules can vary, for example, in the total distance traveled or how the home and away games are distributed throughout the season. Constructing an optimal schedule is a challenging task, even with small number of teams, due to the possible combinations available.

This thesis studies whether it is possible to use integer programming to achieve improved match schedules with less manual constructing. The aim is to develop an integer programming model that minimizes the total traveled distance for teams. The results of the model are compared with actual schedules from the men's 3rd division league in Easter Finland provided by the Finnish Floorball Federation. The same league system is widely used across non-professional floorball leagues in Finland.

The model achieved a better objective function value for every season that was compared. The comparison also revealed that the objective function value in the manually constructed schedules varied significantly. The model's solutions are slightly biased against teams that are far away from other teams. Additionally, the solver could not always find the exact optimal solution, however, it reached a gap less than 2% between the lower bound and objective function value every time. The solutions of the model can be useful in the scheduling process, but there is room for improving the performance of the model.

Keywords Sports scheduling, Integer programming, Scheduling problem, Match schedules

Sisällys

Tiivistelmä 3

Tiivistelmä (englanniksi) 5

Sisällys 7

1 Johdanto 8

2 Työn taustaa 9

2.1 Kirjallisuutta 11

2.2 Sarjaturnaukset 14

3 Tutkimusaineisto ja -menetelmät 15

3.1 Aineisto 15

3.2 Optimointimalli 17

4 Tulokset 20

4.1 Vaihtoehtoiset näkökohdat 21

4.2 Laskenta-ajoista 22

5 Yhteenveto 23

1 Johdanto

Urheilussa erilaisten turnausten ja sarjojen otteluohjelmien suunnitteluun ja aikatauluttamiseen liittyy monia muuttujia. Otteluohjelmasta täytyy selvitä ketkä pelaavat vastakkain, minä päivänä, mihin kellonaikaan ja missä he pelaavat. Otteluohjelmaa rakennettaessa voidaan ottaa huomioon muun muassa kuinka monta kertaa joukkueet kohtaavat, missä joukkueet ovat edellisellä kierroksella pelanneet, kuinka monta peräkkäistä vieraspeliä joukkueille tulee, onko toinen joukkue saanut levätä enemmän, pelaako jokin joukkueista kaikkia oletettavia sarjan kärkijoukkueita vastaan lyhyen ajan sisään, onko alueella asuvien kannattajien kannalta hyvä päivä paikallisottelulle tai onko tv-lähetys varattu toisen lajin huippuottelulle. Siispä otteluohjelmia voidaan myös optimoida monelta eri kannalta. Tämä on luonnollisesti sarjakohtaista ja eri käytännön näkökohdille annetaan eri määrä painoarvoa riippuen sarjan ominaispiirteistä (harraste/kilpa/pääsarja).

Monissa pääsarjoissa ottelut on aseteltu niin tiheästi kuin mahdollista, jotta pelejä pelattaisiin mahdollisimman paljon ja siten myös lipputulojen ja muiden tulonlähteiden avulla saatavat kokonaistulot olisivat mahdollisimman suuret. Esimerkiksi jääkiekon korkeimmalla tasolla Pohjois-Amerikan NHL:ssä 32 joukkuetta pelaavat 82 ottelua kauden aikana yhteensä 1312 ottelussa. Toisin sanoen mahdollisia otteluohjelmia on valtavasti, joista osa on parempia kuin toiset. Käyvän otteluohjelman suunnitteleminen käsin on ylipäätään vaikeaa, vaikka tiettyä muuttujaa ei minimoitaisi tai maksimoitaisikaan.

Suuri osa raportoidusta tutkimuksesta tarkastelee pääsarjatason liigoja ympäri maailmaa. Tämä on ymmärrettävää, sillä näissä sarjoissa on eniten liikevaihtoa. Ongelmaan on tarjottu ratkaisuja sekä akateemisessa tutkimuksessa (Bartsch et al., 2006) että kaupallisina työvälineinä (Gurobi Optimization, LLC, n.d.). Monissa pääsarjoissa on kuitenkin usein käytössä erilainen sarjajärjestelmä kuin harrastesarjoissa, joten tuloksia pystyy harvoin ainakaan suoraan soveltamaan niihin. Toki harrastesarjojen otteluohjelmien rakentaminen on helpompaa, koska niissä ei pelata yhtä täysiä sarjoja eikä vaatimuksia katsojista tai lauantai-illan suosituista tunneista ole. Ottelujen ja otteluohjelmien volyymi on kuitenkin suuri, koska itse sarjoja on usein vähintään kymmeniä ellei satoja.

Tässä työssä tutkitaan, voiko salibandyn harrastesarjojen otteluohjelmien asettelussa hyödyntää optimointia. Tavoitteena on kehittää kokonaislukuoptimointimalli, jonka avulla otteluohjelmat olisivat parempia ja asetteluun kuluva aika vähenisi. Työ keskittyy Suomen Salibandyliiton Itä-Suomen miesten 3. divisioonan sarjajärjestelmään, jossa 10 joukkuetta pelaavat kaksi kertaa toisiaan vastaan niin sanotuissa sarjaturnauksissa. Sarjaturnaukset ovat käytössä useissa muissakin Salibandyliiton harrastesarjoissa.

Luvussa 2 käsitellään aikaisempaa kirjallisuutta sekä annetaan tarkempi kuvaus sarjaturnauksista. Ongelman ratkaisemiseen kehitetty kokonaislukuoptimointimalli esitetään luvussa 3. Luvussa 4 esitellään mallin tulokset ja verrataan niitä toteutuneisiin sarjoihin. Luku 5 on yhteenveto.

