

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
Infotehnoloogia teaduskond  
Tarkvarateaduse instituut

Martin Suvorov 130415IABMM

**TALLINNA PARKIMISALADEL VABADE  
PARKIMISKOHTADE TUVASTAMISE  
TEHNOLOOGIATE VÕRDLUS**

Magistritöö

Juhendaja: Enn Õunapuu  
dotsent

Tallinn 2017

## **AUTORIDEKLARATSIOON**

Kinnitan, et olen koostanud antud lõputöö iseseisvalt ning seda ei ole kellegi teise poolt varem kaitsmisele esitatud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on töös viidatud.

Autor: Martin Suvorov

28.11.2017

## ANNOTATSIOON

Käesoleva magistritöö eesmärgiks on uurida tehnoloogilisi lahendusi, mis on võimalised leidma parkimisaladel vabade parkimiskohtade arvu. Uuritakse värava ja tõkkepuu, OCR/LPR, videotuvastuse, õhuvooliku, piesoelektrilise kaabli, induktsiooniasa, magnetanduri, akustilise anduri, infrapuna- ja ultrahelianduri ning mikrolaineradari põhiseid lahendusi. Töö teise eesmärgina leitakse nende seas parim lahendus Tallinna parkimisaladel kasutamiseks. Selleks kasutatakse T. L. Saaty analüütilist hierarhiate meetodit, kus tehnoloogiad võrreldakse omavahel paigalduse keerukuse, teetööde vajaduse, elektri- ja võrgujuhtmete vedamise vajaduse, mehaanilise kulumise, hoolduse tiheduse, lugemistäpsuse, ilmastikukindluse, vandaalikindluse, lisavõimaluste, riskide ja probleemide ning hinna kriteeriumide alusel. Võrdluse tulemusena osutus parimaks valikuks värava ja tõkkepuu lahendus, millele järgneb väga väikese vahega mikrolaine radar. Nendele tehnoloogiatele andis suurima eelise kõrge lugemistäpsus igasuguse ilmastiku korral.

Lõputöö on kirjutatud eesti keeles ning sisaldab teksti 71 leheküljel, 4 peatükki, 26 joonist, 26 tabelit.

# ABSTRACT

## **Comparison of technologies to find free parking spaces in Tallinn parking areas**

The purpose of this thesis is to research technological solutions that are able to count free parking spaces in a parking area. As technologies gate and barrier, OCR/LPR (optical character recognition / license plate recognition), video detection, pneumatic tubes, piezoelectric detectors, inductive loops, magnetic sensors, acoustic detectors, infrared detectors, ultrasonic detectors and microwave radar are described. Description includes working principle, strengths, weaknesses and approximate servicing amount and price for each technology. This research could be used by parking operators to learn available technologies and choose the one that suits their needs the best.

As second objective, the best technology is chosen that suits typical Tallinn parking area the most. Analytical hierarchy process by T. L. Saaty is used to determine the winner. Technologies are compared to each other by installation complexity, the need for road works, the need for electricity and network, mechanical wear, servicing frequency, reading accuracy, resistance to versatile weather, vandalism protection, and any additional possibilities and perks that parking operators may receive from given technology, risks and possible problems and expected price range. As a result, gate and barrier solution came first with microwave radar as close second. Both solutions have great detection accuracy even in poor weather conditions. In addition, OCR/LPR and magnetic sensors are worth alternatives. OCR/LPR is an expensive solution, which offers the biggest amount of additional services and possibilities as technology allows parking operator to track entrance and exit of each individual vehicle license plate. Magnetic sensors are relatively cheap option that offers stable detection accuracy in all weather conditions and that does not require a lot of maintenance.

The thesis is in Estonian and contains 71 pages of text, 4 chapters, 26 figures, 26 tables.

## **LÜHENDID JA MÕISTED**

QR-kood	Quick Response code
NFC	Near Field Communication
UHF	Ultra High Frequency
OCR	Optical Character Recognition
(A)LPR	(Automatic) Number Plate Recognition

## SISUKORD

SISUKORD .....	6
JOONISTE LOETELU .....	7
TABELITE LOETELU .....	8
SISSEJUHATUS .....	9
1 VABADE PARKIMISKOHTADE JÄLGIMISE VAJALIKKUS .....	11
2 TALLINNA PARKIMISALAD .....	12
3 VÕIMALIKUD LAHENDUSED .....	14
3.1 VÄRAVAD JA TÕKKEPUU .....	15
3.2 OCR/LPR.....	18
3.3 VIDEOTUVASTUS .....	24
3.4 ÕHUVOOLIK .....	27
3.5 PIESOELEKTRILINE KAABEL .....	29
3.6 INDUKTSIOONIAAS .....	31
3.7 MAGNETANDUR.....	34
3.8 AKUSTILINE ANDUR .....	36
3.9 INFRAPUNA .....	38
3.10 ULTRAHELI.....	40
3.11 MIKROLAINE RADAR.....	42
4 LAHENDUSTE VÕRDLUS .....	45
4.1 MEETODI KIRJELDUS .....	45
4.2 OTSUSTUSMUDELI KOOSTAMINE .....	46
4.2.1 KRITEERIUMID .....	46
4.2.2 KRITEERIUMITE PAARITILINE VÕRDLUS .....	51
4.3 OTSUSTUSMUDELI TESTIMINE .....	55
4.4 TULEMUSED .....	76
KOKKUVÕTE .....	78
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....	81
LISA 1. LPR-KAAMERATE VÕRDLUS.....	84
LISA 2. VÕRDLUSTULEMUSTE VÄÄRTUSTE PUU.....	85

## JOONISTE LOETELU

Joonis 1. Kalasadama 10 parkimisala Tallinnas .....	12
Joonis 2. Now! Innovations süsteemis QR koodiga sõiduki tuvastamine.....	17
Joonis 3. Numbrimärgi leidmine pildilt.....	20
Joonis 4. LPR süsteemi komponendid.....	22
Joonis 5. Visuaalne kuvand videotuvastuse algoritmi poolt tuvastatud hõivatud parkimiskohtade kohta.....	25
Joonis 6. Õhuvooliku paigaldamine .....	27
Joonis 7. Induksiooniaasa süsteemi komponendid.....	32
Joonis 8. Sõiduki mõju Maa magnetvoole.....	34
Joonis 9. SmarTek SAS-1 passiivne akustiline tuvastaja.....	37
Joonis 10. Ultraheli anduri soovituslikud paigaldusasendid .....	41
Joonis 11. Hinnatavad kriteeriumid.....	47
Joonis 12. Põhikriteeriumite paariline võrdlus.....	54
Joonis 13. Paigalduse alamkriteeriumite paariline võrdlus .....	54
Joonis 14. Jooksva hoolduse alamkriteeriumite paariline võrdlus .....	55
Joonis 15. Tehnoloogiate kaalud keerukuse kriteeriumi alusel.....	57
Joonis 16. Tehnoloogiate kaalud teetööde kriteeriumi alusel.....	58
Joonis 17. Tehnoloogiate kaalud elektri- ja võrgujuhtmete vedamise vajaduse kriteeriumi alusel .....	60
Joonis 18. Tehnoloogiate kaalud mehaanilise kulumise kriteeriumi alusel .....	61
Joonis 19. Tehnoloogiate kaalud hoolduse tiheduse kriteeriumi alusel .....	63
Joonis 20. Tehnoloogiate kaalud lugemistäpsuse kriteeriumi alusel.....	65
Joonis 21. Tehnoloogiate kaalud ilmastikukindluse kriteeriumil.....	67
Joonis 22. Tehnoloogiate kaalud vandaalikindluse kriteeriumil .....	69
Joonis 23. Tehnoloogiate kaalud lisavõimaluste kriteeriumil .....	71
Joonis 24. Tehnoloogiate kaalud riskide ja probleemide kriteeriumi alusel. ....	73
Joonis 25. Tehnoloogiate kaalud hinna kriteeriumi alusel .....	75
Joonis 26. Tehnoloogiate võrdluse tulemused.....	76

## TABELITE LOETELU

Tabel 1. Värava ja tõkkepuu süsteemi omaduste kirjeldus .....	18
Tabel 2. OCR/LPR tehnoloogia omaduste kirjeldus .....	23
Tabel 3. Videotuvastuse tehnoloogia omaduste kirjeldus .....	26
Tabel 4. Õhuvoolikute lahenduse omaduste kirjeldus.....	28
Tabel 5. Piesoelektriliste kaablite lahenduse omaduste kirjeldus.....	30
Tabel 6. Induktsiooniasa süsteemi omaduste kirjeldus.....	33
Tabel 7. Magnetanduri omaduste kirjeldus .....	35
Tabel 8. Akustilise anduri põhise süsteemi omaduste kirjeldus.....	37
Tabel 9. Infrapunaanduritel põhineva süsteemi ülevaade .....	39
Tabel 10. Ultraheli anduri ülevaade .....	41
Tabel 11. Radari ülevaade .....	43
Tabel 12. Saaty suhteskaalad. Hinnangud 2, 4, 6, 8 on kompromiss teiste hinnangute vahel. ....	46
Tabel 13. Tehnoloogiate võrdlus paigaldamise keerukuse alusel .....	56
Tabel 14. Tehnoloogiate võrdlus teetööde vajaduse alusel .....	58
Tabel 15. Tehnoloogiate võrdlus elektri- ja võrgujuhtmete vedamise vajaduse alusel..	59
Tabel 16. Tehnoloogiate võrdlus mehaanilise alusel.....	60
Tabel 17. Tehnoloogiate võrdlus hooldustiheduse alusel.....	62
Tabel 18. Tehnoloogiate võrdlus lugemistäpsuse alusel .....	64
Tabel 19. Tehnoloogiate võrdlus ilmastikukindluse alusel .....	66
Tabel 20. Tehnoloogiate võrdlus vandaalikindluse alusel.....	68
Tabel 21. Tehnoloogiate võrdlus lisavõimaluste alusel.....	70
Tabel 22. Riski ja probleemigrupid .....	71
Tabel 23. Tehnoloogiate võrdlus riskide ja probleemide kriteeriumi alusel .....	73
Tabel 24. Tehnoloogiate ligikaudsed hinnad.....	74
Tabel 25. Tehnoloogiate võrdlus hinna alusel.....	75
Tabel 26. Võrdluse tulemused .....	76



## SISSEJUHATUS

Konkurentsipüsümiseks, peavad parkimisoperaatorid olema innovaatilised ja koguma oma klientide kohta rohkem infot ning pakkuma klientidele lisateenuseid. Seejuures tuleb aga oma kulusid kokku hoida. Kõik need eesmärgid on võimalik saavutada, kui koguda infot parkimisaladel vabade parkimiskohtade kohta, eelistatult reaajas. Teades parkimisaladel vabade parkimiskohtade arvu, saab kliendid suunata parkimisaladele, kus on veel piisavalt vaba ruumi. Parkimist saab hinnastada vastavalt sellele, kui populaarne antud parkimisala on. Parkimiskorraldajad saata sõidukeid kontrollima vaid juhul, kui parkimisalal on ka tegelikult parkijaid.

Tänapäeval loendatakse vabu parkimiskohti vaid mitmete kaubanduskeskuste parkimismajades. Eelkõige kasutatakse värava ja tõkkepuu või infrapunaanduri lahendusi, kuna need lahendused on laialtlevinud ja parkimismajades on nende paigaldamine lihtne. Väliparklates tuleb aga arvestada muutlike tingimustega, paigaldamine on keerulisem ja parkimisalad väga erineva plaaniga. Seetõttu väliparklates täna vabu kohti ei loendata. Samuti puudub ülevaade erinevatest võimalustest, kuidas vabu parkimiskohti on võimalik tuvastada. Antud töö üheks eesmärgiks on uurida enimlevinud tehnoloogiaid, mis võivad seda probleemi lahendada. Hinnatakse nende sobivust Tallinna parkimisaladele ja Eesti ilmastikutingimustesse. Töö esimene pool keskendub tehnoloogiate kirjeldamisele - mis on nende tööprintsip, tugevused ja puudused, paigaldamise ja hoolduse keerukus, eeldatav lugemistäpsus ja hind. Uuritakse värava ja tõkkepuu, OCR/LPR, videotuvastuse, õhuvooliku, piesoelektrilise kaabli, induktsooniaasa, magnetanduri, akustilise anduri, infrapuna- ja ultrahelianduri ning mikrolaineradari põhjal ehitatud lahendusi. Selle info põhjal võivad parkimisoperaatorid tutvuda erinevate lahendustega ja valida endale kõige sobivama.

Kuigi parkimisalad on väga erinevad ja mitmesugused lahendused võivad olla erinevatel juhtudel eelistatud, võrreldakse töö teises pooles lahendusi omavahel põhiomaduste alusel ja leitakse universaalne lahendus, mis sobib enamikele Tallinna parkimisaladele ja on parim kompromiss tugevuste ning puuduste vahel. Võrdluseks kasutatakse T. L. Saaty analüütilist hierarhiate meetodit, kus tehnoloogiad võrreldakse omavahel paigalduse keerukuse, teetööde vajaduse, elektri- ja võrgujuhtmete vedamise vajaduse, mehaanilise kulumise, hoolduse tiheduse, lugemistäpsuse, ilmastikukindluse, vandaalikindluse,

lisavõimaluste, riskide ja probleemide ning hinna kriteeriumide alusel. Samuti tekib näide, kuidas lahendusi omavahel objektiivselt võrrelda. Vajadusel saavad parkimisoperaatorid seda taaskasutada. Näiteks kui operaatoril on soov loendada vabu parkimiskohti vaid parkimismajades, siis antud töös tehtav võrdlus pole enam sobilik. Parkimismajades ei ole nii suur tähtsus ilmastikukindlusel ja elektri- ning võrgujuhtmete vedamine seadmeteni on palju lihtsam. Seega käesolev töö ei ole konkreetse tehnoloogia kasutuselevõtu kirjeldus, vaid äri ja tehnoloogiline võrdlus ning valik erinevate lahenduste vahel.

# 1 VABADE PARKIMISKOHTADE JÄLGIMISE VAJALIKKUS

Parkimisoperaatoritel on surve hakata jälgima oma parkimisaladel vabade parkimiskohtade arvu nii klientide kui konkurentide poolt. Samuti võimaldab see enda tööd optimeerida ja hoida sellega kokku aega ja raha.

Suured rahvusvahelised portaalid nagu Google Maps<sup>1</sup> [1] ja Parkopedia<sup>2</sup> pakuvad oma kasutajatele võimalust valida parkimisala enne kui nad on oma sihtkohta jõudnud. Kui parkimisoperaator suudab portaalidele edastada infot parkimisalade täituvuse kohta, siis annab see konkurentsieelise teiste operaatorite ees ja klientidel ei teki frustratsiooni, kui kohale jõudes avastatakse, et valitud parkimisala on täis.

Parkimisoperaatorile annab vabade parkimiskohtade statistika parema arusaama parkimisala kasutamisest. Kui on näha, et parkimisala on pidevalt alakasutatud, on võimalus muuta siltide asukohta, tehes sellega parkimisala nähtavamaks või langetada hindasid. Vastupidiselt, kui parkimisala on pidevalt täis, siis on võimalik välja mõelda uus hinnastruktuur, et kasutada ära suurem nõudlus.

Tallinnas kontrollivad parkimisõigusi parkimiskorraldajad, kes liiguvad mööda kindlaksmääratud marsruuti. Tänu parkimisala täituvuse infole võib seda teekonda optimeerida - kui on teada, et parkimisala on tühi, siis ei ole otstarbekas saata sinna parkimiskorraldaja.

---

<sup>1</sup> Google Maps - <https://www.google.com/maps>

<sup>2</sup> Parkopedia - <https://www.parkopedia.com/>

## 2 TALLINNA PARKIMISALAD

Tallinnas on lisaks linna tänavaparkimisele ja parkimismajadele üle 200 parkimisala. [2, 3, 4] Parkimisalad on tihti väga erinevad ja nende omadused üksteisega vastuolus.

- Ala piiramine. Kuigi enamasti on parkimisala piiratud aia või haljasalaga nagu on illustreeritud joonisel 1, eksisteerib mitmeid parkimisalasid, millel konkreetset piirid puuduvad või sisse- ja väljasõit on väga lai ja ulatub kogu parkla laiuses.
- Parkimisala ei pruugi olla korrapärane ja võib esineda nurgataguseid piirkondi
- Parkimisalade suurus erineb väga palju mõnest parkimiskohast mõne paari tuhandeni.
- Iga sissepääsu juures on kohustuslik parkimise infotahvel parkimisala tingimustega
- Teekatteks on reeglina asfalt või kruus
- Individuaalsed parkimiskohad ei ole reeglina märgitud



Joonis 1. Kalasadama 10 parkimisala Tallinnas [5]

Arvestada tuleb ka Eesti ilmastikuga. Päevasel ajal võib särada ere päike, ööd on pimedad, kusjuures pimedate aja osakaal aasta ringselt võib muutuda suurel määral. Tihti

puudub parkimisaladel valgustus. Temperatuur võib suvekuudel ületada +30°C ja talvekuudel langeda alla -30°C. Võib esineda udu, vihma, lund, lörtsi, sügisel ka pori ja langenud lehti. Parkimisala territooriumil võivad kasvada puud või põõsad, mis takistavad vaatevälja.

Osad parkimisalad on läbikäidavad, mistõttu lisaks sõidukitele, kasutavad sisse- ja väljapääse ka jalakäijad ja jalgratturid.

### 3 VÕIMALIKUD LAHENDUSED

Kõige lihtsam lahendus oleks panna igale parkimisala sisse- ja väljapääsule inimene, kes manuaalselt kõik sisenemised ja väljumised kokku loeb. See lahendus pole aga jätkusuutlik, kui parkimisalade arv küündib sadadesse ja andmeid on tarvis ööpäevaringselt reaalajas. Seepärast järgnevalt uuritakse ja kirjeldatakse erinevaid (info)tehnoloogilisi lahendusi, kuidas on võimalik automaatselt tuvastada sõiduki sisenemine ja väljumine või kohalolu. Selle info põhjal saab välja arvutada vabade parkimiskohtade arvu.

Erinevaid lahendusi on palju, kuid enamasti kasutatakse neid parkimismajades või maanteedel ja ristmikel liikluse hulga määramiseks. Eraldi väliparkimisaladele mõeldud uurimist pole seni tehtud.

Iga käesolevas töös uuritud tehnoloogia juures tuuakse ära omaduste kirjeldus, mis sisaldab järgmisi omadusi:

1. Paigaldamise keerukus. Kui keerukas on süsteemi üles seada? Milliseid lisateadmisi on tarvis?
2. Haldamise lihtsus. Kui esmane paigaldus on tehtud, siis kui keeruline on seda töös hoida? Kas vajab pidevat hooldust või mitte?
3. Ilmastikukindlus. Kas on ilmastikukindel?
4. Vandaalikindlus. Kas on vandaalikindel?
5. Lugemise täpsus. Milline on eeldatav lugemistäpsus?
6. Lisavõimalused. Milliseid lisavõimalusi antud tehnoloogia pakub?
7. Riskid või probleemsed kohad. Millised probleemid võivad esineda?
8. Hind. Hinda on tihti keeruline määrata, sest tootjad ei jaga hinda avalikult, vaid soovivad teha suunatud hinnapakumisi. Samuti võib hind erineda suurel määral

konkreetsete toodete puhul. Seepärast kasutatakse tehnoloogia kasutuselevõtu hinna kajastamisel hinnangulist skaalat:

- ★☆☆☆☆ ~ 0 - 100€
- ★★☆☆☆ ~ 100 - 500€
- ★★★☆☆ ~ 500 - 1 000€
- ★★★★☆ ~ 1 000 - 5 000€
- ★★★★★ ~ üle 5 000€

Hinna puhul arvestatakse vaid anduri ja seadmete maksmust, et oleks võimalik loendada sõidukeid või edastada sõiduki olemasolu signaal. Kogu operaatorispetsiifiline tarkvara, mis töötleb seda infot edasi, näiteks vastava info kuvamine kodulehel, jääb antud töö raamidest väljapoole ja selle arenduse hinda ei arvestada.

Mitmete tehnoloogiate puhul on võimalik soetada komponendid eraldi murdosa hinna eest ja tehniliste teadmiste olemasolul ehitada kokku toimiv lahendus. Antud töös eeldab autor, et parkimisoperaator soovib keskenduda oma põhitegevusele ja tal puuduvad soov ja oskus ise lahendust ehitada. Ostes valmistoode võib eeldada teatud kvaliteeti ja töökindlust, probleemide korral pakub tootja garantiid.

Valitud nimekiri tehnoloogiatest ei ole lõplik. Uuritakse vaid kõige laialtlevinumaid lahendusi, kuid tehnika arenguga tekivad pidevalt uued lahendused, millel võivad olla eelised järgnevalt kirjeldatud lahenduste ees.

### **3.1 VÄRAVAD JA TÕKKEPUU**

Värvad ja tõkkepuu süsteemis sõiduk võtab värvast pileti või tuvastab end mõnel muul moel mille peale avaneb värv ja registreeritakse sisenemine. Väljumisel antakse ära tasutud pilet või tõendatakse muul moel väljapääsu õigus, mille peale avaneb väljumise värv ja registreeritakse väljumine. Sisenemiste ja väljumiste lahutamisel on võimalik igal hetkel tuvastada parklas olevate sõidukite arv. Eelduseks on see, et parkimisala on piiratud ja muud moodi peale värava, pole võimalik sinna siseneda või sealt väljuda.

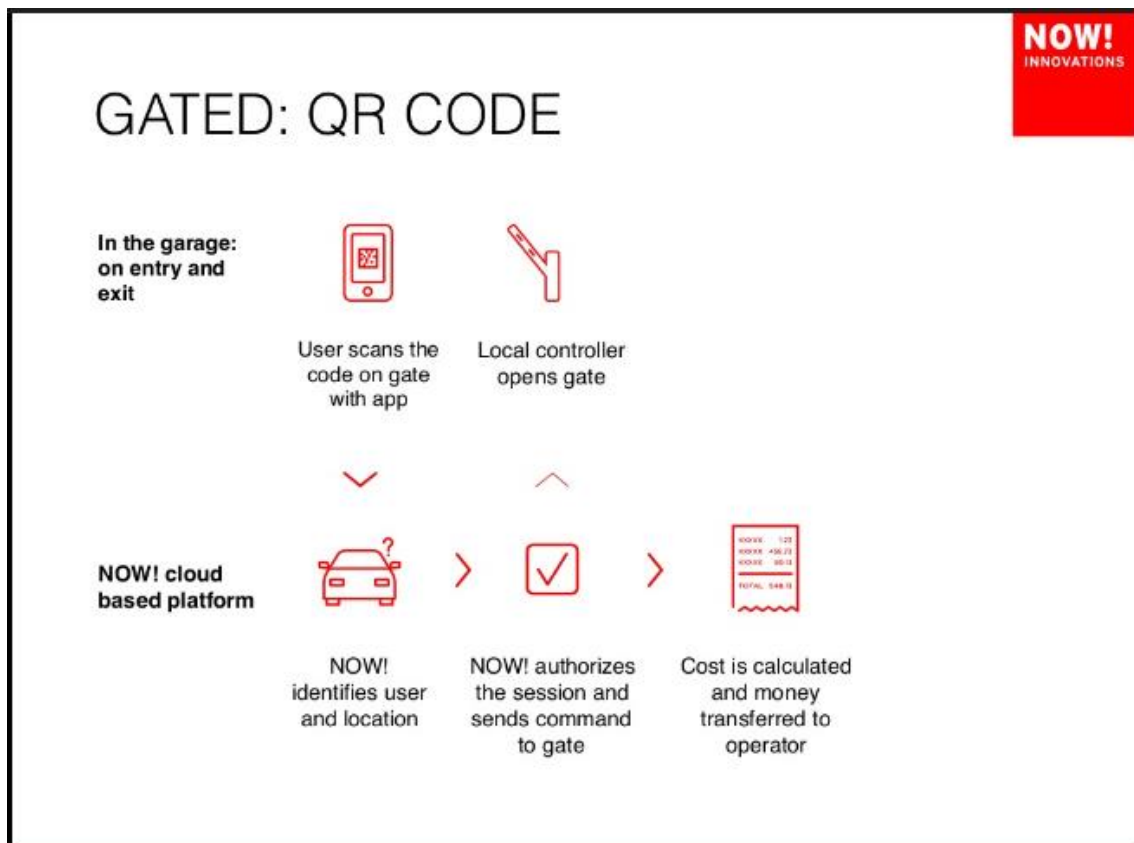
Kõige klassikalisemas lahenduses peab sõiduk värava juures peatuma ja nuppu vajutama, mille peale trükitakse pilet. Pileti vastuvõtmise peale avaneb tõkkepuu. Parkimise lõpus tuleb sõidukijuhil leida makseautomaat ja pileti eest tasuda. Väljumisel peab värava juures uuesti peatuma ja makstud pilet tagastama, mille peale avaneb väljasõidu tõkkepuu. Antud lahendusel on mitmeid puudusi ja ebamugavusi:

- Juhid peavad alati värava juures seisma jääma ja ootama pileti trükkimist. Tipptunni ajal võib see tekitada järjekorra ja juhtide pahameelt.
- Pileti maksmiseks tuleb kõndida makseautomaadi juurde ja tagasi autoni [6].
- Makseautomaadi leidmine suurtes ja keerulistes parklates ei pruugi olla elementaarne. Kohale jõudes tuleb aru saada, kuidas maksta pileti eest [6].
- Pilet võib ära kaduda [6]

Nende probleemide vähendamiseks on loodud mitmeid alternatiivseid lahendusi pileti asendamiseks ja parkimise eest maksmiseks:

1. Sissesõidule ja väljasõidule on võimalik paigaldada kaamerad ja nende abil tuvastada sõiduki numbrimärk (täpsem kirjeldus peatükis 3.2). Füüsilise pileti võib kaotada sootuks - parkija peab makseautomaadis sisestama oma auto numbrimärgi. Teine võimalus on siduda autonumber piletiga. Väljasõidul tuvastab süsteem autonumbri ja kontrollib, kas antud numbriga seotud pilet on juba tasutud. Kui vastus on positiivne, siis avatakse automaatselt väljasõiduvärav ja sõidukijuht ei pea väljumisel pileti tagastama.
2. Parkimisoperaatori mobiilirakendusega saab sõidukijuht end tuvastada läbi rakenduse, skaneerides ribakoodi, QR koodi, kasutades NFC tehnoloogiat või saates SMS. Joonisel 2 on illustreeritud ühes sellises süsteemis QR koodiga tuvastamise protsess. Parkimise eest saab tasuda otse rakenduses paludes lisada arve mobiiliarvele, sidudes krediitkaart või saades kuu lõpus koondarve.
3. Püsiklientidele on võimalik anda kontaktivabasid kaarte või kiipe. Viibates neid värava juures või paigaldades need autosse, tuvastatakse parkimisõigus automaatselt. Vastavalt valitud tehnoloogiale on tuvastuskaugus paarist sentimeetrist (NFC) kuni mitme meetrini (UHF). [7]





Joonis 2. Now! Innovations süsteemis QR koodiga sõiduki tuvastamine [6]

Värava ja tõkkepuu süsteemi eeliseks saab pidada väga suurt lugemistäpsust - pileti võtavad vaid reaalselt parkimisalale siseneda soovijad. Ei pea arvestama möödakäivate inimeste ja ilmastikutingimustega. Tõkkepuu tõstab parkimisala turvalisust ja ei pea muretsema parkimise eest maksmata jätmise pärast.

