

TARTU ÜLIKOOL
Arvutiteaduse instituut
informaatika õppekava

Sander Valt

**F1 kvalifikatsiooni ja lõppvõistluste vaheliste seoste
analüüs masinõppemeetoditega kümne läbi aegade
populaarseima ringraja näitel.**

Bakalaureusetöö (9 EAP)

Juhendaja: Vambola Leping

Tartu 2024

F1 kvalifikatsiooni ja lõppvõistluste vaheliste seoste analüüs masinõppe-meetoditega kümne läbi aegade populaarseima ringraja näitel

Lühikokkuvõte:

Käesolev bakalaureusetöö keskendub F1 kvalifikatsiooni ja lõppvõistluste vaheliste seoste uurimisele, kasutades andmeanalüüsi ja masinõppemeetodeid. Töö uurib kümne väljaalitud ringrajaga seonduvaid andmeid, et mõista, kuidas kvalifikatsioonitulemused mõjutavad võistluse lõpptulemusi ning milliseid mustreid ja seaduspärasid nende vahel leida võib. Kasutades suurmahulist ajaloolist andmestikku, analüüsitakse kvalifikatsioonivõidu mõju võistlustulemustele, erinevate stardipositsioonide võiduprotsente ja võimalikke seoseid ringraja omaduste ning võistluste lõpptulemuste vahel. Praktilises osas üritatakse masinõppe algoritmide toel ennustada sõitjate edukust esikolmikus lõpetamisel, seostatult nende kvalifikatsioonis saavutatud stardipositsiooniga. Samuti analüüsitakse veel ringradadele omased karakteristiklike omadusi ja eripärasid, mis võivad samuti omada mõju kvalifikatsiooni ja võistluse lõpptulemuste vaheliste seoste kujunemisel. Antud lõputöö andmeanalüüsi tulemustele tuginedes on võimalik prognoosida ka tulevaste võidusõitude tulemusi ning neid mõjutavaid tegureid.

Analysis of the relationships between F1 qualification and final race results using machine learning methods on the example of the ten most popular circuits of all time

Abstract:

This bachelor's thesis focuses on the study of the relationship between F1 qualification and final races, using data analysis and machine learning methods. The work examines the data related to ten selected circuits in order to understand how the qualifying results affect the final results of the competition and what patterns and regularities can be found between them. Using a large-scale historical data set thesis investigates the influence of the qualifications victory on the race results, the winning percentages of different starting positions and possible relations between the characteristics of the circuit and the final race results. In the practical part, with the help of machine learning algorithms, an attempt is made to predict the drivers' success in finishing in the top three, related to their qualifying starting position. The characteristic features and peculiarities of the circuits are also analyzed, which may also have an impact on the development of the relationship between the qualification and the final results of the competition. Based on the results of the data analysis of this thesis, it is also possible to predict the results of future races and the factors affecting them.

Sisukord

Sissejuhatus	4
1. Üldine sissejuhatus F1-te, ajalugu ja spordi ülesehitus	5
1.1 F1 võidusõidusarja lühitutvustus ja ajalugu	5
1.2 F1 võistlusauto lühitutvustus	6
1.3 Klassikaline F1 nädalavahetus	7
2. Praktiline osa	8
2.1 Metoodika	8
2.2 Kvalifikatsiooni võidu mõju võistlustulemustele	9
3. Kvalifikatsiooni Top 3	12
3.1 Top 3 stardipositsiooni võidutõenäosus ja teekond stardist esimese kurvini	13
3.2 Sise- ja väliskurvi mõju	16
4. Võiduvõimalus startides väljastpoolt top 10	17
4.1 Turvaauto ja väljastpoolt top 10 võidule jõudmise tõenäosus	18
5. Kvalifikatsioonitulemuste ja top 3 lõpetamise vaheliste seoste masinõppe analüüs	21
5.1 Masinõppe tulemused	22
6. Positsiooni kaitsmine esimesel ringil	25
7. Kokkuvõte	28
8. Kasutatud kirjandus	29
Litsents	30

Sissejuhatus

Vormel 1 võidusõidusari on üks maailma prestiižsemaid ja tehniliselt edasijõudnumaid autospordi meistrivõistlusi. Antud bakalaureusetöös keskendutakse F1 võidusõidutulemuste kujunemise aspektidele ja nende seostele kvalifikatsiooniga. Võidusõidunädalavahetuse võtmetähtsusega osa on kvalifikatsioon, kuna kvalifikatsiooni tulemuste põhjal pannakse paika võidusõidu stardijärjekord. Käesoleva töö eesmärk on kasutada masinõppemeetodeid ning andmeanalüüsi, et hinnata, kui tugevalt ja millistes tingimustes on kvalifikatsioonitulemused lõpptulemustega seotud. Töö keskendub kümnele läbi aegade populaarseimale F1 ringrajale, pakkudes võimalust vaadelda eri radade eripärasid ja nende mõju võistlustulemustele. Esimeses peatükis tutvustatakse lugejale F1 võidusõidusarja ajalugu ja ülesehitust, et anda parem arusaam spordi arengust ja struktuurist. Järgnevalt vaadeldakse praktilises osas kogutud andmeid, ning analüüsitakse neid, et tuvastada mustrid ja seosed kvalifikatsioonide ja võistluste lõpptulemuste ning neid mõjutavate tegurite vahel. Töö lõppeesmärk ongi välja selgitada, millised faktorid mõjutavad kvalifikatsiooni ja lõpptulemuste vahelisi seoseid enim ning millised mustrid ja seaduspärad nendest väljenduvad.

1. Üldine sissejuhatas F1-te, ajalugu ja spordi ülesehitus

Esimeses peatükis tutvustatakse ülevaاتlikult F1 võidusõidusarja, selle ülesehitust ning selle spordiala ajalugu ja seal võistlevaid vormeleid.

1.1 F1 võidusõidusarja lühitutvustus ja ajalugu

Vormel 1 (F1) on ülemaailmselt tuntud motospordi võistlussari, mis omab laialdast populaarsust üle maailma. F1 juured ulatuvad 1900. aastate algusesse, mil hakkasid esimesed autovõistlused populaarsust koguma[1]. Fédération Internationale de l'Automobile (FIA) asutati 1904. aastal rahvusvahelise motospordi liiduna, sealjuures vormel 1 juhtorganina. F1 kui eraldiseisev meistrivõistlus tekkis aga 1950. aastal koos vormel 1 maailmameistrivõistlustega [1].

Esimene ametlik F1 hooaeg toimus 1950. aastal ja tollel aastal toimus seitse võistlust üle Euroopa. Meistrivõistluste eesmärk oli tuua kokku parimad sõitjad ja tootjad, kes võistlevad erinevatel ringradadel, demonstreerides oma tehnilist võimekust ja sõiduoskusi. Itaalia piloot Giuseppe Farina tõusis esimeseks F1 maailmameistriks, sõites Alfa Romeo meeskonnas [1].

Alates selle sarja loomisest 1950. aastal on F1 kasvanud üheks prestiižsemaks ja tehnoloogiliselt arenenumaks võidusõidusarjaks maailmas[2]. See hõlmab mitmeid võistlusi, mida tuntakse Grands Prix nime all ja mida peetakse ringradadel üle kogu maailma. 2023. aasta lõpu seisuga on 74 hooaja jooksul peetud 1101 maailmameistrivõistlust etappi 34 riigis 77 ringrajal, mis on andnud kokku 34 erinevat maailmameistrit[2].

Tüüpiline F1 hooaeg on üles ehitatud nii, et see pakub mitmekülgset ja väljakutseid pakkuvat võistluste valikut. Hooaeg algab tavaliselt märtsis ja lõpeb novembris ning kestab umbes üheksa kuud [2]. See koosneb tänapäeval juba üle 20st Grand Prix'st, mida peetakse erinevatel ringradadel üle maailma, pakkudes segu traditsioonilistest ajaloolisest ringradadest, tänavaringradadest ja spetsiaalselt vormel 1 sarja jaoks loodud uutest ringradadest.