2 Työn taustaa

Palloilulajeissa joukkueet muodostavat sarjan. Sarjaan kuuluu n joukkuetta (parillinen), jotka pelaavat m kierrosta pelejä. Kierroksen aikana kaikki joukkueet pelaavat pelin, pelejä on yhdellä kierroksella siis $\frac{n}{2}$. Kierrosten määrä vaihtelee sarjakohtaisesti. Joka joukkueella on oma kotikaupunki, jossa se harjoittelee ja pelaa omat kotipelinsä. Jos joukkue A matkustaa joukkueen B kotikaupunkiin pelaamaan sitä vastaan, sanotaan joukkueen A pelaavan vieraissa. Koti- ja vieraspelit määrittävät koti-vieras-kaavan eli HAP:n (home away pattern, H=home, A=away). Joukkueen pelatessa kotipelejä peräkkäisillä kierroksilla sillä sanotaan olevan tauko vieraspeleistä tai vierastauko. Vastaavasti peräkkäisten vieraspelien tapauksessa joukkueella on kotitauko.

Sarjoja pelataan yksinkertaisena kiertovuorotteluna (Single Round Robin tai SRR), kaksinkertaisena kiertovuorotteluna (Double Round Robin tai DRR) tai näiden muunnelmana. Yksinkertaisen kiertovuorottelun sarjassa kaikki joukkueet pelaavat toisiaan vastaan kerran, jolloin kierroksia pelataan $m = n - 1$. DRR-sarjassa kaikki joukkueet pelaavat toisiaan vastaan kahdesti, jolloin kierroksia pelataan $m = 2(n-1)$. Yksi laajasti käytössä oleva sovellus on niin sanottu MDRR-sarja (Mirrored Double Round Robin), jossa sarjasta pelataan ensimmäiset $n-1$ peliä kuten normaalissa SRR-sarjassa, minkä jälkeen pelataan loput kierrokset samoja vastustajia vastaan samassa järjestyksessä, mutta päinvastaisella HAP:lla. Toinen, aiempaa monimutkaisempi esimerkki on jääkiekon korkein sarjataso Suomessa, jossa pelataan ensin nelinkertainen kiertovuorottelu kaikkien joukkueiden kesken, jonka jälkeen joukkueet jaetaan kahteen lohkoon ja lohkon sisällä pelataan yksinkertainen kiertovuorottelu. Lopuksi jokainen joukkue pelaa koti- sekä vieraspelin yhtä joukkuetta vastaan. Sarjajärjestelmää on esitelty tarkemmin perusteluineen konferenssijulkaisussa Nurmi et al. (2014).

Taulukossa 1 kuvataan neljän joukkueen MDRR-sarja, jossa jokainen joukkue pelaa ensin kaikkia vastaan kerran ja sen jälkeen samassa järjestyksessä uudestaan, mutta koti- ja vieraspelit kääntäen. Ensimmäisellä kierroksella joukkue A pelaa kotonaan joukkuetta B vastaan ja samoin joukkue C kotonaan joukkuetta D vastaan. Taulukossa 2 on taulukon 1 otteluohjelmaa vastaava HAP kaavio. Joukkueilla A ja D on vastakkaiset HAP:t, samoin kuin joukkueilla B ja C keskenään. Joukkueilla A ja D ei ole yhtään koti- tai vierastaukoa toisin kuin joukkueilla B ja C, joiden tauot ovat kierroksilla kaksi, neljä ja viisi. Koti- ja vierastauot ovat korostettu taulukossa 2.

Taulukko 1: Esimerkki neljän joukkueen MDRR-sarjasta.

K1	K2	K3	K4	K5	K6
A – B	C – A	A – D	B – A	A – C	D – A
C – D	D – B	B – C	D – C	B – D	C – B

Taulukko 2: MDRR-sarjan vastaava HAP.

Joukkue A	H	A	H	A	H	A
Joukkue B	A	***A***	H	***H***	***H***	A
Joukkue C	H	***H***	A	***A***	***A***	H
Joukkue D	A	H	A	H	A	H

2.1 Kirjallisuutta

Suurin osa ottelusarjojen rakentamista koskevasta tutkimuksesta keskittyy eri lajien ja maiden pääsarjoihin. Tähän on kaksi syytä. Ensinnäkin pääsarjoilla on eniten katsojia ja sen myötä suurimmat tulovirrat. Toiseksi tutkimustulokset on helposti sovellettavissa muiden lajien pääsarjoihin verrattuna harrastesarjoihin. Harrastesarjojen järjestelyt saattaa vaihdella todella merkittävästi riippuen muun muassa lajista, maasta tai lajiliiton varoista. Pääsarjat taas pelaavat usein lajista tai maasta riippumatta jonkun SRR- tai DRR-sarjan säilyttäen kuitenkin sarjamuodolle ominaiset piirteet. Näihin piirteisiin kuuluu, että joukkueilla on omissa kaupungeissaan pelipaikat, jossa ne pelaavat kotipelinsä. Joka kierroksella joukkueet pelaavat yhden pelin. Yksittäinen joukkue joko pelaa kotikaupungissaan kotipelin tai matkustaa toisen joukkueen kaupunkiin pelaamaan vieraspelin.

Tutkituimpia ongelmia ovat peräkkäisten koti- ja vieraspelien minimointi sekä niin sanottu Traveling Tournament Problem (TTP), joka yhdistää peräkkäisten pelien sekä matkustuskilometrien minimointia. Näiden lisäksi on raportoitu yksittäisiä sovelluksia käytäntöön muun muassa jalkapallon korkeimpiin sarjoihin Itävaltaan, Saksaan ja Brasiliaan (Nurmi et al., 2010).