Puudustena tuleb ära märkida suhteliselt kõrge paigaldamise tasu - tuleb tellida füüsilised seadmed, need kohapeal paigaldada ja vedada nendeni elekter ja võrguühendus. Eelnevalt peab läbi mõtlema plaani, kuidas käituda võrguühenduse või elektri katkemisel nii, et autod saaksid parkimisalalt siiski välja. Tõkkepuud saab kasutada vaid parkimisalades, mis on ära piiratud ja mujalt pole võimalik sisse või välja sõita.

Värava ja tõkkepuu süsteemi omadusi kirjeldab kokkuvõtvalt tabel 1.

Tabel 1. Värava ja tõkkepuu süsteemi omaduste kirjeldus

<b>Paigaldamise keerukus</b>	Oma tehniku olemasolul võimalik iseseisvalt hakkama saada. Mida rohkem lisavõimalusi ja -mugavusi pakkuda parkijatele, seda keerukamaks süsteem muutub. Kui osta terve süsteem ühe tootja käest, siis on seadmete üksteisega suhtlema panemine lihtsam ja reeglipäraselt pakub tootja tuge ja koolitust.
<b>Tetööde vajadus</b>	Ei, kuid värava paigalduse ajaks tuleb liiklust sulgeda või piirata
<b>Mehaaniline kulumine</b>	Süsteemil on mitmeid kuluosasid
<b>Elektri- ja võrgujuhtmete vedamise vajadus</b>	Jah, piletilväljastusvärav, tõkkepuu ja makseautomaat vajavad elektri ja võrgu olemasolu
<b>Jooksev hooldus</b>	Klientidele peab olema olema klienditugi, kes vajadusel abistab värava avamise ja maksmisega.
<b>Ilmastikukindlus</b>	Ilm töövõimet ei mõjuta
<b>Vandaalikindlus</b>	Pigem vandaalikindel
<b>Lugemise täpsus</b>	kuni 100%
<b>Lisa (äri)võimalused</b>	Turvalisus Garanteeritud tasumine
<b>Riskid ja probleemid</b>	Paigaldus ja haldamine on kallis ja keeruline. Klientidele parklasse sisenemine ja väljumine on keerulisem ja aeganõudvam
<b>Hind</b>	★★★★★

### 3.2 OCR/LPR

Tänapäeval muutub üha populaarsemaks optilise tekstituvastuse (inglise k. OCR ehk *optical character recognition*) põhjal autonumbri tuvastus. Välismaal kutsutakse selliseid lahendusi (A)LPR'ks (inglise k. *automatic license plate recognition*).

Tehnoloogia võeti esmakordselt kasutusele Inglismaa politsei poolt 1976. aastal. Esimestel prototüüpidel oli väga madal lugemise täpsus, mis küündis vaid 60 protsendini. [8] Idee seisneb selles, et videokaamera paigaldatakse autode sõidusuunas. Kaamera videovoog edastatakse serverisse, kus algoritmide abil tuvastatakse möödasõitnud auto numbrimärk.

Videovoog on kaadrite ehk teisisõnu piltide jada. Sõltuvalt kaamerast ja kasutatavast kaadrisagedusest võib videovoog sisaldada kümneid kaadreid sekundis. Kõik kaadrid edastatakse OCR mootorile. Pilditöötlus koosneb reeglina kahest etapist: pildi eeltöötlus ja kirjamärgituvastus. [9, 10]

Eeltöötleses kasutatakse mitmeid tehnikaid, et parandada kirjamärgituvastust järgmises etapis. Tehnikate hulka kuuluvad [9, 10]:

- Pildi pööramine - pilti keeratakse nii, et tekst oleks joondus horisontaalselt ja vertikaalselt
- Pildi mustvalgeks tegemine
- Pildi silumine - üksikute värvierisuste eemaldamine
- Pildi puhastamine - joonte ja kastide eemaldamine
- Tähemärkide tuvastamine - tekstiridade jagamine sõnadeks ja sõnade jagamine tähemärkideks

Kirjamärgituvastuseks on kaks lähenemist: mustri sobitamine või tunnuste eraldamine. Mustri sobitamise puhul võrreldakse pilti olemasoleva tähemärkide andmebaasiga piksel-piksli haaval. [10] “Tunnuste eraldamisel jagatakse tähemärk erinevateks tunnusteks nagu jooned, ringid, joone suund ja joonte ristumised” [9]. Seejärel võrreldakse tunnuseid pildil teadaolevate tähemärkide tunnustega. Soovi korral on võimalik tulemuse täpsust parandada, kui võrrelda seda lubatud tulemuste nimekirjaga - näiteks vastava keele sõnaraamatuga. [9]

Autonumbri tuvastamisel on rida kitsendusi, mida saab ära kasutada, et tuvastuse täpsust tõsta:

- Kaamerad paigaldatakse nii, et pildil saab olla maksimaalselt üks auto korraga. Lisaks kui sisse- või väljasõit on kitsas, siis on üpris täpselt teada, kus kohas pildil numbrimärk võib asuda.
- Spetsiaalselt auto numbrituvastuseks mõeldud kaamerad suudavad lisaks kõrgekvaliteetsele pildile/videole, peegeldada auto esitulede valgust. Paljud kaamerad kasutavad ka infrapuna-välku, mis on inimsilmale nähtamatu, kuid valgus peegeldub numbrimärgist tagasi ja tulemusena on numbrimärk selgemiini loetav. [11, 12]
- Autode kujud on reeglina sarnased, seepärast osad algoritmid oskavad eelistada teatud piirkondi, kus numbrimärgi leidmise tõenäosus on suurem. Joonisel 3 algoritm eeldab, et numbrimärk asub akna all ja kahe tule vahel. [9]
- Numbrimärgid on standardiseeritud. Auto numbrimärgid võivad olla ainult kindlaks määratud suuruse, värvuse ja kirjatüübiga (*font*). Lubatud on ainult osad tähemärgid. Paljud riigid määravad ka kindla formaadi. Näiteks Eestis on kasutusel 3 numbriga ja neile järgneva 3 tähemärgi kombinatsioon. See katab valdava osa sõidukitest, kuid tuleb arvestada ka välisriikide autodega, mille numbriformaat on teine, eriotstarbeliste sõidukitega, mootorrataste ja eritellimusel valmistatud numbritega.



Joonis 3. Numbrimärgi leidmine pildilt. [8]

Kõrgetasemelised LPR süsteemid suudavad tänapäeval saavutada üle 95% lugemistäpsuse [8]. Sõltuvalt süsteemi eesmärgist, võib täpsuse suurendamiseks lisada kaamerate arvu, nii et sama sissepääsu jälgivad paralleelselt mitu kaamerat ja tulemused grupeeritakse; või kasutada samaaegselt mõnda muud tehnoloogiat.

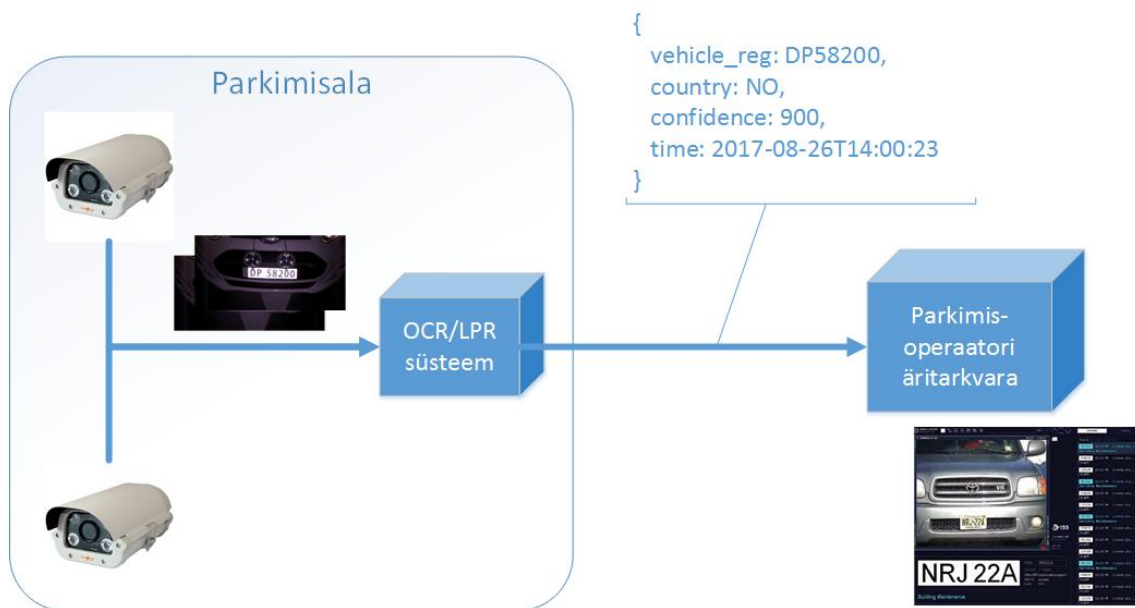
Lisaks parkimisele kasutatakse samasugust tehnoloogiat ka tasuliste maanteed väravate juures, varastatud autode leidmiseks, kiiruskaamerates ja teedel statistika kogumiseks [11].

Terviklik lahendus koosneb kaamera(te)st, LPR tarkvarast ja serverist, kus see jookseb. Joonis 4 illustreerib komponente ja nende omavahelist suhtlust. Kaamerate arv sõltub parkimisala eripäradest (näiteks sissepääsude kogusest) ning sellest, kui suurt lugemistäpsust soovitakse. Kaamerate hinnavõrdlus on kirjeldatud lisa 1. Hinnale tuleb lisada ka kaamerate paigaldus, elektri ja võrgu ühenduse kulud. LPR server on mõistlik paigaldada parkimisala territooriumile, kus kaamerateist tuleva videovoog saab suunata välisvõrgu asemel lokaalsesse kohtvõrku. Kuna videovoog võib olla väga mahukas, siis selline lahendus ei vaja parkimisalale kiiret internetiühendust. Samuti internetiühenduse katkemisel võib auto numbrimärgituvastusi ajutiselt salvestada lokaalselt ja ühenduse taastumisel edastada need tagantjärele. LPR tarkvara funktsionaalsus ja hind varieerub suurel määral. Eksisteerivad vabavaralised OCR-mootorid, mille põhjal saab igäüks ehitada endale sobiva LPR tarkvara. Spektri teises otsas on terviklahendused, mis võivad sisaldada:

- optimeerimist spetsiifilistele kaameratele
- tuvastuse kiiruse ja kvaliteedi parandamist
- mitme kaamera grupeerimist samale sisse- või väljapääsule
- paralleelselt mitme sisse- või väljapääsu jälgimist
- tuvastuse optimeerimist konkreetse riigi numbrimärkidele
- numbrimärgi väljastanud riigi tuvastamist
- tulemuste salvestamist
- statistika kuvamist
- kasutajaliidest igapäevatööks ja seadistamiseks
- kasutajatuge ja paigaldamisabi

Hinnastamisel kasutatakse erinevaid mudeleid. Tüüpilised variandid on tarkvara litsents, hinnastamine numbrituvastuste mahu pealt, hinnastamine ühendatud kaamerate arvu pealt või hinnastamine jälgitavate sõiduradade pealt. Vastavalt funktsionaalsusele võivad erineda ka nõuded LPR-tarkvara jooksvatavale serverile. Lisaks on tavapäraselt igal

parkimisoperaatoril olemas oma äritarkvara, mis sisaldab äriprotsesse LPR süsteemist tulevate numbrituvastustega.



Joonis 4. LPR süsteemi komponendid.

LPR tehnoloogial põhinevad süsteemid sobivad hästi sellistes parkimisalades, kus on väike arv sisse- ja väljapääse, sõidurajad on kitsad või on täpselt teada, kust sõidukid läbi sõidavad, sisse- ja väljapääsud on hästi valgustatud, ei esine peegeldusi päiksest või vihmaloompidest, sõidukite kiirused on pigem väikesed, kaamerate vaatevälja ei sattu mitu sõidukit korraga ning elektri ja võrgujuhtmete vedamine kaamerateni ei ole keeruline.

LPR tehnoloogia kasutuselevõtt on suur investeering, kuid lisaks autode loendamisele, pakub ta mitmeid lisavõimalusi, kuna on täpselt teada parklas parkivate sõidukite numbrimärgid:

1. Sisse- ja väljasõidu lihtsustamine. Kui sissesõidul tuvastatakse sõiduki number, siis on võimalik automaatselt avada värav ja juhul puudub vajadus seisma jääda ning võtta pilet. Väravast võib soovi korral sootuks loobuda. Väljasõidul on võimalik kontrollida, kas tuvastatud numbrimärgi parkimine on tasutud või mitte. Kui parkimine on makstud, siis saab samuti väljapääsuvärava automaatselt avada.
2. Maksmine. Füüsilised parkimispiletid saab asendada elektrooniliste parkimis-sessioonidega. Kui riigis on võimalik tuvastada sõiduki omanik, siis võib lubada

sõidukil lahkuda ilma maksmata ja saata arve hiljem järgi. Samuti saab teha koostööd alternatiivsete maksepakkujatega.

3. Soodustused ja statistika klientidele. Klientidele saab pakkuda lisaväärtusi võimaldades siduda auto number enda kontoga ja seejärel kuvada parkimise statistikat või teha neile püsikliendisoodustusi.
4. Koostöö teiste asutustega. Kui seadused seda ei keela, siis saab teha koostööd politsei ja kindlustusfirmadega varastatud sõidukite leidmiseks. Autorendi firmade puhul saab parkimise tasud saata otse rendipakkujale, lihtsustades maksmist kasutajale.
5. Turvalisus. LPR kaameraid saab kasutada ka tavaliste turvakaameratena.

OCR/LPR tehnoloogia omadusi kirjeldab kokkuvõtvalt tabel 2.

Tabel 2. OCR/LPR tehnoloogia omaduste kirjeldus

<b>Paigaldamise keerukus</b>	Server peab asuma parkimisalal või selle vahetus läheduses. Paigaldamisel on soovituslik võtta ekspert, kes oskab soovitada kaamerate arvu, asukohta ja nurka optimaalse tulemuse saavutamiseks. Võimalik, et lisaks tuleb paigaldada auto suunda ja kiirust mõjutavaid ehitisi. Eeldab pikka testimisperioodi.
<b>Teetööde vajadus</b>	Ei
<b>Mehaaniline kulumine</b>	Ei
<b>Elektri- ja võrgujuhtmete vedamise vajadus</b>	Jah
<b>Jooksev hooldus</b>	Kaamerate puhastamine
<b>Ilmastikukindlus</b>	Kehvem lugemistäpsus vihma, udu, lume ja pori korral
<b>Vandaalikindlus</b>	Kui kaamerad paigaldada piisavalt kõrgele, siis vandaalikindel
<b>Lugemise täpsus</b>	kuni 99%

<b>Lisa (äri)võimalused</b>	Palju numbrimärgituvastusel põhinevaid lisavõimalusi
<b>Riskid ja probleemid</b>	Sõidukite loendamisel pigem veakindel. Numbrituvastusel võivad probleemseks saada porised ilmad ja ebastandardsed numbrimärgid. Ei arvesta valesti parkimistega, kus üks auto pargib korraga mitmel parkimiskohal.
<b>Hind</b>	★★★★★

### 3.3 VIDEOTUVASTUS

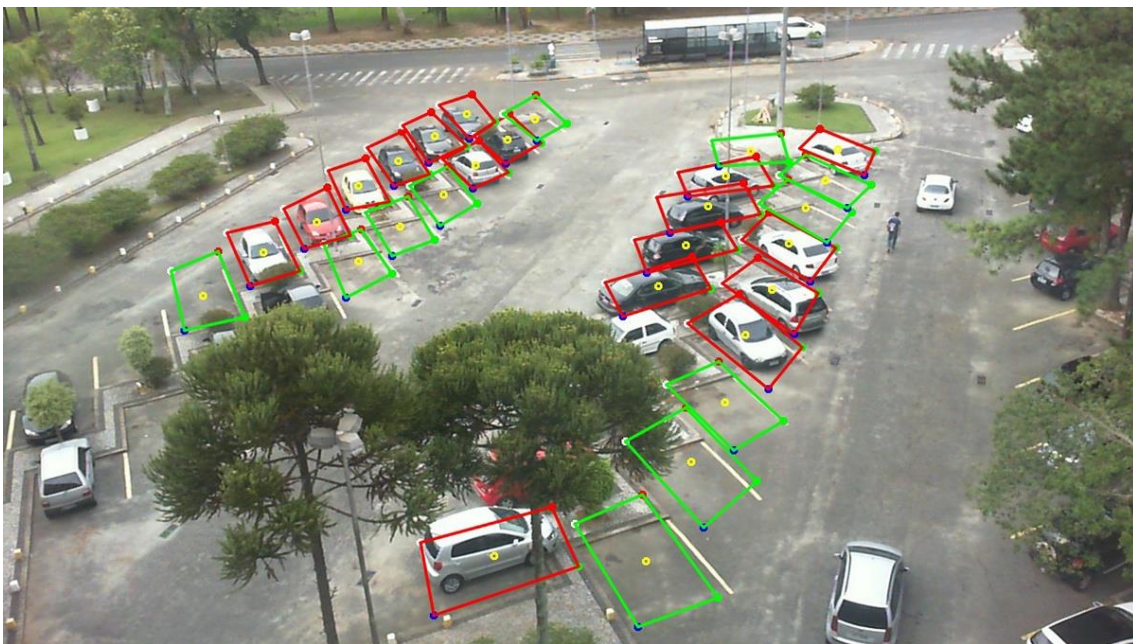
Sõidukeid saab tuvastada ka lihtsalt videovoogu töödeldes. Erinevalt LPR tehnoloogiast, ei otsita pildilt sõiduki numbrimärki, vaid sõidukit ennast. Tavapäraselt videokaamerad ei paigaldata sisse- ja väljasõidu juurde, vaid kõrgete postide (6-10m) otsa või kõrgete lähedalasuvate hoonete külge, suunaga parkimisala poole. Parkimisala võib korraga jälgida mitu kaamerat. Kaamerate videovoog suunatakse videoserverisse, kus toimub video eeltöötlamine ja teatud algoritmiga sõidukite tuvastamine. Eeltöötlamine on üldjuhul sarnane LPR tehnoloogias kasutatava eeltöötlemisega - pilt pööratakse ja keeratakse, et kaotada kaamera asukoha tõttu tekkiv nurk; pilt tehakse mustvalgeks; pilt puhastatakse. [13] Algoritme sõiduki tuvastuseks on mitmeid. Mittetäielik nimekiri võimalikest lahendustest:

1. Kaamerapilti võrreldakse aluspildiga, kuhu on märgitud kõik parkimiskohad. Kaamerapilt tehakse mustvalgeks ja leitakse erinevus teekatte värvist. Tulemus tehakse binaarseks - iga piksel on kas must või valge. Leitud mustad kohad ühendatakse. Seejärel leitakse, kui suur osa eeldefineeritud parkimiskohast on kinni (musta värvi). Kui kaetud pikslite arv ületab läve, märgitakse parkimiskoht hõivatuks. [14]
2. Leitakse objekti (sõiduki) kontuurjooned. Kontuurjooned leitakse aluspildiga võrdluse teel. Seejärel jälgitakse objekti liikumist ajas. [13]
3. Leitud objektid võrreldakse eeldefineeritud 3D mudelitega. Osad algoritmid eeldavad aero-pilti (ülevalt otse alla), millega välistatakse objektide kattumine teiste objektide poolt. [13]



4. Teatud detaili tuvastamine ja jälgimine. Näiteks kõikide autode ühisosa on üpris ühesugused rattad. Ratta või rattapaari tuvastamisel ja selle liikumise jälgimisel saab teha üldistuse kogu sõidukile. Lahendus on kasulik olukorras, kus kogu sõiduk pole korraga nähtav või on osaliselt varjatud mõne muu objekti poolt. [13, 15]
5. Sõidukite tuvastamiseks treenitud närvivõrgud. [16]

Videotuvastus on hea lahendus parkimisaladele, kus on väga palju sisse- ja väljasõite, nad on väga laiad (autode täpset asukohta on raske määrata) või nad puuduvad sootuks, näiteks tänavaparkimine. Lisaks võimaldab tehnoloogia tuvastada ka diagonaalsid parkijad, kes hõivavad korraga mitu parkimiskohta. Tulemust on lihtne kontrollida manuaalsel videovoo vaatlusel ja loendamisel. Joonisel 5 on näha, milline võib välja näha tulemus parkimisoperaatorile.



Joonis 5. Visuaalne kuvand videotuvastuse algoritmi poolt tuvastatud hõivatud parkimiskohtade kohta. [16]

Puuduseks on tuvastuse täpsuse langus ilmastikuolude muutumisel:

- Tuvastuse kvaliteet võib olla erinev päeval ja öösel, kus valgust on vähem. Samuti võivad autode esituled öösel madalamal asuvat kaamerat pimestada.
- Varjud võivad tekitada topelt-tuvastusi.
- Tugeva vihma või udu korral võib tuvastuse kvaliteet langeda märgatavalt.

- Lumeolud lisavad tuvastusele keerukust.
- Posti otsa paigaldatud kaamerad võivad tugeva tuulega kõikuda, mis vähendab videopildi kvaliteeti.

Lisaks ilmastikule, võivad probleemseks saada ka muud takistused videopildil. Näiteks parklas asuvad suured puud või reklaamplakatid. Kaamera lääts saab ajaga mustaks ja vajab puhastamist. Kui kaamera on paigaldatud madalale, siis suurem sõiduk võib varjata tema taga asuva sõiduki.

Tabel 3 võtab videotuvastuse omadused kokku:

Tabel 3. Videotuvastuse tehnoloogia omaduste kirjeldus

<b>Paigaldamise keerukus</b>	Server peab asuma parkimisalal või selle vahetus läheduses. Võimalik, et lisaks tuleb paigaldada kaameraposte või saada kokkulepe kõrvalasuvate majahalduritega.
<b>Tetööde vajadus</b>	Ei
<b>Mehaaniline kulumine</b>	Ei
<b>Elektri- ja võrgujuhtmete vedamise vajadus</b>	Jah
<b>Jooksev hooldus</b>	Kaamerate puhastamine Üldjuhul on kaamerad vähemnõudlikud LPR kaameratest
<b>Ilmastikukindlus</b>	Väga ilmastikutundlik - nii ööpäevase tsükli kui ka aastase tsükli suhtes. Algoritm peaks olema suuteline arvestama kõigi võimalike ilmastikuoludega.
<b>Vandaalikindlus</b>	Kui kaamerad paigaldada piisavalt kõrgele, siis vandaalikindel
<b>Lugemise täpsus</b>	kuni 95% hea ilmastiku korral [13]
<b>Lisa (äri)võimalused</b>	Sobib parkimisaladele, kus muude tehnoloogiate kasutamine oleks liigselt kallis Kaameraid võib kasutada ka turvakaameratena Võimalus tuvastada ka valesti parkijad Tulemuse kontrollimine on lihtne ka eemalt

<b>Riskid ja probleemid</b>	Ei pruugi sobida parklatesse, kus palju segavaid objekte - reklaamitahvleid, puud, põõsad või muud juurdeehitused
<b>Hind</b>	★★★★☆ <sup>1</sup>

### 3.4 ÕHUVOOLIK

Kontseptsioon seisneb selles, et õhuvoolikud veetakse risti sõiduteega. Voolikud on ühelt poolt suletud ja teine pool on ühendatud lugerisse. Kui auto ratas sõidab voolikust üle, siis tekib voolikus õhurõhk ja õhupuhang, mis liigub mööda voolikut edasi. Lugeripoolses otsas õhupuhang sulgeb lüliti ja selle tulemusena tekib elektrisignaal, mis suunatakse loendurisse ja seda analüüsivasse arvutiprogrammi. [13]

Joonisel 6 on näidatud pilt õhuvooliku paigaldamise hetkest.



Joonis 6. Õhuvooliku paigaldamine [17]

---

<sup>1</sup> Hind on autori hinnanguline. Enamus täislahenduse pakkujaid saavad vaid individuaalseid hinnapakkumisi. Paljud operaatorid lasevad endale programmeerida videotuvastuse algoritmid rätseplahendused.

Sõiduki sõidusuuna saab tuvastada vastavalt sellele, millisest voolikust tuli signaal esimesena. Vastavalt õhupuhangu tugevusele saab määrata sõiduki tüübi - mootorrattastel on reeglina kitsamad rattad, mis tekitavad väiksema rõhu voolikus, rasketel veoautodel on tihti topelt-rattad, mille tagajärjel on rõhk voolikus suurem. Mida kiiremini rõhk voolikus kasvab, seda suurem on mööduva sõiduki kiirus.