F1 hooaja kalender on koostatud, et pakkuda tiimidele ja sõitjatele erinevaid võidusõidutingimusi, sealhulgas erinevat kliimat, kõrgust merepinnast, rajapinda, ja tehnilisi väljakutseid. Võistlusi korraldatakse ühe hooaja vältel ligi 20 erinevas riigis, mis võimaldab F1-l jõuda ülemaailmse publikuni ning kaasata erineva kultuuri ja taustaga jälgijaid.

1.2 F1 võistlusauto lühitutvustus

Vormel 1 puhul on tegemist kiireima võidusõidusarjaga maailmas, kus võistlevad maailma tippinseneride poolt arendatud vormelid. Kaasaegsete vormel 1 autode puhul on tegemist tehnoloogiliselt tipptasemel sõidukitega, mis ühendavad arenenud disainipõhimõtted eesmärgiga saavutada võimalikult kiire ja vastupidav võidusõiduauto.

Üks peamisi tegureid, mis võimaldab vormel 1 autol kurvides kiiresti sõita, on selle täiustatud aerodünaamika. Iga auto välispind on loodud nii, et maksimeerida aerodünaamilist survejõudu ja minimeerida õhutakistust. Esi- ja tagatiibade, diffusorite ja muude aerodünaamiliste elementide keerukas kombinatsioon tekitab tohutu allapoole suunatud surve, mis võimaldab autol säilitada suure haarduvuse teekattega. See survejõud surub auto tõhusalt rajale, suurendades veojõudu ja võimaldades suurel kiirusel kurvides navigeerida.[1]

Lisaks on F1 autodel keerukas vedrustussüsteem, mis töötab koos aerodünaamikaga. Vedrustus on hoolikalt häälestatud, et tagada optimaalne tasakaal, stabiilsus ja reageerimisvõime suurel kiirusel. See võimaldab autol sujuvalt kohaneda lainetuse ja teepinna muutustega, tagades rehvide ühtlase kontakti maapinnaga.[1]

Järgnevad väited pärinevad racingnews365 kodulehelt[5]. Vormel 1 auto jõuülekanne ühendab endas nii tava- kui hübriidtehnoloogiaid. Jõuallika südameks on alates 2014. aastast turboülelaaduriga 1.6 liitrine V6 mootor, mille kütuseks on E10 bensiin mis sisaldab 10% etanooli. Lisaks on vormelil jõudluse edasiseks suurendamiseks ka energiataastesüsteemi (ERS). ERS koosneb kahest komponendist: mootori kineetiline generaator (MGU-K) ja mootori generaatori soojusseade (MGU-H). MGU-K kogub energiat pidurdusprotsessist, salvestades selle akusse. Seda energiat saab piloot vastavalt vajadusele seejärel kasutada kiirenduse ajal täiendava võimsuse saavutamiseks. MGU-H aga taastab heitgaasidest soojusenergia ja muudab selle elektrienergiaks, aidates kaasa üldisele väljundvõimsusele.

Kombineeritult tagavad sisepõlemismootor ja ERS vormelile koguvõimsuseks üle 1000 hobujõu.

1.3 Klassikaline F1 nädalavahetus

Tüüpiline F1 nädalavahetus on tegevusterohke üritus, mis kestab kolm päeva, reedest pühapäevani. Esimene päev, reede, on tuntud kui vabatreeningute päev [1]. Selle aja jooksul on tiimidel ja sõitjatel kaks tunniajast treeningsessiooni, et tutvuda ringrajaga, panna paika auto seadistust ning koguda andmeid rehvide suutlikkuse ja vastupidavuse, aerodünaamika ja mehaanilise haardumise kohta. See andmeanalüüs on ülioluline auto jõudluse optimeerimiseks kvalifikatsiooni ja võistluse tarbeks, kuna iga ringrada on oma olemuselt ja karakteristikalt erinev.

Laupäeval nihkub päeva fookus kvalifikatsiooni peale. Päev algab kolmanda treeningsessiooniga, mis annab meeskondadele viimase võimaluse teha muudatusi reedel kogutud andmete põhjal. Pärast antud kolmandat treeningsessiooni toimub kvalifikatsioon. Kvalifikatsioon jaguneb kolmeks osaks: Q1, Q2 ja Q3. Igas segmendis on sõitjatel kiireimate ringiaegade seadmiseks piiratud aeg. Kiireimad juhid liiguvad järgmisse segmenti, aeglasemad aga jäetakse välja. Viimane segment, Q3, määrab võistluse stardijärjekorra, kus kiireima ringi sooritanud sõitja saavutab kõrgeima stardipositsiooni (pole position) [1].

Pühapäeval toimub nädalavahetuse põhisündmus ehk võidusõit. Võistlus kestab tavaliselt umbes kaks tundi minimaalse pikkusega 305 kilomeetrit, mille jooksul sõitjad võistleavad, et läbida etteantud arv ringe [4]. Boksipeatused, rehvihooldus ja võistlusstrateegia mängivad tulemuse kujunemisel otsustavat rolli. Kogu võistluse jooksul jälgivad meeskonnad tähelepanelikult erinevaid tegureid nagu kütusekulu, rehvide kulumine, rehvide temperatuur ja ilmastikutingimused, et teha strateegilisi otsuseid, tagamaks maksimaalne võistlusvõimekus ja efektiivsus.

2. Praktiline osa

Praktilise osa raames vaadeldakse kümmet F1 ringrada, kus on ajalooliselt kõige rohkem peetud võidusõite (top 10'st jäeti informatsiooni värskuse huvides välja jätta need ringradad, mida tänapäeval enam kalendris ei ole). Nendeks ringradadeks on: Monza, Monaco, Silverstone, Spa Francorchamps, Circuit de Barcelona-Catalunya, Circuit Gilles Villeneuve, Interlagos, Suzuka, Hungaroring ja Red Bull ring.

2.1 Metoodika

Praktilises osas võetakse vaatluse all suur hulk andmeid vormel 1 ajaloost. Andmed pärinevad veebilehelt Kaggle.com, mis on veebiplatvorm, kus andmeteadlased ja masinõppe spetsialistid saavad osaleda võistlustel, jagada andmekogusid ja koostada masinõppe mudeleid[12]. Vaadeldavad andmed pärinavedki Kaggle.com veebilehelt ning kõik andmed olid csv kujul tekstifailides ning nende analüüs toimus Pythoni programmeerimiskeeles.

```
def Leia_voit(race_ids):
    total_races = 0
    wins_from_pole = 0
    with open("results.csv", 'r') as csvfile:
        reader = csv.reader(csvfile)
        next(reader, None) #Jätab päise vahele, kui see on olemas.
        for row in reader:
            if row[1] in race_ids: # Kontrolli, kas raceId on analüüsitava raceId-de nimekirjas
                total_races += 1
                if row[5] == '1' and row[6] == "1": # Eeldades, et 'grid' on indeksis 5 ja 'lõppposition' 6
                    wins_from_pole += 1
    return len(race_ids), wins_from_pole

race_ids = LeiaRaceID("22") #Lisameetod mis leib kõik võidusõitude id'd vastavalt ringraja id'le
total_races, pole_wins = Leia_voit(race_ids)
print("võidu % startides P1", round(pole_wins / total_races * 100, 1))
```

joonis 1. Näide meetodist Leia_voit

Andmed olid struktureeritult omavahel seotud nagu klassikalistes andmebaasides, kus igale sõitjale ja ringrajale oli omistatud unikaalne id, mille abil oli võimalik erinevaid eri tüüpi andmeid katvaid tekstifaile omavahel lihtsasti siduda. Kõikides andmetest keskendutigi välja valitud 10 ringrajale.

2.2 Kvalifikatsioonivõidu mõju võistlustulemustele

Järgnevas peatükis uurime kvalifikatsioonivõidu mõju võistlustulemustele, analüüsides andmeid eelnevalt väljaalitud kümne ringraja näitel. Tabelid ja statistilised tõenäosused aitavad mõista, kui suurt rolli mängib parimalt stardikohalt alustamine Grand Prix võitude saavutamisel ning kuidas erinevad stardipositsioonid võiduvõimalusi mõjutavad.