Mikäli joukkueet palaavat peräkkäisistä vieraspeleistä huolimatta pelien välissä kotikaupunkiinsa, otteluohjelma kannattaa luoda koti- ja vierastauot minimoiden. Peräkkäiset kotipelit eivät saa kannattajia paikan päälle uudelleen lyhyen ajan sisään. Toisaalta peräkkäiset vieraspelit koettelevat kannattajien kärsivällisyyttä, koska he eivät pääse katsomaan kannattamansa joukkueen pelejä. Edelleen tasavahvojen joukkueiden kohdatessa vierasjoukkue on aina hieman altavastaaja kotijoukkueeseen verrattuna, joten peräkkäiset vieras- tai kotipelit saattavat vaikuttaa tuloksellisesti epäreilulla tavalla sarjaan riippuen siitä, mihin kohtaan kautta monen peräkkäisen vieras- tai kotipelin jaksot sijoittuvat millekin joukkueelle. De Werra (1981) näyttää, että SRR-sarjaan on aina mahdollista löytää käypä ratkaisu, jossa on tasan $n-2$ taukoa ja MDRR-sarjaan ratkaisu, jossa on $3n-6$ taukoa. Sen lisäksi otteluohjelmassa, jossa on $n-2$ taukoa, joukkueet voi jakaa pareihin siten, että yhden parin joukkueilla on keskenään vastakkaiset HAP:t. Tätä voi hyödyntää muodostamalla parit siten, että yhteen pariin kuuluu maantieteellisesti keskenään lähellä toisiaan sijaitsevat joukkueet. Jos joukkueet käyttävät samaa hallia tai jos ne mahdollisesti jakavat yhteisiä kannattajia, vältytään päällekkäisyyksiltä, kun joukkueet pelaavat kotipelinsä aina eri kierroksilla.

Joukkueiden ei aina ole välttämätöntä palata jokaisen vieraspelin jälkeen kotiin. Useissa sarjoissa on mahdollista hyödyntää vieraspelimatkoja, jolloin joukkueen pelatessa monta vieraspeliä peräkkäin, se voi matkustaa yhdestä vieraskaupungista toiseen samalla ottelumatkalla, mikä vähentää matkustuskilometrejä. Easton et al. (2001) esittävät, että kaikkien otteluohjelmien asettelussa kaksi keskeisintä tekijää ovat joukkueiden matkustuskilometrit sekä otteluohjelman rakenne eli koti- ja vieraspelien järjestys. Näiden kahden välillä tasapainottelu luo mielenkiintoisen seuraavan perusongelman eli edellä mainitun TTP:n. Olkoon n joukkueiden määrä, D $n \times n$ matriisi, jossa on joukkueiden keskinäiset etäisyydet, L peräkkäisten koti- sekä vieraspelien alaraja ja U peräkkäisten koti- sekä vieraspelien yläraja. Jokainen joukkue aloittaa kotikaupungistaan ja palaa kotikaupunkiinsa sarjan viimeisen vieraspelin jälkeen. Peräkkäisten vieraspelien tapauksissa matkustetut kilometrit lasketaan vieraspelimatkan vastustajien välisen etäisyyden mukaan. Luodaan DRR-sarja matkustuskilometrejä minimoiden kuitenkin siten, että peräkkäisten koti- ja vieraspelien määrä rajataan parametrien L ja U väliin. Vieraspelimatkat lisäävät kotitaukoja, mutta vähentävät matkustusta. Parametrit L ja U ovat työkalu siihen, onko sarjassa ensisijaisena tavoitteena minimoida matkustuskilometrejä vai peräkkäisiä koti- ja vieraspelejä.

Täten peräkkäisten pelien ja matkustuskilometrien välillä on käänteinen yhteys. Tätä yhteyttä hyödyntäen voidaan mahdollisesti parantaa TTP:n määrittelystä syntyvien, laskennallisesti vaativien kokonaislukuoptimointimallien ratkaistavuutta. Urrutia ja Ribeiro (2006) näyttivät, että taukojen maksimointi on ekvivalentti etäisyyksien minimoinnin kanssa, jos kaikkien joukkueiden etäisyys toisista joukkueista on yksi. Tätä ekvivalenssia hyödyntäen heuristisen algoritmin (Ribeiro ja Urrutia, 2007) ratkaisujen on todistettu olevan optimaalisia mTTP:n (mirrored Traveling Tournament Problem) ratkaisuja. Taukojen yläraja määrittää etäisyyksien alarajan, joka on sama kuin heuristisen algoritmin löytämä paras ratkaisu. Urrutia et al. (2007) näyttävät lisäksi, että tällä tavoin saadaan etäisyyksien alarajat sekä mTTP:hen että TTP:hen, jotka ovat paremmat kuin alkuperäiset Easton et al. (2001) esittämät alarajat.

Nämä ongelmien formuloinnit yksinään eivät tarjoa ratkaisua mihinkään oikeaan sarjaan, koska sarjoilla on paljon käytännön rajoitteita, esimerkiksi joukkueen A kotihalli on varattu viikolla 3 tai kauden avauspelin täytyy olla joukkueiden C ja D välinen paikallisottelu. Nurmi et al. (2010) esittävät viitekehyksen rajoitetuille otteluasetteluongelmille. Viitekehys esittää oikeiden sarjojen yleisimmät rajoitteet. Tärkeää viitekehyksessä ovat myös niin kutsutut pehmeät rajoitteet, joita mallin otteluohjelma saa rikkoa, mutta joihin liitetään sakkotermi kohdefunktiossa. Toisin sanoen pehmeiden rajoitteiden avulla mallille voidaan asettaa useampia tavoitteita. Viitekehys muun muassa listaa Suomen jääkiekon SM-Liigan otteluohjelman kolmeksi tärkeimmäksi tavoitteeksi, että määritetyillä pareilla ei ole kotipeliä samana päivänä, kahden joukkueen välisten otteluiden välillä on vähintään viisi kierrosta ennen uusintakohtaamista ja kaikilla joukkueilla on kauden aikana yhtä monta lauantaikotipeliä.