Tavaliselt kasutavad seda tehnoloogiat maanteeametid ja omavalitsused, et lühiajaliselt lugeda huvipakkuval teelõigul sõidukite kogust ja nende tüüpe, sõidukite kiirust, vahesid sõidukite vahel ja ristmikel viivitusi [13]. Hiljem seda infot analüüsides ja ajas pikendades, planeeritakse teede laiendusi ja liikluse muudatusi.

Tehnoloogia tugevuseks on kiire paigalduse aeg ja väike hind. Voolikud ja lugerid on odavad ja neid on lihtne hallata. Lugerite tootjad pakuvad tihti ka tarkvara tulemuste analüüsimiseks. [13] Süsteem tarbib vähe voolu, mistõttu puudub vajadus elektrivoolu vedamiseks. Reeglina kasutatakse akusid, mis hoiavad süsteemi tegevuses kuni 4 - 5 aastat [18, 19].

Suurimaks nõrkuseks on lugemistäpsus. Tootjad väidavad lugemistäpsuseks kuni 99%. Täpsuse mõõtmiseks on korraldatud mitmeid katsetusi. Katsetused näitasid, et keskmine viga päevase liikluse loendamisel võis tõesti olla nullilähedane. Kuid tüüpilise 15-minutilise perioodi loendamisel võis viga olla kuni kümme protsenti. Loendamise ebatäpsuse peidab asjaolu, et positiivsed ja negatiivsed valelugemised tasandavad end välja. Kiiruse ja sõidukitüübi tuvastamise vead olid veelgi suuremad. [20] Muude nõrkustena võib välja tuua lugemistäpsuse kvaliteedi languse alades, kus on mitmeteljeliste busside ja veoautode arv suur. Samuti on süsteem temperatuuritundlik. Jälgida tuleb ka voolikutes aukude teket loomuliku kulumise või vandalismi tagajärjel. [13]

Õhuvoolikute lahenduse omadusi kirjeldab kokkuvõtvalt tabel 4.

Tabel 4. Õhuvoolikute lahenduse omaduste kirjeldus

<b>Paigaldamise keerukus</b>	Väga lihtne ja vajab minimaalselt lisateadmisi. Võimalik paigaldada nii ajutine kui ka alaline lahendus
<b>Teetööde vajadus</b>	Ei
<b>Mehaaniline kulumine</b>	Jah

<b>Elektri- ja võrgujuhtmete vedamise vajadus</b>	Lahendus võib olla täis-autonoomne ja ei vaja voolu ega võrku
<b>Jooksev hooldus</b>	Põhilisteks haldustegevusteks on akuvahetus ja voolikute seisukorra kontroll.
<b>Ilmastikukindlus</b>	Lugeri saab paigaldada ilmastiku- ja vandaalikindlasse kasti. Voolikud on reeglina väliskeskkonna ees kaitsetud.
<b>Vandaalikindlus</b>	Lugeri saab paigaldada ilmastiku- ja vandaalikindlasse kasti. Voolikud on reeglina väliskeskkonna ees kaitsetud.
<b>Lugemise täpsus</b>	90 - 99%
<b>Lisa (äri)võimalused</b>	Võimalik tuvastada sõiduki kiirus, tüüp ja vahed sõidukite vahel
<b>Riskid ja probleemid</b>	Sobib pigem väiksema liiklusega aladele, sest kahe kõrvuti oleva sõiduki tuvastamine pole võimalik Lumesahad ja tänavakoristusmasinad võivad voolikuid vigastada Pole teada, kuidas sõidukid parkimisalal paiknevad
<b>Hind</b>	★★☆☆☆

### 3.5 PIESOELEKTRILINE KAABEL

“Piezoelektriline efekt on teatud materjalide võime genereerida elektrilist laengut mehaanilise rõhu tagajärjel” [21]. Sellised materjalid on näiteks loomulikult leiduvad berliniit ja kvarts või inimloodud baarium titaan. Rakendades materjalile mehaanilist rõhku (näiteks kokku surumine), muutuvad materjali sees olevad positiivse ja negatiivse laengu keskpunktide asukohad. Selle tulemusena tekib väline elektriväli. Seejuures on piezoelektrilistel materjalidel unikaalne omadus - sama efekt toimib ka vastupidi. Kui materjalile rakendada elektrilist laengut, siis tekib mehaaniline rõhk ehk materjal muudab oma kuju. [21]

Piezoelektrilise materjali põhjal loodud sensorid suudavad tuvastada väga täpselt ka üliväikest rõhumuutust, mistõttu kasutatakse neid heliseadmetes nagu piezoelektrilised

mikrofonid ja elektriliselt võimendatud kitarrid või meditsiiniseadmetes, näiteks ultraheliseadmed. Samuti kasutatakse seda laialdaselt tänapäeva mootorites. Veel üks tüüpiline kasutusvaldkond on elektrilised valgumihklid. Nupule vajutades, lööb haamer vastu piesoelektrilist materjali, mille tulemusena tekib piisavalt kõrge pinge, et elektrivool süütaks gaasi. [21]

Kuigi auto tuvastamiseks on võimalik piesoelektrilise materjali põhjal kasutada heli- või vibratsioonisensorid, on kõige lihtsam ja odavam kasutada peatükis 3.4 kirjeldatud paigaldusega sarnast lahendust, kus sisse- ja väljasõidul paigaldatakse sõiduteega risti kaablid. Kui auto sõidab kaablist üle, tekib mehaaniline surve, mis genereerib elektrilaengu. Kaabli otsas olev luger registreerib laengu ja nii tuvastatakse ühe telje ületus. Selline lahendus suudab väga täpselt tuvastada teljeületust ja selle massi (ehk sõiduki tüüpi), kuid keerulisem on tuvastada sõidukite arv paljuteljeliste sõidukite ja haagiste tõttu. Kiiruse mõõtmiseks tuleb paigaldada vähemalt kaks kaablit.

Kaabli saab paigaldada ajutiselt sarnaselt õhuvoolikuga, vedades selle lihtsalt üle sõiduraja või alaliselt. Sellisel juhul reeglina lõigatakse sõiduteele soon, kuhu paigaldatakse kaabel ja kaetakse pehme kummimaterjaliga. Paigaldus on küll ajamahukam ja kallim, kuid tulemus on vastupidavam mehaanilistele kahjustustele.

Tabel 5 kirjeldab kokkuvõtvalt piesoelektriliste kaablite põhjal loodud lahenduse omadusi.

Tabel 5. Piesoelektriliste kaablite lahenduse omaduste kirjeldus

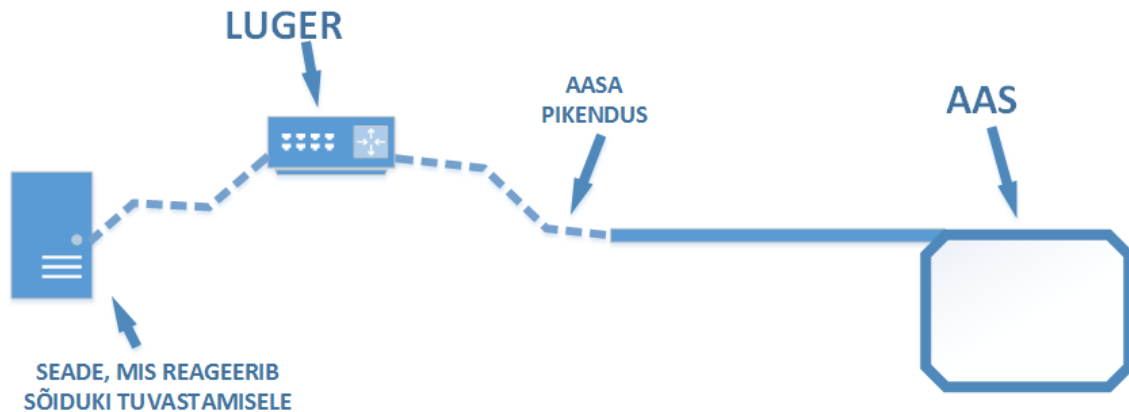
<b>Paigaldamise keerukus</b>	Paigaldamise keerukus sõltub sellest, kas soovitakse ajutist või alalist lahendust
<b>Teetööde vajadus</b>	Alalise lahenduse puhul tuleb teostada teetöid ja ajutiselt sulgeda liiklus
<b>Mehaaniline kulumine</b>	Jah
<b>Elektri- ja võrgujuhtmete vedamise vajadus</b>	Ei
<b>Jooksev hooldus</b>	Põhiliseks haldustegevuseks on akuvahetus lugeris

<b>Ilmastikukindlus</b>	Lugeri saab paigaldada ilmastiku- ja vandaalikindlasse kasti. Alalise lahenduse puhul on kaablid kaitstud teekatte all
<b>Vandaalikindlus</b>	Jah
<b>Lugemise täpsus</b>	Informatsioon puudub, kuid võib eeldada, et sarnane õhuvoolikutega ehk üle 90% lugemistäpsus. Teekatte temperatuur võib mõjutada lugemise täpsust [13]
<b>Lisa (äri)võimalused</b>	Võimalik tuvastada sõiduki kiirus, tüüp ja vahed sõidukite vahel
<b>Riskid ja probleemid</b>	Sobib pigem väiksema liiklusega aladele, sest kahe kõrvuti oleva sõiduki tuvastamine pole võimalik Alalise lahenduse puhul on kaabliparandus keeruline, kuna tuleb teostada teetöid - kaabli soonest eemaldamine, kaablivahetus või parandamine ja uue katte panemine Pole teada, kuidas sõidukid parkimisalal paiknevad.
<b>Hind</b>	★★★★☆

### 3.6 INDUKTSIOONIAAS

Sõiduki tuvastamiseks kasutatav induktsiooniasa süsteem koosneb kolmest komponendist: aas, aasa pikendusjuhe ja luger. Joonis 7 illustreerib süsteemi terviklikult. Aas on pidev juhe, mis paigaldatakse tavaliselt teekatte alla ristküliku vormis. Juhtme mõlemad otsad ühendatakse läbi pikendusjuhtme lugerisse, mis võib asuda mõned meetrid eemal ilmastikukindlas kastis. Luger tekitab juhtmetes elektrivoolu, mille tulemusena tekib aasa piirkonnas magnetväli. Aas resoneerub stabiilselt teatud sagedusel, mida luger jälgib. Kui suur metall-objekt (näiteks auto) liigub üle aasa, siis sagedus tõuseb. Luger tuvastab selle sageduse tõusu ja vastavalt oma ehitusele, saadab signaali edasi. [22]





Joonis 7. Induktsiooniasa süsteemi komponendid.

Aas paigaldatakse ligikaudu 5 cm sügavusele teekatte alla. Tuvastuskaugust võib seadistada vastavalt tundlikkusele ja see varieerub tootjate vahel, kuid üldiselt võib pidada reegliks, et maksimaalne tuvastuskaugus on  $\frac{2}{3}$  aasa lühemast küljest. Kui näiteks aas on 100cm korda 60cm, siis sellise aasa tuvastuskauguseks võib arvestada 40cm. Liiga suur aas aga ei suuda tuvastada autode vahesid, kui nad liiguvad väiksel kiirusel ja üksteisele väga lähedastikku. Mida lähemal on objekt, seda lihtsam on seda tuvastada. Seepärast on madalaid (sport)autosid lihtsam tuvastada kui kõrgeid maastureid. [22]

Induktsiooniasa süsteemid on temperatuuritundlikud - kui aasa temperatuur tõuseb, siis sagedus langeb. Tänapäeva lugerid oskavad arvestada sujuva baassageduse muutusega, kuid tuleb arvestada äkiliste temperatuuride muutustega. Sellisel juhul on võimalikud vale-tuvastused. [22]

Induktsiooniasa süsteemid on küllaltki laialt levinud ja nende töökindluse tõttu kasutatakse neid mitmetel aladel, näiteks restoranid kasutavad neid oma auto-tellimise radadel - kui auto jõuab kindlasse punkti, siis aktiveeritakse mikrofoni ja audio süsteemi. Samuti saab seda süsteemi kasutada väravate avamiseks või ristmikel valgusfooride juhtimiseks [22].

Parkimises suurte metall-objektide tuvastamine tähendab seda, et ei teki valelugemisi kui näiteks jalakäiad aasa ületavad, kuid samas võib tekkida probleem kergemate mootorrattaste tuvastamisega. Induktsiooniasa saab paigaldada sisse- ja väljasõidule. Eelistatud on olukorrad, kus sõiduki sõidukiirus on aasa ületamisel väike või tuleb hoopis seisma jääda. Väiksemate parklate puhul on võimalik jälgida ka iga parkimiskohta eraldi,



paigaldades aasa iga parkimiskoha alla. Suuremate parklate puhul ei ole see enam majanduslikult mõttekas.

Tabel 6 kirjeldab kokkuvõtvalt induktsiooniaasa süsteemi omadusi.

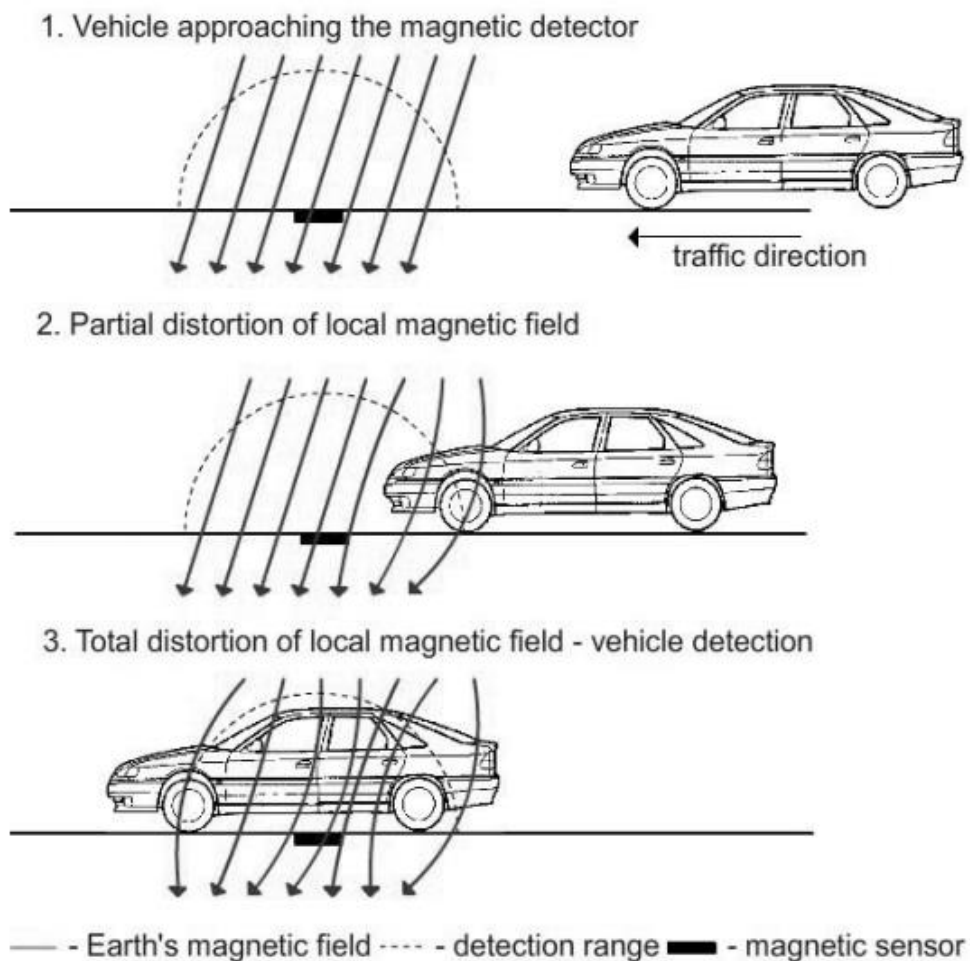
Tabel 6. Induktsiooniaasa süsteemi omaduste kirjeldus

<b>Paigaldamise keerukus</b>	Paigaldamise täpsus ja materjalide kvaliteet on väga tähtis, kuna see mõjutab suurel määral lugemise täpsust.
<b>Teetööde vajadus</b>	Eelistatud on paigaldamine teekatte panemise hetkel. Vastasel juhul tuleb teostada teekatte töid ja aasa jaoks teha sisselõikeid teekattesse.
<b>Mehaaniline kulumine</b>	Jah, väikesel määral
<b>Elektri- ja võrgujuhtmete vedamise vajadus</b>	Jah
<b>Jooksev hooldus</b>	Induktsiooniaasad vähendavad teekatte eluiga Vigade parandamine on raskendatud, kuna aasa väljavahetamine nõuab liikluse seiskamist ja teetöid
<b>Ilmastikukindlus</b>	Temperatuuritundlik
<b>Vandaalikindlus</b>	Jah
<b>Lugemise täpsus</b>	95% [23]
<b>Lisa (äri)võimalused</b>	Uuemate lahenduste puhul võimalik tuvastada ka sõiduki klass. Mõtme aasa süsteemi puhul võimalik leida sõidukite kiirus
<b>Riskid ja probleemid</b>	Paigaldamine on kulukas ja keeruline Tundlik füüsilise kulumisele Nõuab kvaliteetset teekatet Ei pruugi sobida igale poole - näiteks metallist sillale
<b>Hind</b>	★★★☆☆

### 3.7 MAGNETANDUR

Magnetsensorid toimivad põhimõttel, et suur metall-objekt mõjutab magnetvälja. Kui muud sensorid, näiteks valguse- või temperatuurisensorid, konverteerivad mõõdetava parameetri otseselt sobivaks väljundiks, siis magnetsensorid tajuvad muudatusi kaudselt: ratta kiirus, sõiduki olemasolu, suuna tajumine mõjutab magnetvälja, mida sensor jälgib ja magnetvälja muutustest tehakse järeldused soovitud parameetri kohta. [24]

Maa tekitab ühtlase pideva magnetvälja üle suure piirkonna (mitmed kilomeetrid). Metalsed objektid tekitavad muidu korrapärase magnetvoos häireid. Magnetandurid suudavad selliseid häireid tuvastada. Paljud auto koostisosad on tehtud metallist - mootor, veermik, kereosad, kruvid ja mutrid. Selle tulemusena on Maa magnetväli auto läheduses ebakorrapärane. Joonis 8 illustreerib auto mõju magnetvoole anduri mõõtmisalas. [24, 25, 26]



Joonis 8. Sõiduki mõju Maa magnetvoole. [25]

Magnetandurite eeliseks võib pidada nende mitmekesisust. Neid saab paigaldada mitmel viisil ja nad on saadaval erineval kujul. Magnetandureid saab paigaldada nii sisse- ja väljasõidu sõiduradadele kui ka igale parkimiskohale eraldi. Anduri võib matta teekatte alla, paigaldada teekatte peale selliselt, et sõiduk selle kohalt üle sõidaks, paigaldada parkimiskoha kohale suunaga allapoole või paigaldada sõiduraja kõrvale. Andurini võib vedada voolu, kuid on olemas ka mudeleid, mis töötavad akude pealt, mille eluiga on kuni 5 aastat. Infot saab edastada juhtmega või üle õhu. [13, 24]

Magnetandurid võib jagada aktiivseteks ja passiivseteks. Põhimõte on mõlemal sama: sõiduk tuvastatakse Maa magnetvoo põhjal. Aktiivsed magnetandurid koosnevad tavaliselt metalse varda ümber keritud mähisest või sarnaselt induktsiooniaasale, juhtmest. Passiivsed andurid võivad jälgida 1 - 3 telge. 1-teljelised andurid paigaldatakse tavaliselt sõidurajale või selle alla. Nad on võimelised tuvastama sõiduki olemasolu või selle läbimise. 3-telje jälgimise andurid suudavad lisaks eelnimetatule tuvastada ka sõiduki tüübi ja sõidusuuna. Mitme järjestikuse anduri puhul on võimalik leida ka sõiduki kiirus ning pikkus. Magnetandurid suudavad tuvastada objekte kuni 15 meetri kauguseni, kuid mida väiksem ja mida kaugemal on objekt, seda kehvem on mõõtmistulemus. Üldjuhul on mõistlik mõõtmiskaugus kuni 1.5 meetrit. [13, 24, 27]

Tabel 7 kirjeldab kokkuvõtvalt magnetanduri omadusi.

Tabel 7. Magnetanduri omaduste kirjeldus

<b>Paigaldamise keerukus</b>	Sõltub valitud anduri tüübist. Võimalik vajadus vedada vool või paigaldada päikesepaneelid.
<b>Teetööde vajadus</b>	Sõidurajale paigaldatavad andurid vajavad teekattetöid.
<b>Mehaaniline kulumine</b>	Ei
<b>Elektri- ja võrgujuhtmete vedamise vajadus</b>	Vastavalt mudelile võib olla vajadus
<b>Jooksev hooldus</b>	Vähemnõudlik teekatte kvaliteedile ja kulumisele kui induktsiooniaasad Akudel toimivad lahendused vajavad akude vahetamist Tänapäeva lahendused suudavad iseseisvalt oma seisuga jälgida ja teavitada kui aku hakkab tühjaks saama või andur enam ei vasta

<b>Ilmastikukindlus</b>	Ilm lugemistäpsust ei mõjuta
<b>Vandaalikindlus</b>	Pigem vandaalikindel
<b>Lugemise täpsus</b>	85 - 99% [25]
<b>Lisa (äri)võimalused</b>	Võimalik lisaks tuvastada ka sõiduki pikkus, suund, kiirus, tüüp. Väga rohke valikuvõimalus, mis lubab valida konkreetsele parkimisalale kõige sobivama lahenduse. Sobib nii sise- kui väliparklatele. Ilm Maa magnetvälja ei mõjuta
<b>Riskid ja probleemid</b>	Kompromiss lugemistäpsuse ja valelugemiste vahel (nt jalgratta tuvastamine) Osad andurid ei suuda tuvastada seisvat või aeglasel kiirusel (alla 10km/h) liikuvat sõidukit
<b>Hind</b>	★★☆☆☆ <sup>1</sup>

### 3.8 AKUSTILINE ANDUR

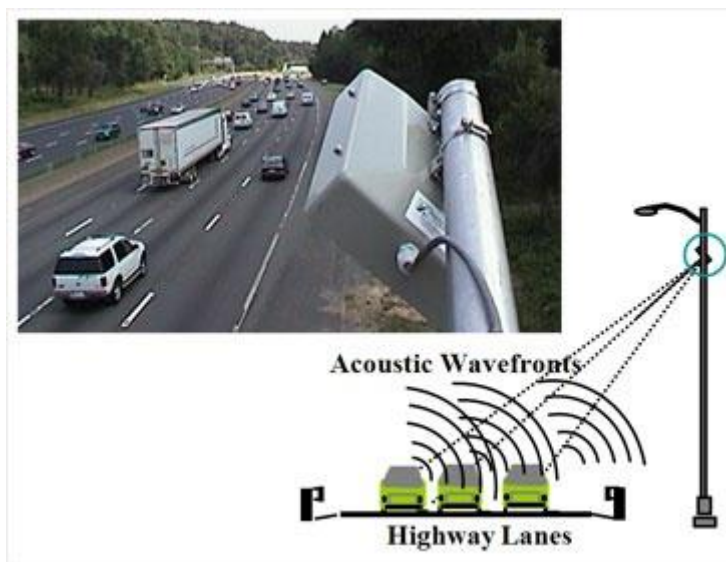
Praktiliselt kõik sõidukid tekitavad akustilist energiat (häält) kas mootori poolt või rehvide ja teekatte kokkupuutest. Selle info põhjal suudavad tee äärde paigaldatud passiivsed akustilised andurid sõiduki olemasolu tuvastada. Kui sõiduk läbib tuvastustsooni, siis helitase selles piirkonnas suureneb, mille põhjal andur väljastab sõiduki olemasolu signaali. Sõiduki lahkumisel tuvastustsoonist, helitase langeb alla läve ja sõiduki olemasolu signaali saatmine lõpetatakse. [28] Paljud tänapäeva akustilised andurid kasutavad ära piesoelektrilist efekti, mis on kirjeldatud peatükis 3.5. Helirõhu toimel tekib elektrivool, mille andur tuvastab ja edastab vastava signaali. [29, 30]

Andurid võib paigaldada kahel erineval viisil: paigaldada andurid ükshaaval piki sisse- ja väljasõiduteed või kasutada mitme anduriga (anduritest tekitatakse ristikülükujuline ala) ühtset seadet, mis paigaldatakse sõidutee kohale suunaga alla. Üks seade suudab

---

<sup>1</sup> Eeldatud on anduri paigaldamine sisse- ja väljasõidule. Kui andur paigaldada igale parkimiskohale, siis hind kasvab vastavalt parkimiskohtade arvule.

paralleelselt jälgida mitut sõidurada korraga. Joonisel 9 on näidatud ühe sellise mitme anduriga seadme kuju. Tööpõhimõte on mõlemal lahendusel sama. Heli ei jõua kõikidesse mikrofonidesse samaaegselt, mistõttu on võimalik tuvastada sõiduki suund. Eeldades sõidukite keskmist pikkust, võib leida ka sõiduki ligikaudse sõidukiiruse. [13, 31, 32]



Joonis 9. SmarTek SAS-1 passiivne akustiline tuvastaja [32]

Tabel 8 kirjeldab kokkuvõtvalt akustilise anduri põhjal loodud lahenduse omadusi.