Tabel 1. Võidu protsent (%) startides P1

	id	ringrada	võidusõite kokku	võite startides P1	võidu %
1.	14	Monza	73	25	34.2%
2.	6	Monaco	69	31	44.9%
3.	9	Silverstone	58	22	37.9%
4.	13	Spa	56	21	37.5%
5.	7	Villeneuve	42	21	50%
6.	18	Interlagos	40	17	42.5%
7.	11	Hungaroring	38	16	42.1%
8.	70	Red Bull ring	37	14	37.8%
9.	22	Suzuka	33	16	48.5%
10.	4	Catalunya	33	24	72.7%

Nagu eelnevast tabelist võib välja lugeda, et 10 väljavalitud ringraja 479 tomunud Grand Prix näitel on keskmine võiduprotsent parimalt stardikohalt alustades 44.81%. Parimad võimalused kvalifikatsiooni võit võiduks vormistada on Barcelona Catalunya ringrajal, kus ajalooliselt on sellega hakkama saanud 72.7% pilootidest . Vastupidi kõige keerulisem on aga parimalt stardipositsioonilt startides võita Itaalias, Monza ringrajal(34.2%). Eelmainitud kahe ringraja näitel on Catalunya rajal üle kahe korra suurem tõenäosus oma parimat stardikohta võidusõidus kaitsta kui Monzas. Antud vahe on väga märkimisväärne, mis näitab, et ringradadel esineb tüüpiliselt suuri erinevusi, mis võivad stardipositsiooni kaitsmist võidusõidus kas soodustada või takistada. Järgmise sammuna uurime, mis võiduprotsendid on aga teistel positsioonidelt startides.

Tabel 2. Võidu protsent (%) startides positsioonidelt 2-10

nr	ringrada	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
1.	Monza	11	6.8	0	0	2.7	1.4	2.7	0	2.7
2.	Monaco	5.8	7.2	8.7	1.4	0	0	2.9	0	0
3.	Silverstone	15.5	6.9	5.2	3.4	1.7	1.7	0	3.4	0
4.	Spa	16.1	10.7	1.8	3.6	3.6	0	0	3.6	0
5.	Villeneuve	11.9	2.4	2.4	7.1	0	0	0	2.4	0
6.	Interlagos	12.5	10	0	2.5	0	0	5	0	0
7.	Hungaroring	18.4	5.3	7.9	2.6	5.3	0	0	2.6	0
8.	Red Bull ring	24.3	2.7	5.4	0	5.4	0	0	2.7	0
9.	Suzuka	24.2	3	0	0	0	0	3	0	0
10.	Catalunya	6.1	0	3	3	3	0	0	0	0
	keskmine(%)	14.58	5.5	3.44	2.36	2.17	0.31	1.36	1.47	0.27

Üleüldises plaanis on selgesti näha trendi, et mida paremalt positsioonilt stardid, seda suurema tõenäosusega on ka võimalik võita. Kuigi esineb ka erandeid, kus tagantpoolt startimine annab statistiliselt suurema eelise. Näiteks Monaco ringrajal on võiduvõimalused startides P3 suuremad kui P2 ning on statistiliselt teine parim positsioon P1 järel hoopis P4, kus on võidu vormistamise protsent 8.7%. Siiski tuleb tõdeda, et kvalifikatsioon omab võidusõidu lõpptulemuse väljakujunemisele väga suurt mõju. Kui juba eelnevalt leidsime, et parim stardikoht tagab võidu 44.8% juhtudest, siis P2-P5 stardipositsioonid moodustavad 25.9% võitudest ehk top 5 stardipositsiooni moodustavad 70.7% kõikidest sõitude võitjatest. Kvalifikatsiooni kohtade P6-P10 võidu tõenäosus on kõigest 5.58%. Kuigi tuleb arvestada ka üldist moodi, et kiiremad autod ja sõitjad kvalifitseeruvad üldiselt ka kõrgematele kohtadele, mis põhjendab ka nende suuremaid võidušansse.

3. Kvalifikatsiooni Top 3

Järgnevas lõigus analüüsitakse põhjalikumalt just kvalifikatsiooni esikolmikut, ning nende positsioonide stardikohtade iseärasusi.

Nimelt väljavalitud 10 ringraja näitel on kolmel juhul olukord, kus P3 positsioon on statistiliselt parem kui P2. Mis võib olla selle põhjus? Vormel 1 võidusõidu puhul on start kõige kriitilisema mõjuga faas kogu sõidust. Stardis on vahed sõitjate vahel kõige väiksemad ja tingimused möödasõidutudeks kõige soodsamad. Samuti omab olulist rolli ka just stardisirge ja selle pikkus. Stardisirge on vahemaa vormelite stardi positsioonist esimese kurvini. Stardisirge kujutabki võistluse esimesel ringil üht suurt kiirendusvõistlust kõikide vormelite vahel. Stardisirgel on edu saavutamine tihedalt seotud sõitja reaktsioonikiiruse ja stardiprotseduuri meisterlikusega. Selles valdkonnas on suur osa just juhi oskustel, kuna kohapealt liikumiseks kasutavad tänapäevased vormelid samuti manuaalset sidurit, mida opereeritakse roolilt. See suuresti tähendab seda, et juhi oskustest sõltub, kas stardis saavutatakse optimaalne pidamine kiirenduseks või mitte. Seega kui juht teeb stardis suuremat või väiksemat sorti vea, võib see omada suurt mõju ka tema ülejäänud sõidule.

Siin tulebki mängu stardisirge pikkus. Kui ringrajal on pikk stardisirge, siis ebaõnnestunud kohaltnemise korral on oma positsiooni kaista või isegi parandada oluliselt keerulisem kui lühikese stardisirgega ringrajal, kuna seal on kiirendusmaa esimese kurvi pidurdamiseni lühem ehk stardikiirenduse õnnestumine omab väiksemat mõju.

Samuti annab pikem stardisirge suurema rolli ka aerodünaamilisele tuuletakistusele ja tuules sõitmisele. Nimelt peamine põhjus, miks on F1 klassi vormelid suutelised läbima ringradasid kiiremini, kui ükskõik mis teise võistlusklassi masinad, on aerodünaamiline survejõud. Mida suurema kiirusega sõites suruvad erinevad tiivad ja difuusorid vormelit suure jõuga vastu asfaldi, tagades väga hea pidamise. Selle tagajärjel on aga vormelite õhutakistus võrreldes tavaautoga väga suur. Kui tavaauto õhutakistuse valemi järgi arvutatav takistustegur on üldiselt vahemikus 0.3-0.4, siis F1 klassi autodel võib see küündida isegi 1.1. [6] Seega on vormelite tuuletakistus kordades suurem kui tavaautodel, ning suurem efekt on ka tuules sõitmisel. Vormel 1 kontekstis tähendab tuules sõitmine, et juhtiv auto tekitab õhust läbi surudes ja survejõudu tekitades madalama rõhuga ala auto taha [7]. Kui jälitav vormel on piisavalt lähedal, saab tuules sõitmise efekti kasutada, et tõmmata end antud vormel sellesse

eelmainitud madala rõhuga tsooni[7]. Madalama õhurõhuga alas ongi tuuletakistus väiksem ja kiirendamine efektiivsem.

Seetõttu võibki esireast või esimeselt positsioonilt startimine omada teatavat sorti negatiivset mõju, kuna teise auto tuules sõitmine võib anda stardikiirenduses päris märgatava eelise. Selle hüpoteesi kontrollimiseks võrldemegi ringradade stardisirgete pikkusi ja stardipositsioonide vahelisi seoseid.

3.1 Kvalifikatsiooni kolme parima võiduvõimalusi mõjutavad tegurid

Järgnevas alapeatükis vaatleme kolme parimat stardipositsiooni ja teekonna pikkust stardipositsioonist esimese kurvi pidurduspunktini(meetrites), ning üritame korrelatsioonimaatriksi abil hinnata eelmainitud tegurite omavahelisi seoseid.