Harrastesarjojen otteluohjelmien optimointia on tutkittu vähemmän. Harrastesarjoissa sarjamuotojen välillä on paljon enemmän vaihtelevuutta riippuen lajiliiton varoista ja julkisen sektorin tarjoamista resursseista kyseiselle lajille. Otteluiden asetteluun ja sen optimointiin vaikuttaa merkittävästi, onko mahdollisia pelipaikkoja satojen kilometrien päässä toisistaan vai kymmenen yhdessä kaupungissa. Harrastesarjoja on tutkittu muun muassa pöytätennissarjassa Saksassa Knust (2010) sekä erotuomareiden asettelussa Duarte et al. (2007).

2.2 Sarjaturnaukset

Salibandyliiton harraste- sekä juniorisarjoja pääsääntöisesti pelataan sarjaturnauksina. Sarjaturnauksessa lohkon ottelut asetellaan yhteen halliin peräkkäin toisistaan siten, että kaikki joukkueet pelaavat kaksi peliä. Nuorimmat juniorit, joiden peliaika on lyhyempi, voivat pelata enemmän kuin kaksi peliä samassa sarjaturnauksessa. Alueilla, joilla etäisyydet ovat pidempiä, lohkon ottelut voidaan jakaa kahdelle hallille.

Sarjaturnaukset ovat yksittäisinä peleinä pelattuun sarjaan verrattuna monella tapaa edullisempi ja tehokkaampi tapa edistää sarjaa pelaten sarjan pelejä. Pelaamalla kaksi peliä samana päivänä, puolittuu jokaisen joukkueen tekemien pelimatkojen määrä verrattuna siihen, että pelit pelattaisiin yksittäisinä peleinä. Hyvin suunnitellulla otteluohjelmalla jako kahteen halliin säästää joukkueiden matkustuskilometrejä, mutta monimutkaistaa suunnitteluprosessia merkittävästi. Taulukossa 3 on esimerkki kymmenen joukkueen sarjan kahdesta ensimmäisestä kierroksesta. Esimerkin sarjassa joukkueet on jaettu kahteen eri halliin kierroksen aikana. Taulukosta näkee, mitkä joukkueet pelaavat vastakkain, kenen kotihallissa ottelut pelataan ja millä kierroksella. Esimerkiksi joukkue B matkustaa ensimmäisellä kierroksella joukkueen A kotihalliin ja pelaa ensin D:tä vastaan. Sen jälkeen B:llä on kahden ottelun pituinen tauko, jonka jälkeen se pelaa E:tä vastaan.

Taulukko 3: Kaksi ensimmäistä kierrosta sarjaturnauksiin jaettuna.

Kierros 1		Kierros 2	
Sijainti: A	Sijainti: F	Sijainti: E	Sijainti: H
A vs C	F vs H	E vs J	H vs G
B vs D	G vs I	I vs A	F vs C
C vs E	H vs J	J vs B	G vs D
D vs A	I vs F	A vs E	C vs H
E vs B	J vs G	B vs I	D vs F

Vaikka harrastesarjassakin saattaa olla kotietu, pitkien vierasjaksojen estäminen ei käytännössä ole mahdollista, koska ainoastaan kaksi joukkuetta kierroksessa saa vastuuturnauksen eli pelata kotonaan. Vastuuturnaus ei kuitenkaan välttämättä ole edes etu, koska joukkueen täytyy hoitaa turnauksen järjestämiseen liittyvät vastuunsa, esimerkiksi hankkia pelien toimitsijat. Lisäksi vastuujoukkueella on pisin väli pelien välissä, joka yleensä on myöhemmässä pelissä haitaksi. Muutenkin harrastesarjoissa tasoerot ovat usein suuremmat kuin huipulla, joten pelit tuskin ratkeavat minimaalisiin tasapuolisuusnäkökohtiin, kuten siihen, onko joukkueella vastuuturnaus vai ei. Tuloksiakaan tuskin muistetaan enää seuraavana vuonna. Tärkeämpää on harrastuksen helppous sekä kustannusten pitäminen matalina.

3 Tutkimusaineisto ja -menetelmät

3.1 Aineisto

Työssä keskitytään Salibandyliiton Itä-Suomen miesten 3. divisioonan sarjamuotoon, joka on käytössä useissa muissakin Salibandyliiton harrastesarjoissa. Tutkimusaineistona on käytetty toteutuneita otteluohjelmia kausilta 2018-2021 sekä kaudelta 2023-2024, joihin optimointimallin luomia otteluohjelmia on verrattu. Sarjassa pelataan kaksinkertainen kiertovuorottelu. Pelejä ei kuitenkaan pelata yksittäisinä otteluina vaan sarjassa hyödynnetään sarjaturnauksia. Yhdellä kierroksella lohko jaetaan kahteen eri halliin, joissa joukkueet pelaavat kaksi peliä kahta eri vastustajaa vastaan. Kymmenen joukkueen sarjassa tämä toistuu yhdeksän kertaa, jolloin kaikki pelaavat toisiaan vastaan täsmälleen kahdesti. Neljän ensimmäisen kierroksen aikana ei pelata uudestaan samoja vastustajia vastaan, jotta sarja jakautuu syys- ja kevätkausiin. Toisin sanoen tarkoituksena on jakaa sarja kahteen SRR-sarjaan, joista ensimmäinen pelataan syksyllä ja toinen keväällä.