Tabel 8. Akustilise anduri põhise süsteemi omaduste kirjeldus

<b>Paigaldamise keerukus</b>	Sõltub lahenduse tüübist. Üksikud andurid tarbivad vähe energiad, mistõttu on võimalik kasutada akude lahendust või kasutada päikesepaneele. Ühtse seadme puhul on seadistamine pikem ja keerulisem.
<b>Teetööde vajadus</b>	Ei
<b>Mehaaniline kulumine</b>	Ei
<b>Elektri- ja võrgujuhtmete vedamise vajadus</b>	Sõltub mudelist
<b>Jooksev hooldus</b>	Peale esialgset seadistamist haldamist pigem ei nõua
<b>Ilmastikukindlus</b>	Külmema temperatuuriga lugemistäpsus väheneb [13]

<b>Vandaalikindlus</b>	Jah
<b>Lugemise täpsus</b>	<95% [31]
<b>Lisa (äri)võimalused</b>	Osad seadmed võimaldavad jälgida mitut sõidurada korraga
<b>Riskid ja probleemid</b>	Algoritm peab olema suuteline eemaldama taustamüra Keerulisem tuvastada aeglaselt liikuvaid sõidukeid [13]
<b>Hind</b>	★★★★☆ <sup>1</sup> [33]

### 3.9 INFRAPUNA

Infrapunaandurid, mida kasutatakse sõidukite tuvastamiseks võib jagada kahte gruppi: aktiivsed ja passiivsed. Andurid paigaldatakse reeglina sisse- ja väljasõidu kohale või sõiduraja äärde. Infrapunaanduritega on võimalik tuvastada sõiduki olemasolu ja möödumine, kiirus ning tüüp. Aktiivne infrapunaandur väljastab oma tuvastuspiirkonda infrapuna energiat. Selleks kasutatakse kas LED'i või laserit. Infrapuna energia läbib tuvastusala, peegeldub sõidukilt ja satub tagasi infrapuna andurisse, kus see suunatakse infrapuna tundlikule materjalile. Kuna peegeldunud energia hulk sõiduki olemasolul ja selle puudumisel on erinev, siis on võimalik energia hulga järgi tuvastada sõiduk. Tänapäeva andurid suudavad tekitada mitu kiirt, tekitades selliselt mitu tuvastustsooni. Jälgides, millist tsooni läbib sõiduk esimesena ja mõõtes ühest tsoonist teise tsooni jõudmiseks kuluvat aega, on võimalik leida ka sõiduki sõidusuund ja kiirus. Moodsad laserid suudavad tekitada ka sõidukite kahe- või kolmemõõtmelised pildid, mida kasutatakse sõiduki tüübi tuvastamiseks. [34]

Passiivsed infrapunaandurid mõõdavad energiat, mis kiirgab teekattelt, sõidukilt ja muudelt objektidelt, kuid andur ise energiat välja ei saada. Energiat kiirgavad kõik

---

<sup>1</sup> Hetkel pole akustiliste andurite põhjal sõidukite tuvastamine veel laialtlevinud, mistõttu saadaval on vaid vähesed lahendused, mille hind on pigem kõrge. Üksikute mikrofonide hinnad on madalad, mistõttu rätseplahendus võib kokkuvõttes tulla soodsam.

objektid, mille temperatuur on üle absoluutse nulli ( $-273.15^{\circ}\text{C}$ ). Infrapunaandurid on loodud sellisena, et nad on võimelised seda energiat tuvastama. [34]

Infrapunaandurid saab paigaldada ka igale üksikule parkimiskohale, liimides nad teekattele või paigaldades nad teekatte sisse. Tavapäraselt on on ühes seadmes mitu andurit korraga, näiteks infrapunaandur ja magnetandur. Seadmed edastavad infot kesksesse serverisse üle võrgu ja energiat tarbivad akudelt, mille eluiga on 5 - 10 aastat. [35]

Infrapunaanduritel on mitmeid puudusi, mis vähendavad lugemistäpsust. Päikesepeegeldused, mis satuvad anduri optikasse, võivad tekitada valelugemise. Ilmastikuolud - udu, vihm, lumi, suits, mustus - võivad samuti lugemistäpsust vähendada. [34] Neid piiranguid arvestades, sobivad infrapunaandurid pigem kinnisesse parkimismajja.

Tabel 9 annab kokkuvõtva ülevaate infrapuna anduritest.

Tabel 9. Infrapunaanduritel põhineva süsteemi ülevaade

<b>Paigaldamise keerukus</b>	Keerulisemad mudelid nõuavad seadistamist, et võimaldada lisavõimalusi.
<b>Teetööde vajadus</b>	Sisse- ja väljasõidu jälgimine ei nõua teekattetöid.
<b>Mehaaniline kulumine</b>	Ei
<b>Elektri- ja võrgujuhtmete vedamise vajadus</b>	Sõltub valitud mudelist
<b>Jooksev hooldus</b>	Peale esialgset seadistamist haldamist pigem ei nõua Andur nõuab head visuaalset sidet sõidukiga
<b>Ilmastikukindlus</b>	Ilmastikutundlik
<b>Vandaalikindlus</b>	Võimalik paigaldada piisavalt kõrgele, et oleks vandaalidele kättesaamatu.
<b>Lugemise täpsus</b>	Info puudub
<b>Lisa (äri)võimalused</b>	Kui andur paigutada sõidutee kõrvale, siis võimalik jälgida mitu sõidurada korraga.

	Sõidukite kiiruse, suuna ja tüübi tuvastamine Üldjuhul töötab sama hästi nii öösel kui päeval
<b>Riskid ja probleemid</b>	Seadme tarkvara peab olema suuteline arvestama sujuvate temperatuurimuudatustega
<b>Hind</b>	★★★★☆ [36]

### 3.10 ULTRAHELI

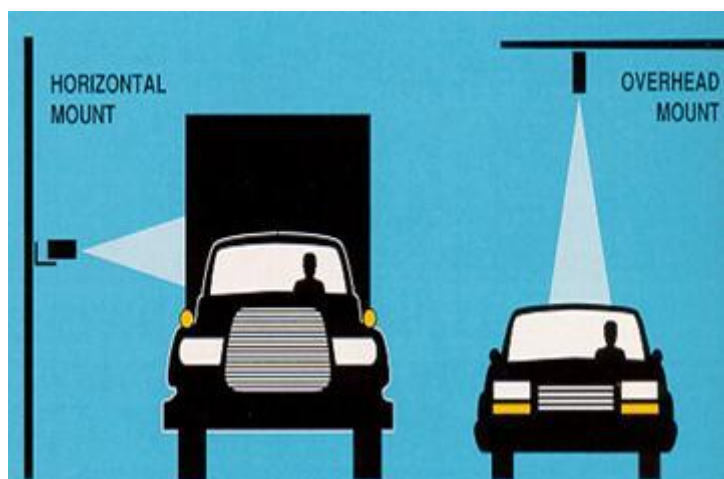
Ultraheli andurid tuvastavad objektid mõõtes nende kaugust helilainete abil. Helilaine on mehaaniline laine, mis levib läbi tahkete, vedelate ja gaasiliste keskkondade. Kõrgema sagedusega helilained peegelduvad takistustelt ja moodustavad selliselt kaja. Inimesed suudavad tuvastada heli sagedusel 20Hz kuni 20 KHz. Ultraheli seadmetes kasutatakse sagedusi 40KHz piirkonnas, seega pole seadmete poolt tekitatav heli inimkõrvale kuuldav. [37]

Ultraheli anduris on kaks komponenti: saatja ja vastuvõtja. Mõlemad muundavad mehaanilise energia elektrienergiaks või vastupidi [37]. Selleks kasutatakse näiteks piezoelektrilisi elemente, mis saatjas voolu all muundavad oma kuju ja tekitavad sellega teatud sagedusel vibratsiooni ehk helilainet. Vastuvõtjas helilaine mehaanilise rõhu tulemusena aga tekitavad elektrivoolu. Saatja saadab välja helilaine, see levib tuvastuspiirkonnas ja põrkub tuvastusalas olevalt objektilt tagasi. Vastuvõtja tuvastab põrkunud kaja. Andur mõõdab saatja poolt saadetud signaali ja vastuvõtja poolt vastuvõetud signaali vahel kuluva ajavahe. Teades heli liikumise kiirust antud keskkonnas, on võimalik leida kaugus - vahemaa, mida läbib helilaine saatjast objektini ja tagasi. [37]

Andurid nõuavad vähe energiat, mistõttu saab kasutada autonoomseid akudel toimivaid lahendusi. Mõõtekaugus on paarist sentimeetrist nelja meetrini. Arvestada tuleks ka sellega, et helilaine liigub koonuse kujuliselt, mille nurk on kuni 15°. [37] Kui andur paigaldada liiga kõrgele, siis tuvastuspiirkond muutub liialt suureks, mistõttu võivad tekkida valetuvastused.



Parkimise tuvastamiseks on ultraheli anduril mitmeid puudujääke. Tööpõhimõttest lähtuvalt peaks andur asetsema täpselt sõiduki kohal või selle küljel, kus helilaine liikumise nurk on minimaalne, vastasel juhul võib helilaine pörkuda vale nurga all ja kaja ei sattu vastuvõtjasse. Joonisel 10 on illustreeritud tüüpilised ultraheli anduri paigaldamise asendid. Lisaks on ultraheliandurid tundlikud temperatuurimuutustele ja suurele õhuniiskusele. Mida suurem on temperatuur ja õhuniiskus, seda kehvem on mõõtmistäpsus. Temperatuurimuutuste ja õhuniiskuse mõju on võimalik tarkvaraliselt vähendada. Lugemistäpsust võivad vähendada ka ekstreemsed tuulepuhangud ja tugev vihm. Väike mustus ja pori saatjal ja vastuvõtjal anduri tööd ei mõjuta, kuid peaks vältima vee, lume ja jää kogunemist anduri piirkonnas. [37, 38] Seetõttu on kinnised parkimismajad eelistatud kohaks ultraheli andurite kasutamiseks.



Joonis 10. Ultraheli anduri soovituslikud paigaldusasendid [13]

Tabel 10 võtab kokku ultraheli anduri omadused.

Tabel 10. Ultraheli anduri ülevaade

<b>Paigaldamise keerukus</b>	Esimene paigaldamine võib nõuda seadistamist - kõrguse määramine
<b>Teetööde vajadus</b>	Ei
<b>Mehaaniline kulumine</b>	Ei
<b>Elektri- ja võrgujuhtmete vedamise vajadus</b>	Ei

<b>Jooksev hooldus</b>	Akude vahetamine iga 5 aasta tagant
<b>Ilmastikukindlus</b>	Ilmastikutundlik
<b>Vandaalikindlus</b>	Võimalik paigaldada piisavalt kõrgele, et oleks vandaalidele kättesaamatu.
<b>Lugemise täpsus</b>	Info puudub
<b>Lisa (äri)võimalused</b>	Võimalus lisada andurile LED tuli, mis näitab parkijatele parkimiskoha olekut - vaba või hõivatud Lugemist ei mõjuta sõiduki värv või läbipaistev materjal (klaas)
<b>Riskid ja probleemid</b>	Seadme tarkvara peab olema suuteline arvestama sujuvate temperatuurimuudatustega Piirangud asendiga - peab olema kas täpselt sõiduki kohal või selle küljel
<b>Hind</b>	★★★☆☆

### 3.11 MIKROLAINE RADAR

Radari tehnoloogia arendati teise maailmasõja aegu [13]. Tänapäeval on radar kasutuses väga laialdaselt erinevates valdkondades. Näidetena võib tuua lennujuhtimiskeskuseid, mis jälgivad lennukeid maal ja õhus; politseid, mis mõõdab liikluse kiirust; või kosmoseagentuure, mis tänu radarile konstrueerivad planeetide pinda ja jälgivad kosmoseprügi. [39]

Radar kasutab oma töös kaja ja Dopleri efekti. Kõige lihtsam on neid seletada heliga. Kui karjuda kuristikku, siis mõne aja pärast kajab see vastu. Kaja tekib heli peegeldumisest mõnelt pinnalt. Ajavahemik esialgselt karjest kuni kajani sõltub peegeldunud pinna kaugusest. Dopleri efekt tekib, kui heli peegeldub liikuvalt objektilt. Kui auto liigub vaateleja suunas ja laseb pidevalt signaali, siis vaateleja kuuleb auto lähenedes ühte heli, kuid auto möödumisel ja kaugenemisel heli muutub. Autosignaal on seejuures teinud kogu aeg sama häält. Seda nähtust kutsutakse Dopleri efektiks. Heli liigub teatud kiirusega. Täpne kiirus sõltub õhuniiskust, õhurõhust ja temperatuurist, kuid näiteks

kasutame heli kiiruseks 300 m/s. Kui auto seisab 1800 meetri kaugusel ja laseb täpselt 1 minut signaali, siis heli liigub kuulajani kiirusel 300 m/s ja jõuab kuulajani 6 sekundi pärast ning kestab 1 minut. Kui aga sama auto alustab liiklust 1800 meetri kauguselt ja liigub kuulaja poole kiirusega 30 m/s, siis tekib sama 6 sekundiline viivis, kuid kuulaja kuuleb heli 1 minuti asemel vaid 54 sekundit. See tekib sellest, et 1 minuti pärast on auto täpselt kuulaja kõrval ja heli jõuab kuulajani praktiliselt samaaegselt. Auto on aga lasknud signaali 1 minut, seega sama arv helilaineid on kokku surutud 54 sekundi sisse, mistõttu sagedus kasvab ja heli kõlab teisena. Auto möödumisel sama nähtus toimub vastupidiselt. [39]

Kui suunata vali heli läheneva auto suunas, siis osa helist pörkub tagasi (kaja). Kuna auto läheneb, siis helilained on kokku surutud. Seega helikõrgus on suurem kui see, mis sai esialgselt välja saadetud. Kui mõõta kaja helikõrgust, on võimalik välja arvutada läheneva auto sõidukiirus. [39]

Sellist helil põhinevat radarit kutsutakse sonariks ja seda kasutatakse näiteks allveelaevadel. Helil aga on mitmeid puudusi - see ei levi väga kaugele, heli on kõigile kuulda ja kaja on väga nõrk, mis võib raskendada selle tuvastuse. Seetõttu kasutatakse helilainete asemel raadiolaineid. Nad levivad kaugemale, on inimesele nähtamatud ja nende kaja on lihtne tuvastada. [39]

Liikluse jälgimiseks kasutatavad radarid suudavad tuvastada sõiduki olemasolu, sõidusuuna ja liikumiskiiruse. Samuti ei ole nad enamasti ilmastikutundlikud, seega on neid võimalik kasutada välioludes. Vastavalt konkreetsele mudelile, on võimalik radar paigutada sisse- ja väljasõidu kohale või suunata parkimisala poole ja jälgida kogu parklat. Tabel 11 võtab kokku radari omadused.

Tabel 11. Radari ülevaade

<b>Paigaldamise keerukus</b>	Nõuab sobiva mudeli valimist konkreetse parkimisala jaoks. Võimalik määrata lugemisala kaugus, elimineerimaks valelugemised. Seega nõuab testimist
<b>Tööde vajadus</b>	Ei
<b>Mehaaniline kulumine</b>	Ei

<b>Elektri- ja võrgujuhtmete vedamise vajadus</b>	Vastavalt mudelile võib olla vajadus
<b>Jooksev hooldus</b>	Akude vahetamine vajadusel (1 kuu)
<b>Ilmastikukindlus</b>	Jah
<b>Vandaalikindlus</b>	Võimalik paigaldada piisavalt kõrgele, et oleks vandaalidele kättesaamatu.
<b>Lugemise täpsus</b>	98% [40]
<b>Lisa (äri)võimalused</b>	Hea lahendus väliparklates, kuna ei ole mõjutatud ilmastikust. Lisaks võimalik koguda infot kiiruse kohta. Üks radar võib kontrollida mitu sõidurada
<b>Riskid ja probleemid</b>	Väga lähestikku liikuvad/seisvad sõidukeid on keeruline eristada
<b>Hind</b>	★★★★☆

## 4 LAHENDUSTE VÕRDLUS

Eelmises peatükis kirjeldatud tehnoloogiaid uurides võib iga parkimisoperaator ise valida endale kõige sobivama lahenduse lähtudes oma parkimisalade eripäradest. Kuna otsuse tegemine võib olla keeruline paljude, tihti subjektiivsete kriteeriumite tõttu, siis järgnevalt kirjeldatakse viisi, kuidas saab teha võimalikult objektiivne otsus. Lahenduste võrdluse eesmärgiks on leida universaalne lahendus, mis sobib enamikele Tallinna parkimisaladele, arvestades Eesti ilmastikku ja muid eripärasid. Tulemus on vaid üks võimalikes variantidest, mis ühtib autori subjektiivsete hinnangutega. Parkimisoperaatoritel võivad olla teistsugused tingimused ja seega ka tulemus on erinev. Lahenduste võrdlemiseks kasutatakse T. L. Saaty poolt väljatöötatud analüütiliste hierarhiate meetodit. Arvutusteks ja tulemuste visualiseerimiseks kasutatakse WebHIPRE [41] vabavaralist tarkvara, mis kasutab eelnimetatud meetodit.

### 4.1 MEETODI KIRJELDUS

“(Meetod on) mõeldud eelkõige subjektiivsetel hinnangutel põhinevate süsteemide korrastamiseks. Korrastus võimaldab hiljem lahendust / valikut kaitsta” [42]. Meetod jagab võrdluse järgmisteks etappideks: probleemi sõnastamine, eesmärgi sõnastamine, kriteeriumite leidmine, alternatiivide (valikute) leidmine, otsustusmudeli koostamine, hinnangute andmine ja tulemuste analüüs. [42]

Parima alternatiivi (antud juhul sobivaima tehnoloogia) leidmiseks seatakse kriteeriumid ja vajadusel alamkriteeriumid. Seejärel võrreldakse kriteeriumid omavahel kahekaupa. Näiteks öeldakse, et lugemistäpsus on tähtsam kui vandaalikindlus. Samamoodi võrreldakse üksikult iga alternatiivi ja kriteeriumi, näiteks LPR lahendus on väga kallis. Paarikaupa võrdlemine on lihtsam kui panna kõik alternatiivid koheselt absoluutsesse paremusjärjestusse, sest otsustusvalik on väiksem. Kõikidele võrdlushinnangutele pannakse arväärtused skaalal 1 kuni 9 tabelis 12 toodud põhimõtte alusel. Tulemusena tekib tabel, kus igale alternatiivile on määratud kaalud (arvväärtused), mille põhjal on võimalik leida parim alternatiiv antud kriteeriumite suhtes.

Tabel 12. Saaty suhteskaalad [42]. Hinnangud 2, 4, 6, 8 on kompromiss teiste hinnangute vahel.

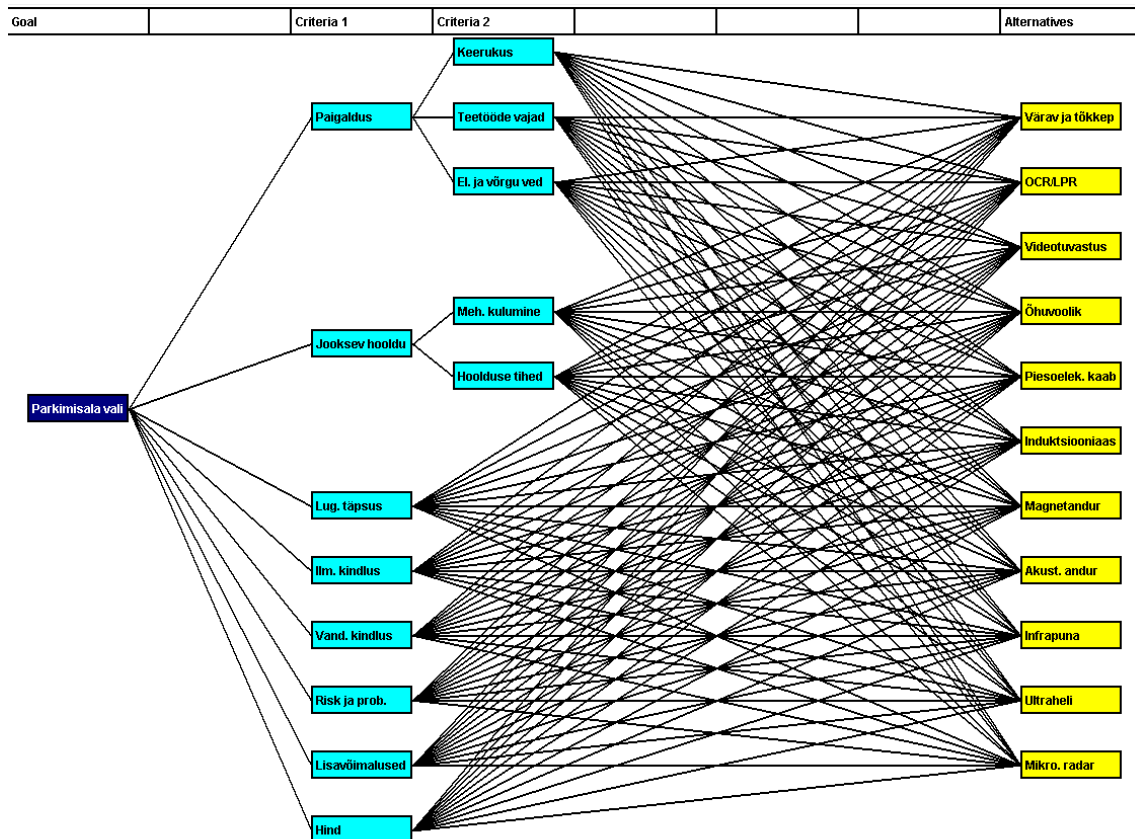
Hinnang	Definitsioon	Selgitus
1	Võrdtähtis	Eelist ei ole
3	Mõõdukas paremus	Kogemus ja hinnang annavad ühele eelise
5	Oluline paremus	Tugev eelistus
7	Väga tugev paremus	Praktikas kinnistatud eelistus
9	Ekstreemne paremus	Tugevaim eelistus

## 4.2 OTSUSTUSMUDELI KOOSTAMINE

Koostatava mudeli alternatiivideks on peatükis 3 kirjeldatud tehnoloogiad parkimisala täituvuse tuvastamiseks.

### 4.2.1 KRITEERIUMID

Järgmiselt on kirjeldatud kriteeriumid, mille põhjal erinevaid lahendusi võrrelda. Joonisel 11 on kuvatud kriteeriumid ja nende alamkriteeriumid visuaalselt. Paigaldamise alamkriteeriumiteks on paigaldamise keerukus, teetööde vajalikkus ja elektri- ning võrgujuhtmete vedamise vajadus. Jooksva hoolduse alamkriteeriumiteks on mehaaniline kulumine ning hoolduse tihedus. Ülejäänud on põhikriteeriumid.



Joonis 11. Hinnatavad kriteeriumid

## Paigalduse keerukus

Paigalduse keerukusena hinnatakse, kui keeruline ja aeganõudev on lahenduse ülesseadmine - kas on võimalik hakkama saada oma jõududega või tuleb tellida paigaldajad tootjalt; kas ülesseadmine nõuab pikka seadistamise ja testimise etappi või mitte; millised on muud lisatööd, näiteks serveriruumi vajadus läheduses, kokkulepped naaberkinnistu omanikega vms. Mida lihtsam ja seega odavam ning kiirem on tehnoloogia paigaldus, seda altimad on operaatorid seda kasutama.

## Teetööde vajadus

Lahendused, kus mingid süsteemi osad tuleb paigaldada teekattele, selle sisse või selle alla, nõuavad spetsiaalsete töövahendite soetamist parkimisoperaatori poolt ja kvalifitseeritud inimeste palkamist või teenuse sisseostmist spetsialiseeritud ettevõtete poolt. Samuti tuleb tööde teostamise ajaks liiklust piirata, mis võib häirida parkijaid. See on tülikas ja nõuab lisainvesteeringuid ning tööde planeerimist ja etteteatamist, mistõttu

eelistatud on lahendused, kus teetööde vajadus puudub. Hinnanguskaala on binaarne - eelis kas puudub (1 Saaty skaalal) või eelis on ekstreemne (9 Saaty skaalal).

### **Elektri- ja võrgujuhtmete vedamine**

Parkimisoperaatori ärimudeliks võib olla uute parkimisalade võimalikult odav ja kiire avamine ja seejärel selle kasutamise jälgimine, mis ütleb, kas antud parkimisalasse on mõttekas teha lisainvesteeringuid või mitte. Sellised parkimisalad võivad olla ajutised ehitusplatsid või muul moel eraldatud piirkonnad, kuhu elektri ja võrguühenduse vedamine on raskendatud või ebaotstarbekalt kallis. Seetõttu on eelistatud lahendused, mis ei nõua elektri- ja võrgujuhtmete vedamist seadmeteni. Hinnanguskaala on binaarne - eelis kas puudub (1 Saaty skaalal) või eelis on ekstreemne (9 Saaty skaalal). Kui lahendus on kasutatav nii elektrilt kui akudelt, siis hinnatakse vastavalt, mis valik on võrdlusmomendil soodsam.

### **Mehaaniline kulumine**

Lahendused, mis kuluvad ajas, muutuvad aegamööda ebatäpsemaks ja operaator peab pidevalt jälgima nende seisukorda ning vajadusel kuluosad välja vahetama. See nõuab lisatööd ja -raha. Seetõttu on eelistatud lahendused, millel puuduvad sellised kuluosad, mis vastavalt liiklustihendusele kuluvad. Hinnanguskaala on binaarne - eelis kas puudub (1 Saaty skaalal) või eelis on ekstreemne (9 Saaty skaalal).

### **Hoolduse tihedus**

Hoolduste alla kuuluvad akudel töötavate seadmete akude vahetus, kaamerate (läätsete) puhastus jms. Kui lahendus on mehaaniselt kuluv, siis ka komponendi vahetamise tihedus ja keerukus. Teekatte alla paigaldatud lahenduste vahetamine on palju keerulisem, nõuab lisaseadmeid ja liiklust tuleb ajutiselt piirata.

### **Lugemistäpsus**

Üldiselt 100% lugemistäpsuse tagaajamine ei ole vajalik ja esimeses etapis piisab suurusjärgu teadasaamisest. Siiski, mida täpsem on tehnoloogia, seda parem. Seda eriti tiptunnil, kus parkija võib olla nõrдинud, kui operaator ütleb, et parkimisalal on veel vabu parkimiskohti, kuid tegelikult see pole nii.



