Kaasrahastanud Euroopa Liit

Eesti tuleviku heaks

INNO FOND

MaaS X-tee tehniline analüüs

Tellijad:
Riigikantselei
Transpordiamet
Regionaal- ja Põllumajandusministeerium
Kliimaministeerium

Töö teostajad:
Civitta Eesti AS
Digilogistika Keskus OÜ

DIGILOGISTIKA KESKUS
DIGITAL LOGISTICS
CENTER OF EXCELLENCE

civitta

Transpordiameti, Regionaal- ja Põllumajandusministeeriumi, Kliimaministeeriumi ning Riigikantselei analüüsiprojekti „Liikuvusteenuste ja piletimüügi integreeritud andmevahetusplatvormi MaaS X-tee arendamisele eelnev analüüs“ (riigihanke viitenumber 280377) rahastab Riigikantselei avaliku sektori innovatsioonifond Euroopa Liidu ühtekuuluvuspoliitika 2021-2027 perioodi meetme „Avaliku sektori innovatsioonivõimekuse tõstmine“ vahenditest.

Sisukord

1 Sissejuhatus 5

2 Kontseptsiooni kirjeldus 5

2.1. Välised süsteemid 6

2.2. MaaS X-Tee tuum 6

2.3. Välised registrid 7

2.4. API Gateway 8

2.4.1. Kong/Zuul/Ambassador API Gateway tarkvara (alternatiivid). 8

2.5. Sõidusoodustuste päringusüsteem 9

2.6. Tsentraalne või hajutatud sõiduõiguste haldus 10

2.7. Message Queue 10

2.8. Monitooring 10

2.9. Andmekaitse ja GDPR nõuded 11

3 Kliendiseadmed (riistvara) 11

4 Identiteedi ja sertifikaadihalduse põhimõtted 12

4.1. OAuth 2.0 põhine autentimine mitte-X-Tee osapoolte jaoks 13

4.2. API Gateway kui usalduspartner X-Tee turvaserveritele 13

4.3. Hübriidse süsteemi turvalisuse tagamine 14

4.4. Identiteetide sünkroniseerimine ja ühtsuse tagamine 14

5 Hajusa arhitektuuri API'd 15

5.1. Platvormi APId 16

5.2. Piletilao ehk ühtselt toimiva piletikeskkonna APId 20

5.3. Monitooringu kiht ja andmekaitse 20

6 Andmemudeli alused 21

6.1. Semantiline kooskõla 22

6.2. Personaliseerimine ja privaatsuse tagamine 23

6.3. Andmekvaliteet ja konsistentsus 24

6.4. Skaleeritavuse ja jõudluse optimeerimine 24

6.5. MaaS Operaatori identifikaatorid 26

6.6. Geograafilised metaandmed 27

6.7. Piletisüsteemi identifikaatorid 28

6.8. Tehingute klassifikaatorid 31

6.9. Innovatsiooni võimaldamine läbi standardiseerimise 32

7 Ühtne piletitoodete kataloog 33

7.1. Reaalajas pileti (istekoha) saadavus 34

7.2. Päringute marsruutimise süsteem 34

7.3. Päringute struktuur 35

7.3.1. Ühtsed API lõpp-punktid 35

7.3.2. GET päringud (andmete lugemine) 35

7.3.3. POST päringud (andmete muutmine/tundlik info) 36

7.3.4. Vigade käsitlemine ja HTTP staatuskoodid 36

8 Kokkuvõte 37

8.1. Riskide maandamine ja alternatiivid 38

8.2. Tuleviku visooon 39

1. Sissej□hat□s

MaaS X-tee tehniline analüüs käsitleb Eesti sõidupäringute ja liikuvusteenuste andmekogude, platvormide ja nendevaheliste liideste tehnilist ülesehitust, arhitektuurilist vaadet ja andmemudeli visiooni.

2. Kontseptsiooni kirjeld□s

MaaS X-tee kontseptsiooni mudel koosneb riiklikest andmekogudest, ettevõtete poolt arendatavatest ja hallatavatest infosüsteemidest ning neid ühendavatest liidestest(*API'd*) ning päringuid vahendavast lüüsist (*gateway*), mis moodustavad MaaS andmemudeli tuuma (*core*).

Analüüsi autorid, olles hinnanud Eesti seniseid kogemusi ja katsetusi MaaS toimemudeli loomisel, toetavad suundumust liikuvusteenuste arendamise ja info jagamise osas lähtuda rahvusvahelistest praktikatest ja standarditest, sest Eesti ei ole maailmas unikaalne riik ja inimeste liikuvusvajadused ei piirdu ühe riigi piiridega. Arvestades Eesti turu väiksust, teenuste killustatust ja elanikkonna regionaalset jaotust, on võrdse tähtsusega toetada liikuvusteenuste kättesaadavust nii hajaasustusega piirkondades kui linnakeskkonnas ning soodustada alternatiivide loomist isikliku sõiduauto kasutusele.

Maas X-Tee on mitmekülgne lahendus, mille loomiseks on vajalik võrdselt arvestada äriprotsesside ja seadusandluse toe kui ka tehniliste ning tehnoloogiliste võimalustega. Toimiva tehnilise lahenduse loomine eeldab tänaste regulatsioonide muutmist ja riigi aktiivset sekkumist turumudeli kujundamisse, sh:

- Piletitoodete ühtlustamist ning mitmekesistamist (nt multimodaalsed perioodipiletid)
- Senisest tihedamat koostööd riigi ja ÜTK'de vahel riigihangete nõuete ühtlustamiseks avaliku reisiveo teenuse osutamiseks.
- Riikliku dotatsiooni reeglite üle vaatamist.
- Mikromobiilsete lahenduste integreerimiseks regulatiivsete meetmete rakendamist kohalike omavalitsuste tasemel.
- Riigi, ÜTK'de ja ettevõtete koostöös tuleb lahendada mitme vedaja piletitoodete broneerimine ja tasumine ühe maksega, töötades välja tasu jaotuse põhimõtted ja reeglid (sh reiside ärajäämise ja hüvituste osas).

Väljapakutud arhitektuur on disainitud toetama Eesti liikuvuse ökosüsteemi kasvamist - uusi MaaS platvorme saab lisada standardiseeritud protsessi kaudu, mis sisaldab API sertifitseerimist, turvatestimist ja järkjärgulist liikluse suunamist. Tuum toetab ka rahvusvahelist koostalitlusvõimet, toetades Euroopa MaaS standardeid (TOMP-API, BOB, GTFS, NeTEx) ja võimaldades tulevikus lihtsat integratsiooni teiste riikide MaaS süsteemidega. Mikroteenuste arhitektuur võimaldab komponente uuendada ja skaleerida sõltumatult.

MaaS X-Tee tehniline visioon esindab tänapäevast lähenemist riiklike ja ettevõtetevaheliste teenuste digitaliseerimisele, kus keskne koordineerimine ei tähenda tsentraliseerimist, vaid intelligentset hajutamist, mis tagab nii innovatsiooni vabaduse erasektorile kui ka ühtse, kvaliteetse teenuse

kodanikele. Andmehalduse mõistes on tegu päringupõhise ja juurdepääsu õiguste halduse, mitte massandmete jagamise ja saatmisega, millega kaasneb asjatu koormus.

2.1. Välised süsteemid

MaaS X-Tee peab suutma päringuid vahendada väga erinevate süsteemidega, mis täna valdavalt ei toeta ühegi andmestandardi rakendamist tehniliste nõuetena. Andmete valideerimiseks ja sõidusoodustuste rakendamiseks on tarvis kasutada erinevatel aegadel arendatud riiklikke andmekogusid, mille loomisel ei ole arvesse võetud võimalikku koormust liikuvusteenuste kasutajate andmete valideerimisel. Sellised andmekogud on näiteks:

- Äriregister
- Majandustegevuse register (MTR)
- Liiklusregister
- Teeregister
- Riiklik raudteeliiklusregister (RRR)
- Lennuohutuse järelevalve infosüsteem (LOIS)
- Laevakinnistussraamat
- Kohanimeregister
- Eesti rahvastikuregister (RR)
- Sotsiaalkindlustusregister (SKAIS)
- Haridusregister (EHIS)

Riiklike registrite kaasamine MaaS X-Tee mudelisse on vältimatu kuna Eestis kehtib avalike teenuste puhul ühekordse andmesisestuse (Once only) nõue ja kõik andmekogud on ühendatud riikliku X-Tee kaudu. Seega iga tegevuse puhul, mis vajab valideerimist registris olevate andmete kaudu, tuleb sooritada päringud või andmete uuendamine läbi X-tee keskkonna. Tänane sõidusoodustuse tuvastamine toimub Ridango süsteemis, kus hallatakse isikustatud ühiskaardi omanike andmeid.