Sarjan joukkueet vaihtelevat hieman vuosittain, mutta suurin osa joukkueista pysyy kuitenkin samana. Vaikka osa joukkueista vaihtuu, uudetkin joukkueet tulevat samalta alueelta, joten sarjan otteluohjelmien asetteluun liittyvät haasteet pysyvät samoina kaudesta toiseen. Taulukossa 4 on kaudella 2023-2024 sarjassa pelanneet joukkueet, niiden kotikaupungit ja -hallit. Pisin edestakainen matka Kärkölän ja Savonlinnan välillä on yli 500 kilometriä ja lyhin Lahden ja Hollolan välillä alle 20 kilometriä. Lisäksi Lappeenrannan lähialueelta tulevat kolme joukkuetta pelaavat kotipelinsä samassa hallissa, jolloin niiden välinen etäisyys on nolla. Järkevällä otteluohjelman suunnittelulla voidaan siis vaikuttaa matkustuskilometreihin merkittävästi.

Taulukko 4: Joukkueet ja niiden kotipaikat kaudella 2023-24.

Joukkue	Kotikaupunki	Kotihalli
Obelix	Mikkeli	Saimaa Stadiumi
PuU	Savonlinna	Savonlinnan lh
Jäppärä	Kärkölä	Kärkölän lh
Pelicans SB II	Lahti	Salpausselkähalli
StU	Savitaipale	Liikuntakeskusareena
Pesupallo	Lappeenranta	Liikuntakeskusareena
Butchers IBK	Imatra	Imatran UT
Snato	Lappeenranta	Liikuntakeskusareena
HoSB	Hollola	Heinis-halli
Sudet SB II	Kouvola	Kuusankosken UT

3.2 Optimointimalli

Kun tiedetään kaikkien joukkueiden kotipaikat, voidaan muodostaa etäisyysmatriisi D, jossa $D(j, h)$ on joukkueen j etäisyys hallille h. Etäisyydet lasketaan hallilta hallille, koska se on paras arvio joukkueiden jäsenten kulkemasta matkasta. Tästä seuraa myös $D(j, h) = D(h, j)$, joten kaikkien joukkueiden väliset etäisyydet saadaan yläkolmiomatriisista D, jossa $j = 1, 2, ..., n-1$ ja $h = i+1, ..., n$. Sarjassa on n_j joukkuetta, joista jokaisella on oma kotihallinsa. Sarjaturnauksia pelataan yhteensä $n_j - 1 = n_k$ kierrosta, joista ensimmäiset $\frac{n_j}{2} = n_s$ määritellään syyskaudeksi, jotta jokaiselle joukkueelle voidaan asetella sarjaturnaus niiden kotihalliin syyskauden aikana. Kokonaislukuoptimointimalli luo otteluohjelman kahdessa osassa. Ensin ratkaistaan syyskausi siten, että jokainen joukkue pelaa kerran kotihallissaan ja kukaan ei kohtaa samaa vastustajaa ensimmäisten $n_s - 1$ kierroksen aikana. Toisessa osassa ratkaistaan loput kierrokset. Koska kaikki joukkueet ovat jo pelanneet kerran kotonaan ja pelanneet $n_s - 1$ ensimmäistä kierrosta eri vastustajia vastaan, voidaan nämä rajoitteet jättää kokonaan pois viimeisiä kierroksia ratkaistaessa.

Malli hyödyntää binäärisiä päätösmuuttujia

$$x_{ijhk} = \begin{cases} 1 & \text{jos pelataan } i \text{ vs } j \text{ hallissa } h \text{ kierroksella } k, \\ 0 & \text{muutoin,} \end{cases}$$

$$y_{hk} = \begin{cases} 1 & \text{jos hallissa } h \text{ pelataan kierroksella } k, \\ 0 & \text{muutoin,} \end{cases}$$

$$z_{jhk} = \begin{cases} 1 & \text{jos joukkue } j \text{ pelaa hallissa } h \text{ kierroksella } k, \\ 0 & \text{muutoin.} \end{cases}$$

Kaavat 1-10 määrittelevät syyskauden ratkaisevan mallin.

$$\min \sum_{k=1}^{n_s} \sum_{h=1}^{n_j} \sum_{j=1}^{n_j} z_{jhk} \cdot D_{jh} \tag{1}$$

$$\text{ehdoilla} \sum_{k=1}^{n_s} \sum_{h=1}^{n_j} x_{ijhk} \leq 2 \qquad i, j = 1, ..., n_j \tag{2}$$

$$\sum_{h=1}^{n_j} \sum_{i=1}^{n_j-1} \sum_{j=i+1}^{n_j} x_{ijhk} = n_j \qquad k = 1, ..., n_s \tag{3}$$

$$\sum_{i=1}^{n_j-1} \sum_{j=i+1}^{n_j} x_{ijhk} \geq \frac{n_j}{2} \cdot y_{hk} \qquad h = 1, ..., n_j, \quad k = 1, ..., n_s \tag{4}$$

$$\sum_{h=1}^{n_j} y_{hk} = 2 \qquad k = 1, ..., n_s \tag{5}$$

$$\sum_{j=1}^{i-1} x_{jihk} + \sum_{j=i+1}^{n_j} x_{ijhk} = 2 \cdot z_{ihk} \qquad i, h = 1, ..., n_j, \quad k = 1, ..., n_s \tag{6}$$

$$\sum_{j=1}^{n_j} z_{jhk} \geq \frac{n_j}{2} \cdot y_{hk} \qquad h = 1, ..., n_j, \quad k = 1, ..., n_s \tag{7}$$