Osade tehnoloogiate puhul ei ole tehtud avalike uurimusi nende lugemistäpsuse kohta. Samuti tootjad pole välja toonud eeldatava lugemistäpsuse. Nende tehnoloogiate puhul võrdsustatakse lugemistäpsus kõige kehvema teadaoleva tulemusega, milleks on 85%.

Tehnoloogiate võrdlemisel iga 1% lugemistäpsuse erinevust annab 1 punkti Saaty skaalal:

- 0% - hinnang 1 Saaty skaalal
- 1% - hinnang 2 Saaty skaalal
- 2% - hinnang 3 Saaty skaalal
- 3% - hinnang 4 Saaty skaalal
- 4% - hinnang 5 Saaty skaalal
- 5% - hinnang 6 Saaty skaalal
- 6% - hinnang 7 Saaty skaalal
- 7% - hinnang 8 Saaty skaalal
- 8% ja enam - hinnang 9 Saaty skaalal

### **Ilmastikukindlus**

Ilm Eestis on väga muutlik. Suvel võib temperatuur küündida üle +30°C ja talvel alla -30°C. Aasta jooksul tuleb arvestada vihma- ja lumesaju võimalusega, mistõttu tehnoloogia peab olema võimeline töötama ka pori ja lörtsi tingimustes. Talveperioodil on päevavalgust vaid mõni tund päevas, seega tehnoloogia peab töötama ka pimedas.

### **Vandaalikindlus**

Parkimisalad on enamasti kõigile avalikult avatud ööpäevaringselt. Tihti puudub turvakontroll. Seega tuleb arvestada võimalusega, et seadmeid ja andureid üritatakse varastada, vigastada või muul moel segada nende tööd. Talvel libedaga võivad parkijad ka tahtmatult seadmele otsa sõita ja seda vigastada.

## Lisavõimalused

Kõik valikud nõuavad parkimisoperaatoritelt lisainvesteeringuid. Kui tehnoloogia pakub lisaks vabade kohtade loendamisele ka muud teavet parkijate kohta või on võimalik pakkuda muid teenuseid, siis on see lisamotivatsioon vastava tehnoloogia valikuks ja kasutuselevõtuks.

## Riskid ja probleemid

Lahendus peab olema robustne ja sobima võimalikult paljudele parkimisaladele. Vastasel korral tuleb erinevates parkimisalades kasutada erinevaid tehnoloogiaid, mis lisab halduskeerukust ja nõuab töötajatelt spetsialiseerumist. Riskide ja probleemide all hinnatakse, mis on konkreetse tehnoloogia kitsaskohad ja mis on piirangud, kus seda tehnoloogiat võib kasutada.

## Hind

Hind on tehnoloogia valikul väga suure tähtsusega. Tallinnas kaks suurimat parkimisoperaatorit on AS Ühisteenused ja EuroPark Estonia OÜ vastavalt 75 [2, 3] ja 131 [4] parkimisalaga. See tähendab seda, et valitud tehnoloogia paigaldatakse koheselt paljudele parkimisaladele ja ka väike hinnavahe osutub absoluutväärtuses suureks numbriks.

Tehnoloogiate kirjeldamisel olid hinnangulised hinnad jagatud järgmistesse kategooriatesse:

- ★☆☆☆☆ ~ 0 - 100€
- ★★☆☆☆ ~ 100 - 500€
- ★★★☆☆ ~ 500 - 1 000€
- ★★★★☆ ~ 1 000 - 5 000€
- ★★★★★ ~ üle 5 000€

Üksteisega võrdlemisel iga kategooria erinevus annab Saaty 9-palli skaalal 2 punkti erinevuse. Seega kui näiteks ühe tehnoloogia hind on 500-1000€ ja teise hind on üle 5000€, siis esimese tehnoloogia eelistuseks on 5 punkti.

#### 4.2.2 KRITEERIUMITE PAARITILINE VÕRDLUS

Järgnevalt võrreldakse iga kriteeriumi paaritiliselt üksteisega. Tulemused ja kriteeriumite kaalud on välja toodud joonistel 12, 13 ja 14.

**Paigaldus - jooksev hooldus:** oluline eelis jooksvale hooldusele (hinnang 5) kuna paigaldus on ühekordne tegevus ja hooldus korduv.

**Paigaldus - lugemistäpsus:** lugemistäpsus on tehnoloogia valikul võtmelise tähtsusega, seega lugemistäpsusel eelis (hinnang 7).

**Paigaldus - ilmastikukindlus:** ilmastik on Eestis väga muutlik ja tehnoloogia peab olema töökorras igasuguse ilmaga, seepärast on selle tähtsus suur. Hinnang 7 ilmastikukindluse kasuks.

**Paigaldus - vandalismikindlus:** mõlemad võrdselt olulised.

**Paigaldus - lisavõimalused:** lisamüük või lisainfo parkijate kohta on väärt keerulisemat paigaldust. Oluline eelis lisavõimaluste kasuks (hinnang 5).

**Paigaldus - riskid ja probleemid:** kerge eelis riskidele ja probleemidele (hinnang 3). Paigalduse hind ja keerukus määrab küll operaatori valmiduse investeerima antud tehnoloogiasse, kuid riskid ja probleemid ütlevad, kas antud tehnoloogiat on üldse võimalik antud parkimisalal kasutada.

**Paigaldus - hind:** eelis hinnale (hinnang 3). Kuna sama lahendust hakatakse kasutama kümnetes parkimisalades ja uue parkimisala avamine peab olema majanduslikult võimalikult soodne, siis hind on suurema tähtsusega.

**Jooksev hooldus - lugemistäpsus:** eelis lugemistäpsusele (hinnang 3). Lugemistäpsus on põhinäitaja, mille järgi lahenduse edukust hinnatakse.

**Jooksev hooldus - ilmastikukindlus:** ilmastikukindlus määrab, mis ilmaga on vastav tehnoloogia kasutatav. Kuna Eestis on ilm küllaltki muutlik, siis on see näitaja väga oluline. Eelis ilmastikukindlusele (hinnang 5).

**Jooksev hooldus - vandalismikindlus:** oluline eelis jooksvale hooldusele (hinnang 5). Kuigi vigastatud seadmed suurendavad hoolduse vajadust, on see siiski pigem erand ja enamasti tuleb arvestada jooksva hooldusega (akuvahetused jms).

**Jooksev hooldus - lisavõimalused:** võrdsed. Kui lisavõimalused pakuvad lisa tuluvõimalusi või infot parkijate kohta. Samas ei tohiks see suurendada manuaalset haldusmahtu.

**Jooksev hooldus - riskid ja probleemid:** eelis jooksva hooldusel (hinnang 3). Suure arvu parkimisalade puhul peab jooksvale hooldusele kuluv aeg ja raha olema minimaalne.

**Jooksev hooldus - hind:** väike eelis (hinnang 3) jooksvale hooldusele. Ühel operaatoril võib olla kümneid või sadu parkimisalasid, seega igale parkimisalale kuluv ajakulu peab olema minimaalne.

**Lugemistäpsus - ilmastikukindlus:** väga väike eelis ilmastikukindlusel (hinnang 2). Kui lugemistäpsus on madal, siis kaotab kogu lahendus oma mõtte. Samas päris 100% täpsus pole vajalik. Kui lugemistäpsus sõltub suurel määral ilmast, siis pole ta samuti kasutatav, seega peab sihtima sellise lahenduse suunas, mis on stabiilselt iga ilmaga suure lugemistäpsusega.

**Lugemistäpsus - vandalismikindlus:** lugemistäpsusele väga suur eelis (hinnang 7). Lugemistäpsus on lahenduse võtmenäitaja. Süsteemi osad, mis on vandaalidele kättesaadavad, on reeglina odavad ja nende vahetamine lihtne. Samuti on tooted disainitud juba nii, et nad oleksid töökindlamad ja tugevamad.

**Lugemistäpsus - lisavõimalused:** lugemistäpsusel väike eelis (hinnang 3). Kui lugemistäpsus ei ole piisavalt hea, siis pole võimalik pakkuda ka ühtegi lisavõimalust.

**Lugemistäpsus - riskid ja probleemid:** lugemistäpsusele (hinnang 5). Kuigi riskid ja probleemid määravad ära, kas antud tehnoloogiat saab antud parkimisalal üldse kasutada, siis põhiline valikukriteerium on siiski lugemistäpsus

**Lugemistäpsus - hind:** eelis lugemistäpsusele (hinnang 5). Kuigi lugemistäpsus on see, mille järgi hinnatakse lahenduse edukust, pole 100% lugemistäpsuse saavutamine alati vajalik. Seega tuleb leida kompromiss hinna ja lugemistäpsuse vahel.

**Ilmastikukindlus - vandalismikindlus:** väga suur eelis (hinnang 7) ilmastikukindlusele. Kui kehv ilmal lahendus ei tööta, siis on tulemus sama, mis rikutud seadme puhul. Kehv ilm on tõenäolisem kui vandalism.

**Ilmastikukindlus - lisavõimalused:** ilmastikukindlusele väike eelis (hinnang 3). Kui halva ilmaga lugemistäpsus langeb, siis pole ka muid lisavõimalusi võimalik kasutada.

**Ilmastikukindlus - riskid ja probleemid:** oluline eelis (hinnang 5) ilmastikukindlusele. Lahendus peab toimima iga ilmaga.

**Ilmastikukindlus - hind:** oluline eelis ilmastikukindlusele (hinnang 5). Parkimisoperaatorid peavad olema valmis maksma pisut rohkem, et saada piisavalt robustne lahendus, mis toimib iga ilmaga.

**Vandalismikindlus - lisavõimalused:** oluline eelis lisavõimaluste kasuks (hinnang 5). Üks lisavõimalus võib olla turvafunktsioon ise, mis kindlustab end vandalismi vastu.

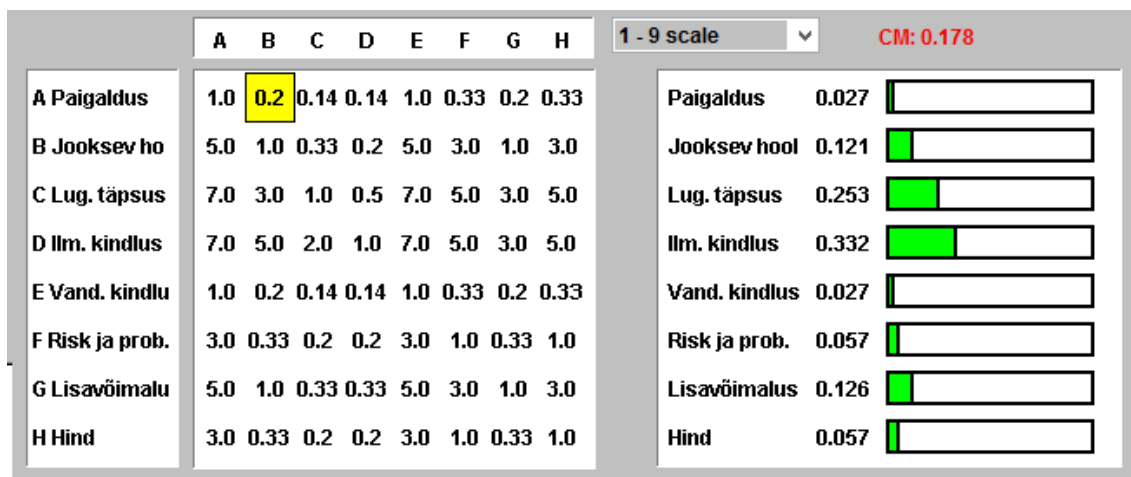
**Vandalismikindlus - riskid ja probleemid:** väike eelis (hinnang 3) riskide ja probleemide kasuks. Vandalism on pigem ühekordne nähtus, aga süstemaatiline probleem, mille puhul andurid annavad valetulemusi, mõjutab kogu lahendust väga suurel määral.

**Vandalismikindlus - hind:** hinnal väike eelis (hinnang 3). Soodsa hinna puhul on hävinud või varastatud seadmete asendamine soodne.

**Lisavõimalused - riskid ja probleemid:** lisavõimalustele väike eelis (hinnang 3). Lisavõimaluste saamiseks ollakse nõus piirangutega ja tegema kompromisse.

**Lisavõimalused - hind:** väike eelis (hinnang 3) lisavõimalustele, kuna lisaväärtuse pakkumine võib end kiiresti ära tasuda.

**Riskid ja probleemid - hind:** võrdsed. Lahendus peab sobima konkreetsele parkimisalale ja hind peab olema samuti sobiv.

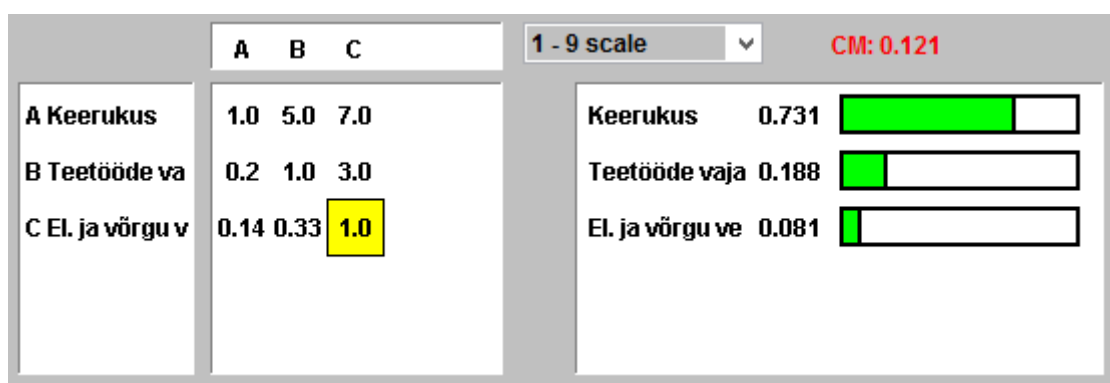


Joonis 12. Põhikriteeriumite paariline võrdlus

**Paigalduse keerukus - teetööde vajadus:** paigaldamine võib nõuda lisa piirajate, aedade, suunajate, tahvlite paigaldust, mis kokkuvõttes osutub kallimaks ja aeganõudvamaks kui teetööd anduri jaoks ise, seega oluline eelis paigalduse keerukusele (hinnang 5).

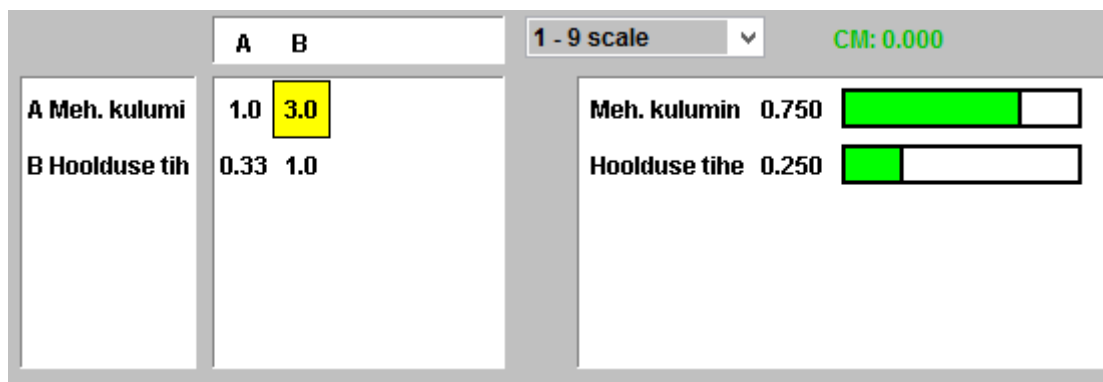
**Paigalduse keerukus - elektri- ja võrgujuhtmete vedamine:** paigaldamine võib nõuda lisa piirajate, aedade, suunajate, tahvlite paigaldust, mis kokkuvõttes osutub kallimaks ja aeganõudvamaks kui elektri- ja võrgujuhtmete vedamine anduri jaoks ise, seega väga tugev eelis paigalduse keerukusele (hinnang 7).

**Teetööde vajadus - elektri- ja võrgujuhtmete vedamine:** väike eelis teetööde vajadusele (hinnang 3), sest teetööde tegemiseks on vaja kompetentsi ja seadmeid, mis tuleb endal soetada või teenust sisse osta. Elektri ja võrgu vedamisega võib operaator oma jõududega hakkama saada.



Joonis 13. Paigalduse alamkriteeriumite paariline võrdlus

**Mehaaniline kulumine - hoolduse tihedus:** sisuliselt on tegemist akudel töötavate lahenduste akuvahetushoolduste ja sõiduteele või selle alla paigaldatud mõõtjate füüsilise kulumise ja nende vahetamise võrdlusega. Tänapäeva akud võivad kesta kuni 5 aastat, mistõttu mõlema hooldused võivad olla ligikaudu sama tihedad, kuid teetööde kulu on oluliselt suurem, seega hinnanguliselt 3 eelis mehaanilisele kulumisele.



Joonis 14. Jooksva hoolduse alamkriteeriumite paariline võrdlus

### 4.3 OTSUSTUSMUDELI TESTIMINE

Otsustusmudeli testimises võrreldakse igat eelpool mainitud tehnoloogiat iga kriteeriumi suhtes.

#### Paigalduse keerukus

Kõige lihtsam ja kiirem on paigaldada õhuvoolikud. Nende paigaldamisega on võimalik hakkama saada oma jõududega. Pisut keerulisem on paigaldada piesoelektriline kaabel, tihti tehakse selleks sisselõige teekatte sisse. Seepärast on õhuvoolikutel väike eelis (hinnang 3). Magnetanduri, infrapunaanduri ja ultraheli anduri paigaldamine ja seadistamine on hinnatud võrdseks. Ükski neist ei vaja teekattetõid ja andurid võivad töötada akude pealt, mis elimineerib vajaduse vedada nendeni elekter ja võrguühendus. Paigaldamine nõuab aga mõningat seadistamist ja testimist, seetõttu on antud väike eelistus (hinnang 3) õhuvoolikutele ja piesoelektrilistele kaablitele. Keerukuselt järgmistena tulevad akustiline andur ja mikrolaine radar. Paigaldus on sarnane magnet-, infrapuna- ja ultrahelianduritele, kuid seadistamine on keerulisem ja testimisperiood pikem. Seetõttu on akustiline andur ja radar pist vähem eelistatud keerukuse aspektist (hinnang 3). Induktsiooniasa paigaldamine nõuab ulatuslikke teekattetõid kuni teekatte

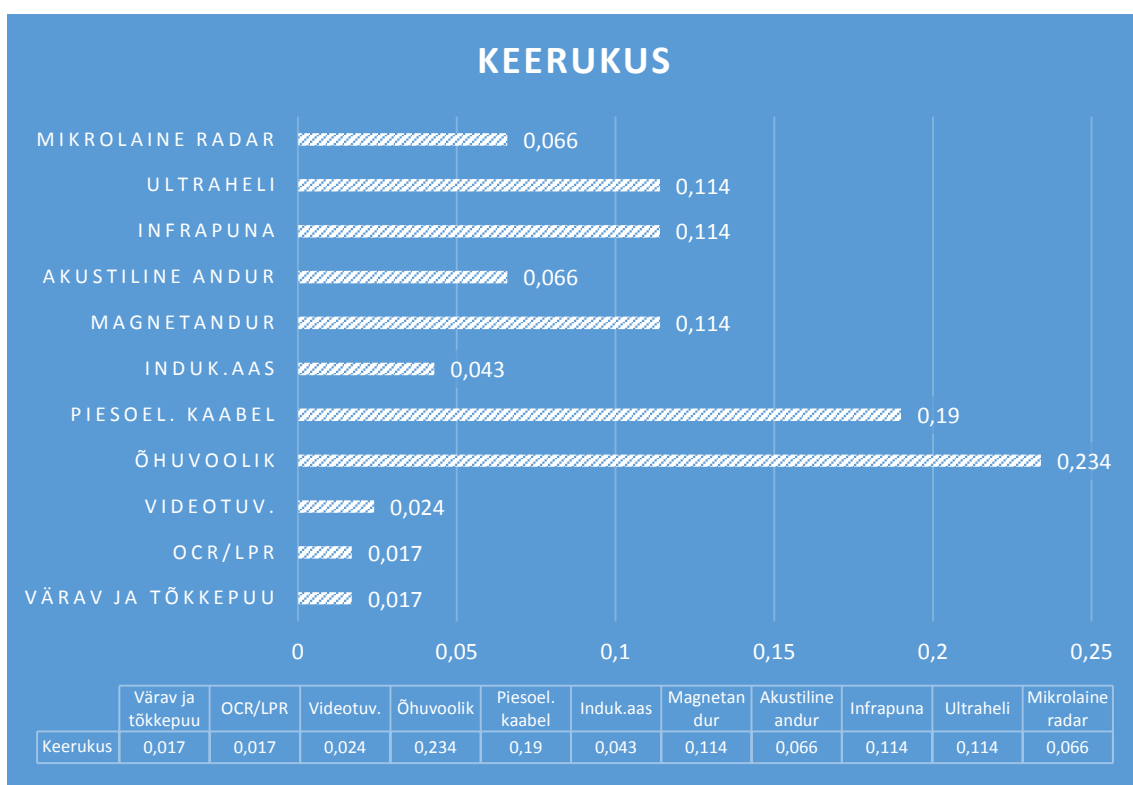
väljavahetamiseni. See nõuab parkimisoperaatorilt lisaoskust või teenuse sisseostmist, seepärast on induktsiooniaasa tehnoloogia oluliselt vähem eelistatud (hinnang 5) kui õhuvoolikud ja piesoelektrilised kaablid ning väike eelistus (hinnang 3) on magnet-infrapuna, ultrahelianduritel, akustilisel anduril ja mikrolaine radaril. Videotuvastuse tehnoloogia ei pruugi skaleeruda nii hästi kui teised lahendused, sest võib olla vajadus muuta algoritmi, et arvestada konkreetse parkimisala eripärasustega - kuidas satub sinna valgus; kas vaatevälja satuvad reklaamipostid, puud, pöösad vms.; mis nurga all on kaamera paigutatud. Lisaks võib olla mõistlik paigutada kaamera kõrvalasuvate hoonete külge ja sellisel juhul tuleb eraldi läbirääkida hoonete omanikega. Seetõttu on antud ekstreemne eelistus õhuvoolikutele ja piesoelektrilistele kaablitele (hinnang 7). Oluline eelistus (hinnang 5) on induktsiooniaasal, magnet-, infrapuna-, ultrahelianduritel, akustilisel anduril ja radaril. Värava ja tõkkepuu lahendusel on rohkem seadmeid kui OCR/LPR lahendusel, kuid OCR/LPR lahendust on palju keerulisem seadistada. Mõlema lahenduse puhul on vaja teha ulatuslikud paigaldus- ja elektriööd ning pigem kaasata seadmete tootja abi ning ekspertiisi. Seetõttu on nende kahe tehnoloogia paigaldamise keerukus hinnatud võrdseks. Võrreldes aga teiste tehnoloogiatega, on paigaldamine oluliselt keerulisem: videotuvastusel on väike eelis (hinnang 3), õhuvoolikul ja piesoelektrilisel kaablil on väga suur eelistus (hinnang 7), kõigil teistel tehnoloogiatel on oluline eelis (hinnang 5). Tabelis 13 on ära toodud kõigi tehnoloogiate paariline võrdlus keerukuse kriteeriumi alusel. Joonis 15 võtab keerukuse tulemused ja kaalud kokku.

Tabel 13. Tehnoloogiate võrdlus paigaldamise keerukuse alusel

	Värv ja tõkkepuu	OCR/LPR	Videotuvastus	Õhuvoolik	Piesoel. kaabel	Indukts.aas	Magnetandur	Akustiline andur	Infrapuna	Ultraheli	Mikro. radar
<b>Värv ja tõkkepuu</b>	1	1	0.33	0.14	0.14	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
<b>OCR/LPR</b>	1	1	0.33	0.14	0.14	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
<b>Videotuvastus</b>	3	3	1	0.14	0.14	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
<b>Õhuvoolik</b>	7	7	7	1	3	5	3	3	3	3	3
<b>Piesoel. kaabel</b>	7	7	7	0.33	1	5	3	3	3	3	3
<b>Indukts.aas</b>	5	5	5	0.2	0.2	1	0.2	0.33	0.2	0.2	0.33
<b>Magnetandur</b>	5	5	5	0.33	0.33	5	1	3	1	1	3



	Värv ja tõkkepuu	OCR/LPR	Videotuvastus	Õhuvoolik	Piesoel. kaabel	Indukts.aas	Magnetandur	Akustiline andur	Infrapuna	Ultraheli	Mikro. radar
<b>Akustiline andur</b>	5	5	5	0.33	0.33	3	0.33	1	0.33	0.33	1
<b>Infrapuna</b>	5	5	5	0.33	0.33	5	1	3	1	1	3
<b>Ultraheli</b>	5	5	5	0.33	0.33	5	1	3	1	1	3
<b>Mikrolaine radar</b>	5	5	5	0.33	0.33	3	0.33	1	0.33	0.33	1



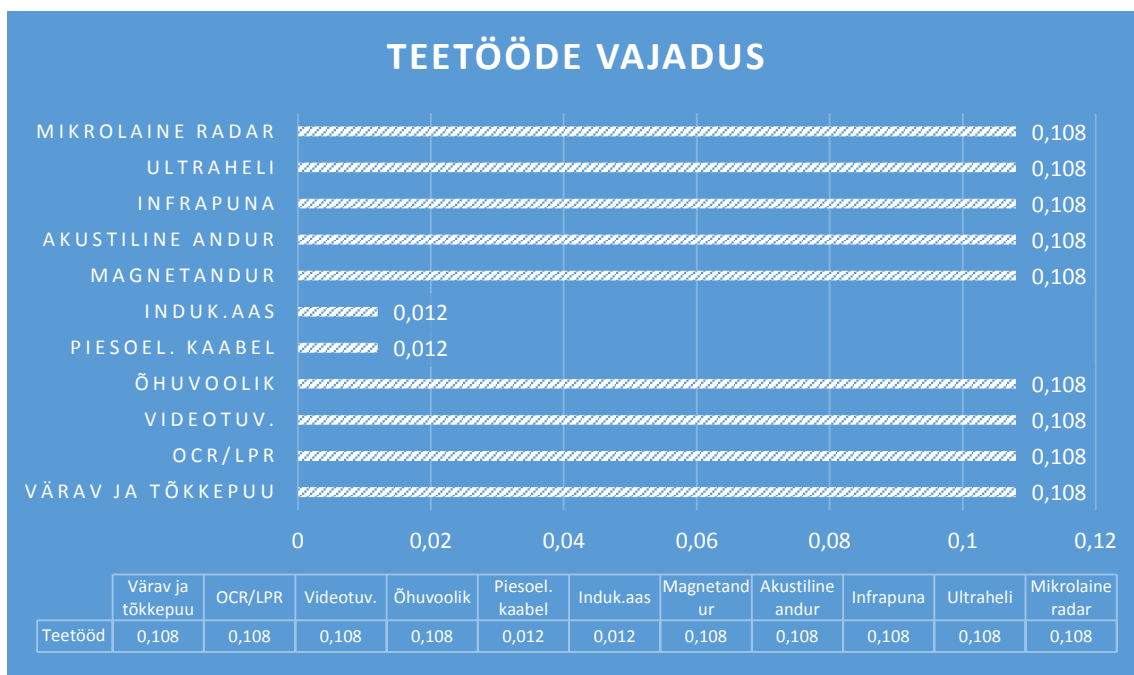
Joonis 15. Tehnoloogiate kaalud keerukuse kriteeriumi alusel.