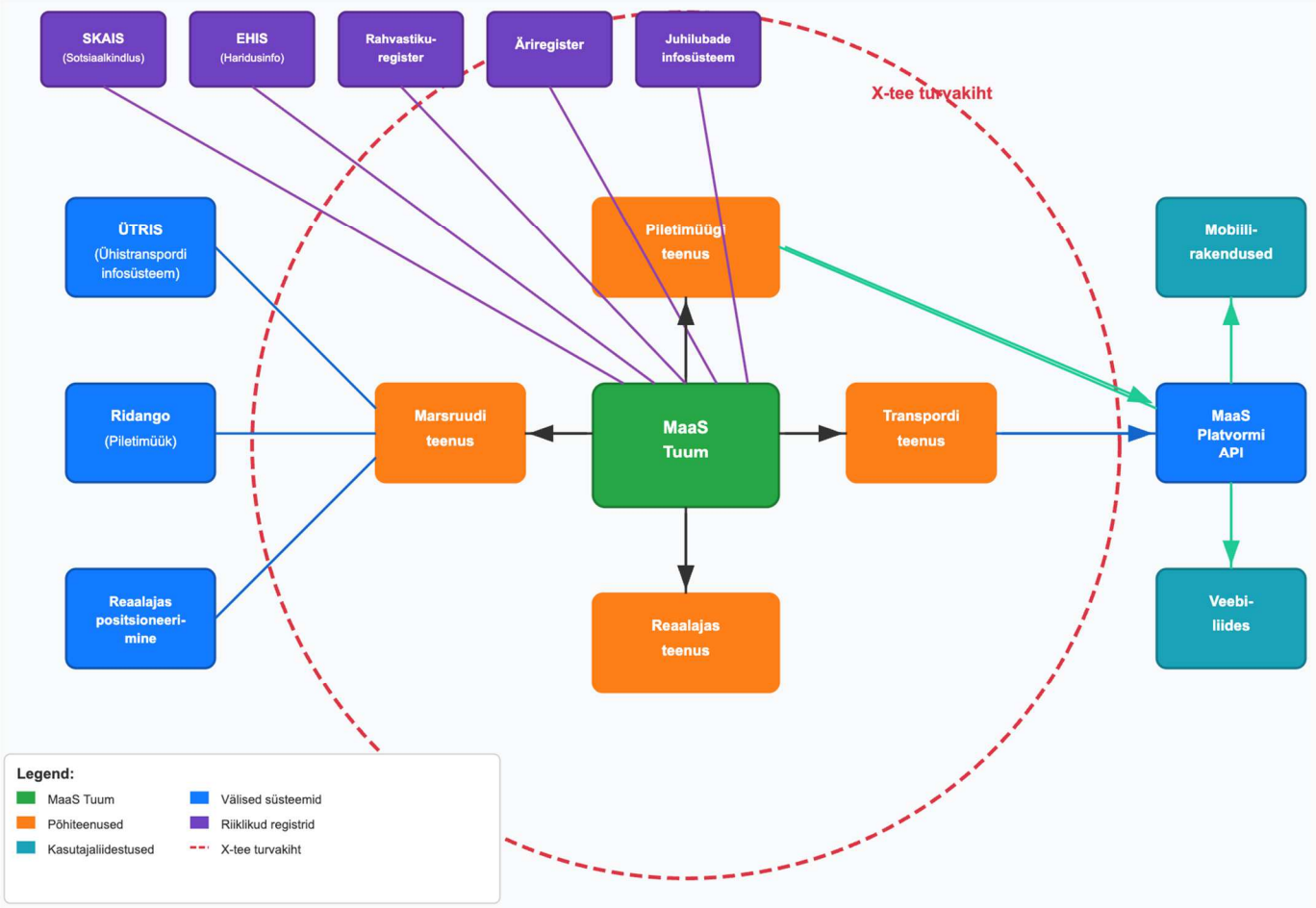
Lisaks avalikele registritele peab MaaS X-Tee tagama päringute vahendamise ettevõtete infosüsteemidega istekohtade, jalgrataste vm sõiduvahendi broneerimiseks, sõiduõiguse valideerimiseks või piletitoodete müümiseks, olenemata sellest kas reis toimub riiklikult doteeritud või vaba turu vedajatega, kes on oma piletid MaaS süsteemi eraldanud. Samuti peab süsteem saama infot ühistranspordi asukohast reaalajas ning võimaldama reisi planeerimist.

Välise süsteemina tuleb käsitleda ka makselahenduste pakkujaid või rahvusvahelisi operaatoreid (nt Tallink, Viking Line jt) sest mitme vedaja piletitoodete ost ühest kohast eeldab sertifitseeritud finantsteenuse kasutust. Kui MaaS operaator ainult vahendab Tallinki, Viking Line või Eckerö Line pileteid (toimib piletimüügi platvormina), siis ei peaks tavaliselt reisikorraldaja litsentsi vaja olema. See oleks sarnane sellega, kuidas praegu müüvad reisibürood lennupileteid ilma reisikorraldaja litsentsi omamata.

2.2. MaaS X-Tee t□□m

MaaS X-Tee tuum toimib keskse andmepäringute koordineerimiskihina hajutatud liikuvusteenuste ökosüsteemis, kus erinevad MaaS platvormid opereerivad autonoomselt, säilitades samas globaalse

süsteemi terviklikkuse ja andmete konsistentsuse. Tehnilises mõttes on Tuum kogum tarkvaralisi mikroteenuseid, mille ülesanne on API'de haldus, päringute ja vastuste vahendamine ning turvalise andmevahetuse kindlustamine ka olukorras, kus üks või teine osapool ei ole kättesaadav. MaaS X-Tee tuuma komponendid on kirjeldatud järgnevates peatükkides.



Joonis 1 MaaS X-Tee peamised komponendid

2.3. Välised registrid

Eesti avalikud andmekogud moodustavad MaaS süsteemi sõidutingimuste ja -soodustuste selgroo. Rahvastikuregister koos aadressregistriga võimaldavad kasutajate kiire ja usaldusväärse identifitseerimise, tagades et ainult õigustatud isikud saavad kasutada regionaalseid soodustusi.

Sotsiaalkindlustusameti infosüsteem SKAIS pakub olulist teavet näiteks pensionäride, puuetega inimeste või töötute õigusele soodsamatele piletitele.

Hariduse infosüsteem EHIS kinnitab õpilaste ja üliõpilaste staatust, mis on vajalik noorte soodustuste rakendamiseks.

Autoregistri päringut on tarvis juhilubade olemasolu kontrollimiseks, kui teekond sisaldab rendiauto kasutust.

Transpordisektori spetsiifilised andmekogud nagu ÜTRIS tagavad reaalajas juurdepääsu sõiduplaanidele, marsruudi muudatustele ja ühtse piletisüsteemi toimimisele. Täna on ÜTRIS asendumas uue süsteemiga REMIX ja kuna tegemist on avalikke Google päringuid toetava lahendusega, ei ole see andmekogu ühendatud x-tee usaldusvõrku.

Äriregistri ja MTR päringud on vajalikud uute MaaS operaatorite või vedajate kaasamisel, et kontrollida nende õiguslikku staatust (registreering, kontaktid, tegevusload) ning juriidilisest isikutest klientide autentimiseks.

Avalike registrite liidestamiseks on Eestis olemas vastavad x-Tee komponendid (turvaväravad, mille kasutamine on kohustuslik). MaaS X-Tee komponendid, mis arendatakse umbisikustatud päringute tegemiseks andmekogudesse, tuleb kooskõlastada Riigi Infosüsteemide Ameti (RIA)-ga.

Andmeid välistest registritest eraldi kokku pärida, mille tulemusena tekiks uus andmekogu, seadus ei võimalda. Seega tuleb iga sõiduõiguse päring teha vastu registrit ja selleks, et seda koormust hajutada, on mõistlik arendada vastav lahendus, mis tagaks umbisikustatud (aliased) andmete vahtuse registri ja MaaS tuuma vahel.

2.4. API Gateway

API Gateway toimib süsteemi peamise liikluskorraldajana, läbi mille kõik välised päringud suunatakse. Tehnoloogiliselt oleks valida kas Kong, Zuul või Ambassador tarkvara, mis pakub mitmekihilist kaitset ja kontrolli. “Rate limiting” funktsioon piirab kasutajate päringute arvu näiteks 1000-le minutis, kaitstes süsteemi ülekoormuse eest ja tagades võrdse teenuse kõigile kasutajatele. OAuth2 ja JWT tokenite süsteem tagab turvalise autentimise, integreerides ID-kaardi, Smart-ID ja Mobile-ID teenustega. Gateway agregeerib andmeid mitmest allikast - näiteks Rahvastikuregister, Haridusregister, Sotsiaalkindlustusameti süsteemid SKAIS ja STAR - ning esitab need standardiseeritud JSON API kaudu. Protobuf andmevorming võimaldab kiiremat andmevahetust eriti olulistes funktsioonides nagu piletite müük ja sõidukaartide valideerimine, vähendades latentsust ja võrguliiklust. Gateway logib ka kõik päringud hilisemaks analüüsiks ja veahalduse analüüsiks

2.4.1. Kong/Zuul/Ambassador API Gateway tarkvara (alternatiivid)

Kong on Lua keeles kirjutatud avatud lähtekoodiga API Gateway, mis töötab Nginx web serveriga ja suudab töödelda kümneid tuhandeid päringuid sekundis.

Zuul on Netflix poolt arendatud Java-põhine API Gateway, mis on osa Spring Cloud ökosüsteemist. Peamised omadused - Java ökosüsteem - sobib hästi Spring Boot rakendustega ja on kasutuses Netflix'i massive scale'is. Zuul 2 on asünkroonne, ning võimaldab automaatset teenuste tuvastamist uute süsteemide liidestamisel.

Ambassador on Kubernetese API Gateway, mis on loodud spetsiaalselt mikroteenuste arhitektuurile. Tema peamisteks omadusteks on Kubernetes klastrite tugi, Envoy Proxy - kasutab aluspõhjana Envoy reverse proxy'd, YAML ehk Kubernetes stiilis konfiguraatorit, millel on muuhulgas gRPC tugi.

- Rate limiting (1000 req/min/kasutaja)
- OAuth2 + JWT autentimise
- Protobuf andmevahetuse piletite, sõidukaartide, soodustuste jms jaoks

API Gateway eesmärk on platvormide vaheliste koostöö koordineerimine (päringute ja vastuste vahendamine), tagamaks et hajutatud süsteem toimiks sujuvalt ja konfliktivabalt. Liideste kiht ehk API gateway on REST raamistikul põhinevate liideste kogum, mis toetab päringute ja vastuste vahendamist jSon ning XML formaadis. Tegemist on avalike APi kirjeldustega, mille dokumentatsiooni hallatakse SWAGGER's ning mis on kätte saadav Github või mõne muu vastava keskkonna vahendusel. Iga API võimaldab ühe või kahepoolset, sünkroniseeritud või asünkroonset päringu teostamist, mille algatab lõppkasutaja MaaS Platvormil ning mida MaaS Tuum vahendab, sõltuvalt päringu tüübist, teisele osapoolele.

Platvormidevaheliste päringute koordinaator sisaldab algoritme broneeringute koordineerimiseks - kui kasutaja platvormis A proovib broneerida sama istekohta, mida keegi platvormis B just reserveeris, siis koordinaator tuvastab konflikti reaalajas ja rakendab eelnevalt määratletud lahendusstrateegiat (tavaliselt "esimene tulnu, esimene teenitud" põhimõtet).