$$\sum_{h=1}^{n_j} z_{jhk} \leq 1 \qquad j = 1, ..., n_j, \quad k = 1, ..., n_s \tag{8}$$

$$\sum_{k=1}^{n_s-1} \sum_{h=1}^{n_j} x_{ijhk} \leq 1 \qquad i = 1, ..., n_j - 1, \quad j = i + 1, ..., n_j \tag{9}$$

$$\sum_{k=1}^{n_s} y_{hk} \geq 1 \qquad h = 1, ..., n_j \tag{10}$$

Kaava (1) on kohdefunktio ja (2)-(10) ovat mallin rajoitteita. Rajoitteet varmistavat, että syyskaudella kaikki pelaavat enintään kahdesti toisiaan vastaan (2), jokaisella kierroksella pelataan oikea määrä otteluita (3) ja jokainen joukkue saa vähintään kerran pelata kotonaan (10). Otteluita pelataan kahdessa hallissa yhden kierroksen aikana (4)-(5). Ensimmäisten $n_s - 1$ kierroksen aikana sama ottelu ei toistu (9). Rajoitteet (6) ja (7) jakavat joukkueet puoliksi kahteen halliin ja (8) varmistaa, ettei mikään joukkue ole kahdessa eri hallissa samalla kierroksella.

Viimeisiä kierroksia ratkaistaessa rajoitteet (9) ja (10) voidaan jättää pois. Lisäksi rajoitetta (2) muokataan siten, että koko kauden loppuun mennessä kaikki parit ovat pelanneet täsmälleen kahdesti. Kevätkauden ratkaisevan mallin määrittelevät kaavat

(11)-(18).

$$\min \sum_{k=1}^{n_k} \sum_{h=1}^{n_j} \sum_{j=1}^{n_j} z_{jhk} \cdot D_{jh} \tag{11}$$

$$\text{ehdoilla} \sum_{k=1}^{n_k} \sum_{h=1}^{n_j} x_{ijhk} = 2 \qquad i, j = 1, ..., n_j \tag{12}$$

$$\sum_{h=1}^{n_j} \sum_{i=1}^{n_j-1} \sum_{j=i+1}^{n_j} x_{ijhk} = n_j \qquad k = 1, ..., n_k \tag{13}$$

$$\sum_{i=1}^{n_j-1} \sum_{j=i+1}^{n_j} x_{ijhk} \geq \frac{n_j}{2} \cdot y_{hk} \qquad h = 1, ..., n_j \quad k = 1, ..., n_k \tag{14}$$

$$\sum_{h=1}^{n_j} y_{hk} = 2 \qquad k = 1, ..., n_k \tag{15}$$

$$\sum_{j=1}^{i-1} x_{jihk} + \sum_{j=i+1}^{n_j} x_{ijhk} = 2 \cdot z_{ihk} \qquad i, h = 1, ..., n_j \quad k = 1, ..., n_k \tag{16}$$

$$\sum_{j=1}^{n_j} z_{jhk} \geq \frac{n_j}{2} \cdot y_{hk} \qquad h = 1, ..., n_j \quad k = 1, ..., n_k \tag{17}$$

$$\sum_{h=1}^{n_j} z_{jhk} \leq 1 \qquad j = 1, ..., n_j \quad k = 1, ..., n_k \tag{18}$$

4 Tulokset

Optimointimalli ratkaistiin MATLAB-ohjelman intlinprog ratkaisimella ja HiGHS 1.6.0 -optimoijalla. HiGHS hyödyntää kokonaislukuoptimointiongelmien ratkaisemiseen kehittynyttä variaatiota niin kutsutusta branch and bound -algoritmista. Kohdefunktiota minimoitaessa algoritmi jakaa ongelman pienempiin osaongelmiin ja käyttää osaongelmien relaksaatioiden ratkaisuja alkuperäisen ongelman alarajoina. Löytämiään käypiä ratkaisuja se käyttää alkuperäisen ongelman ylärajoina. Algoritmi tiukentaa siis askel kerrallaan väliä, josta kohdefunktion optimaalinen ratkaisu löytyy pienentäen jokaisella iteraatiolla ratkaisuavaruutta.

Taulukko 5 esittää kohdefunktiona olleen kokonaismatkustuksen tulokset. Jo kymmenen joukkueen sarjassa optimointimallissa on paljon päätösmuuttujia ja siten suuri ratkaisuavaruus, minkä takia intlinprog ei aina löytänyt täysin optimaalista tulosta. Se kuitenkin systemaattisesti onnistui pienentämään ylä- ja alarajojen etäisyyttä päätyen jokaisella kerralla ratkaisuun, jonka väli alarajaan oli alle 2%. Taulukkoon 5 on sisällytetty myös ratkaisimen antama suurin alaraja. Lisäksi mallin tuloksia on verrattu Salibandyliiton kyseisellä kaudella toteutuneen otteluohjelman kokonaismatkustukseen.

Taulukko 5: Kohdefunktion tulokset.

Kausi	Paras ratkaisu	Alaraja	Toteutunut	Parannus
18-19	13 780 km	13 632 km	14 562 km	782 km
19-20	14 342 km	14 120 km	17 222 km	2 880 km
20-21	12 940 km	12 722 km	12 966 km	26 km
23-24	12 690 km	12 690 km	14 216 km	1 526 km

Tuloksista voidaan huomata, että optimointimalli on saanut osin huomattaviakin vähennyksiä matkustuskilometreihin kauden aikana. Toisaalta kausi 2020-2021 osoittaa myös, että tämänhetkiset otteluohjelmien suunnittelijat voivat yltää todella hyviin ratkaisuihin ottaen huomioon, kuinka lähellä optimointimallin alarajaa toteutunut otteluohjelma on. Käsin tehdyissä otteluohjelmissa vaikuttaa kuitenkin olevan vaihtelua. Tässä suhteessa optimointimallista on etua.