## Teetööde vajadus

Teetöid tuleb teostada vaid piesoelektrilise kaabli ja induktsiooniasa puhul. Seetõttu on need tehnoloogiad hinnatud omavahel võrdseks ja kõigil teistel tehnoloogiatel on ekstreemne eelistus (hinnang 9). Tabel 14 kuvab tehnoloogiate võrdluse teetööde vajaduse aspektist ja joonisel 16 on näidatud vastavad kaalud.

Tabel 14. Tehnoloogiate võrdlus teetööde vajaduse alusel

	Värv ja tõkkepuu	OCR/LPR	Videotuvastus	Õhuvoolik	Piesoel. kaabel	Indukts.aas	Magnetandur	Akustiline andur	Infrapuna	Ultraheli	Mikro. radar
Värv ja tõkkepuu	1	1	1	1	9	9	1	1	1	1	1
OCR/LPR	1	1	1	1	9	9	1	1	1	1	1
Videotuvastus	1	1	1	1	9	9	1	1	1	1	1
Õhuvoolik	1	1	1	1	9	9	1	1	1	1	1
Piesoel. kaabel	0.11	0.11	0.11	0.11	1	1	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
Indukts.aas	0.11	0.11	0.11	0.11	1	1	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
Magnetandur	1	9	9	1	1	1	1	1	1	1	1
Akustiline andur	1	9	9	1	1	1	1	1	1	1	1
Infrapuna	1	9	9	1	1	1	1	1	1	1	1
Ultraheli	1	9	9	1	1	1	1	1	1	1	1
Mikrolaine radar	1	9	9	1	1	1	1	1	1	1	1



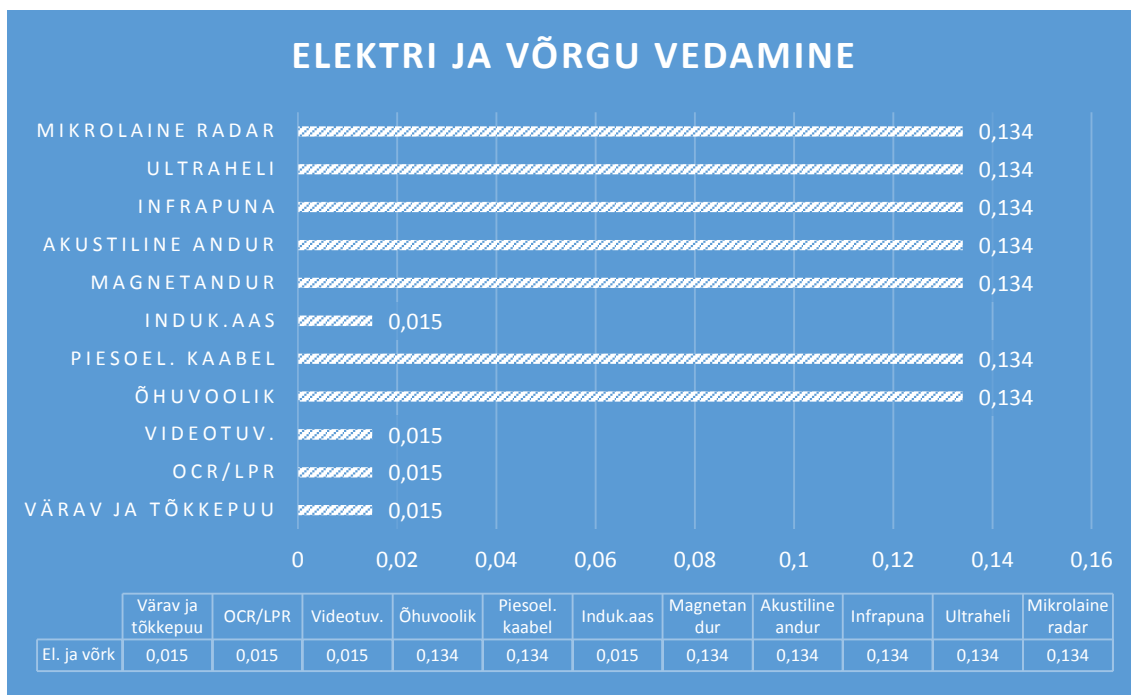
Joonis 16. Tehnoloogiate kaalud teetööde kriteeriumi alusel.

## Elektri- ja võrgujuhtmete vedamine

Elektri- ja võrgujuhtmete vedamise vajadus on värava ja tõkkepuu, OCR/LPR, videotuvastuse ja induktsiooniasa lahendustel. Nende omavaheline paariline võrdlus on hinnatud võrdseks. Ülejäänud tehnoloogiatel on ekstreemne eelis (hinnang 9), mis kajastub tabelis 15. Joonisel 17 on märgitud vastavad kaalud elektri- ja võrgujuhtmete vedamise aspektist.

Tabel 15. Tehnoloogiate võrdlus elektri- ja võrgujuhtmete vedamise vajaduse alusel

	Värv ja tõkkepuu	OCR/LPR	Videotuvastus	Õhuvoolik	Piesoel. kaabel	Indukts.aas	Magnetandur	Akustiline andur	Infrapuna	Ultraheli	Mikro. radar
Värv ja tõkkepuu	1	1	1	0.11	0.11	1	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
OCR/LPR	1	1	1	0.11	0.11	1	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
Videotuvastus	1	1	1	0.11	0.11	1	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
Õhuvoolik	9	9	9	1	1	9	1	1	1	1	1
Piesoel. kaabel	9	9	9	1	1	9	1	1	1	1	1
Indukts.aas	1	1	1	0.11	0.11	1	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
Magnetandur	9	9	9	1	1	9	1	1	1	1	1
Akustiline andur	9	9	9	1	1	9	1	1	1	1	1
Infrapuna	9	9	9	1	1	9	1	1	1	1	1
Ultraheli	9	9	9	1	1	9	1	1	1	1	1
Mikrolaine radar	9	9	9	1	1	9	1	1	1	1	1



Joonis 17. Tehnoloogiate kaalud elektri- ja võrgujuhtmete vedamise vajaduse kriteeriumi alusel

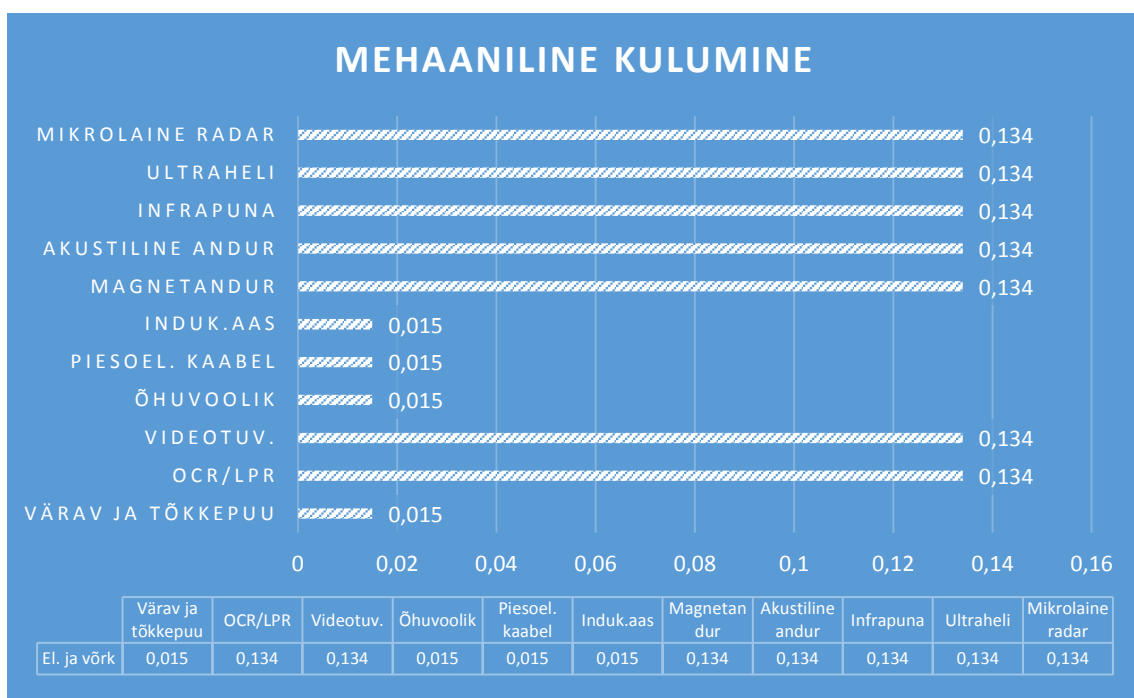
## Mehaaniline kulumine

Lahendus, kus mingi süsteemi detail on paigaldatud teekatte peale, selle sisse või teekatte alla ja millest sõidukid pidevalt üle sõidavad, kuluvad. Sellisteks lahendusteks on õhuvoolik, piesoelektriline kaabel ja induktiooniaas. Erandina on siia gruppi lisatud ka värava ja tõkkepuu tehnoloogia. Sellel teekattesse paigaldatavat andurit pole, kuid on muid kuluvaid osasid näiteks tõkkepuu ise ja pileti printer. Nende tehnoloogiate omavaheline paaritiline võrdlus on hinnatud võrdseks. Ülejäänud tehnoloogiatel on ekstreemne eelis (hinnang 9), mida kajastavad tabel 16 ja joonis 18.

Tabel 16. Tehnoloogiate võrdlus mehaanilise alusel

	Värav ja tõkkepuu	OCR/LPR	Videotuvastus	Õhuvoolik	Piesoel. kaabel	Indukts.aas	Magnetandur	Akustiline andur	Infrapuna	Ultraheli	Mikro. radar
<b>Värav ja tõkkepuu</b>	1	0.11	0.11	1	1	1	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
<b>OCR/LPR</b>	9	1	1	9	9	9	1	1	1	1	1
<b>Videotuvastus</b>	9	1	1	9	9	9	1	1	1	1	1

	Värv ja tõkkepuu	OCR/LPR	Videotuvastus	Õhuvoolik	Piesoel. kaabel	Indukts.aas	Magnetandur	Akustiline andur	Infrapuna	Ultraheli	Mikro. radar
Õhuvoolik	1	0.11	0.11	1	1	1	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
Piesoel. kaabel	1	0.11	0.11	1	1	1	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
Indukts.aas	1	0.11	0.11	1	1	1	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
Magnetandur	9	1	1	9	9	9	1	1	1	1	1
Akustiline andur	9	1	1	9	9	9	1	1	1	1	1
Infrapuna	9	1	1	9	9	9	1	1	1	1	1
Ultraheli	9	1	1	9	9	9	1	1	1	1	1
Mikrolaine radar	9	1	1	9	9	9	1	1	1	1	1



Joonis 18. Tehnoloogiate kaalud mehaanilise kulumise kriteeriumi alusel

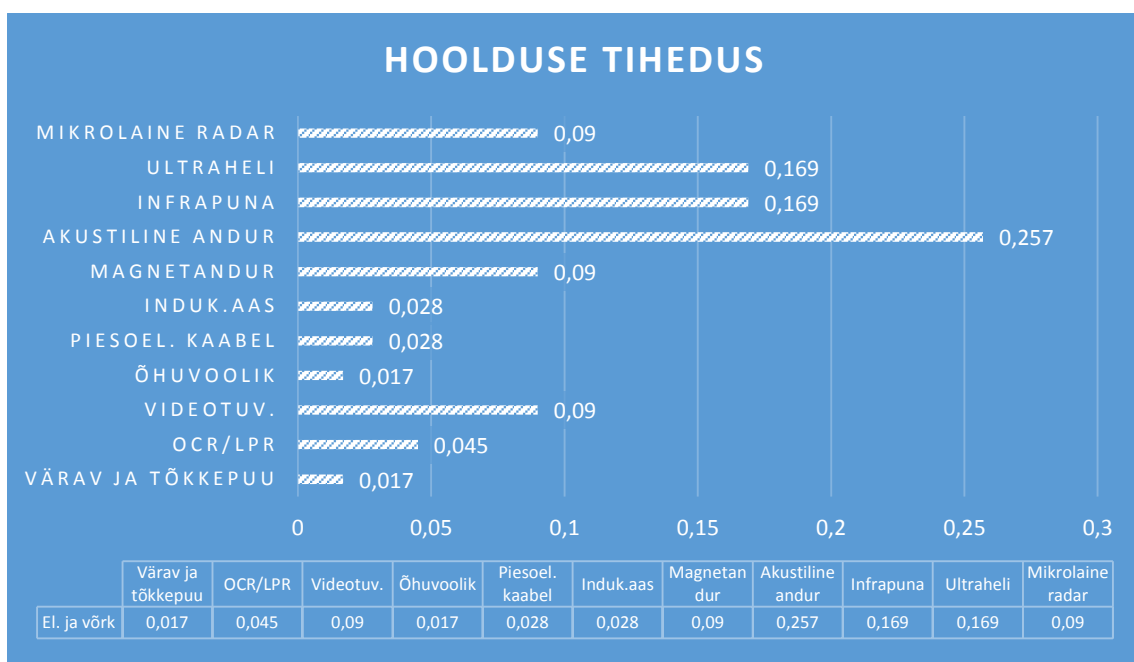
## Hoolduse tihedus

Kõige vähem hooldust nõuab akustiline andur, mis peale esialgset seadistamist praktiliselt hooldust ei vaja. Talle määrati väike eelis magnet-, infrapuna-, ultrahelianduri ja radari ees (hinnang 3). Infrapuna- ja ultraheliandurid on määratud võrdseteks. Üldiselt hooldusvajadus puudub, kuid suure tolmu/mustuse korral tuleb andureid puhastada. Kui andur töötab aku pealt, siis reeglina on eluiga pikk - kuni 5 aastat. Magnetanduri hooldustihedus võib olla sama, kuid kui andur on paigaldatud teekattesse, siis on selle vahetamine keerulisem ja ajamahukam, mistõttu infrapuna- ja ultrahelianduritel on väike eelis (hinnang 3). Magnetanduriga võrdseks on hinnatud mikrolaine radarit ja videotuvastust. Radari hooldus (akude vahetus) on lihtne, kuid seda tuleb teha tihedamini. Videotuvastus võib vajada regulaarset puhastust, kui kaamera asub välioludes. Videotuvastusel on väike eelis (hinnang 3) OCR/LPR tehnoloogia suhtes. LPR kaamerad on mustuse suhtes tundlikumad ja nõuavad tihedamat hooldust. Induktsiooniaasad ja piesoelektrilised kaablid igapäevast hooldust ei vaja, kuid seadmete väljavahetamine on väga keeruline ja nõuab teekatte töid. Andurite kulumine sõltub liikluse tihedusest. Omavahel on nad hinnatud võrdseks. OCR/LPR tehnoloogial on väike eelis (hinnang 3). Videotuvastusel, magnet-, infrapuna- ja ultrahelianduril ning radaril on suur eelis (hinnang 5). Akustilisel anduril on väga suur eelis (hinnang 7). Kõige suuremat hooldust nõuavad õhuvoolik ja värav/tõkkepuu lahendused. Õhuvoolik on suure kuluvusega ja kuigi selle vahetamine ei ole keeruline, vajab ta pidevat ülevaatus ja kontrolli. Värava ja tõkkepuu lahendus vajab samuti pea igapäevast hooldust - makseterminalides paberirullide vahetus, väravas parkimiskaartide lisamine, klientide abistamine maksmisel klienditeeninduse poolt. Võrdlused teiste tehnoloogiatega on toodud välja tabelis 17. Tehnoloogiate kaalud hoolduse tiheduse aspektis on kuvatud joonisel 19.

Tabel 17. Tehnoloogiate võrdlus hooldustiheduse alusel

	Värav ja tõkkepuu	OCR/LPR	Videotuvastus	Õhuvoolik	Piesoele. kaabel	Indukts.aas	Magnetandur	Akustiline andur	Infrapuna	Ultraheli	Mikro. radar
<b>Värav ja tõkkepuu</b>	1	0.33	0.2	1	0.33	0.33	0.2	0.11	0.14	0.14	0.2
<b>OCR/LPR</b>	3	1	0.33	3	3	3	0.33	0.2	0.2	0.2	0.33
<b>Videotuvastus</b>	5	3	1	5	5	5	1	0.33	0.33	0.33	1

	Värv ja tõkkepuu	OCR/LPR	Videotuvastus	Õhuvoolik	Piesoel. kaabel	Indukts.aas	Magnetandur	Akustiline andur	Infrapuna	Ultraheli	Mikro. radar
<b>Õhuvoolik</b>	1	0.33	0.2	1	0.33	0.33	0.2	0.11	0.14	0.14	0.2
<b>Piesoel. kaabel</b>	3	0.33	0.2	3	1	1	0.2	0.14	0.2	0.2	0.2
<b>Indukts.aas</b>	3	0.33	0.2	3	1	1	0.2	0.14	0.2	0.2	0.2
<b>Magnetandur</b>	5	3	1	5	5	5	1	0.33	0.33	0.33	1
<b>Akustiline andur</b>	9	5	3	9	7	7	3	1	3	3	3
<b>Infrapuna</b>	7	5	3	7	5	5	3	0.33	1	1	3
<b>Ultraheli</b>	7	5	3	7	5	5	3	0.33	1	1	3
<b>Mikrolaine radar</b>	5	3	1	5	5	5	1	0.33	0.33	0.33	1



Joonis 19. Tehnoloogiate kaalud hoolduse tiheduse kriteeriumi alusel

## Lugemistäpsus

Lugemistäpsused tehnoloogiate kaupa on järgmised:

- Värav ja tõkkepuu - 100%
- OCR/LPR - 99%
- Videotuvastus - 95%
- Õhuvoolik - 90% - 99% (võetakse arvesse kui  $(90 + 99) / 2$  ümardatuna alla ehk 94%)
- Piesoelektriline kaabel - 94%
- Induktsiooniaas - 95%
- Magnetandur - 85% - 99% (võetakse arvesse kui  $(85 + 99) / 2$  ehk 92%)
- Akustiline andur - 94%
- Infrapuna - info puudub (arvesse võetakse kui 85%)
- Ultraheli - info puudub (arvesse võetakse kui 85%)
- Mikrolaine radar - 98%

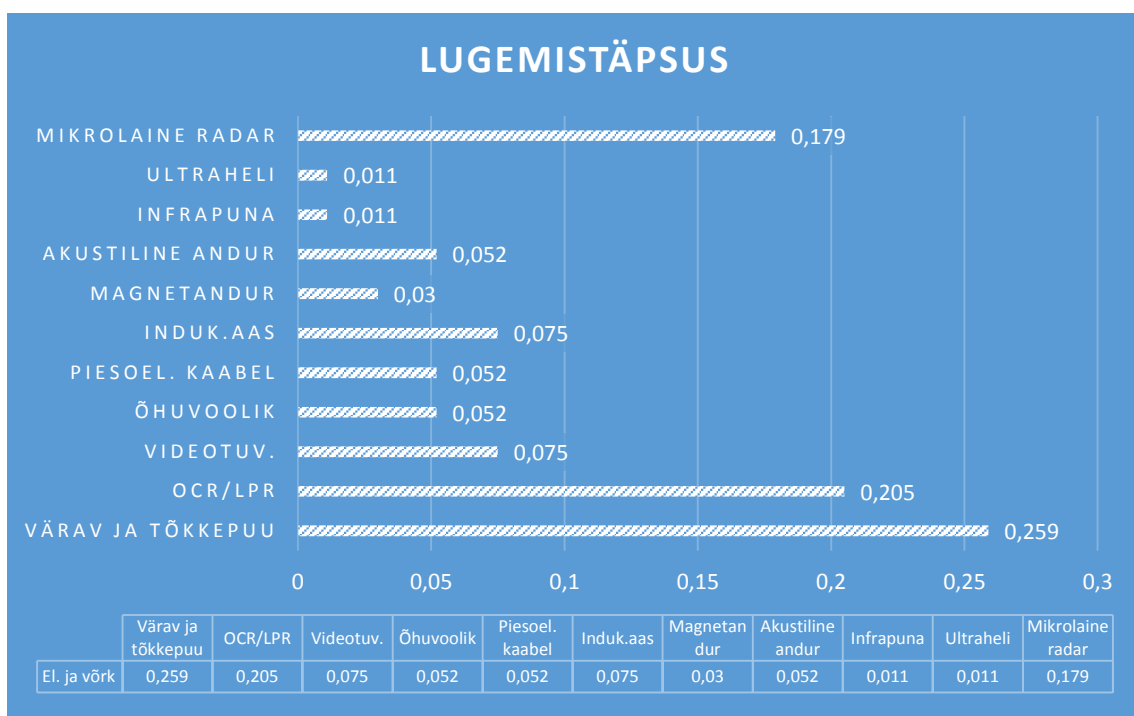
Iga 1% lugemistäpsuse erinevust kahe tehnoloogia vahel annab 1 punkti eelistust Saaty skaalal. Tehnoloogiate paaritilise võrdluse tulemusi lugemistäpsuse kriteeriumi järgi kirjeldab tabel 18 ja kaalud on kuvatud joonisel 20.

Tabel 18. Tehnoloogiate võrdlus lugemistäpsuse alusel

	Värav ja tõkkepuu	OCR/LPR	Videotuvastus	Õhuvoolik	Piesoeel. kaabel	Indukts.aas	Magnetandur	Akustiline andur	Infrapuna	Ultraheli	Mikro. radar
Värav ja tõkkepuu	1	2	5	6	6	5	9	6	9	9	2
OCR/LPR	0.5	1	4	5	5	4	8	5	9	9	2
Videotuvastus	0.2	0.25	1	2	2	1	4	2	9	9	0.25



	Värv ja tõekepuu	OCR/LPR	Videotuvastus	Õhuvoolik	Piesoel. kaabel	Indukts.aas	Magnetandur	Akustiline andur	Infrapuna	Ultraheli	Mikro. radar
<b>Õhuvoolik</b>	0.17	0.2	0.5	1	1	0.5	3	1	9	9	0.2
<b>Piesoel. kaabel</b>	0.17	0.2	0.5	1	1	0.5	3	1	9	9	0.2
<b>Indukts.aas</b>	0.2	0.25	1	2	2	1	4	2	9	9	0.25
<b>Magnetandur</b>	0.11	0.13	0.25	0.33	0.33	0.25	1	0.33	8	8	0.14
<b>Akustiline andur</b>	0.17	0.2	0.5	1	1	0.5	3	1	9	9	0.2
<b>Infrapuna</b>	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.13	0.11	1	1	0.11
<b>Ultraheli</b>	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.13	0.11	1	1	0.11
<b>Mikrolaine radar</b>	0.5	0.5	4	5	5	4	7	5	9	9	1



Joonis 20. Tehnoloogiate kaalud lugemistäpsuse kriteeriumi alusel

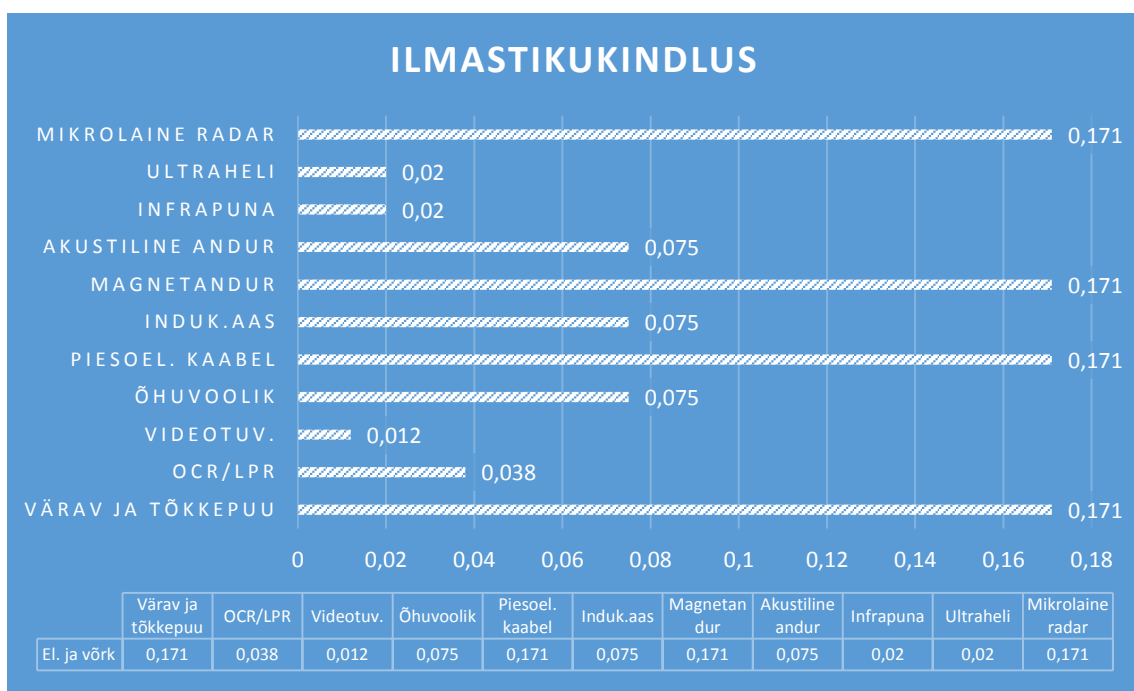
## Ilmastikukindlus

Tehnoloogiate sekka, mida ilmastikutingimused ei mõjuta või mõjutavad väga väikesel määral kuuluvad: värav ja tõkkepuu, piesoelektriline kaabel, magnetandur ja mikrolaine radar. Nende omavahelisel võrdluses kellelegi eelistust ei antud ja neid peetakse võrdseteks (hinnang 1). Sellel grupil on väike eelis (hinnang 3) tehnoloogiate ees, mille lugemistäpsus võib kõikuda temperatuuri muutustega. Sellised tehnoloogiad on õhuvoolik, induktsioonias ja akustiline andur. Ka seda gruppi arvestatakse omavahel kui võrdseid. OCR/LPR tehnoloogia lugemistäpsus võib langeda vihma, udu, lume ja pori korral. Seetõttu on temperatuuritundlikul grupil väike eelis (hinnang 3) ja ilmastikukindlal grupil tugev eelis (hinnang 5) OCR/LPR tehnoloogia ees. Infrapunaandur on lisaks udu, vihma, lume, suitsu ja mustusele tundlik ka päikesepõlgeldustele. Ultraheliandurid on tundlikud temperatuuri, õhuniiskuse, tugeva tuule ja vihma mõjudele. Seetõttu soovitatakse infrapuna- ja ultraheliandureid kasutada pigem parkimismajades. Omavahelises võrdluses kummalgi eelist pole (hinnang 1). Ilmastikukindlal grupil on ülitugev eelis (hinnang 7). Kõige ilmastikutundlikum lahendus on videotuvastus. Kuigi lõplik lugemistäpsus sõltub väga palju kasutatavast algoritmist, siis tuleb arvestada nii ööpäevase tsükliga - kas on hele päev või pime öö, kui ka aastaringse tsükliga - päikesepaisteline suvi, vihmane sügis, lumine talv. Samuti mõjutab lugemistäpsust vihm, udu, pori ja tuulest tingitud võimalik kõikumine. Seda kõike arvesse võttes on ilmastikukindlatel tehnoloogiatel ekstreemne eelis (hinnang 9). Täpsed omavahelised võrdlused on ära toodud tabelis 19. Joonisel 21 on näidatud tehnoloogiate lõplikud kaalud ilmastikukindluse alusel.