2.5. Sõid□sood□st□ste päring□süsteem

MaaS X-Tee tuuma üheks kriitiliseks komponendiks on **hajus** soodustuste päringusüsteem, mis lahendab vanemate riiklike andmekogude jõudlusprobleeme läbi intelligentse vahemälu ja optimeeritud andmebaasipäringute. Iga riikliku andmekogu (HTM, SKA, TA) juurde on paigaldatud spetsiaalne päringute puhverserver, mis toimib autonoomse komponendina ja suhtleb otse andmekogu andmebaasiga, vältides aeglast X-tee kiht-kihi järel kommunikatsiooni. Puhver säilitab krüpteeritud kujul isikukoodi alias-e ja nendega seotud soodustusstaatused määratud perioodiks - õpilasstaatus salvestatakse 6 kuuks, pensionäristaatus 12 kuuks, puudestaatus 24 kuuks vastavalt staatuse eeldatavale muutumise sagedusele. See vähendab märkimisväärselt vanemate süsteemide koormust, mis pole disainitud massiliste reaalajas päringute jaoks. Päringud toimivad täielikult pseudonüümiseeritud kujul - isiklikud andmed ei liigu süsteemis, vaid ainult krüpteeritud identifikaatorid ja soodustusõigust kinnitavad boolean väärtused. API tagastab standardiseeritud formaadis andmed, mis on juba harmoniseeritud ja valmis kasutamiseks, ilma et platvorm peaks teadma, millisest süsteemist milline andmed pärit on.

Päringud toimivad täielikult umbisikustatud kujul: MaaS platvorm edastab tuumale krüpteeritud isikukoodi hash-i, tuum genereerib ajutise alias-e ja pärib selle abil puhvrist ainult soodustusõigust kinnitavat boolean väärtust. Näiteks EHIS puhvri päring *{"alias": "temp_12345", "query_type": "student_discount"}* tagastab lihtsalt *{"eligible": true, "valid_until": "2025-12-31", "cached_at": "2025-07-01"}*. Süsteem saab sel viisil lihtsalt tuvastada ka väärtuste uuenduse - puhver tuvastab automaatselt muutusi andmekogus (nt õpilase lõpetamine) ja eemaldab aegunud kirjed, tagades andmete ajakohasuse ilma tarbetu päringukoormata. See lähenemine vähendab koormust, muutes soodustuste kontrollimise kiireks ja skaleeritavaks isegi tipptundidel, kui tuhandeid kasutajaid samaaegset pileteid ostavad.

Sellise lahenduse puhul võib ette näha ka andmete semantilise versioneerimise võimalust, kasutadesnäiteks SemVer+Conventional Commits tarkvara, mis tagab mitmekeelse semantilise ühilduvuse rahvusvaheliste teenustega.

2.6. Tsentraalne või haj□tat□d sõid□õig□ste hald□s

MaaS X-tee sõiduõiguste ja fikseeritud istekohtade piletite broneerimiseks ja ostude haldamiseks on kaks võimalust - luua tsentraalne andmekogu või luua nö hajutatud lahendus, mis tagab reaalajas info olemasolu piletite broneerimise ja ostu osas. Keskse ehk tsentraalse lahenduse saaks ehk luua täna T-Pileti baasil või eraldi arenduse hankega, hajusa süsteemi jaoks on vajalik välja arendada “piletilao koordinaator” ehk analoogne tehniline komponent nagu avalike andmekogude puhul. See lahendud tagaks, et andmeid ei liigutata ettevõtete piletimüügi rakendustest välja vaid juhitakse päringuid läbi ühtse andmemudeli ja schema.

Piletilao koordinaator tagab, et iga MaaS platvormi juures asuv kohalik piletiladu oleks sünkroniseeritud globaalse seisuga, säilitades samas madala latentsuse kohalike toimingute jaoks. Koordinaator kasutab kahefaasilise kinnitamise protokolli, mis tagab et broneeringud on kas kõigis süsteemides kinnitatud või kõigis tühistatud - osalisi broneeringuid ei teki. Sünkroniseerimine toimub mitmekihiliselt: staatilised andmed (sõiduplaanid, hinnakirjad) uuendatakse iga 5 minuti järel, dünaamilised andmed (vabad istekohad) iga 30 sekundi järel, ja kriitilised sündmused (broneeringud, tühistamised) reaalajas. Koordinaator jälgib ka andmete kvaliteeti ja konsistentsust, tuvastades ning lahendades automaatselt väiksemaid erinevusi, samas eskaleerides suuremad probleemid kasutajatoele.

2.7. Message Q□e□e

Apache Kafka või RabbitMQ asünkroonne sõnumite järjekord võimaldab süsteemi komponentidel suhelda ilma otsest ühendust nõudmata. See on eriti oluline kõrge koormuse perioodidel, kui süsteem peab kiiresti töötlema tuhandeid piletimüüke või sõiduki asukoha uuendusi. Event-driven arhitektuur tagab, et süsteemi eri osad võivad töötada oma tempos - näiteks maksete töötlemine võib võtta kauem aega, kuid see ei takista piletite väljaandmist. Sõnumite säilitamine võimaldab ka süsteemi taastamist tõrgete korral ja tagab andmete terviklikkuse. Kafka on kohane real-time andmevoo töötlemiseks, pakkudes kõrget läbilaskevõimet ja vastupidavust.

2.8. Monitooring

Prometheus ja Grafana kombinatsioon pakub reaalajas ülevaadet süsteemi toimimisest, jälgides API vastamisaegu, läbilaskevõimet ja vigade määra. Automaatsed hoiatused teavitavad administraatoreid probleemidest enne, kui need mõjutavad lõppkasutajaid. ELK Stack kogub ja analüüsib logisid kõikidest süsteemi komponentidest, võimaldades kiiremat probleemide diagnoosimist ja kasutajate käitumismustrite analüüsimist. Zabbix jälgib infrastruktuuri taset - serverite tervist, võrguühendust ja andmebaaside jõudlust. See kolmetasandiline monitooring tagab nii tehnilise kui ka ärilise vaate süsteemi toimimisele, aidates optimeerida ressursside kasutamist ja planeerida tuleviku vajadusi.

2.9. Andmekaitse ja GDPR nõ□ded

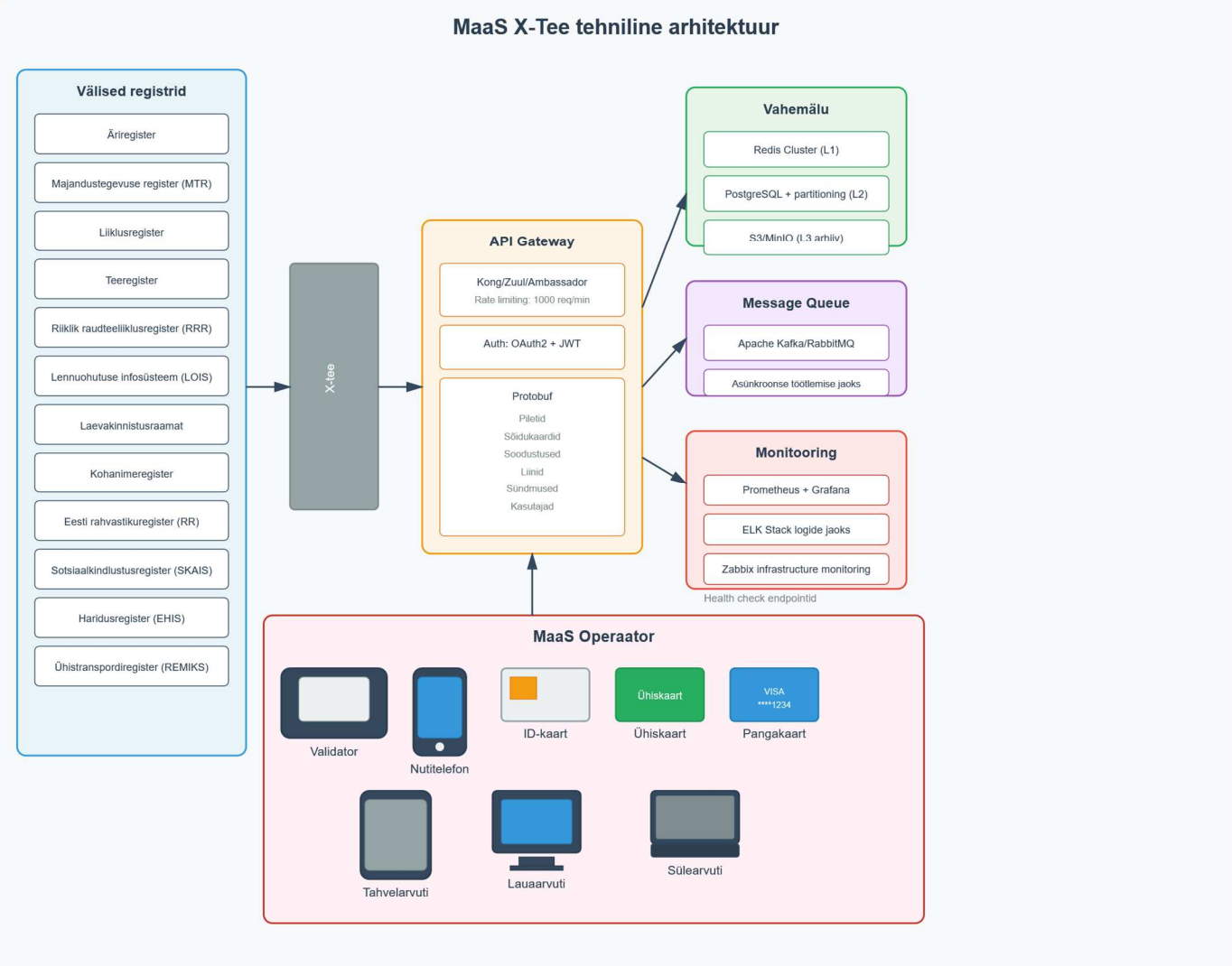
Andmekaitse nõudeid on arvestatud süsteemi arhitektuuri aluspõhimõtetesse. Isikuandmed ei liigu süsteemis tervikuna, vaid kasutatakse pseudonüümiseeritud identifikaatoreid ja minimaalse andmete printsiipi. Kasutajatel on täielik kontroll oma andmete üle - nad saavad vaadata, muuta ja kustutada oma informatsiooni ning eksportida selle teistesse süsteemidesse.

Andmete säilitamise perioodid on määratletud konkreetselt iga andmetüübi jaoks. Broneeringute andmed säilitatakse kaks aastat raamatupidamislike nõuete tõttu, maksete andmed seitse aastat ja sõiduajalugu kolm aastat, välja arvatud juhul, kui kasutaja soovib varasemat kustutamist. Süsteem kustutab andmed automaatselt määratud perioodide möödudes.