4.1 Vaihtoehtoiset näkökohdat

Kokonaismatkustusmäärän lisäksi on kuitenkin muitakin näkökohtia, jotka mittaavat, kuinka hyvä otteluohjelma on. Kokonaismatkustusta minimoiva malli saattaa suosia sellaisia joukkeita, jotka sijaitsevat toisten joukkueiden lähellä ja syrjiä erillään sijaitsevia joukkueita. Taulukko 6 vertaa yksittäisten joukkueiden matkustusmääriä kaudella 2023-2024 optimointimallin antamaan otteluohjelmaan. Kyseisellä kaudella pelanneista joukkueista selkeät kaksi muista erillään olevaa joukkuetta ovat Savonlinnasta tuleva PuU sekä Mikkelistä tuleva Obelix. Nämä joukkueet ovatkin ainoat joukkueet, joilla matkustaminen kasvaa selvästi. Myös Kouvolasta tuleva Sudet joutuu matkustamaan hieman enemmän. Sudet onkin ainoa joukkue Kouvolan seudulta. Kuitenkin verrattuna Savonlinnaan ja Mikkeliin, jotka sijaitsevat kaukana muista pelikaupungeista, Kouvola on lähellä sekä Lappeenrantaa että Lahtea, joissa molemmissa on kolme joukkuetta ja joissa sarjaturnauksia pelataan kauden aikana monta kertaa. Samalla eniten kilometrejä karsineet joukkueet ovat nimenomaan Lahden seudulta tuleva Jäppärä ja Lappeenrannan seudulta tulevat StU ja Pesupallo.

Taulukko 6: Joukkueiden kokonaismatkustusmäärät kaudella 2023-2024.

Joukkue	Malli	Toteutunut
Obelix	1 724 km	1 486 km
PuU	2 530 km	2 278 km
Jäppärä	1 268 km	1 620 km
Pelicans SB II	1 364 km	1 518 km
StU	568 km	1 240 km
Pesupallo	538 km	984 km
Butchers IBK	1 500 km	1 612 km
Snato	882 km	1 018 km
HoSB	970 km	1 180 km
Sudet SB II	1 346 km	1 280 km

Toinen mittari on kotipelien, eli sarjaturnauksista puhuttaessa vastuuturnausten, määrä. Kun joukkue pelaa kotonaan, sille ei kerry matkustuskilometrejä. Aikaisemmista havainnoista voisi päätellä vastuuturnausten määrän kasvavan Lappeenrannan ja Lahden alueilla. Taulukossa 7 näkyy vastuuturnausten määrä joukkueittain kaudella 2023-2024. Joukkueiden vastuuturnausten määrässä sama tulkinta lähellä toisiaan olevien joukkueiden suosimisesta ei ole esillä yhtä selvästi kuin joukkueiden matkustuskilometreissä. Lappeenrannan alueella (StU, Pesupallo ja Snato) vastuuturnauksien määrä kasvoi vain kahdella ja Lahden alueella (Jäppärä, Pelicans ja HoSB) se pysyi samana.

Taulukko 7: Joukkueiden vastuuturnaukset kaudella 2023-2024.

Joukkue	Malli	Toteutunut
Obelix	2	3
PuU	1	1
Jäppärä	1	2
Pelicans SB II	3	1
StU	2	2
Pesupallo	3	2
Butchers IBK	1	2
Snato	2	1
HoSB	1	2
Sudet SB II	2	2

4.2 Laskenta-ajoista

Otteluohjelmia ratkaistaessa intlinprog ratkaisimeen asetettiin aikarajaksi 60 minuuttia, jonka jälkeen se keskeytti laskennan ja antoi parhaan löydetyn käyvän ratkaisun. Syyskausille ratkaisin sai joka kerta laskettua optimaalisen ratkaisun. Lisäksi kevätkaudelle osoitetusti optimaalinen ratkaisu löytyi kaudella 2023-2024. Kolmella muulla kaudella löydetyn ratkaisun ja parhaan saavutetun alarajan väli oli alle 2%. Taulukossa 8 on ne ajat, joissa ratkaisin löysi lopullisen parhaan ratkaisun kullakin kaudella. Parhaiden ratkaisujen ajoissa on laskettu syys- ja kevätkausien ratkaisuun kuluneet ajat yhteen. Lisäksi taulukkoon on merkitty se aika, jossa kevätkautta

Taulukko 8: Ratkaisimen laskenta-ajat.

Kausi	Paras ratkaisu	10% väli
18-19	23,7 min	1,08 min
19-20	10,4 min	1,6 min
20-21	32,4 min	3,7 min
23-24	29,3 min	1,3 min

laskettaessa löytyi ratkaisu, jonka väli alarajaan oli alle 10%. Tästä paremmat ratkaisut olivat kohdefunktion kannalta keskiarvollisesti sarjoissa toteutuneita ratkaisuja parempia. Toisin sanoen jo muutaman minuutin jälkeen ratkaisin saavutti saman kohdefunktion arvon, mitä käsin tehdyissä otteluohjelmissa oli.