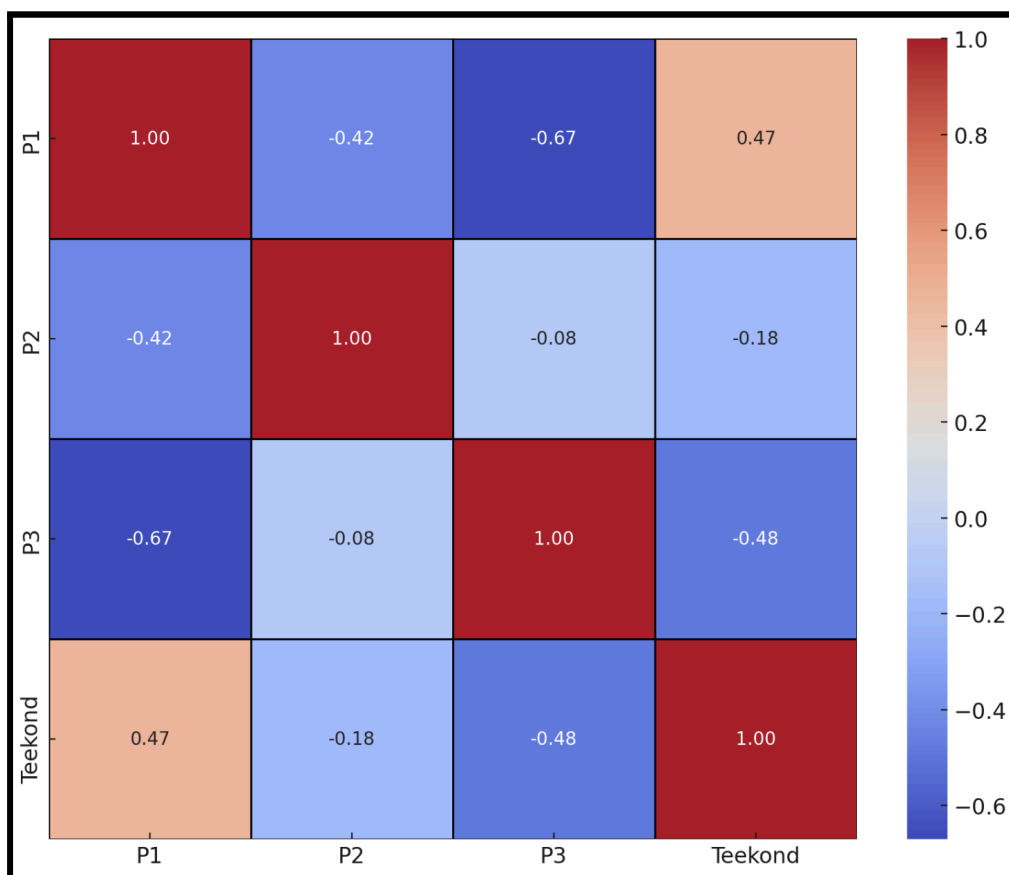
Tabel 3. Top 3 stardipositsiooni võidutõenäosus ja teekond stardist esimese kurvini [8]

	ringrada	P1	P2	P3	Teekond P1'st esimese kurvi pidurduspunktini	P1 välis/sise-kurv (V/S)
1.	Catalunya	72.7	6.1	0	595m	V
2.	Hungaroring	42.1	18.4	5.3	476m	V
3.	Monza	34.2	11	6.8	472m	V
4.	Suzuka	48.5	24.2	3	277m	V
5.	Silverstone	37.9	15.5	6.9	239m	V
6.	Red Bull ring	37.8	24.3	2.7	233m	V
7.	Interlagos	42.5	12.5	10	195m	V
8.	Villeneuve	50	11.9	2.4	186m	S
9.	Spa	37.5	16.1	10.7	165m	S
10	Monaco	44.9	5.8	7.2	142m	S

- P1 ja teekond esimese kurvi pidurduspunktini: Korrelatsioon on 0,47, näidates mõõdukat positiivset seost, mis tähendab, et pikem stardisirge võib suurendada võidu tõenäosust P1 positsioonilt.
- P2 ja teekond esimese kurvi pidurduspunktini: Korrelatsioon on -0,18, viidates nõrgale negatiivsele seosele. See tähendab, et lühemad stardisirged võivad mõjutada P2 positsiooni võidu tõenäosust vähem.
- P3 ja teekond esimese kurvi pidurduspunktini: Korrelatsioon on -0,48, mis on mõõdukas negatiivne seos, viidates sellele, et pikem stardisirge võib vähendada võidutõenäosust P3 positsioonilt startidest.

Lisaks sellele:

- P1 ja P2 on korrelatsioon -0,42, näidates, et suur võidutõenäosus P1-l on seotud väiksema võidutõenäosusega P2-l.
- P1 ja P3 on korrelatsioon -0,67, näidates tugevat negatiivset seost, mis tähendab, et kõrge võidutõenäosus P1-l viitab madalamale võidutõenäosusele P3-l.



Joonis 3. Korrelatsioon võidu tõenäosuse (P1,P2,P3) ja vahemaa esimese kurvini vahel

- P1 võidutõenäosus kipub vähenema, kui kaugus esimese pöördeni kahaneb. Pikemad vahemaad annavad P1-s sõitjatele rohkem ruumi edumaa säilitamiseks enne pidurdamist.
- Esimese pöörde kauguse ja võidu tõenäosuse vahel on nõrk korrelatsioon. Mõnel lühema vahemaaga rajal on P2-st suurem võidutõenäosus.
- P3 võidu tõenäosus ei näita selget mustrit, mis näitab erinevaid tulemusi mõjutavaid tegureid.

Kokkuvõte: Selgeid seoseid stardisirge pikkuse ja esikolmiku stardikohtade vahel leida ei õnnestunud, ning hüpotees, et pikem stardisirge võib seada ohtu parima stardikoha võitluse lõpptulemuse kontekstist, ei saanud kinnitust. Siiski võib antud hüpotees esimese stardisirge ja ringi kontekstis ikkagi ka kehtida. Samuti väiksemaid seoseid ja korrelatsioone ikkagi leidis ning antud andmeid analüüsides tuleb arvestada ka väga paljude muude võimalike teguritega, mis võivad tulemust mõjutada.

3.2 Sise- ja väliskurvi mõju

Tänapäeval rivistatakse F1 autod starti kindla süsteemiga. Esimene auto asetatakse stardijoonele eraldi, järgmised autod järgnevad kahesuunalise formaadiga, moodustades "malemustri". Iga rida sisaldab kahte autot, mis paiknevad vastavalt raja paremas ja vasakus servas, tekitades vahelduva mustri. Reeglite kohaselt on üksikute autode vahel 16 meetrit, mis on üldine standard, kuid vastasriidade vahelist täpset kaugust määratletud pole ning see sõltub konkreetsest ringrajast. [9]

Parim stardipositsioon on vastavalt kas raja paremas või vasakus servas ning olenevalt rajast ja selle konfiguratsioonist esimese kurvi kontekstis, kas siis sise või väliskurvis. Sisemise kurvi (sisemine pool ringrajast eesoleva kurvi suhtes) eelised on tavaliselt seotud lühema tee läbimisega esimesse kurvi, mis võib anda parema võimaluse juhtpositsiooni saavutamiseks ja kaitsmiseks. See võib anda ka eelise esimeste kurvide läbimisel, kus tihti toimub intensiivne positsioonide vahetamine ning sisekurvis oljal on suurem võimalus dikteerida, millal ta täpselt kurvi sisse keerama hakkab. Väliskurvil (välispoolne ringrada) on aga omad eelised, eriti kui järgnevad sirged on pikemad, kuna see võimaldab paremat kiirendust ja suuremat

kiirust enne esimest kurvi ning üldine optimaalne võidusõidujoon eeldab üldiselt endast samuti kurvi sisenemist väliskurvist.