Tabel 19. Tehnoloogiate võrdlus ilmastikukindluse alusel

	Värav ja tõkkepuu	OCR/LPR	Videotuvastus	Õhuvoolik	Piesoel. kaabel	Indukts.aas	Magnetandur	Akustiline andur	Infrapuna	Ultraheli	Mikro. radar
<b>Värav ja tõkkepuu</b>	1	5	9	3	1	3	1	3	7	7	1
<b>OCR/LPR</b>	0.2	1	5	0.33	0.2	0.33	0.2	0.33	3	3	0.2
<b>Videotuvastus</b>	0.11	0.2	1	0.14	0.11	0.14	0.11	0.14	0.33	0.33	0.11
<b>Õhuvoolik</b>	0.33	3	7	1	0.33	1	0.33	1	5	5	0.33

	Värv ja tõkkepuu	OCR/LPR	Videotuvastus	Õhuvoolik	Piesoel. kaabel	Indukts.aas	Magnetandur	Akustiline andur	Infrapuna	Ultraheli	Mikro. radar
Piesoel. kaabel	1	5	9	3	1	3	1	3	7	7	1
Indukts.aas	0.33	3	7	1	0.33	1	0.33	1	5	5	0.33
Magnetandur	1	5	9	3	1	3	1	3	7	7	1
Akustiline andur	0.33	3	7	1	0.33	1	0.33	1	5	5	0.33
Infrapuna	0.14	0.33	3	0.2	0.14	0.2	0.14	0.2	1	1	0.14
Ultraheli	0.14	0.33	3	0.2	0.14	0.2	0.14	0.2	1	1	0.14
Mikrolaine radar	1	5	9	3	1	3	1	3	7	7	1



Joonis 21. Tehnoloogiate kaalud ilmastikukindluse kriteeriumil.

## Vandaalikindlus

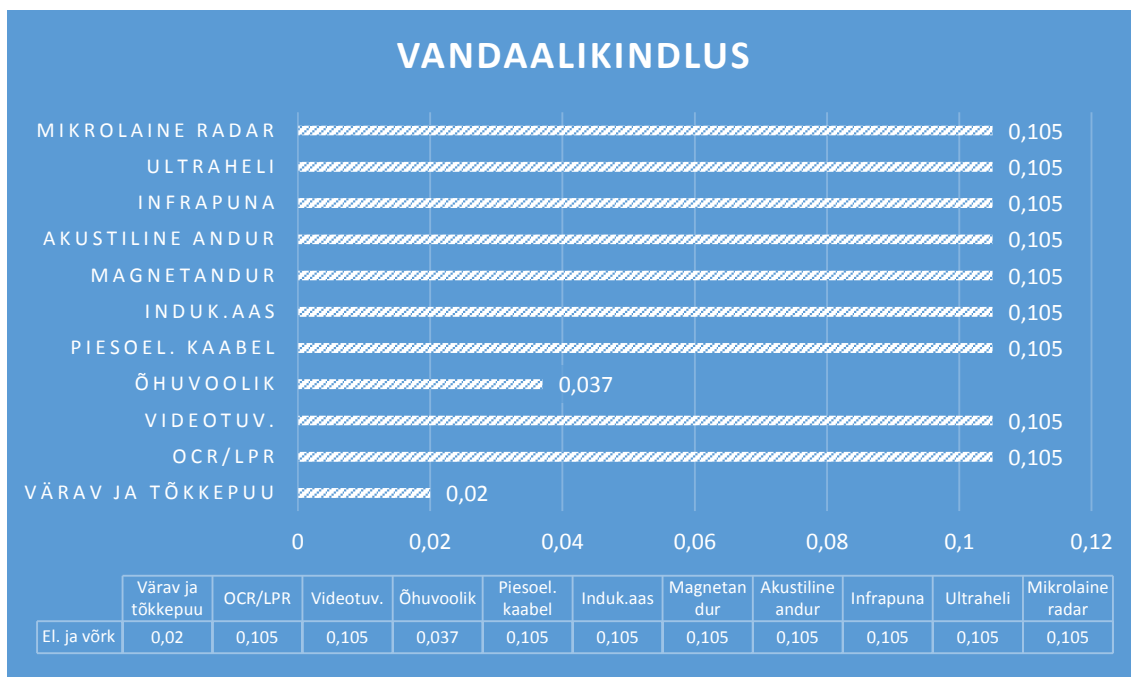
Enamike lahenduste puhul saab kaamerad või andurid paigaldada piisavalt kõrgele või teekatte alla selliselt, et nad on vandaalidele kättesaamatud. Erandiks on värv ja

tõkkepuu lahendus ja õhuvoolik. Värav ja tõkkepuu lahendus on mitmeid komponente, mis on võimalik painutada, täis sodida või muul moel seadme tööd häirida. Õhuvooliku puhul on soovi korral üpris lihtne voolikut ennast vigastada. Samas vooliku asendamine ei ole keeruline ega aeganõudev.

Kõik tehnoloogiad loetakse omavahel võrdseteks (hinnang 1) ja neil on väike eelis (hinnang 3) õhuvooliku ees ja tugev eelis (hinnang 5) värava ja tõkkepuu ees. Õhuvoolikul on väike eelis värava ja tõkkepuu ees. Omavahelised võrdlused ja kokkuvõtvad kaalud on näidatud tabelis 20 ja joonisel 22.

Tabel 20. Tehnoloogiate võrdlus vandaalikindluse alusel

	Värav ja tõkkepuu	OCR/LPR	Videotuvastus	Õhuvoolik	Piesoel. kaabel	Indukts.aas	Magnetandur	Akustiline andur	Infrapuna	Ultraheli	Mikro. radar
Värav ja tõkkepuu	1	0.2	0.2	0.33	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
OCR/LPR	5	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1
Videotuvastus	5	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1
Õhuvoolik	3	0.33	0.33	1	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
Piesoel. kaabel	5	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1
Indukts.aas	5	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1
Magnetandur	5	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1
Akustiline andur	5	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1
Infrapuna	5	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1
Ultraheli	5	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1
Mikrolaine radar	5	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1



Joonis 22. Tehnoloogiate kaalud vandaalikindluse kriteeriumil

## Lisavõimalused

Kõige vähem lisavõimalusi pakub akustiline andur. Osad mudelid suudavad jälgida mitu sõidurada korraga, kuid sama saavad teha ka paljud teised tehnoloogiad. Ka ultraheliandurid on piiratud lisavõimalustega. Tihti toodetakse neid andureid LED tulega, mis näitab parkijatele vaba koha olemasolu, kuid see on pigem kasutatav parkimismajades, mis moodustavad Tallinna parklate seas väga väikese osa. Seepärast ei saa sellele ka suurt osakaalu anda. Omavahelises võrdluses on akustiline andur ja ultraheliandur võrdsed (hinnang 1).

Järgmisena hinnatakse tehnoloogiate gruppi, mis on võimeline koguma statistilist informatsiooni nagu sõidukite kiirus, tüüp ja sõidukite vahed. Sellised tehnoloogiad on õhuvoolik, piesoelektriline kaabel, induktsioonias, magnetandur, infrapunaandur ja radar. Statistiline info võimaldab parkimisoperaatoritel paremini mõista oma kliente. Näiteks tüübi järgi võib leida, kas parkimisala kasutavad pigem (väike)autod või bussid ja veokid. Vastavalt sellele võib luua uued tooted ja hinnad. Kiiruse ja autode vahede põhjal võib hinnata teeolusid ja teekatte kvaliteeti. Sellel grupil on väike eelis (hinnang 3) akustilise anduri ja ultrahelianduri ees.

Värava ja tõkkepuu lahenduse korral suureneb parkimisala turvalisus. Samuti võib parkimisoperaator kindel olla, et kõik parkijad maksavad parkimise eest. Seepärast antakse sellele tehnoloogiale eelis (hinnang 3) eelmise grupi ees.

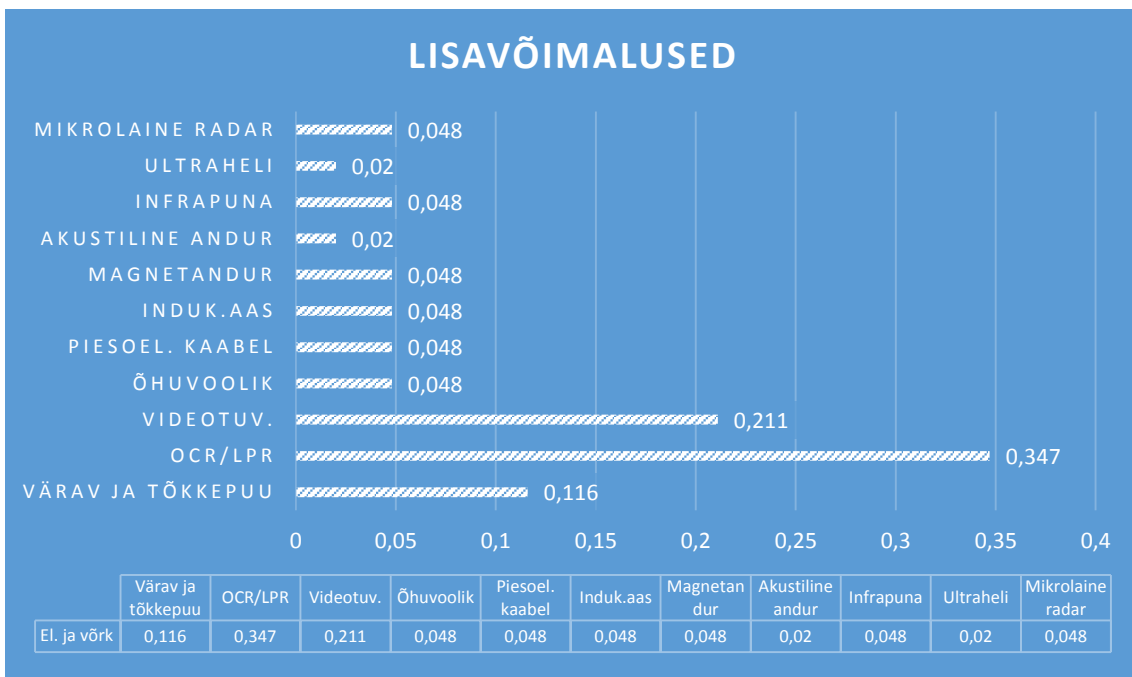
Ka videotuvastuse korral kasvab turvalisus kuna kaameraid on võimalik kasutada ka turvakaameratena. Videopilti võib jagada ka oma veebilehel, rakenduses või oma partneritele. Suure eelisena suudab see tehnoloogia tuvastada ka diagonaalis valesti parkijad. Vabade parkimiskohtade arvu õigsuses võib veenduda ka eemalt, arvutades vabad kohad kokku manuaalselt videopildi põhjal. Videotuvastusele antakse väike eelis värava ja tõkkepuu ees.

Kõige rohkem lisavõimalusi pakub OCR/LPR tehnoloogia. Tehnoloogia võimaldab tuvastada iga individuaalne parkija sõiduki numbrimärgi põhjal. Selle peale on võimalik ehitada palju teenuseid nagu lihtsustatud maksmine, individuaalsed soodustused ja parkimise statistika, koostöö politsei, kindlustus- ja rendifirmadega. Lisaks on võimalik ka OCR/LPR kaameraid kasutada tavaliste turvakaameratena. OCR/LPR tehnoloogiale määratakse väike eelis videotuvastuse ees kuni ekstreemse eeliseni ultrahelianduri ja akustilise anduri ees. Täpsed paaritilised võrdlused on märgitud tabelis 21. Kokkuvõtvad kaalud on kuvatud joonisel 23.

Tabel 21. Tehnoloogiate võrdlus lisavõimaluste alusel

	Värav ja tõkkepuu	OCR/LPR	Videotuvastus	Õhuvoolik	Piesoel. kaabel	Indukts.aas	Magnetandur	Akustiline andur	Infrapuna	Ultraheli	Mikro. radar
Värav ja tõkkepuu	1	0.2	0.33	3	3	3	3	5	3	5	3
OCR/LPR	5	1	3	7	7	7	7	9	7	9	7
Videotuvastus	3	0.33	1	5	5	5	5	7	5	7	5
Õhuvoolik	0.33	0.14	0.2	1	1	1	1	3	1	3	1
Piesoel. kaabel	0.33	0.14	0.2	1	1	1	1	3	1	3	1
Indukts.aas	0.33	0.14	0.2	1	1	1	1	3	1	3	1
Magnetandur	0.33	0.14	0.2	1	1	1	1	3	1	3	1
Akustiline andur	0.2	0.11	0.14	0.33	0.33	0.33	0.33	1	0.33	1	0.33

	Värv ja tõkkepuu	OCR/LPR	Videotuvastus	Õhuvoolik	Piesoel. kaabel	Indukts.aas	Magnetandur	Akustiline andur	Infrapuna	Ultraheli	Mikro. radar
<b>Infrapuna</b>	0.33	0.14	0.2	1	1	1	1	3	1	3	1
<b>Ultraheli</b>	0.2	0.11	0.14	0.33	0.33	0.33	0.33	1	0.33	1	0.33
<b>Mikrolaine radar</b>	0.33	0.14	0.2	1	1	1	1	3	1	3	1



Joonis 23. Tehnoloogiate kaalud lisavõimaluste kriteeriumil

## Riskid ja probleemid

Tehnoloogiad on jagatud 4 gruppi vastavalt tabelile 22:

Tabel 22. Riski ja probleemigrupid

Grupp	Suurimad kitsaskohad	Tehnoloogiad
A	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Keeruline eristada lähestikku liikuvaid või seisvaid sõidukeid</li> <li>▪ Mõningane temperatuuritundlikkus</li> </ul>	Magnetandur Infrapunaandur Mikrolaine radar

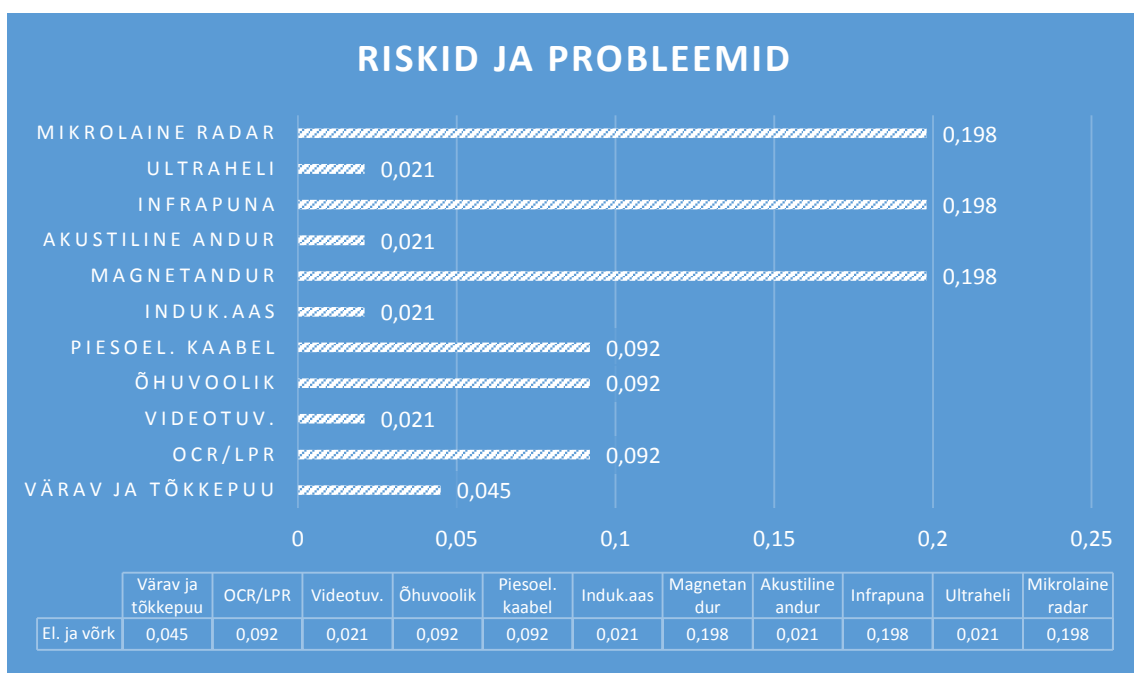
Grupp	Suurimad kitsaskohad	Tehnoloogiad
B	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Keeruline eristada lähestikku liikuvaid või seisvaid sõidukeid</li> <li>▪ Ei arvesta valesti parkimisega, kus üks sõiduk pargib korraga mitmel parkimiskohal</li> <li>▪ Hooldus võib olla keeruline</li> </ul>	OCR/LPR Õhuvoolik Piesoelektriline kaabel
C	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Paigaldus ja hooldus väga kallis ja keeruline</li> <li>▪ Parkijatele parkimisala külastus keerulisem ja aeganõudvam</li> </ul>	Värav ja tõkkepuu
D	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ei ole universaalsed - ei sobi kõikidele parkimisaladele               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Videotuvastusele ei sobi vaatevälja segavad objektid</li> <li>○ Induktsiooniasale ei sobi metalsed konstruktsioonid (nt. sillad)</li> <li>○ Ultrahelianduri võimalikud paigaldamiskohad on väga piiratud</li> <li>○ Akustiline andur ei pruugi sobida kesklinna, kus on palju segavat müra</li> </ul> </li> </ul>	Videotuvastus Induktsioonias Ultraheli Akustiline andur

Grupiseselt hinnatakse kõik tehnoloogiad omavahel võrdseteks (hinnang 1). Gruppide vahel eelistatakse gruppi A, sest autode vahelist vahemaad on võimalik suurendada näiteks kiirustõketega - enne tõket iga järgnev auto pidurdab hoo maha ja seega tekitab vahe eessõitva sõidukiga. Teiste gruppide muud kitsaskohad on suurema tähtsusega. Järgneb grupp B, mis lisaks grupi A kitsaskohtadele, ei suuda tuvastada valesti parkijaid ja hooldus on keerulisem. Seetõttu antakse väike eelis (hinnang 3) grupile A. Värava ja tõkkepuu lahendus on tänu oma paljudele seadmetele tülikas nii klientidele kui parkimisoperaatorile. Nõutud on sagedane hooldus ja olukorra jälgimine. Väike eelis antakse grupile B ja tugev eelis (hinnang 5) grupile A. Kõige suuremate kitsaskohtadega loetakse gruppi D. Tehnoloogiate eripärade tõttu ei saa neid kasutada igal pool, mis on tähtsaks faktoriks tehnoloogia valikul. Grupil A on väga tugev (hinnang 7) eelis grupi D ees. Täpsed paaritilised võrdlused on märgitud tabelis 23 ja kaalud joonisel 24.



Tabel 23. Tehnoloogiate võrdlus riskide ja probleemide kriteeriumi alusel

	Värv ja tõkkepuu	OCR/LPR	Videotuvastus	Õhuvoolik	Piesoel. kaabel	Indukts.aas	Magnetandur	Akustiline andur	Infrapuna	Ultraheli	Mikro. radar
Värv ja tõkkepuu	1	0.33	3	0.33	0.33	3	0.2	3	0.2	3	0.2
OCR/LPR	3	1	5	1	1	5	0.33	5	0.33	5	0.33
Videotuvastus	0.33	0.2	1	0.2	0.2	1	0.14	1	0.14	1	0.14
Õhuvoolik	3	1	5	1	1	5	0.33	5	0.33	5	0.33
Piesoel. kaabel	3	1	5	1	1	5	0.33	5	0.33	5	0.33
Indukts.aas	0.33	0.2	1	0.2	0.2	1	0.14	1	0.14	1	0.14
Magnetandur	5	3	7	3	3	7	1	7	1	7	1
Akustiline andur	0.33	0.2	1	0.2	0.2	1	0.14	1	0.14	1	0.14
Infrapuna	5	3	7	3	3	7	1	7	1	7	1
Ultraheli	0.33	0.2	1	0.2	0.2	1	0.14	1	0.14	1	0.14
Mikrolaine radar	5	3	7	3	3	7	1	7	1	7	1



Joonis 24. Tehnoloogiate kaalud riskide ja probleemide kriteeriumi alusel.

## Hind

Tehnoloogiate umbkaudsed hinnad on välja toodud tabelis 24.

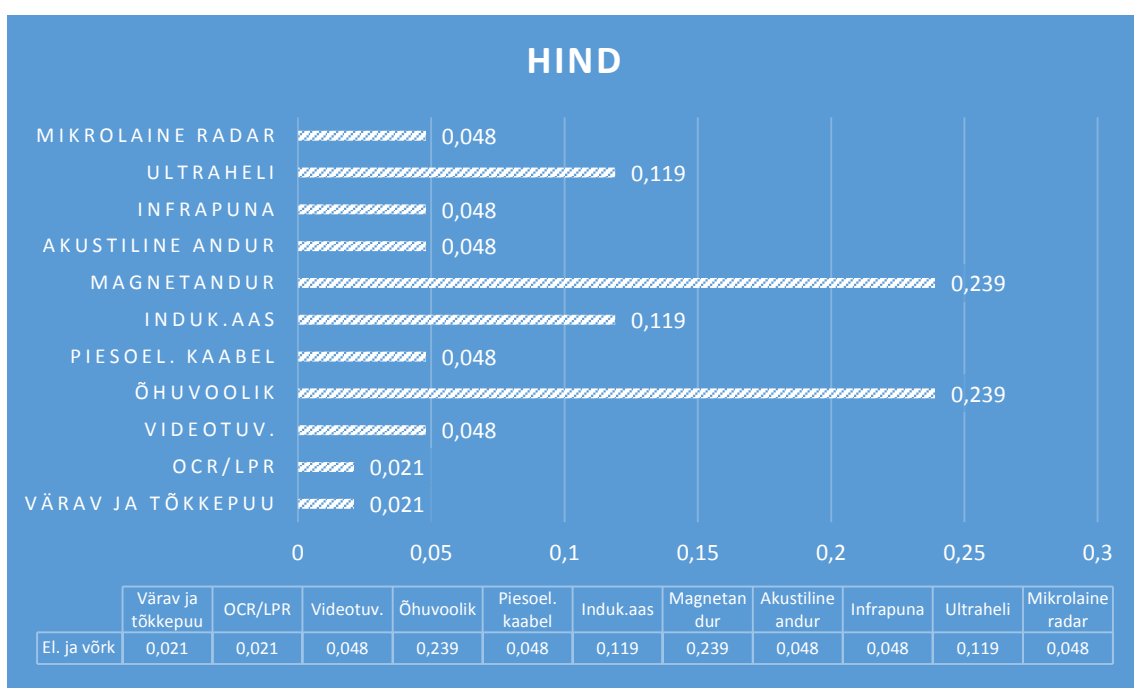
Tabel 24. Tehnoloogiate ligikaudsed hinnad

Tehnoloogia	Umbkaudne hind	Kategooria
Värav ja tõkkepuu	> 5000 €	★★★★★
OCR/LPR	> 5000 €	★★★★★
Videotuvastus	1000 - 5000 €	★★★★☆
Õhuvoolik	100 - 500 €	★★☆☆☆
Piesoelektriline kaabel	1000 - 5000 €	★★★★☆
Induktsioonias	500 - 1000 €	★★★☆☆
Magnetandur	100 - 500 €	★★☆☆☆
Akustiline andur	1000 - 5000 €	★★★★☆
Infrapuna	1000 - 5000 €	★★★★☆
Ultraheli	500 - 1000 €	★★★☆☆
Mikrolaine radar	1000 - 5000 €	★★★★☆

Iga kategooria-punkti erinevus annab 2 punkti erinevust Saaty 9-palli skaalal. Tabelis 25 ja joonisel 25 on märgitud võrdluse tulemused.