5 Yhteenveto

Tässä työssä tutkittiin, voiko salibandyn otteluasettelussa hyödyntää optimointia. Tavoitteena oli kehittää optimointimalli, joka luo parempia otteluohjelmia ja helpottaisi käsin tehtävän asettelun työtaakkaa. Aiheeseen liittyvän tutkimuksen huomattiin keskittyvän vahvasti eri lajien ja maiden pääsarjoihin. Pääsarjojen kilpailullisuuden vuoksi niiden sarjajärjestelmät poikkeavat usein harrastesarjoista eivätkä niiden ratkaisemiseen luodut mallit siten ole suoraan sovellettavissa harrastesarjoihin. Asettelun näkökulmasta harrastesarjat saattavat olla kuitenkin työläämpiä, koska sarjoja on paljon. Työn aineistoksi saatiin Suomen Salibandyliitolta Itä-Suomen miesten 3. divisioonan sarjatoteutuksia eri kausilta. Sama sarjajärjestelmä on laajasti käytössä Salibandyliiton harrastesarjoissa.

Työssä kehitettiin kokonaislukuoptimointimalli, joka luo otteluohjelman kyseiselle sarjajärjestelmälle ja verrattiin mallin tuloksia aineiston sarjoihin. Mallin kohdefunktiona oli sarjassa pelaavien joukkueiden yhteenlaskettu matkustus, jota minimoitiin. Mallin otteluohjelmien kokonaismatkustus oli jokaisella tarkasteltavalla kaudella pienempi kuin toteutuneissa otteluohjelmissa. Lisäksi huomattiin, että käsin aseteltujen otteluohjelmien tulokset vaihtelivat merkittävästi kausien välillä. Malli ei kuitenkaan ole erityisen taloudellinen eikä täysin optimaalista ratkaisua välttämättä löydetty. Lisäksi mallin ratkaisut syrjivät hieman alueen reunoilla, muista erillään olevia joukkueita.

Mallin ehdottamat otteluohjelmat eivät ole välttämättä tarpeeksi hyviä käytettäväksi ilman tasavertaisuustarkastelua. Mallin ratkaisut voivat nykymuodossaan kuitenkin olla hyödyllisiä joko pohjaratkaisuina, joista yhdellä tai kahdella vastuuturnauksen muutoksella saa kelpo otteluohjelman tai vertailukohteina käsin tehtävien otteluohjelmien tukena, jotta voitaisiin saada esimerkiksi yhdellä kaudella ilmennyt lähes 3000 kilometrin potentiaalinen parannus.

Luonnollinen jatkotutkimusaihe on tasavertaisen otteluohjelman varmistaminen esimerkiksi joko rajoittamalla samalta alueelta tulevien joukkueiden vastuuturnausten määrää tai lisäämällä kohdefunktioon sakkotermi joukkueiden välisistä matkustuseroista. Mallilla oli kuitenkin jo nyt haasteita optimaalisuuden osoittamisessa, joten nykyisen mallin laajentaminen ei välttämättä tuota kovin hyviä ratkaisuja. Siispä mielenkiintoinen tutkimuskysymys onkin, onko optimointiongelman yksinkertaisemmalla formuloinnilla mahdollista löytää käypä ratkaisu työssä tarkasteltuun sarjajärjestelmään.

Viitteet

Thomas Bartsch, Andreas Drexl, ja Stefan Kröger. Scheduling the professional soccer leagues of austria and germany. *Computers & Operations Research*, 33(7): 1907–1937, 2006.

Dominique De Werra. Scheduling in sports. *Studies on Graphs and Discrete Programming*, 11:381–395, 1981.

Alexandre R Duarte, Celso C Ribeiro, Sebastián Urrutia, ja Edward H Haeusler. Referee assignment in sports leagues. Teoksessa *Practice and Theory of Automated Timetabling VI: 6th International Conference, PATAT 2006 Brno, Czech Republic, August 30–September 1, 2006 Revised Selected Papers 6*, sivut 158–173. Springer, 2007.

Kelly Easton, George Nemhauser, ja Michael Trick. The traveling tournament problem description and benchmarks. Teoksessa *Principles and Practice of Constraint Programming—CP 2001: 7th International Conference, CP 2001 Paphos, Cyprus, November 26–December 1, 2001 Proceedings 7*, sivut 580–584. Springer, 2001.

Gurobi Optimization, LLC. Tackling one of the world's most complex scheduling problems. n.d. https://www.gurobi.com/case_studies/national-football-league-scheduling/.

Sigrid Knust. Scheduling non-professional table-tennis leagues. *European Journal of Operational Research*, 200(2):358–367, 2010.

Kimmo Nurmi, Dries Goossens, Thomas Bartsch, Flavia Bonomo, Dirk Briskorn, Guillermo Duran, Jari Kyngäs, Javier Marenco, Celso C Ribeiro, Frits Spieksma, et al. A framework for a highly constrained sports scheduling problem. Teoksessa *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists*, volume 3, sivut 1991–1997, 2010.

Kimmo Nurmi, Jari Kyngas, Dries Goossens, ja Nico Kyngas. Scheduling a professional sports league using the peast algorithm. Teoksessa *Proceedings of the 2014 International MultiConference of Engineers and Computer Scientists*, sivut 1176–1182, 2014.

Celso C Ribeiro ja Sebastián Urrutia. Heuristics for the mirrored traveling tournament problem. *European Journal of Operational Research*, 179(3):775–787, 2007.

Sebastián Urrutia ja Celso C Ribeiro. Maximizing breaks and bounding solutions to the mirrored traveling tournament problem. *Discrete Applied Mathematics*, 154 (13):1932–1938, 2006.

Sebastián Urrutia, Celso C Ribeiro, ja Rafael A Melo. A new lower bound to the traveling tournament problem. Teoksessa *2007 IEEE Symposium on Computational Intelligence in Scheduling*, sivut 15–18. IEEE, 2007.