Ka antud töö raames vaadeldavast 10'st ringrajast kolmel on parim stardipositsioon esimese kurvi kontekstis sisekurvis ning seitsmel juhul välimises raja ääres (tabel 3). Samuti ilmneb selge muster, et kolmel kõige lühema stardisirgega rajal saab kvalifikatsiooni võitja endale sisemise raja esimesse kurvi, mis võib olla indikaator, et see ei ole korraldajate poolt juhuslikult nii.

4. Võiduvõimalus startides väljastpoolt top 10

Tagantpoolt ette tulemise võimalused sõltuvad mitmetest teguritest, sealhulgas ringraja omadustest ja võistluse tingimustest. Näiteks võib turvaauto perioodide arv või poksis veedetud aeg mõjutada oluliselt tagantpoolt startivate võistlejate võimalusi edukalt positsioone tõsta. Samuti võivad ringraja iseärasused, nagu pikkus, kurvide arv ja raja konfiguratsioon, soodustada möödasõite. Pikemad sirged võimaldavad suuremat kiirendust ja möödumisvõimalusi, eriti veel tänapäevase F1 kontekstis, kus pilootidel on sirgetel kasutada ka DRS (drag reduction system [10]). Samuti võib suurt rolli mängida ka tuul ja vihm kui ka erakordselt kõrge või madal välistemperatuur. Vihmaga võidusõidud on üldiselt ettearvamatud, kuna vihmaga kaasnevad keerulised olud

kasvatavad võimalusi pilootide sõiduvea tegemiseks. Libedad rajatingimused nõuavad suuremat tähelepanu ja oskust juhtimisel, mistõttu võib tekkida rohkem sõiduvigu ning avariisid. Madal välistemperatuur seab pilootidele suuremaid väljakutseid just rehvide ja pidurite töötemperatuuride saavutamisele ja hoidmisele. Erakordselt soojad olud aga seevastu panevad proovile nii sõitjate kui ka autode vastupidavuse kuumataluvuse suhtes. Kõikide eelmainitud segavate faktorite mõju, soodustab kokkupõrkeid ja turvaauto perioodide sagedasem esinemine keerulistes ja eeldõige just vihmastes tingimustes on faktorid, mis võivad parandada tagantpoolt startijate võimalusi kõrgele kohale. Nimelt iga kord, kui turvaauto rajale tuleb, tõmmatakse kogu võistlejate rivi kokku ning kõik eelnevad sõitjate vahel sissesõidetud vahed justkui nullitakse, alles jääb vaid numbriline positsioon sõitjate ravis. Samuti annab turvaauto rajale sattumine võimaluse teha taktikaliselt aegasäästev boksipeatus, kuna kõikide sõitjate liikumise kiirus on piiratud ning boksipeatusele kuluv suhteline aeg oluliselt väiksem, et võib olla võimalik käia boksis, ilma rajal ühtegi positsiooni loovutamata. Samuti võib olla kasulik ka vastupidine stsenaarium, kus ajaliselt ahvatleva väikese kuluga boksipeatus, meelitab boksi just suure hulga sõitjaid, mis omakorda annab mitte boksi minejatele turvaauto taga hea võimaluse lihtsalt sõitjaterivis ülespoole pürgida ilma rajal otseselt kellestki mööda sõitmata.

Tabel 4. Väljaspoolt top 10 startinud sõitja võidu tõenäosus ja muud ringradadega seotud andmed. (*viimase 8 sõidu statistika)

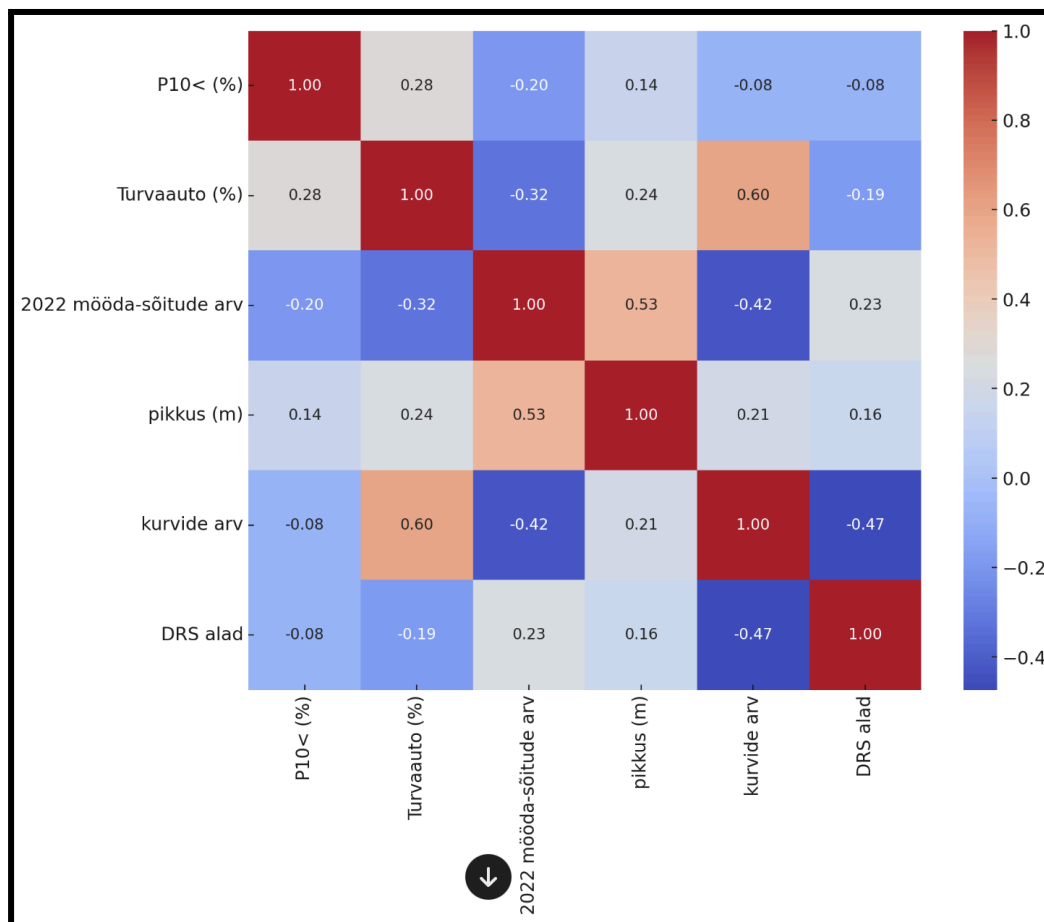
nr	ringrada	P10 < (%)	Turvaauto (%)*	2022 mööda-sõitude arv	pikkus (m)	kurvide arv	DRS alad
1.	Monza	38.5	50	91	5793	11	2
2.	Monaco	29.1	71	21	3337	19	1
3.	Silverstone	24.3	89	70	5891	18	2
4.	Spa	23.1	63	126	7004	19	2
5.	Villeneuve	23.8	50	51	4361	14	3
6.	Interlagos	27.5	60	62	4309	15	2
7.	Hungaroring	15.8	38	99	4381	14	2
8.	Red Bull ring	21.7	50	135	4318	10	2
9.	Suzuka	21.3	50	69	5087	18	1
10.	Catalunya	12.2	50	75	4657	14	2

Üldises plaanis nõuab väljastpoolt top 10 võidule jõudmine väga head sõitja ja auto kombinatsiooni ning kordaläinud taktikat ja õnne, kuid on ka siiski konkreetsemad tabelis 4 välja toodud tegureid, mis antud olukorra toimumist soodustavad.

4.1 Turvaauto ja väljaspoolt top 10 võidule jõudmise tõenäosus

Üldiselt võib eeldada, et suurema turvaauto sagedusega rajad on dünaamilisemad, suurendades võimalust tõusta võijtaks väljastpoolt Top 10. Näiteks Silverstone'il on suurim turvaauto tõenäosus (89%), kuid pigem madal võiduvõimalus väljaspool Top 10 (24.3%). See võib viidata sellele, et kuigi turvaauto esineb tihti, ei pruugi see alati võistluse tulemusi oluliselt mõjutada.