Andmetöötluslepingud määratlevad selgelt iga osapoole vastutused. MaaS platvormid on tavaliselt andmete vastutavad töötlejad, X-Tee tuum toimib volitatud töötlejana ja riiklikud andmekogud säilitavad oma rolli vastavates valdkondades. Kõik osapooled peavad järgima GDPR nõudeid ja Eesti isikuandmete kaitse seadust.

3. Kliendiseadmed (riistvara)

Füüsilised seadmed ja digitaalsed liidesed moodustavad MaaS süsteemi nähtava osa kasutajatele. Validaatorid ühistranspordis võimaldavad kiire ja usaldusväärse piletikontrolli, sünkroniseerides andmeid reaalajas keskse süsteemiga. Nutitelefonide rakendused pakuvad terviklikku MaaS kogemust - reisiplaneerimist, piletite ostu ja reaalajas jälgimist. Offline funktsionaalsus (e-wallet) tagab teenuse toimimise ka halva võrguühenduse korral. ID-kaart ja Smart-ID integratsioon võimaldab turvalist autentimist ja maksete kinnitamist, samas kui ühiskaardid ja pangakaardid pakuvad contactless maksekogemust. Kõik seadmed kommunikeerivad standardiseeritud protokollidega, tagades süsteemi ühtsuse ja usaldatavuse.



Joonis 2 MaaS X-Tee tehniline arhitektuur

4. Identiteedi ja sertifikaadihald□se põhimõtted

MaaS X-Tee keskkonnas rakendatakse hübriidset identiteedihalduse mudelit, mis võimaldab nii X-Tee liikmetel kui ka mitte-X-Tee osapooltel sujuvalt MaaS ökosüsteemis osaleda. See arhitektuur tagab, et ettevõtted (eriti väiksemad ettevõtted, startupid või välismaised teenusepakkujad) ei ole X-Tee otsesed liikmed ning nende integreerimine otse X-Tee infrastruktuuri oleks ebaproportsionaalselt kulukas ja keeruline.

Süsteemi tuum jaguneb kaheks identiteedihalduse kihiks: **X-Tee turvakiht** riiklike asutuste ja suurte strateegiliste operaatorite jaoks, ning **OAuth 2□0 / API Gateway kiht** väiksemate operaatorite, kolmandate osapoolte ja rahvusvaheliste teenusepakkujate jaoks. Need kaks kihti on omavahel integreeritud läbi MaaS X-Tee tuuma API Gateway komponendi, mis toimib usalduspartnerina ja identiteedi haldurina kahe erineva autentimissüsteemi vahel.

MaaS X-Tee tuum sisaldab spetsiaalset **Identity Bridge** komponenti, mis on üheaegselt nii X-Tee turvaserveri klient kui ka OAuth 2.0 autoriseerimise server. See komponent hoiab keskset registrit kõigi MaaS ökosüsteemi osapoolte kohta, olenemata nende tehnilisest integratsiooni viisist ja tagab ühtse identiteedi halduse kogu süsteemis. Identity Bridge vastutab ka identiteetide vastendamise eest - näiteks kui X-Tee kaudu autenditud kasutaja soovib teenust OAuth-põhiselt operaatorilt, siis Bridge genereerib ajutise OAuth tokeni, mis sisaldab vajalikku informatsiooni ilma kasutaja isikuandmeid paljastamata.

4.1. OA□th 2.0 põhine a□tentimine mitte-X-Tee osapoolte jaoks

Mitte-X-Tee osapooled kasutavad tänapäevast OAuth 2.0 + OpenID Connect (OIDC) autentimise mudelit, mis on integreeritud API Gateway-ga. Registreerimisprotsess nende jaoks on lihtsustatud, kuid siiski range: ettevõte esitab avalduse, läbib testid testkeskkonnas, kuid ei pea läbima X-Tee sertifitseerimise keerulist protsessi.

Registreerimise järel saab osapool OAuth 2.0 kliendi identifikaatori (client_id) ja salajase võtme (client_secret), mille abil ta saab genereerida API juurdepääsu tokeneid. Tokenhaldus toimub MaaS X-Tee tuuma poolt - operaator ei pea ise OAuth serverit käitama, vaid kasutab MaaS keskkonna keskset OAuth teenusel. See tagab ühtse turvalisuse taseme ja vähendab väiksemate operaatoride tehnlist koormust.

4.2. API Gateway k□i □sald□spartner X-Tee t□rvaserveritele

MaaS X-Tee tuuma API Gateway on X-Tee liige, kes omab kõiki vajalikke sertifikaate ja volitusi riiklike andmekogude pärimiseks, kuid toimib samaaegselt ka kui proxy ja usalduspartner OAuth-põhiste osapoolte jaoks. See tähendab, et API Gateway on X-Tee turvaserverite jaoks usaldusväärrne partner, kes võib esitada päringuid teiste osapoolte nimel.

Kui OAuth-põhine operaator (näiteks bussiettevõte) soovib valideerida kasutaja õpilas-staatust soodustuse andmiseks või kinnitamiseks, siis ta ei saa otse Haridusregistrile päringu esitada. Selle asemel esitab ta OAuth-autenditud päringu MaaS API Gateway-le, mis valideerib operaatori volitused ja seejärel esitab X-Tee kaudu päringu Haridusregistrile oma sertifikaatide abil. Haridusregister näeb päringut tulemas usaldusväärselt MaaS süsteemilt ja vastab sellele, pärast mida API Gateway edastab vastuse tagasi OAuth operaatorile.

See delegeeritud usalduse mudel tagab, et väikesed operaatorid saavad ligipääsu riiklike andmekogudel, ilma et nad ise peaksid muutuma X-Tee liikmeteks. Samaaegselt säilib X-Tee turvalisus, kuna kõik päringud tulevad siiski usaldusväärselt sertifitseeritud MaaS süsteemilt. API Gateway vastutab selle eest, et OAuth operaatorite päringud vastavad samadele turvalisuse ja andmekaitse nõuetele nagu X-Tee liikme päringud.

API Gateway implementeerib ka "claims mapping" funktsionaalsust, mis tõlgib OAuth tokenites sisalduvaid volitusi X-Tee päringute konteksti. Näiteks OAuth volitus discount.student.verify transformeeritakse X-Tee päringul ee-dev.x-road.eu/GOV/70000740/htm/opilaseStaatus koos

vajalike parameetritega. See tagab, et OAuth operaatorid saavad kasutada sama funktsionaalsuse nagu X-Tee liikmed, kuid lihtsustatud tehnilise liidese kaudu.

Näide: OAuth tokenid sisaldavad JWT (JSON Web Token) formaadis kodeeritud volitusi, mis määratlevad täpselt, millised API-d ja andmed on konkreetsele operaatorile kättesaadavad. Näiteks väike mikromobiilsuse operaator võib saada volitused vehicle.location.update, booking.create, payment.receive, kuid mitte user.personal_data.access või system.configuration.modify. Need volitused on allkirjastatud MaaS tuuma privaatvõtmega ja on kehtivad tavaliselt 1 tund, pärast mida need tuleb uuendada.

Tokenite uuendamine toimub refresh token mehhanismi abil, mis võimaldab operaatoril saada uusi access tokeneid ilma kasutaja sekkumiseta. Refresh tokenid kehtivad kauem (tavaliselt 30 päeva) ja salvestatakse turvaliselt operaatori süsteemis. Kui refresh token aegub või rikutakse, peab operaator uuesti läbima autentimisprotsessi.

4.3. Hübriidse süsteemi t□rvalis□se tagamine

Kaks erinevat autentimissüsteemi loob olukorra, mis nõuab hoolikat disaini ja kokkulepitud andmemudelit. MaaS X-Tee tuum peab tagama, et OAuth-põhiste osapoolte madalam sertifitseerimise tase ei ohusta X-Tee liikme või kogu süsteemi turvalisust. Selleks rakendatakse mitmetasandiline turvakontrolli süsteem.

OAuth operaatorite jaoks kehtivad täiendavad piirangud, mis X-Tee liikmetele ei ole vajalikud. Näiteks nende päringute maht on piiratud (rate limiting), päringute puhul rakendatakse anonümiseerimist (isikuandmeid ei väljastata andmekogudest vaid läbi aliaste tagatakse vajalike päringute tulemus kokkulepitud vormis – enamasti jah/ei) ning nende tegevust logitakse. Iga OAuth operaatori päring läbib valideerimise API Gateway tasemel, kus kontrollitakse päringu vastavust osapoole registreeritud profiilile.

Token-põhise autentimise turvalisus saavutada läbi lühikese kehtivusaja (1 tund access token), range formaadi kontrolli (täpselt määratletud volitused) ja krüptograafilise allkirjastamise. Kõik tokenid sisaldavad JWT ID elementi, mis on unikaalne iga token jaoks ja võimaldab süsteemil vajadusel konkreetseid tokeneid tühistada. Kahtlase käitumise korral võib API Gateway koheselt tühistada operaatori kõik aktiivsed tokenid ja nõuda uuesti autentimist.

Lisaks rakendatakse "circuit breaker" mudelit, kus probleemne OAuth operaator isoleeritakse automaatselt süsteemist määratud aja jooksul või kuni probleemi lahendamiseni. See kaitseb nii X-Tee komponente kui ka teisi osapooli võimalike turvaintsidentide eest. Isoleerimise käivitavad automaatse anomaaliate tuvastamise algoritmid, mis jälgivad päringute mustreid, vigade määrasid ja kasutajate kaebusi.

4.4. Identiteetide sünkroniseerimine ja ühts□se tagamine

Hübriidse identiteedihalduse mudeli üks kriitilisimaid aspekte on tagada, et X-Tee ja OAuth-põhised kasutajad ja teenused näevad üksteist järjepidevalt ja saavad sujuvalt koostööd teha. MaaS X-Tee

tuum säilitab keskset **Identity Registry**, mis sisaldab kõigi ökosüsteemi osapoolte metaandmeid, olenemata nende tehnilisest integratsioonist.

Identity Registry sisaldab iga osapoole kohta järgmist informatsiooni: Üldine identifikaator (registrikood, välismaal registreeritud ettevõtte korral analoogne), tehniline identifikaator (X-Tee member code või OAuth client_id), funktsionaalsed rollid ja volitused, kontaktandmed ja vastutavad isikud, lisaks võivad olla veel SLA-d ja teenustaseme lepped ja muud täpsustavad tingimused ja piiranguid. See võimaldab süsteemil pakkuda ühtset teenuste kataloogi ja võimaldab kasutajatel leida vajalikke teenuseid olenemata aluseks olevast tehnoloogiast.