Tabel 25. Tehnoloogiate võrdlus hinna alusel

	Värv ja tõekepuu	OCR/LPR	Videotuvastus	Õhuvoolik	Piesoel. kaabel	Indukts.aas	Magnetandur	Akustiline andur	Infrapuna	Ultraheli	Mikro. radar
Värv ja tõekepuu	1	1	0.33	0.14	0.33	0.2	0.14	0.33	0.33	0.2	0.33
OCR/LPR	1	1	0.33	0.14	0.33	0.2	0.14	0.33	0.33	0.2	0.33
Videotuvastus	3	3	1	0.2	1	0.33	0.2	1	1	0.33	1
Õhuvoolik	7	7	5	1	5	3	1	5	5	3	5
Piesoel. kaabel	3	3	1	0.2	1	0.33	0.2	1	1	0.33	1
Indukts.aas	5	5	3	0.33	3	1	0.33	3	3	1	3
Magnetandur	7	7	5	1	5	3	1	5	5	3	5
Akustiline andur	3	3	1	0.2	1	0.33	0.2	1	1	0.33	1
Infrapuna	3	3	1	0.2	1	0.33	0.2	1	1	0.33	1
Ultraheli	5	5	3	0.33	3	1	0.33	3	3	1	3
Mikrolaine radar	3	3	1	0.2	1	0.33	0.2	1	1	0.33	1

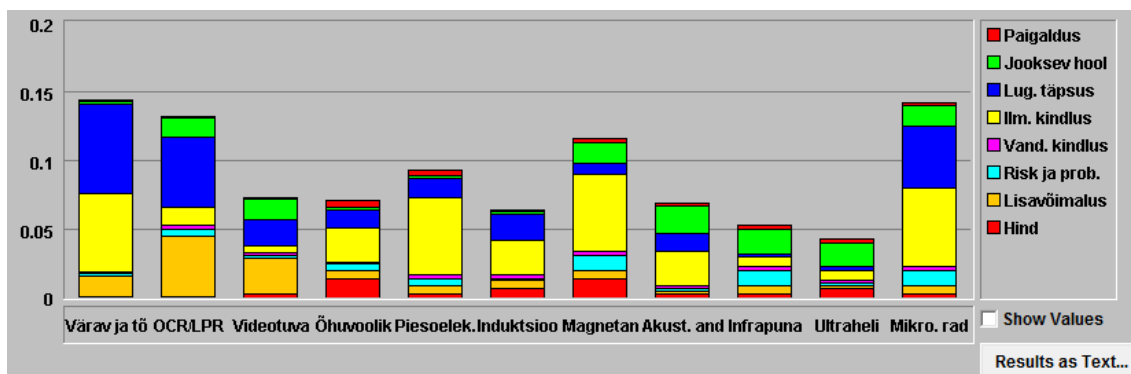


Joonis 25. Tehnoloogiate kaalud hinna kriteeriumi alusel

## 4.4 TULEMUSED

Analüüsi tulemusena osutus kõige eelistatumaks valikuks värava ja tõkkepuu lahendus kaaluga 0.144, millele järgneb üliväikese vahega mikrolaine radar, mis sai kaaluks 0.142. Mõlema puhul mängisid suurt rolli suur lugemistäpsus ja töövõime igasugustes ilmastikuoludes. Nõrgima tulemuse saavutas ultraheliandur kaaluga 0.043. Täpsed tulemused on välja toodud joonisel 26 ja tabelis 26.

Samuti võib välja tuua magnetanduri ja OCR/LPR lahenduse, mis jäävad küll võitjatele alla (vastavalt kaalud 0.116 ja 0.132), kuid on saavutanud sellegipoolest kõrge tulemuse. Magnetandur on soodne alternatiiv, mis pakub stabiilset lugemistäpsust erinevates ilmastikuoludes ja ei vaja suurt hooldust. OCR/LPR on aga kulukam lahendus, mis võimaldab kõige rohkem lisavõimalusi ja -teenuseid.



Joonis 26. Tehnoloogiate võrdluse tulemused

Tabel 26. Võrdluse tulemused

	Paigaldus	Jooksev hooldus	Lugemistäpsus	Ilm.kindlus	Vand.kindlus	Risk ja prob.	Lisavõim.	Hind	KOKKU
Värav ja tõkkepuu	0,001	0,002	0,066	0,057	0,001	0,003	0,015	0,001	<b>0,144</b>
OCR/LPR	0,001	0,014	0,052	0,013	0,003	0,005	0,044	0,001	<b>0,132</b>
Videotuvastus	0,001	0,015	0,019	0,004	0,003	0,001	0,027	0,003	<b>0,073</b>
Õhuvoolik	0,005	0,002	0,013	0,025	0,001	0,005	0,006	0,014	<b>0,071</b>
Piesoelek. Kaabel	0,004	0,002	0,013	0,057	0,003	0,005	0,006	0,003	<b>0,093</b>

	<b>Paigaldus</b>	<b>Jooksev hooldus</b>	<b>Lugemistäpsus</b>	<b>Ilm.kindlus</b>	<b>Vand.kindlus</b>	<b>Risk ja prob.</b>	<b>Lisavõim.</b>	<b>Hind</b>	<b>KOKKU</b>
<b>Indukts.aas</b>	0,001	0,002	0,019	0,025	0,003	0,001	0,006	0,007	<b>0,064</b>
<b>Magnetandur</b>	0,003	0,015	0,008	0,057	0,003	0,011	0,006	0,014	<b>0,116</b>
<b>Akustiline andur</b>	0,002	0,02	0,013	0,025	0,003	0,001	0,003	0,003	<b>0,069</b>
<b>Infrapuna</b>	0,003	0,017	0,003	0,007	0,003	0,011	0,006	0,003	<b>0,053</b>
<b>Ultraheli</b>	0,003	0,017	0,003	0,007	0,003	0,001	0,003	0,007	<b>0,043</b>
<b>Mikrolaine radar</b>	0,002	0,015	0,045	0,057	0,003	0,011	0,006	0,003	<b>0,142</b>

Väärtuste puu on lisatud lisa 2.

## KOKKUVÕTE

Parkimisoperaatoritel on tekkimas vajadus jälgida oma parkimisaladel vabade parkimiskohtade arvu. See võimaldab pakkuda lisateenuseid oma klientidele ja optimeerida enda tegevust ja kulusid. Parkimisaladel vabade kohtade loendamiseks võib palgata eraldi inimese, kes sõidukeid pidevalt loendab, kuid parkimisalade arvu kasvades pole see enam jätkusuutlik ja kuluefektiivne lahendus ja appi tuleb võtta tehnoloogia.

Värava ja tõkkepuu lahenduses paigaldatakse igale sisse- ja väljasõidule värav ja tõkkepuu. Parkija peab võtma sisenemisel pileti ja enne väljumist see tasuma. Kuna süsteemis registreeritakse iga sisenemine ja väljumine, siis on vabade parkimiskohtade leidmine lihtne.

OCR/LPR lahenduses jälgivad spetsiaalsed kaamerad kõiki sisse- ja väljasõite. Tehnoloogia suudab tuvastada sõiduki registreerimisnumbri ja registreerida sisenemine või väljumine. Kuna tehnoloogia pakub võimalust tuvastada iga parkiv sõiduki registreerimismärk, siis selle põhjal on võimalik pakkuda palju uusi teenuseid klientidele ja äripartneritele.

Videotuvastuse puhul jälgib kaamera kogu parkimisala. Spetsiaalse algoritmi alusel tuvastatakse parkimisalal olevad sõidukid ja vabad parkimiskohad.

Õhuvoolikute lahenduses veetakse õhuvoolikud risti sõiduteega. Kui sõiduk sõidab õhuvoolikust üle, tekib õhurõhk, mida spetsiaalne luger suudab tuvastada. Vastavalt õhurõhule, kiirusele ja suunale, on võimalik leida sisenevate ja väljuvate sõidukite arv, mille põhjal tuletada vabade parkimiskohtade arv.

Piesoelektrilisel kaablil baseeruv lahendus toimib sarnaselt õhuvoolikuga, kuid õhuvooliku asemel on kasutatud spetsiaalset kaablit, mis sõiduki ülesõitmisel tekitab elektrilaengut. Ülejäänud tööpõhimõtte ja arvutuskäik on sama õhuvoolikuga.

Induktsiooniaasa lahenduses paigaldatakse teekatte alla ristküliku kujuliselt juhe, millesse suunatakse elektrivool. Selle tulemusena tekib juhtme piirkonnas magnetväli, mida luger jälgib. Kui suur metall-objekt (auto) satub aasa kohale, siis luger suudab seda tuvastada. Paigaldades aasad igale sisse- ja väljasõidule, on võimalik leida kõik sisenemised ja väljumised.

Magnetandurid jälgivad Maa magnetvälja. Metallist objekti möödumisel andurist, magnetväli muutub ja andur registreerib möödumise. Magnetandurite eeliseks on selle lai valik - seda on võimalik paigaldada teekatte alla, peale või kõrvale.

Akustiline andur tuvastab sõiduki poolt tekitatavat häält. Paigaldades andurid sisse- ja väljasõitudele on võimalik tuvastada kõik sisenemised ja väljumised ning selle põhjal leida vabade parkimiskohtade arv.

Infrapunaandurid saavad oma tuvastuspiirkonda energia ja möödavad peegeldunud energia hulka. Kuna sõiduki olemasolul ja selle puudumisel on peegeldunud energia hulk erinev, siis on võimalik tuvastada sõiduki olemasolu või möödumine. Infrapunaandurid võib paigaldada nii sisse- ja väljasõitudele kui ka igale individuaalsele parkimiskohale.

Ultraheli andur saadab oma tuvastuspiirkonda inimkõrvale kuulmatut heli 40KHz piirkonnas. Andur tuvastab pöörkunud kaja. Teades helikiirust, saab leida kaugus tuvastuspiirkonnas oleva objektini. Sõiduki tuvastamisel on kaugus tavapärasest väiksem ja registreeritakse sõiduki olemasolu parkimiskohal või möödumine sisse- või väljasõidust.

Mikrolaine radar saadab oma tuvastuspiirkonda raadiolaineid ja möödab nende peegeldusi. Selle info põhjal on võimalik tuvastada sõiduki olemasolu, sõidusuund ja kiirus. Samas on radaril keeruline tuvastada väga lähestikku sõitvaid või seisvaid sõidukeid.

Kuigi igale konkreetsele parkimisalale võib enim sobida üks või teine tehnoloogia, siis üritati leida universaalne lahendus, mis sobiks enamikele Tallinna parkimisaladele ja annaks parima tulemuse Eesti oludes. Selleks kasutati T. L. Saaty analüütilist hierarhiate meetodit. Tehnoloogiaid võrreldi paigaldamise keerukuse, teetööde vajaduse, elektri- ja võrgujuhtmete vajaduse, mehaanilise kulumise, hoolduse tiheduse, lugemistäpsuse, ilmastikukindluse, vandaalikindluse, lisavõimaluste, riskide ja probleemide ning hinna

kriteeriumite alusel. Tulemusena osutus parimaks valikuks värava ja tõkkepuu lahendus, millele järgnes väikese vahega mikrolaine radaril põhinev lahendus. Võitjatele andis suure eelise kõrge lugemistäpsus ka muutliku ilma korral.



## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] Put it in park with new features in Google Maps [WWW]  
<https://www.blog.google/products/maps/put-it-park-new-features-google-maps/>  
(04.11.2017)
- [2] Tallinna avatud parklad [WWW] <https://www.parkimine.ee/Parkimisinfor/tallinn/parklad>  
(21.10.2017)
- [3] Tallinna parkimismajad [WWW]  
<https://www.parkimine.ee/Parkimisinfor/tallinn/parkimismajad> (21.10.2017)
- [4] Kõik parklad - Tallinn [WWW] <https://europark.ee/> (21.10.2017)
- [5] Kalasadama 10 [WWW] <https://europark.ee/#SelfService.Lot.popInfoBox/399> (21.11.2017)
- [6] Now! Innovations. SaaS for Digital Mobility. Presentation [WWW]  
<http://nowinnovations.edicy.co/parking/parking-presentation> (02.09.2017)
- [7] Fidpark. Client identification [WWW] <http://www.fidpark.com/content/en/294/Client-Identification.html> (02.09.2017)
- [8] How LPR works. [WWW] <http://www.licenseplatesrecognition.com/how-lpr-works.html>  
(20.08.2017)
- [9] Optical character recognition [WWW]  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Optical\\_character\\_recognition](https://en.wikipedia.org/wiki/Optical_character_recognition) (20.08.2017)
- [10] Kitsemägi, M. Tekstivastusega mobiilirakendus Eesti Loto pileтите kontrolliks :  
bakalaureusetöö. Tallinna Tehnikaülikool. Tallinn, 2016
- [11] Hardware Components for Successful License Plate Recognition. [WWW]  
<http://www.licenseplatesrecognition.com/hardware-involved-in-lpr.html> (20.08.2017)
- [12] Haldas M. License Plate Camera vs Non-LPR Security Camera [WWW]  
<https://www.cctvcamerapros.com/License-Plate-Camera-s/963.htm> (20.08.2017)
- [13] U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. A Summary of  
Vehicle Detection and Surveillance Technologies use in Intelligent Transportation Systems.  
[WWW] <https://www.fhwa.dot.gov/policyinformation/pubs/vdstits2007/04.cfm>  
(09.09.2017)
- [14] Płaczek B. A real-time vehicles detection algorithm for vision-based sensors. Silesian  
University of Technology. Katowice, 2011
- [15] Achler O., Trivedi M. M. Camera Based Vehicle Detection, Tracking, and Wheel  
Baseline Estimation Approach. University of California. San Diego, 2004
- [16] Sobral A. Automatic Parking Lot Classification: A Deep CNN Approach [WWW]  
[https://www.behance.net/gallery/29828109/Deep-Learning-Automatic-Parking-Lot-  
Classification](https://www.behance.net/gallery/29828109/Deep-Learning-Automatic-Parking-Lot-Classification) (27.09.2017)
- [17] Transportation decisions driven by traffic counts [WWW]  
[https://www.azdot.gov/media/blog/posts/2011/11/29/transportation-decisions-driven-by-  
traffic-counts](https://www.azdot.gov/media/blog/posts/2011/11/29/transportation-decisions-driven-by-traffic-counts) (21.11.2017)
- [18] Traffic Tally 2 [WWW] <http://diamondtraffic.com/product/Traffic-Tally-2> (09.09.2017)

- [19] Metrocount. Traffic Survey Systems. [WWW]  
<http://media.brintex.com/Occurrence/157/Brochure/4692/brochure.pdf>
- [20] McGowen P., Sanderson M. Accuracy of Pneumatic Road Tube Counters - 2011 Western District Annual Meeting, Institute of Transportation Engineers, Anchorage. Anchorage 2011
- [21] The Piezoelectric Effect [WWW] <http://www.nanomotion.com/piezo-ceramic-motor-technology/piezoelectric-effect/> (16.09.2017)
- [22] The Basics of Loop Vehicle Detection [WWW]  
<http://www.marshproducts.com/pdf/Inductive%20Loop%20Write%20up.pdf> (23.09.2017)
- [23] Briedis P., Trueman H. The Accuracy of Inductive Loop Detectors - ARRB Conference, Melbourne, Australia 2010
- [24] Caruso M. J., Withanawasam L. S. Vehicle Detection and Compass Applications using AMR Magnetic Sensors. Honeywell. Plymouth, 1999
- [25] Bugdol M., Segiet Z., Kręćichwost M., Kasperek P. Transport Problems: Vehicle detection system using magnetic sensors. Silesian University of Technology. Zabrze, 2014
- [26] Daubaras A., Zilyš M. Vehicle Detection based on Magneto-Resistive Magnetic Field Sensor. Kaunas University of Technology. Kaunas, 2012
- [27] Canoga™ Traffic Sensing System: Canoga™ 701 Microloop™ Sensors [WWW]  
<http://www.gtt.com/file/brochures/701%20Microloop%20Sensors.pdf> (25.09.2017)
- [28] Passive acoustic detector arrays [WWW]  
[https://ntl.bts.gov/DOCS/96100/ch05/ch05\\_05.html](https://ntl.bts.gov/DOCS/96100/ch05/ch05_05.html) (27.09.2017)
- [29] Drafts B. Acoustic Wave Technology Sensors [WWW]  
<http://www.sensorsmag.com/components/acoustic-wave-technology-sensors> (27.09.2017)
- [30] Padmavathi G, Shanmugapriya D., Kalaivani M. A Study on Vehicle Detection and Tracking Using Wireless Sensor Networks - Wireless Sensor Network, 2010
- [31] Barbagli B., Manes G., Facchini R., Manes A. Acoustic Sensor Network for Vehicle Traffic Monitoring - VEHICULAR 2012, Venice 2012
- [32] SAS-1 Passive Acoustic Detector (PAD) [WWW]  
<http://www.smarteksys.com/SASpad.html> (27.09.2017)
- [33] SmarTek Systems Price List [WWW] <http://trichord-inc.com/smartek-price-list/> (27.09.2017)
- [34] Mimbela L., Klein L., Kent P., Hamrick J., Luces K., Herrera S. A Summary of Vehicle Detection and Surveillance Technologies used in Intelligent Transportation Systems. New Mexico State University, 2000
- [35] Sensit. Wireless vehicle detection sensors [WWW]  
[http://www.nedapidentification.com/uploads/2015\\_update/Datasheets/SENSIT%20Sensors\\_datasheet\\_Nedap\\_v4.4.pdf](http://www.nedapidentification.com/uploads/2015_update/Datasheets/SENSIT%20Sensors_datasheet_Nedap_v4.4.pdf) (28.09.2017)
- [36] Catalog - Parking management 2017 [WWW]  
[http://www.emacs.es/media/pdf/Catalog\\_Parking.pdf](http://www.emacs.es/media/pdf/Catalog_Parking.pdf) (21.11.2017)
- [37] Agarwal T. Ultrasonic Detection – Basics & Application [WWW]  
<https://www.elprocus.com/ultrasonic-detection-basics-application/> (29.09.2017)
- [38] Ultrasonic Sensors Knowledge (Part 2): Influences on the Sound Beam [WWW]  
<https://www.pepperl-fuchs.us/usa/en/25425.htm> (29.09.2017)
- [39] Brain M. How Radar Works [WWW]  
<http://paos.colorado.edu/~fasullo/1060/resources/radar.htm> (16.10.2017)

- [40] M500 Radar Traffic Counter [WWW] <https://www.clearview-intelligence.com/products/m500-radar-counter> (21.11.2017)
- [41] Helsinki University of Technology. Web-HIPRE [WWW] <http://hipre.aalto.fi/> (23.11.2017)
- [42] Vesioja T. Saaty meetodist - subjektiivsetest hinnangutest objektiivsete tulemusteni : esitlus. Tallinna Tehnikaülikool. Tallinn, 2003

## LISA 1. LPR-KAAMERATE VÕRDLU

Valimisse valitud kaamerad on leitud Google otsingumootori populaarsemate otsingutulemuste põhjal. Välistatud on Hiina hulгимүүjate pakkumised, kuna tihti on nad populaarsete tootjate koopiad ja nende kvaliteet kõigub suurel määral.

Nimi	Geovision GV-IP LPR Camera 5R	Bosch AN 4000 Traffic LPR	KT&C KPC-LP751NU	Messoa LPR610
Resolutsioon	1.3 megapikslit 1280 x 1024	1020 x 596 (PAL) või 1020 x 508 (NTSC)	1020 x 508	2 megapikslit 1920 x 1080
Kaadrisagedus	30	pole täpsustatud	pole täpsustatud	30
Maksimaalne auto sõidukiirus	60 km/h	120 km/h	120 km/h	178 km/h
Ilmastikukindlus	+	+	+	+
Vandaalikindlus	+	-	-	+
Infrapuna välg	+	+	+	+
Maksimaalne tuvastuskaugus	pole täpsustatud	27m	pole täpsustatud	30m
Hind	899.99 USD	595.00 USD	616.00 USD	1938.00 USD
Link	<a href="https://www.cctvcamerapros.com/IP-License-Plate-Capture-Camera-p/gv-ip-lpr-camera-5r.htm">https://www.cctvcamerapros.com/IP-License-Plate-Capture-Camera-p/gv-ip-lpr-camera-5r.htm</a>	<a href="http://www.a2securitycameras.com/bosch-an4000-traffic-license-plate-capture-lpr/">http://www.a2securitycameras.com/bosch-an4000-traffic-license-plate-capture-lpr/</a>	<a href="https://www.surveillance-video.com/license-plate-cameras/camera-kpc-lp751nu.html">https://www.surveillance-video.com/license-plate-cameras/camera-kpc-lp751nu.html</a>	<a href="https://www.a1securitycameras.com/messoa-lpr610.html">https://www.a1securitycameras.com/messoa-lpr610.html</a>

## LISA 2. VÕRDLUSTULEMUSTE VÄÄRTUSTE PUU

Väärtuste puu on järgmine:

- Parkimisala valik
  - Paigaldus 0.027
    - Keerukus 0.731
      - Värav ja tõkkepuu 0.017
      - OCR/LPR 0.017
      - Videotuvastus 0.024
      - Õhuvoolik 0.234
      - Piesoelek. kaabel 0.190
      - Induktsioonias 0.043
      - Magnetandur 0.114
      - Akust. andur 0.066
      - Infrapuna 0.114
      - Ultraheli 0.114
      - Mikro. radar 0.066
    - Teetööde vajadus 0.188
      - Värav ja tõkkepuu 0.108
      - OCR/LPR 0.108
      - Videotuvastus 0.108
      - Õhuvoolik 0.108

- Piesoelek. kaabel 0.012
- Induktsioonias 0.012
- Magnetandur 0.108
- Akust. andur 0.108
- Infrapuna 0.108
- Ultraheli 0.108
- Mikro. radar 0.108
- El. ja võrgu vedamine 0.081
  - Videotuvastus 0.015
  - Õhuvoolik 0.134
  - Piesoelek. kaabel 0.134
  - Induktsioonias 0.015
  - Magnetandur 0.134
  - Akust. andur 0.134
  - Infrapuna 0.134
  - Ultraheli 0.134
  - Mikro. radar 0.134
  - OCR/LPR 0.015
  - Värav ja tõkkepuu 0.015
- Jooksev hooldus 0.121
  - Meh. kulumine 0.750

- Värav ja tõkkepuu 0.015
- OCR/LPR 0.134
- Videotuvastus 0.134
- Õhuvoolik 0.015
- Piesoelek. kaabel 0.015
- Induktsiooniaas 0.015
- Magnetandur 0.134
- Akust. andur 0.134
- Infrapuna 0.134
- Ultraheli 0.134
- Mikro. radar 0.134
- Hoolduse tihedus 0.250
  - Värav ja tõkkepuu 0.017
  - OCR/LPR 0.045
  - Videotuvastus 0.090
  - Õhuvoolik 0.017
  - Piesoelek. kaabel 0.028
  - Induktsiooniaas 0.028
  - Magnetandur 0.090
  - Akust. andur 0.257
  - Infrapuna 0.169

- Ultraheli 0.169
- Mikro. radar 0.090
- Lug. täpsus 0.253
  - Värav ja tõkkepuu 0.259
  - OCR/LPR 0.205
  - Videotuvastus 0.075
  - Õhuvoolik 0.052
  - Piesoelek. kaabel 0.052
  - Induktsiooniaas 0.075
  - Magnetandur 0.030
  - Akust. andur 0.052
  - Infrapuna 0.011
  - Ultraheli 0.011
  - Mikro. radar 0.179
- Ilm. kindlus 0.332
  - Värav ja tõkkepuu 0.171
  - OCR/LPR 0.038
  - Videotuvastus 0.012
  - Õhuvoolik 0.075
  - Piesoelek. kaabel 0.171
  - Induktsiooniaas 0.075



- Magnetandur 0.171
- Akust. andur 0.075
- Infrapuna 0.020
- Ultraheli 0.020
- Mikro. radar 0.171
- Vand. kindlus 0.027
  - Värav ja tõkkepuu 0.020
  - OCR/LPR 0.105
  - Videotuvastus 0.105
  - Õhuvoolik 0.037
  - Piesoelek. kaabel 0.105
  - Induktsioonias 0.105
  - Magnetandur 0.105
  - Akust. andur 0.105
  - Infrapuna 0.105
  - Ultraheli 0.105
  - Mikro. radar 0.105
- Risk ja prob. 0.057
  - Värav ja tõkkepuu 0.045
  - OCR/LPR 0.092
  - Videotuvastus 0.021

- Õhuvoolik 0.092
- Piesoelek. kaabel 0.092
- Induktsioonias 0.021
- Magnetandur 0.198
- Akust. andur 0.021
- Infrapuna 0.198
- Ultraheli 0.021
- Mikro. radar 0.198
- Lisavõimalused 0.126
  - Värav ja tõkkepuu 0.116
  - OCR/LPR 0.347
  - Videotuvastus 0.211
  - Õhuvoolik 0.048
  - Piesoelek. kaabel 0.048
  - Induktsioonias 0.048
  - Magnetandur 0.048
  - Akust. andur 0.020
  - Infrapuna 0.048
  - Ultraheli 0.020
  - Mikro. radar 0.048
- Hind 0.057

- Värav ja tõkkepuu 0.021
- OCR/LPR 0.021
- Videotuvastus 0.048
- Õhuvoolik 0.239
- Piesoelek. kaabel 0.048
- Induktsiooniaas 0.119
- Magnetandur 0.239
- Akust. andur 0.048
- Infrapuna 0.048
- Ultraheli 0.119
- Mikro. radar 0.048