Rada ja rajatüüp: Monza'l on kõrgeim võimalus võita väljaspool Top 10 (38.5%) ja see on tuntud oma kõrgete kiiruste ja pikkade sirgete poolest(hüüdnimega “Tempel of speed”)[11], mis koos 2011 F1 sarjas kasutusele võetud DRS'ga loovad väga soodsad võimalused möödasõitude sooritamiseks. Ringrajad, millel on keerulised sektsioonid ja väiksemad turvaalad, võivad omada suuremat turvaauto esinemissagedust. Näiteks Spa'l on kõrge turvaauto tõenäosus (63%), mis võib olla seotud raja tehnilise keerukusega ning ka Monaco mis on kõige kitsam ja aeglasem rada F1 kalendris.



Joonis 2. Võidu võimalusi startides väljastpoolt top 10 mõjutavate tegurite korrelatsioonid

- tagantpoolt P10 startimise ja võitmise tõenäosus ning turvaauto esinemise tõenäosus on positiivses korrelatsioonis (0.278). See võib viidata sellele, et turvaauto sagedasem kasutamine suurendab võimalusi jõuda väljastpoolt Top 10 poodiumile. Samuti on tugev positiivne korrelatsioon ka kurvide arvu ja turvaauto tõenäosuse vahel (0.60), mis omakorda tähendab, et kurvide arv võib ikkagi omada ka positiivset korrelatsiooni tagantpoolt P10 startimise ja võitmise vahel (otsene korrelatsioon -0.08).
- Raja pikkuse (m) korrelatsioon on nõrk, kuid positiivne (0.138), mis võib tähendada, et pikematel radadel on rohkem võimalusi mööduda ja tõusta kõrgemale.
- Turvaauto tõenäosusel on tugev positiivne korrelatsioon kurvide arvuga (0.599). See võib tähendada, et keerulisemad rajad nõuavad turvaautot sagedamini.
- Korrelatsioon 2022. aasta mööda-sõitude arvu ja DRS tsoonide vahel näitab positiivset suundumust(0.23). See tähendab, et kui DRS tsoonide arv suureneb, võib tõenäoliselt suurened ka möödasõitude arv.

5. Kvalifikatsioonitulemuste ja top 3 lõpetamise vaheliste seoste masinõppe analüüs

Nüüd analüüsime uuesti eelmainitud kümmet ringrada ja nende võistlusandmeid, keskendudes seostele kvalifikatsiooni ja võistluste lõpptulemuste vahel. Kasutades suurt ajaloolist andmekogumit, mis sisaldab võistluste ja sõitjate kohta põhjalikku teavet, keskenduti järgmistele küsimustele: Kas kvalifikatsioonipositsioon või teised tegurid mõjutavad sõitjate võimet lõpetada esikolmikus, ning kuidas need tegurid ilmnevad erinevatel ringradadel. Analüüsis kasutati masinõppemudelit, et ennustada, kas sõitja lõpetab võistluse esikolmikus. Selleks kasutati Random Forest klassifitseerijat, et analüüsida erinevaid tunnuseid, sealhulgas kvalifikatsioonipositsioon, sõitja identiteet, ringide arv ja lõppaeg [13].

Masinõppe skript alustab failide sisselugemisega, mis sisaldavad vastavalt võistluste ja tulemuste andmeid eelnevalt valitud 10 ringraja näitel. Tulemuste ajaväärtused teisendatakse millisekunditeks, mis aitab standardiseerida ajamõõtmeid, ning samuti kategooriliste tunnuste jaoks rakendatakse ühekordset kodeerimist, mis on vajalik, kuna enamik masinõppe algoritme nõuab sisendandmete numbrilist esitust. Andmekogum jagatakse koolitus- ja testandmeteks, et hinnata mudeli jõudlust objektiivselt, mis tähendab, et kasutatav andmestik jaotatakse kaheks ehk ühe osa peal õpetatakse masinõppemudelit ning teist osa kasutatakse mudeli jõudluse testimiseks ja hindamiseks.[13]

Random Forest klassifikaator on valitud tänu oma töökindlusele ja võimele efektiivselt analüüsida suurt hulka tunnuseid. Selle klassifikaatori koolitamisele järgneb jõudluse hindamine, kasutades täpsuse skoori, klassifitseerimisaruannet ja segadusmaatriksit. Need mõõdikud pakuvad olulist teavet mudeli ennustusvõime kohta, sealhulgas täpsus, tagasikutsumine ja F1-skoor. Segadusmaatriks visualiseerib selgelt, kuidas mudel klassifitseeris tegelikke juhtumeid, tuues esile valepositiivsed ja valenegatiivsed tulemused ning tõelised positiivsed ja negatiivsed tulemused. [13]

Klassifikatsioon	Täpsus	Tagasikutsumine	F1-skoor	Toetus
0	0.87	0.89	0.88	1553
1	0.91	0.89	0.90	1833
Makro keskmine	0.89	0.89	0.89	3386
Kaalutud Keskmine	0.89	0.89	0.89	3386

Tabel 5. Masinõppe tulemused [14]

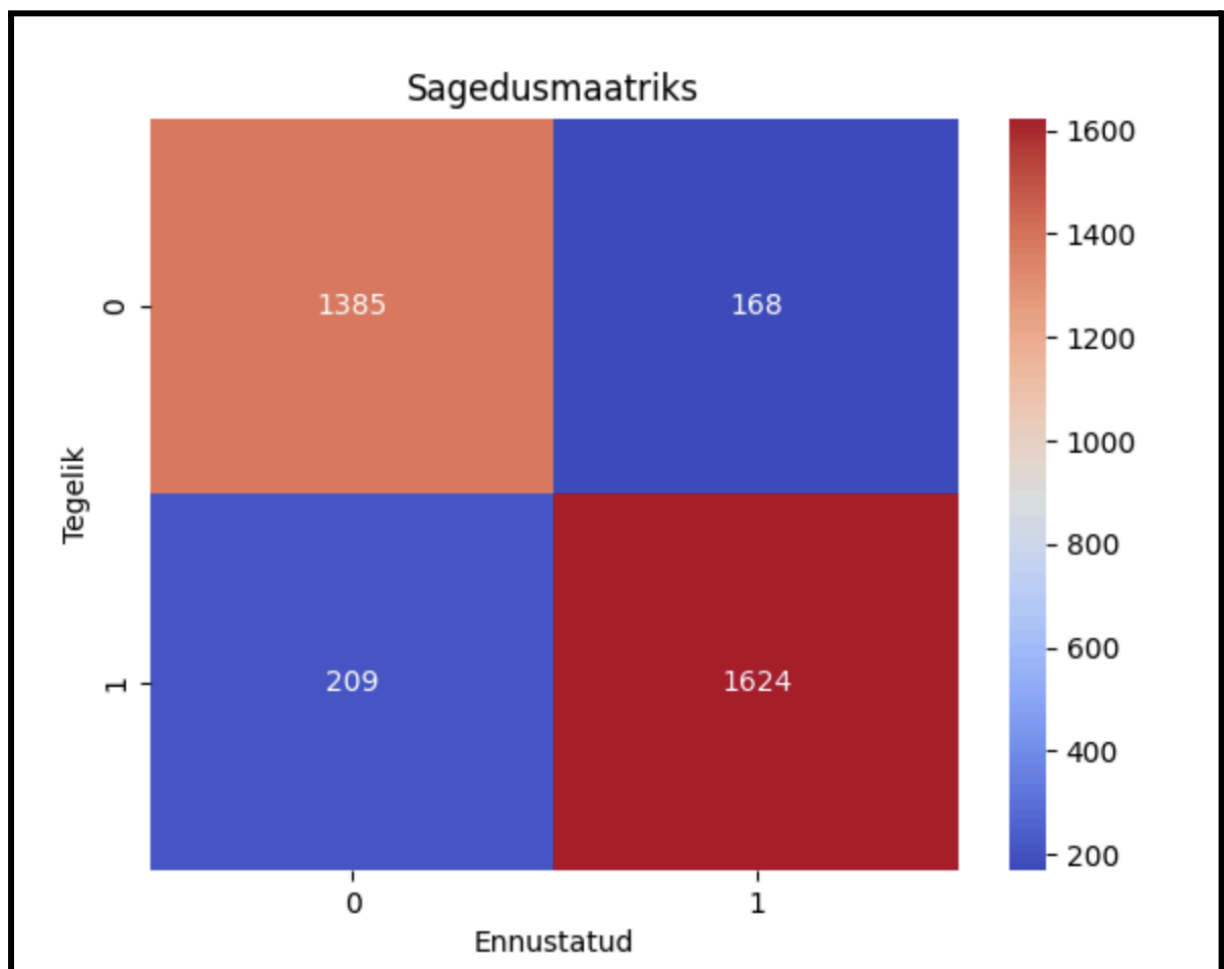
- Täpsus (Precision): See mõõdik näitab, kui palju valitud positiivsetest juhtudest on tõeliselt positiivsed. Täpsus on oluline, kui maksumus valepositiivsete tulemuste eest on kõrge. [14]
- Tagasikutsumine (Recall): Meenutus näitab, kui palju tegelikult positiivsetest juhtudest on ennustatud positiivseks. See mõõdik on kriitilise tähtsusega, kui on vaja leida kõik positiivsed juhud. [14]
- F1-skoor on täpsuse ja tagasikutsumise harmooniline kaalutud keskmine, mis tasakaalustab neid kahte mõõdikut. See on kasulik, kui klasside jaotus on ebaühtlane. [14]
- Toetus (Support): Näitab, kui palju iga klassi juhtumeid on andmetes. See aitab mõista, millise suurusega on iga klassi mõju keskmistele tulemustele. [14]
- Klass 0 (juhtumid, mis ei kuulu top 3 hulka)
- Klass 1 (juhtumid, mis kuuluvad top 3 hulka)
- Makro keskmine: Arvutab iga mõõdiku (täpsus, meenutus, F1-skoor) keskmise, võtmata arvesse iga klassi toetust. [14]
- Kaalutud keskmine: Arvutab iga mõõdiku kaalutud keskmise, arvestades iga klassi toetust, mis aitab arvesse võtta klasside ebaühtlast jaotust. [14]