Identiteetide registreerimine toimub läbi standardiseeritud metaandmete protokolli. X-Tee osapooled avavad oma teenused läbi X-tee globaalse konfiguratsiooni, OAuth osapooled registreerivad oma teenused MaaS teenuste registris. API Gateway agregeerib mõlemaid allikaid ja pakub ühtset Discovery API'd, mis võimaldab igal osapoolel leida ja kasutada kõiki saadaolevaid teenuseid ühtse liidese kaudu. See abstraktsioon peidab tehnilised erinevused ja võimaldab sujuvat koostööd.

Sünkroniseerimist toetab ka ühtne auditeerimise raamistik, mis kogub logisid mõlemast keskkonnast ja esitab need ühtses formaadis. See võimaldab terviklikku ülevaadet süsteemi kasutamisest, olenemata sellest, kas konkreetne tegevus toimus X-Tee või OAuth keskkonnas. Auditeerimise ühtsus on eriti oluline rahanduslikest arvelduste ja andmekaitse nõuete täitmise seisukohalt.

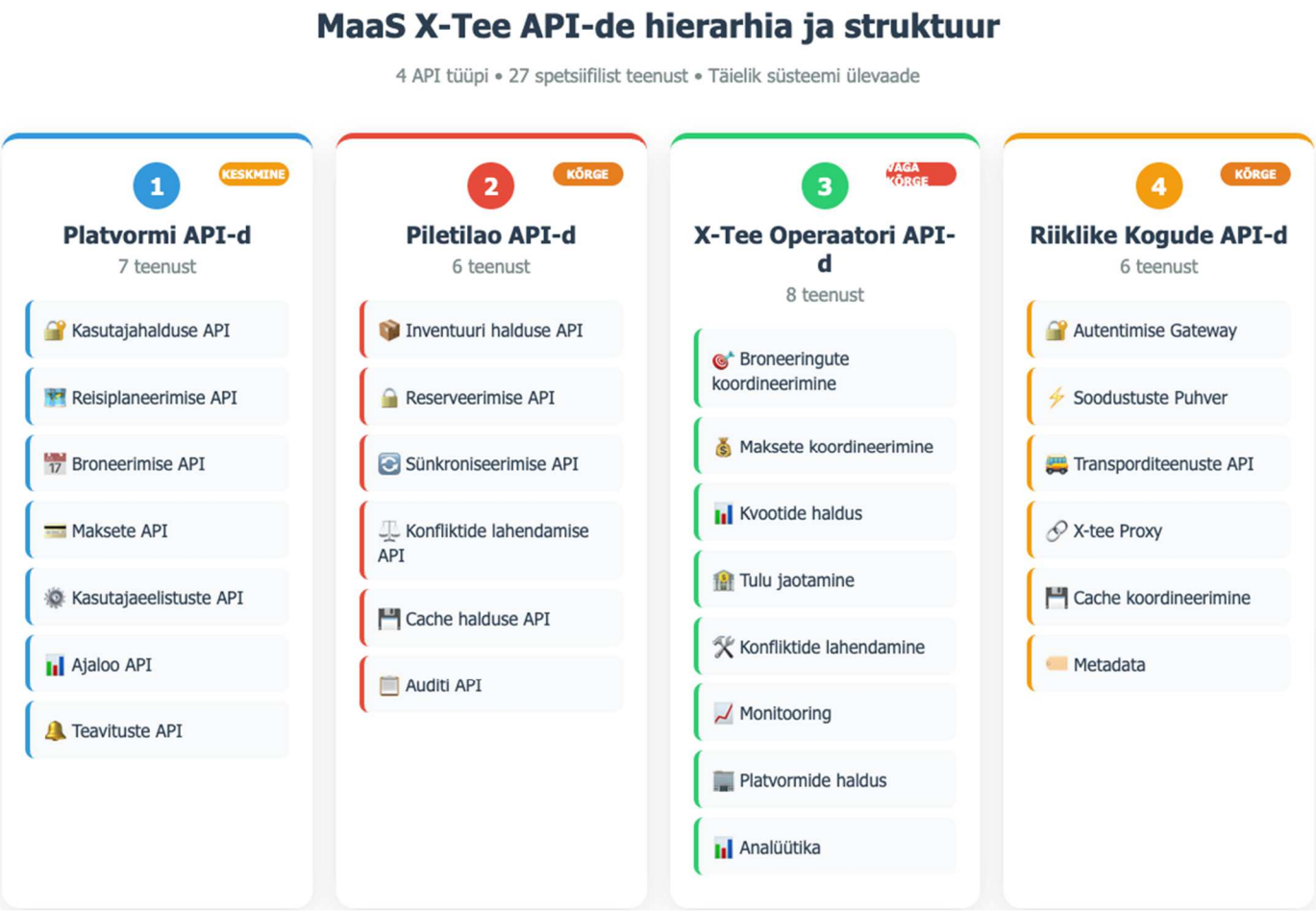
5. Haj□sa arhitekt□□ri API’d

MaaS platvormi API arhitektuur põhineb kolmekihilisel mudelil, mis toetab hajutatud süsteemi funktsioneerimist, säilitades samas globaalse koordineerimise ja andmete konsistentsuse. Iga MaaS platvormi rakendus (näiteks erinevad transporditeenuste pakkujate rakendused või kolmandate osapoolte MaaS lahendused) suhtleb esmalt oma kohaliku Piletilao API-ga, mis asub platvormi lähedal ja tagab kiire vastuse kasutajale. Piletilao API omakorda koordineerib globaalseid toiminguid MaaS X-Tee tuuma API kaudu, mis vastutab platvormide vahelise koostöö eest. Riiklike andmekogude ligipääs toimub läbi tuuma API Gateway, mis pakub ühtset liidest kõigile X-tee teenustele.

Platvormi API moodustab kasutajaliidesele kõige lähemal asuva kihi, mis vastutab otseselt kasutajakogemuse eest. See API kiht haldab kasutajate autentimist läbi Eesti riiklike autentimissüsteemide - mobiil-ID, Smart-ID või ID-kaardi. Autentimisprotsess algab sellega, et kasutaja valib eelistatud autentimismeetodi, mille järel Platvormi API suunab päringu läbi X-Tee tuuma vastavasse riiklikku registrisse. Vastusena saab platvorm mitte ainult autentimiskinnitust, vaid ka kasutaja soodustusõigused, mis on agregeeritud erinevatest andmekogudest.

Kasutajaprofiili haldamine hõlmab isiklike eelistuste, makseviiside ja ligipääsetavuse vajaduste salvestamist ja haldamist. Platvormi API võimaldab kasutajatel määrata oma eelistatud transpordiliike, näiteks eelistades või välistades teatud transpordiliigid. Ligipääsetavuse seaded võivad sisaldada ratastooliga ligipääsu vajadust, nägemis- või kuulmispuude toetust või muid erivajadusi, mida süsteem arvestab marsruutide planeerimisel.

Reisiplaneerimise funktsionaalsus keskendub kasutajasõbralikkusele ja personaliseerimisele. Kasutaja sisestab soovitud väljumis- ja sihtkoha, eelistatud väljumisaja ning süsteem genereerib multimodaalsed marsruudisoovitused. API toetab erinevaid optimeerimiskriteeriumeid - kiireim marsruut, odavaim variant, keskkonnasäästlikum valik või kombinatsioon nendest. Vastuses sisalduvad marsruudid koos detailse sammude kirjeldusega, hinnainformatsiooniga ja keskkonnamõju hinnanguga.



Joonis 3 MaaS X_Tee API'de hierarhia ja struktuur

5.1. Platvormi APId

Platvormi kasutajaliides ehk veebikeskkond, mobiilirakendus või kolmanda osapoole integratsioon peavad tagama reisijatele mugava, lihtsa ja intuitiivse võimaluse sõitude marsruutide kavandamiseks ja sõiduõiguste hankimiseks ühe maksena. See keeruka loogikaga lahendus tagab kasutajate autentimise, maksete teostuse ning samuti reiside ja broneeringute ajaloolised ja operatiivsed andmed (sh tulevikus toimuvad reisid). Seal hallatakse samuti kasutaja teavitusi ja meeldetuletusi.

Iga MaaS platvorm (näiteks eraldi mobiilirakendus, veebileht või kolmanda osapoole integratsioon) omab oma Platvormi API instantsi, mis on kohandatud just selle platvormi kasutajate vajadustele ja ärimudelile. Platvormi API toimib kui intelligent proxy, mis mõistab kasutaja konteksti (asukoht, ajalugu, eelistused), agregeerib andmeid mitmest allikast (Piletilao API, MaaS X-Tee tuum, välised

teenused) ja esitab need kasutajale personaliseeritud ja optimeeritud kujul. API peab olema piisavalt kiire, et kasutaja ei tunneks viivitust, kuid samas piisavalt nutikas, et pakkuda parimaid võimalikke valikuid.

Platvormi API kasutajahalduse funktsionaalsus katab kasutaja tegevusi alates registreerumisest kuni konto kustutamiseni. Registreerimise protsess algab kasutaja otsusega liituda konkreetse MaaS platvormiga. Platvormi API suunab kasutaja Eesti riiklike autentimissüsteemide juurde - mobiil-ID, Smart-ID või ID-kaart - mis tagab usaldusväärse identiteedi kontrollimise ilma platvormi vajaduseta säilitada tundlikke isikuandmeid.

Autentimisprotsess toimib järgmiselt: kasutaja valib eelistatud autentimismeetodi, Platvormi API genereerib turvalise sessiooni ja suunab kasutaja RIA autentimisteenusesse, kus toimub tegelik identiteedi kinnitamine. Eduka autentimise järel saab Platvormi API kasutaja põhiandmed (nimi, isikukood krüpteeritud kujul) ja pärib automaatselt Riiklike Kogude API kaudu kasutaja soodustusõigused. Kogu see protsess on kasutaja jaoks läbipaistev - ta näeb ainult autentimisdialoogi ja seejärel juba oma personaliseeritud profiili.

Kasutajaprofiili haldamine on üks Platvormi API ülesandeid, kuna ta peab balansseerima personaliseerimise ja privaatsuse vahel. API säilitab kasutaja eelistusi (eelistatud transpordiliigid, maksimaalse jalutamiskauguse, ligipääsetavuse vajadused), makseviise (pangakaardid, mobiilimakse, rahakott) ja käitumismustreid (tavapärased marsruudid, reisimise ajad), kuid teeb seda viisil, mis vastab GDPR nõuetele ja võimaldab kasutajal täielikku kontrolli oma andmete üle.