5.1 Masinõppe tulemused

Klass 0 puhul on mudeli täpsus (precision) 87% ja tagasikutsumine (recall) 89%. F1-skoor, mis on täpsuse ja meenutuse harmooniline keskmine, on samuti suhteliselt kõrge, 88%. See tähendab, et mudel on võimeline usaldusväärselt tuvastama juhtumeid, mis ei kuulu top 3 hulka, tehes seda suure täpsusega ja jättes samal ajal vähe positiivseid juhtumeid tuvastamata. Klass 1 osas on mudel veelgi täpsem, saavutades täpsuseks 91% ja tagasikutsumiseks 89%.

F1-skoor on 90%, mis näitab mudeli tugevat jõudlust ka nende olulisemate juhtumite tuvastamisel, kus vajatakse kõrget täpsust ja usaldusväärsust.

Mudeli makro-keskmise ja kaalutud keskmise mõõdikud on mõlemad 89%, mis peegeldab tasakaalustatud jõudlust mõlemas klassis. See tasakaalustatud jõudlus on eriti oluline andmestikes, kus klasside jaotus võib olla ebavõrdne, kuid antud juhul näitab mudel, et see suudab hästi toime tulla mõlema klassi ennustamisega.



Joonis 3. Kvalifikatsioonitulemuste ja Top 3 lõpetamise masinõppe tulemusena saadud sagedusmaatriks

Lisaks numbrilistele tulemustele aitab segadusmaatriks visuaalselt kinnitada mudeli tugevusi ja nõrkusi.

- **Tõelised negatiivsed** (TN, 1385): Värv: Oranž

Mudel ennustas õigesti, et 1385 juhtumit ei kuulu kategooriasse (klass 0), kus tegelik tulemus oli samuti negatiivne. See tähendab, et need juhtumid ei ole top 3 hulgas.

- **Valepositiivsed** (FP, 168): Värv: Sinine

Mudel ekslikult ennustas, et 168 juhtumit kuuluvad top 3 hulka (klass 1), kuigi tegelikkuses nad sinna ei kuulunud. See tähendab, et mudel oli liiga optimistlik nende juhtumite suhtes.

- **Valenegatiivsed** (FN, 209): Värv: Sinine

Mudel ekslikult ennustas, et 209 juhtumit ei kuulu top 3 hulka (klass 0), kuigi tegelikkuses nad kuulusid sinna. See tähendab, et mudel jättis need positiivsed juhtumid tuvastamata.

- **Tõelised positiivsed** (TP, 1624): Värv: Punane

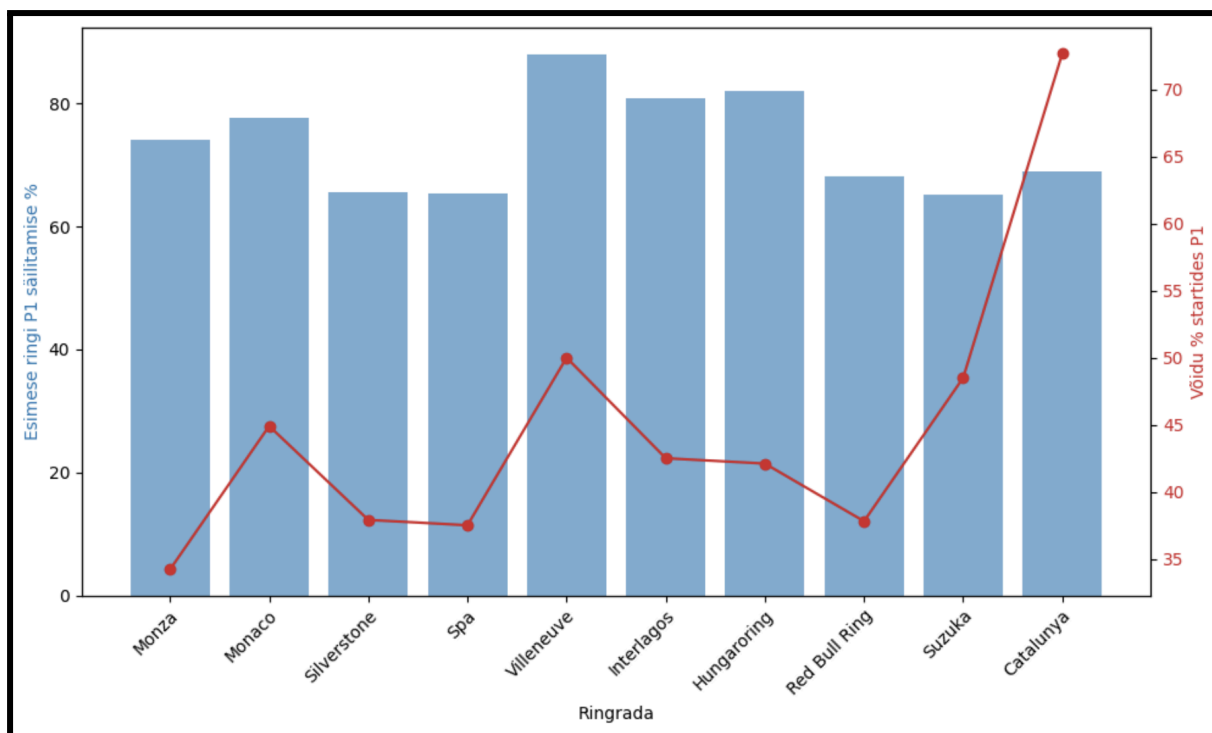
Mudel ennustas õigesti, et 1624 juhtumit kuuluvad top 3 hulka (klass 1). See on märkimisväärne tulemus, näidates mudeli suutlikkust õigesti identifitseerida suurem osa positiivsetest juhtudest.