Profiili personaliseerimise võimekused võivad sisaldada ka AI-põhiseid soovitussüsteeme, kus API õpib kasutaja käitumisest ja hakkab automaatselt soovitama sobivaid marsruute, optimaalseid väljumisaegu ja isegi uusi teenuseid, mis võiksid kasutajat huvitada. Näiteks kui kasutaja reisib regulaarselt Tallinnast Tartusse reedeti õhtuti, siis API võib hakata soovitama Elroni asemel bussi, kui see on konkreetsel päeval kiirem või odavam.

Reisiplaneerimise funktsioon on Platvormi API kõige keerukam ja kasutaja jaoks kõige olulisem komponent. See peab suutma leida parimaid võimalikke marsruute, kombineerides erinevaid transpordiliike, arvestades reaalajas muutustega ja optimeerides kasutaja individuaalsete eelistuste järgi. Reisiplaneerimise mootor kasutab üldjuhul mitmetasandilist algoritmi, mis kombineerib staatilisi andmeid (sõiduplaanid, marsruudid) dünaamiliste andmetega (reaalajas asukohad, hilinemised) ja kasutaja kontekstiga (eelistused, ajalugu).

Marsruudi otsimine algab kasutaja sisestatud parameetritega: väljumis- ja sihtkoht, soovitud väljumis- või saabumisaeg, transpordiliikide eelistused. Platvormi API teisendab need parameetrid standardiseeritud päringule ja saadab need Piletilao API-le, mis omakorda koordineerib Riiklike Kogude API ja MaaS X-Tee tuumaga, et saada kõikehõlmav ülevaade saadaolevatest võimalustest. API peab suutma töödelda ka ebatäielikke või ebamäärasi sisendeid - näiteks "kesklinnas lähedal" või "järgmise tunni jooksul".

Multimodaalse reisiplaneerimise algoritm arvestab kõiki saadaolevaid transpordiliike ja nende omavahelisi kombinatsioone. See tähendab, et ühe reisi jooks võib kasutaja kasutada

jalgrattajagamist alguspunkti jõudmiseks bussipeatusesse, sõita bussiga kesklinna, liikuda teatud maa jalgsi, edasi istuda ümber rongile ja lõpuks kasutada takso või jalutamist sihtpunkti jõudmiseks. Algoritm peab arvestama nii keskmise jalakäia kiiruse, ümberistumisaegadega, erinevate teenuste koordinatsiooniga ja iga etapi tõenäosuse ning usaldusväärsusega.

Personaliseeritud soovituste süsteem õpib kasutaja käitumisest ja hakkab eelistama valikuid vastavalt kasutaja avalikustatud eelistustele. Keskkonnateadlik kasutaja saab eelistatult jalgrattajagamise ja ühistranspordi kombinatsioone, ajakriitiline kasutaja näeb esmajoones kiireimaid valikuid, eelarve-teadlik kasutaja saab eelistatud odavaimaid võimalusi.

Reisi broneerimise funktsioon muudab kasutaja reisisoovi konkreetseks, kinnitatud broneeringuks. See protsess hõlmab mitut keerulist etappi: marsruudi kinnitamine, istekohavaga broneerimine (kui rakendub), maksete töötlemine ja lõplike piletite genereerimine. Kogu protsess peab olema kasutaja jaoks sujuv ja kiire kuid taustasüsteemides (MaaS X-Tuuma kaudu) toimub keeruline andmete koordineerimine ja konsolideerimine mitme erineva osapoole vahel.

Ajutise broneeringu funktsioon võimaldab kasutajal "külmutada" soovitud valikud 15 minutiks, andes piisavalt aega maksetegevuste lõpule viimiseks ilma riskiga, et piletid saavad vahepeal otsa või hinnad muutuvad. Platvormi API koordineerib selle protsessi Piletilao API-ga, mis kontrollib saadavuse, reserveerib vajalikud istekohad või slotid ja tagastab ajutise broneeringu identifikaatori. Kasutaja näeb selle kasutajaliideses kui kinnitatud valikut, kuid tegelikkuses toimuvad taustasüsteemides keerulised koordineerimised.

Broneeringu kinnitamine käivitub siis, kui kasutaja on teinud makse ja kinnitanud oma soovi reisida. Platvormi API algatab kahefaasilise kinnitamise protsessi (two-phase commit), kus esmalt kinnitatakse makse, seejärel broneeringud ja lõpuks genereeritakse lõplikud piletid. Kui mõni etappidest ebaõnnestub, siis kogu protsess tühistatakse (rollback) ja kasutajale tagastatakse raha. Kui kasutaja on platvormi lepinguline klient, on kasutajapoolne broneeringu kinnitus aluseks osapoolte vahelisele arveldusele. See tagab, et kasutaja ei satu kunagi olukorda, kus ta on maksnud, kuid pole piletit saanud, või vastupidi.

Mitme operaatori kombineeritud reiside koordineerimine on keerukas ülesanne, kuna iga operaator võib omada erinevaid broneerimise ja tühistamise reegleid. Platvormi API peab tagama, et kui üks osa reisist ebaõnnestub (näiteks rong on ära jäetud), siis kasutaja saab vastav teavituse ja alternatiivid, ning vajadusel saab tühistada või muuta ka teisi osi reisist. See nõuab täielikult reaalaja koordineerimine kõigi asjaomaste operaatoritega.

MaaS X-Tee platvorm võib toetada digitaalse rahakoti (e-Wallet) funktsionaalsust kuid maksete töötlemiseks on vajalik tagada turvaline, kiire ja kasutajasõbralik viis konsolideeritud maksete teostamiseks ostetud teekonna sõiduõiguse eest tasumiseks. See on kriitiline edutegur MaaS mudeli rakendamiseks.

Platvormi maksete API integreerib mitmete maksepakkujatega (pangad, Mastercard/Visa, Apple Pay, Google Pay, PayPal), tagades kasutajale valikuvabaduse ja mugavuse. Maksete turvalisus on tagatud

läbi PCI DSS standardi järgimise, mis tähendab, et Platvormi API ise ei säilita kunagi täielikke kaardi andmeid, vaid kasutab tokeniseerimist.

Rahakoti funktsioon võimaldab kasutajatel eelnevalt raha süsteemi laadida ja seejärel selle abil kiiresti pileteid osta ilma iga kord makseandmeid sisestamata. Rahakott toimib kui ettemaksete süsteem, kus kasutaja saab kontrollida oma kulutusi ja saada ülevaadet transpordile kulutatud summadest. API peaks pakkuma ka nutikat eelarve haldamist, kus kasutaja saab seada perioodilisi kulutuslimiite ja saada teavitusi, kui need lähenevad.

Maksete töötlemine multimodaalse reisi korral nõuab keerulist raha jagamise loogikat. Kui kasutaja ostab ühe tehinguga kombineeritud reisi, mis hõlmab bussi, rongi ja takso, siis Platvormi API peab arvutama, kui palju läheb igale operaatorile, kui suur on platvormi komisjon ja millised on süsteemi haldustasud. See jaotamine toimub eelnevalt kokkulepitud proportsioonide järgi, kuid võib olla ka dünaamiline, arvestades näiteks iga operaatori teenuse hinda tatud ajahetkel või olukorras.

Tagasimaksete haldamine on samuti keeruline funktsioon, eriti kombineeritud reisides. Kui kasutaja tühistab osa oma reisist, peab API arvutama, milline osa rahast tagastatakse, arvestada tühistamistasusid ja koordineerida tagasimakse mitme operaatori vahel. API peaks pakkuma ka paindlikku tagasimakse poliitikat, võimaldades kasutajal näiteks vahetada Elroni pilet LuxEkspressi pileti vastu ja saada vaheraha tagasi.

Platvormi API kogub ja analüüsib kasutaja käitumisandmeid (kasutaja nõusolekul ja GDPR nõuete kohaselt), et pakkuda üha paremat ja personaliseeritumaid teenust. See hõlmab reisimustrite analüüsi, eelistuste õppimist, rahulolu mõõtmist ja proaktiivset teenuse parandamist.

Kasutaja sõiduajaloo haldamine annab ülevaate kasutaja transpordikulutustest, keskkonnamõjust ja reisimisharjumustest. API suudab genereerib aruandeid, mis aitavad kasutajal mõista oma liikuvusmustreid ja teha teadlikumaid otsuseid. Näiteks API võib näidata, et kasutaja võiks viimase kuu jooksul 40% süsinikuheitetest vähendada, kui asendaks kolm autosõitu nädalas ühistranspordiga.

Kasutajate tagasiside kogumine ja analüüsimine aitab parandada nii konkreetse platvormi kvaliteeti kui ka kogu MaaS ökosüsteemi. API kogub automaatselt andmeid reiside edukuse, kasutajate rahulolu ja probleemide kohta, ning edastab need anonüümiseeritud kujul süsteemi arendajatele. Kasutajad saavad ka aktiivselt tagasisidet anda ja näha, kuidas nende ettepanekud süsteemi parandamises aitavad.

Platvormi API moodustab seega süsteemi "näo" kasutaja suunas - see on komponent, mis määrab, kas kasutaja kogemus MaaS süsteemiga on positiivne ja motiveeriv või negatiivne ja tõrjuv. API edu sõltub selle võimest peita keerukuse ja pakkuda lihtsust, personaliseerida teenust ilma privaatsust rikkumata, ning olla piisavalt nutikas, et aidata kasutajal teha paremaid otsuseid oma igapäevase liikuvuse osas.

5.2. Piletilao ehk ühtselt toimiva piletikeskkonna APId

Piletilao API esindab üht MaaS süsteemi kõige innovaatilisemat komponenti, realiseerides hajutatud sõiduõiguse ja fikseeritud istekohaga piletite “lao” kontseptsiooni. Iga MaaS platvorm omab oma kohalikku “piletiladu”, mis sisaldab koopiat globaalsest piletivarast, kuid on optimeeritud just selle platvormi kasutajate vajaduste järgi. See tähendab, et populaarsemad marsruudid ja ajad on kohalikus laos rohkem esindatud, tagades kiire broneerimise võimaluse.

Piletitoodete haldamine toimub mitmetasandiliselt. Kohalik piletiladu säilitab staatilisi andmeid nagu piletitüübid, põhihinnakirjad ja marsruudikirjeldused pikema aja jooksul, samas kui dünaamilised andmed nagu vabad istekohad ja reaalajas hinnad uuendatakse pidevalt. Ajutise reserveerimise süsteem võimaldab kasutajatel hoida pileteid kuni 15 minutit, andes piisavalt aega maksetegevuste lõpuleviimiseks ilma teiste kasutajate reserveerimist takistamata.

Inventuuri sünkroniseerimine toimub kolmel eri kiirusel vastavalt andmete tüübile ja muutumise sagedusele. Staatilised andmed nagu sõiduplaanid sünkroniseeritakse iga viie minuti järel, dünaamilised saadavuse andmed iga 30 sekundi järel, ja kriitilised sündmused nagu broneeringud või tühistamised reaalajas. Süsteem kasutab kahefaasilist kinnitamise protokolli, mis tagab, et broneering on kas kõigis süsteemides kinnitatud või kõigis tühistatud - poolikuid broneeringuid ei teki.

Tulu jaotamise mehhanism toimib läbipaistvalt ja automaatselt. Iga müüdud pileti eest jagatakse tulu eelnevalt kokkulepitud proportsioonide järgi: transporditeenuse pakkuja saab põhiosa (tavaliselt 85-90%), MaaS platvorm teenib komisjonitasu (5-10%), X-Tee süsteemi haldus võtab väikese tehnilise tasu (1-2%). Arveldused toimuvad reaalajas või päeva lõikes, vastavalt lepingutingimustele.

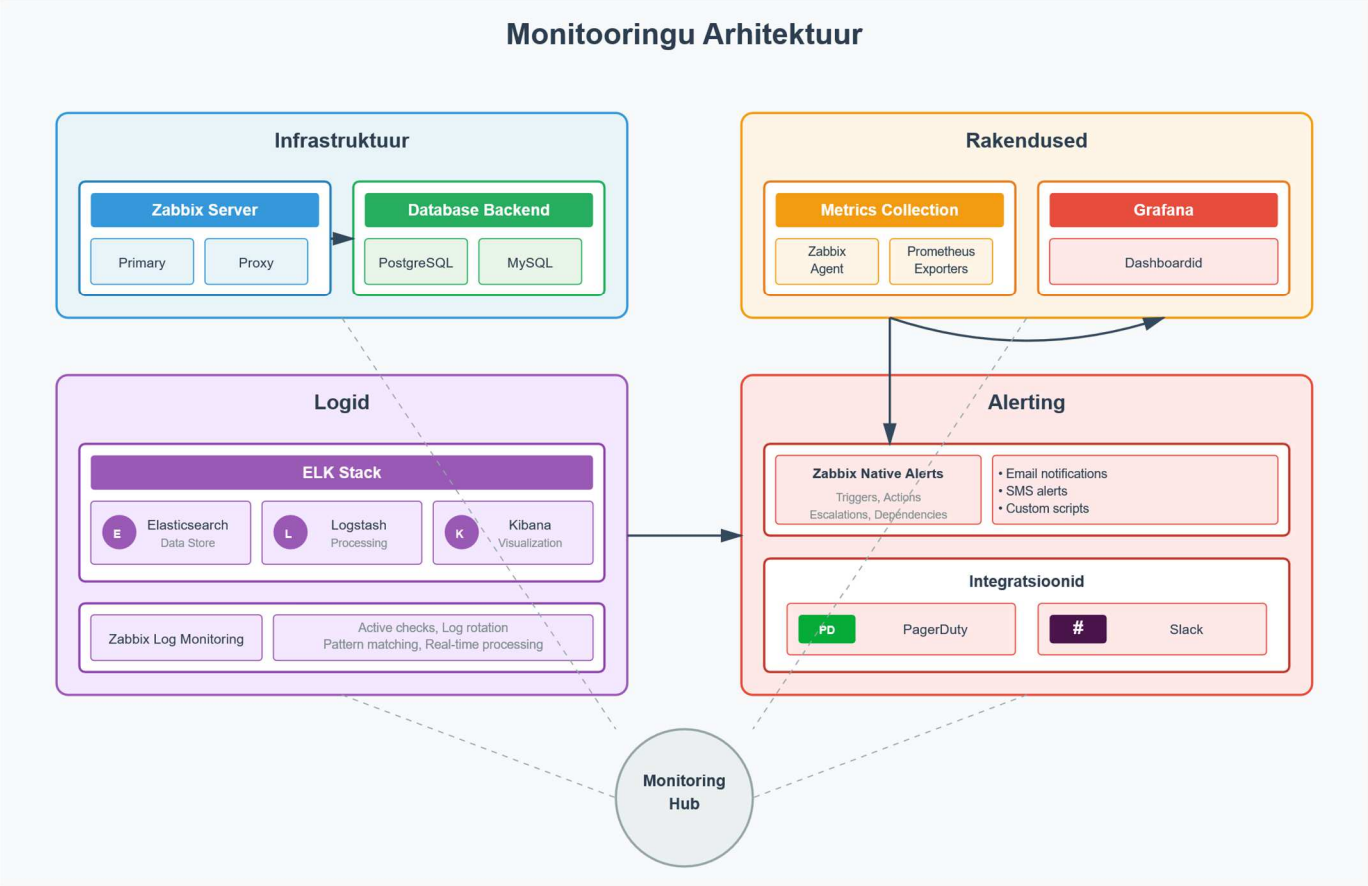
5.3. Monitooring kiht ja andmekaitse

Monitooring ja analüütika aitavad jälgida süsteemi kasutatavust ja jõudlust. Nii saab tagada vajaliku konfiguratsiooni, vahemälu efektiivsuse, andmeallikate saadavuse ning vajaliku SLA täitmise. Päringuaegade jälgimine aitab ennetada süsteemi ülekoormust ja teavitab.

MaaS X-Tee tuum kasutab mitmekihilise turvalisuse mudelit, kus iga komponent autendib end nii X-tee sertifikaatide kui ka OAuth 2.0 tokenite abil. Kõik andmevood on krüpteeritud end-to-end krüpteerimisega, kasutades roteeruvaid võtmeid. Tuum sisaldab ka kõikehõlmavat monitooringu süsteemi, mis jälgib jõudlusmõõdikuid (API latentsus, läbilaskevõime), ärimõõdikuid (broneeringute edu määr, tulu jaotamine) ja tehnilisi mõõdikuid (süsteemi kättesaadavus, vigade määr). Anomaaliate tuvastamise süsteem kasutab masinõppe algoritme tavapärastest mustritest kõrvalekaldumiste tuvastamiseks, võimaldades ennetavat sekkumist potentsiaalsete probleemide korral.

MaaS X-tee tuuma ja liideste töö tagamiseks, tõrgete ja ülekoormuse tuvastamiseks kasutatakse monitooringu tarkvara, milleks võib olla näiteks tarkvara ZABBIX (https://www.zabbix.com/).

Zabbix võimaldab luua süvamonitooringu, mis katab serverite, andmebaaside ja võrguseadmete töö ning tuvastada tõrked ning anomaaliad kohe nende ilmnemisel. Lisaks võimaldab ta uute teenuste ja seadmete automaatset tuvastamist. Zabbix monitooringu stack võiks olla järgmine:



Joonis 4 Monitooringu komponendid

6. Andmem□deli al□sed

MaaS andmemudel ja identifikaatorite süsteem ei ole kaks eraldiseisvat komponenti, vaid moodustavad ühtse, omavahel põimunud maatriks, mis määratleb kogu MaaS ökosüsteemi funktsioneerimise alused. Andmemudel määratleb, MIDA me säilitame ja töötleme (reisiandmed, kasutajate eelistused, piletid, maksed), samas kui identifikaatorite süsteem määratleb, KUIDAS me neid andmeid organiseerime, seostame ja leiame üles. Need kaks komponenti on nii tihedalt seotud, et ühe muutmine tähendab automaatselt teise muutmist.

Näitlikult illustreerides: kui MaaS süsteemis säilitatakse multimodaalse reisi andmeid, siis andmemudel määratleb, et reis koosneb mitmest etapist (leg), igal etapil on algus- ja lõpp-punkt, transpordiliik, aeg ja hind. Identifikaatorite süsteem määratleb aga, kuidas iga etapp identifitseeritakse (leg_id), kuidas nad grupeeritakse (journey_id), kuidas nad seostuvad kasutajaga (user_hash) ja kuidas nad viitavad operaatoritele (operator_id). Ilma identifikaatorite süsteemita oleks andmemudel ainult struktuuritu andmemass, ilma andmemudelita oleksid identifikaatorid tähenduseta stringid.

Kriitilise tähtsusega on identifikaatorite ja andmemudeli versioonide sünkroniseerimine. Kui andmemudel muutub (näiteks lisandub uus väli "keskkonnamõju" iga reisietapi juurde), siis peavad identifikaatorid suutma viitata nii vanadele kui ka uutele andmestruktuuridele. See tähendab, et

identifikaatori MAAS-20250706153045-TLT-00012345-V2 peab sisaldama versiooniinfot (V2), mis ütleb süsteemile, millise andmemudeli järgi seda piletit interpreteerida.

6.1. Semantiline kooskõla

MaaS kontseptsiooni edu sõltub kriitiliselt sellest, et erinevad operaatorid, platvormid ja süsteemid saaksid üksteise andmeid mõista ja kasutada. See nõuab semantilist kooskõla - olukorda, kus sama kontsepti (näiteks "bussipeatus" või "piletihind") mõistetakse ühtemoodi kogu süsteemis. Identifikaatorid toimivad kui semantilised ankrud, mis seovad konkreetsed andmeelemendid üldiste kontseptidega.

Näiteks kui Tallinna Linnatransport nimetab oma süsteemis peatust "Viru Keskus", Bolt nimetab seda "Viru Center" ja Google Maps "Viru Centre", siis MaaS andmemudel peab sisaldama universaalset peatuse identifikaatorit STOP-TLN-VIRU-001, millega kõik need erinevad nimetused seostuvad. Identifikaator muutub semantiliseks sillaks, mis võimaldab erinevatele süsteemidele rääkida samast asjast, kasutades erinevaid keeli ja terminoloogiaid.