Mudel toimib üldises plaanis edukalt, eriti arvestades tõelisi positiivseid tulemusi. Siiski on mõningane probleem valepositiivsete ja valenegatiivsete tulemustega, mis võivad viidata, et mudel võib vajada täiendavat kohandamist või paremat tasakaalu. Täpsus, mida väljendatakse $(TP+TN) / (TP+TN+FP+FN)$ valemiga, on kõrge, kuid täiendava analüüsi ja kohandamisega võib seda veelgi parandada, eriti suurendades meenutuse määra (recall) ja vähendades valepositiivseid.[14]

6. Positsiooni kaitsmine esimesel ringil

Kui varasemalt vaadeldi peamiselt kvalifikatsiooni ja võistluse lõpptulemuste vahelisi seoseid, siis antud peatükis läheneme olukorrale natuke kitsama haardega. Nimelt Grand Prix stardi ja finishijoone ületamise vahele jääb tänapäevaste standardite kohaselt umbes 300km võidusõitu, ehk pikk ja sündmusterohke ajavahemik, mille jooksul võib juhtuda palju, mis kvalifikatsiooni ja lõpptulemuste vahelistes seosetes ei pruugi kajastuda. Selles kontekstis ongi tegelikult suurim mõju kvalifikatsiooni tulemustel ikkagi just startis ja esimestel ringitel. Hilisemalt tulevad mängu suurema kaaluga juba muud faktorid, mis sõitjate omavaheliste positsioonide kujunemist mõjutavad. Samuti on stardis ja esimestes kurvides üldiselt autode vahed kogu võidusõidu kõige väiksemad ning autode pidurid ja rehvid ei pruugi olla samuti veel ideaalsetes töötemperatuurides, ehk suurem võimalus sõitjatel positsioone võita kui ka kaotada.

Järgnevalt analüüsitaksegi varasemalt väljavalitud 10 ringraja näitel, kui suure tõenäosusega suudab kvalifikatsioonivõitja, esimesel ringil oma positsiooni kaitsta. Kaggle.com veebilehelt on saadavad andmed, mis võimaldavad vaadelda sõitjate positsioone ja nende muutusi iga ring kuid neid andmeid on alles alates 1996 aasta hooajast, seega keskendume kõigele, mis on juhtunud alates toona.[12]



joonis 4. Tõenäosus primalt stardikohalt startides oma positsiooni esimese ringi lõpuks kaitsta

Järgnevalt analüüsitakse siis 258 võidusõitu, töös vaadeldava 10 ringraja näitel ja leidsime iga ringraja protsendi, mis tõenäosusega suudetakse parimat stardikohta esimesel ringil kaitsta ja võrdlesime seda ka peatükis 2.2 leitud kogu võidusõidu võidu tõenäosusega startides P1. Kõikide radade koondandmete kohaselt suudavad sõitjad oma parimat stardipositsiooni esimese ringi jooksul kaitsta 75.1% juhtudes, teisele kohale langetatakse 14.6% juhtudest ning kolmandale juba ainult 3.6% juhtudest. Samuti võib välja tuua fakti, et 1.94% tõenäosusega sõitja katkestab sõidu esimesel ringil, suurima tõenäosusega juhtub see just Monaco ringrajal kus viimasest 27 korrast on see juhtunud lausa 2. korral ehk 7.4% juhtudest.

Järgnevalt analüüsime joonisel 4. kujutatud andmeid ja mõningaid väljapaistvamaid eripärasid:

7. **Catalunya eripära:** Catalunya paistab silma suhteliselt madala esimese ringi juhtpositsiooni säilitamise määraga 69%, kuid erakordselt kõrge võiduprotsendiga 72.7%, mis on 10st ringrajast ainus, kus on kogu Grand Prix võiduprotsent suurem kui esimese ringi P1 säilitamise protsent. See näitab, et kui parimalt stardikohalt alustanud sõitja esimesed ringid üle elab, on tal väga suur võiduvõimalus, mis võib tuleneda raja omadustest, mis soosivad liidrikohal sõitja positsiooni kaitsmist.
8. **Kõrge esimese ringi säilitamise protsent ei pruugi alati tähendada võitu:** Näiteks Villeneuve'is on esimese ringi juhtpositsiooni säilitamise protsent kõrgeim, 88%, kuid võiduprotsent stardist on vaid 50%. See viitab sellele, et vaatamata tugevale algusele mõjutavad võistluse lõpptulemust oluliselt muud tegurid nagu poksipeatusstrateegiad, ilmastikuolud ja turvaautod.
9. Üldiselt näitavad andmed, et radadel, kus on kõrgem esimese ringi positsiooni säilitamise määr, on paremad võimalused võiduks, mis rõhutab tugeva kvalifikatsiooni ja hea stardi tähtsust. Siiski näitab võiduprotsentide varieeruvus hoolimata kõrgest säilitamise määrast, et tiimid peavad vastavalt rajale taktika planeerimisel arvestama ringradade eripärasid.

7. Kokkuvõte

Kokkuvõttes demonstreerib antud bakalaureusetöö, kuidas F1 kvalifikatsioonitulemused on tugevalt seotud lõppvõistluste tulemuste kujunemisega, tuginedes andmeanalüüsi ja masinõppe saavutatud tulemustele. Analüüs kümne populaarseima ringraja kontekstis näitas, et kvalifikatsiooni tulemused omavad selgeid seoseid võistluse lõpp tulemuste kujunemisel, kuid esineb ka palju ringradade individuaalsetest spetsiifikast tingitud eripärasid nagu näiteks stardisirge pikkus, avakurvi suund kui ka ringradade kurvide arv ja pikkus. Samuti leiti masinõppe analüüsis, kasutades Random Forest klassifikaatorit, kuidas erinevad sõitjate, sõidukite ja ringraja omadused võivad ennustada võistluste lõpptulemusi. Lisaks käsitleti, kuidas kvalifikatsioonivõitjad suudavad oma positsiooni esimesel ringil kaitsta, mis on oluline nende edasise võistlusstrateegia ja lõpptulemuse kujundamisel ning kuidas võivad antud tulemused olla seotud individuaalsete ringradade eripäradega.

8. Kasutatud kirjandus

- [1] atlasf1 koduleht. <https://www.atlasf1.com/ref/fiafaq.html#q1> (04.12.2023)
- [2] F1 ametlik koduleht
<https://www.formula1.com/en/results.html/2023/races.html> (03.12.2023)
- [3] FIA ametlik koduleht
'veebisait.<https://www.fia.com/documents/championships/fia-formula-one-world-championship-14/season/season-2023-2042> (03.12.2023)
- [4] rookieroad. How long is a formula 1 race?
<https://www.rookieroad.com/formula-1/how-long-is-formula-1-race-3957046/> (03.12.2023)
- [5] racingnews365.com veebileht. <https://racingnews365.com/engine-fl#:~:text=The%20engine%20of%20a%20Formula%201%20car%20is%20a%20powerful,speed%2C%20up%20to%2015%2C000%20rpm.> (03.12.2023)
- [6] carthrottle.com veebileht. <https://www.carthrottle.com/news/drag-coefficients-explained-which-kind-car-slippiest> (05.05.2023)
- [7] <https://www.racecar-engineering.com/tech-explained/slipstream-and-dirty-air-explained/> (05.05.2023)
- [8] F1 ametlik koduleht. <https://www.formula1.com/en/latest> (09.05.2023)
- [9] flinsiders.com veebileht. flinsiders.com <https://flinsiders.com/fl-starting-grid/> (05.05.2023)
- [10] https://en.wikipedia.org/wiki/Drag_reduction_system (01.05.2023)
- [11] https://en.wikipedia.org/wiki/Monza_Circuit (05.05.2023)
- [12] kaggle.com veebiplatvorm. <https://www.kaggle.com/datasets/rohanrao/formula-1-world-championship-1950-2020> (05.05.2023)
- [13] <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/06/understanding-random-forest/> (05.05.2023)
- [14] https://en.wikipedia.org/wiki/Precision_and_recall (05.05.2023)

Litsents

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Sander Valt,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose:

F1 kvalifikatsiooni ja lõppvõistluste vaheliste seoste analüüs masinõppemeetoditega kümne läbi aegade populaarseima ringraja näitel.

mille juhendaja on Vambola Leping ,

reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 4.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Sander Valt

15.05.2024