Klassifikaatorid täidavad selles kontekstis normaliseerimise funktsiooni. Kui eri operaatorid klassifitseerivad transpordivahendeid erinevalt (TLT: "tavaline buss", "liigendatud buss"; Lux Express: "turistibuss", "ekspress"; Bolt: "taxi", "premium"), siis MaaS klassifikaator normaliseerib need ühtseteks kategooriateks:

TRANSPORT_MODE_BUS_STANDARD,TRANSPORT_MODE_BUS_ARTICULATED,
TRANSPORT_MODE_TAXI_STANDARD jne.

See võimaldab kasutajatel otsida ja võrrelda teenuseid ühtse terminoloogia alusel.

Interoperatiivsuse tagamine eeldab, et identifikaatorid oleksid mitte ainult unikaalsed, vaid ka masinloetavad ja inimloetavad. Identifikaator EE/COM/10312960/tallinna-linnatransport/reaalajas-andmed/v2 annab nii inimesele kui ka masinale kohese arusaama, kellega on tegemist, mis teenust pakutakse ja millises versioonis. See vähendab integratsioonikeerukust ja võimaldab automatiseeritud süsteemidel teha intelligentseid otsuseid ilma inimese sekkumiseta.

MaaS süsteemis liiguvad andmed pidevalt erinevate osapoolte vahel, muutudes ja täienedes tee peal. Reisiandmed algavad kasutaja päringust, läbivad marsruudiplaneerija, täienevad reaalajas andmetega, muudetakse piletiks, töödeldakse maksesüsteemis ja lõpuks arhiveeritakse ning kasutatakse analüütikaks. Igal sammul peab olema võimalik rekonstrueerida andmete päritolu (provenance) ja muutmiste ajalugu.

Identifikaatorid toimivad kui DNA jäljed, mis säilitavad informatsiooni andmete päritolu kohta. Pileti identifikaator MAAS-20250706153045-TLT-00012345 sisaldab endas infot, et see on genereeritud riikliku MaaS platvormi poolt (MAAS), konkreetsel ajal (20250706153045), Tallinna Linnatranspordi jaoks (TLT) ja omab järjekorranumbrit (00012345). Hilisem analüüs võib rekonstrueerida, millal see pilet müüdi, kelle poolt, millise marsruudi jaoks ja milliste andmete põhjal.

Andmemudel peab toetama provenance'i jälgimist läbi versioonihaldustabeli säilitamise. Iga kord, kui andmeelement muutub, luuakse uus versioon, säilitades seose eelmise versiooniga. Näiteks kui bussi reaalajas asukoht uuendatakse, siis uus GPS koordinaat seostub eelmise asukohaga läbi ajatempli ja sõiduki identifikaatori. See võimaldab hiljem rekonstrueerida bussi täpse marsruudi ja analüüsida näiteks hilinemisi või kiirusrikkumisi.

MaaS keskne väärtuspakkumine seisneb võimes kombineerida erinevaid transpordiliike sujuvaks tervikuks. See nõuab andmete agregeerimist (erinevate allikate koondamist) ja disagregeerimist (terviku lahtivõtmist komponentideks). Identifikaatorid ja andmemudel peavad toetama mõlemat suunda võrdselt efektiivselt.

Agregeerimise korral peab süsteem suutma võtta erinevate operaatorite eraldi andmekomplektid ja kombineerida need tähenduslikuks tervikuks. Näiteks TLT-buss + Elron-rong + Bolt-takso peab muutuma üheks "Tallinn-Tartu multimodaalseks reisiks". Andmemudel peab sisaldama hierarhilisi identifikaatoreid: Journey Group ID (JG-20250706153045-MAAS-001) sisaldab kolme Leg ID-d (MAAS-20250706153045-TLT-00012345, MAAS-20250706153045-ELR-00004567, MAAS-20250706153045-BOL-00001289).

Disagregeerimise vajadus tekib siis, kui tervikliku reisi mõni komponent ebaõnnestub või muutub. Kui Elroni rong jääb ära, peab süsteem suutma kiiresti identifitseerida kõik selle rongiga seotud multimodaalsed reisid ja pakkuda alternatiive. Identifikaatorite struktuur peab võimaldama "reverse lookup" - alates konkreetsest teenusest (ELR-TLNTAR-20250706-03-12A) leida kõik sellega seotud multimodaalsed reisiplaanid.

Klassifikaatorid määratlevad, millised teenused on omavahel kombineeritavad. Multimodaalne reisiplaneerimine kasutab transport mode compatibility matrix'it, mis on defineeritud klassifikaatorites: WALK ↔ BUS ↔ TRAIN ↔ TAXI (kõik kombineeritavad), kuid PLANE ↔ METRO ei ole otse kombineeritav ilma walk või taxi vaheetapita. Need reeglid kodeeritakse andmemudelisse ja kasutatakse identifikaatorite genereerimisel.

6.2. Personaliseerimine ja privaats□se tagamine

MaaS süsteemi konkurentsieelis seisneb võimes pakkuda igale kasutajale personaliseeritud teenust, õppides tema eelistustest, harjumustest ja vajadustest. Samal ajal peab süsteem tagama ranged privaatsuse nõuded ja GDPR vastavuse. Identifikaatorite süsteem ja andmemudel peavad võimaldama personaliseerimist ilma kasutaja privaatsust ohustamata.

Pseudonüümiseeritud kasutaja identifikaatorid (USR-MAAS-9F4B8A7C2D1E) võimaldavad süsteemil seostada kasutaja käitumist ja eelistusi, säilitades tema anonüümsuse. Andmemudel peab sisaldama personaliseerimise kiht, mis seostab anonüümsed identifikaatorid käitumismudelitega. Näiteks süsteem õpib, et kasutaja USR-MAAS-9F4B8A7C2D1E eelistab keskkonnasõbralikke valikuid (80% reisidest on ühistranspordiga) ja on hinnateadlik (valib 65% juhtudest odavaima alternatiivi).

Andmemudeli disain peab järgima "privacy by design" põhimõtteid. Isikuandmed ja käitumisandmed säilitatakse eraldi tabelites, mis on seotud ainult krüpteeritud identifikaatorite kaudu. Näiteks pileti

identifikaator MAAS-20250706153045-TLT-00012345 ei sisalda mingeid viiteid kasutaja isikule, kuid on seostatud pseudonüümiseeritud kasutaja hash'iga läbi eraldi krüpteeritud tabeli.

Personaliseerimise algoritm kasutab aggregeeritud ja anonümiseeritud andmeid, mis ei võimalda tagasi jälgida konkreetseid kasutajaid. Klassifikaatorid määratlevad, milliseid andmekategooriaid võib kasutada personaliseerimiseks (transport preferences: OK, precise location history: NOT OK, payment amounts: AGGREGATED ONLY). See tagab, et isegi andmelekkete korral ei saa isikuandmed kompromiteeritud.

6.3. Andmekvaliteet ja konsistents□s

MaaS süsteemi kasutajad peavad olema veendunud, et neile kuvatud väljumisajad on õiged, piletite hinnad ajakohased ja reaalajas info täpne. Identifikaatorid ja andmemudel peavad sisaldama mehhanisme andmekvaliteedi monitoorimiseks ja automaatseks parandamiseks.

Andmekvaliteedi klassifikaatorid määratlevad kvaliteedikriteeriumid: REALTIME_DATA (värskus < 30 sekundit), SCHEDULE_DATA (värskus < 24 tundi), PRICING_DATA (värskus < 1 tund). Iga andmeelement omab quality metadata väljat, mis sisaldab viimase uuendamise aega, andmeallikat ja usaldusväärsuse skoori. Identifikaator DATA-QUALITY-TLT-REALTIME-20250706153100-SCORE85 näitab, et TLT reaalajas andmed uuendati kell 15:31 ja omavad 85% usaldusväärsuse skoori.

Konsistentsuse kontroll toimib läbi cross-reference valideerimise. Kui TLT teatab, et buss nr 17 on peatuses "Viru Keskus", kuid GPS koordinaadid näitavad, et buss on 500m kaugusel sellest peatusest, siis süsteem märgistab andmed inconsistent'iks ja käivitab automaatse kontrollimise. Identifikaator INCONSISTENCY-ALERT-TLT-BUS17-20250706153045 võimaldab jälgida kõiki selliseid juhtumeid ja analüüsida mustreid.

Temporal consistency tagamine nõuab, et andmed oleksid ajaliselt loogilised. Buss ei saa olla samaaegselt kahes erinevas kohas, rong ei saa saabuda enne väljumist, kasutaja ei saa osta piletit tulevikku minnes minevikus toimuvale reisile. Andmemudel sisaldab temporal constraint'e, mis valideeritakse automaatselt iga andmeuuenduse korral.

6.4. Skaleeritav□se ja jõ□dl□se optimeerimine

MaaS süsteemi edu korral peab see suutma teenindada kümneid tuhandeid kasutajaid, töödelda tuhandeid päringuid sekundis ja hallata suuri andmemahte. Identifikaatorite süsteem ja andmemudel peavad olema disainitud skaleeritavust silmas pidades kohe alguses.

Hierarhilised identifikaatorid andmeid saab käsitleda geograafiliselt (Tallinna andmed eraldi serveris kui Tartu andmed), operaatori järgi (TLT andmed eraldi kui Elron andmed) või aja järgi (2025 andmed eraldi kui 2024 andmed) sest loodav lahendus peab tagama hajusa arhitektuuri.

Identifikaatori struktuur EE/COM/10312960/tallinna-linnatransport/reaalajas-andmed/v2 sisaldab piisavalt infot, et automaatselt määrata, millisesse serverisse päring suunata.

Andmemudeli denormaliseerimise strateegiad parandavad päringute jõudlust. Kuigi normaliseeritud andmemudel on parem andmeterviklikkuse jaoks, nõuab see sageli keerulisi JOIN operatsioone. Kriitilistel päringuteedel (reisiplaneerimise otsingud) kasutatakse denormaliseeritud tabeleid, kus kõik vajalikud andmed on juba eelnevalt kombineeritud. Identifikaatorid aitavad hoida seoseid normaliseeritud ja denormaliseeritud andmete vahel.

Cache'imise strateegia kasutab identifikaatori komponentide prognostilisust. Sageli päritavad andmed (populaarsed marsruudid, tavapärased sõiduajad) cache'itakse agressiivsemalt, samas kui harva päritavad andmed (öised ühendused, erandlikud marsruudid) püsivad ainult põhiandmebaasis. Cache key genereeritakse identifikaatori põhjal: CACHE-ROUTE-TLN001-TAR001-MORNING-WEEKDAY.

MaaS X-tee klassifikaatorid ja teenused

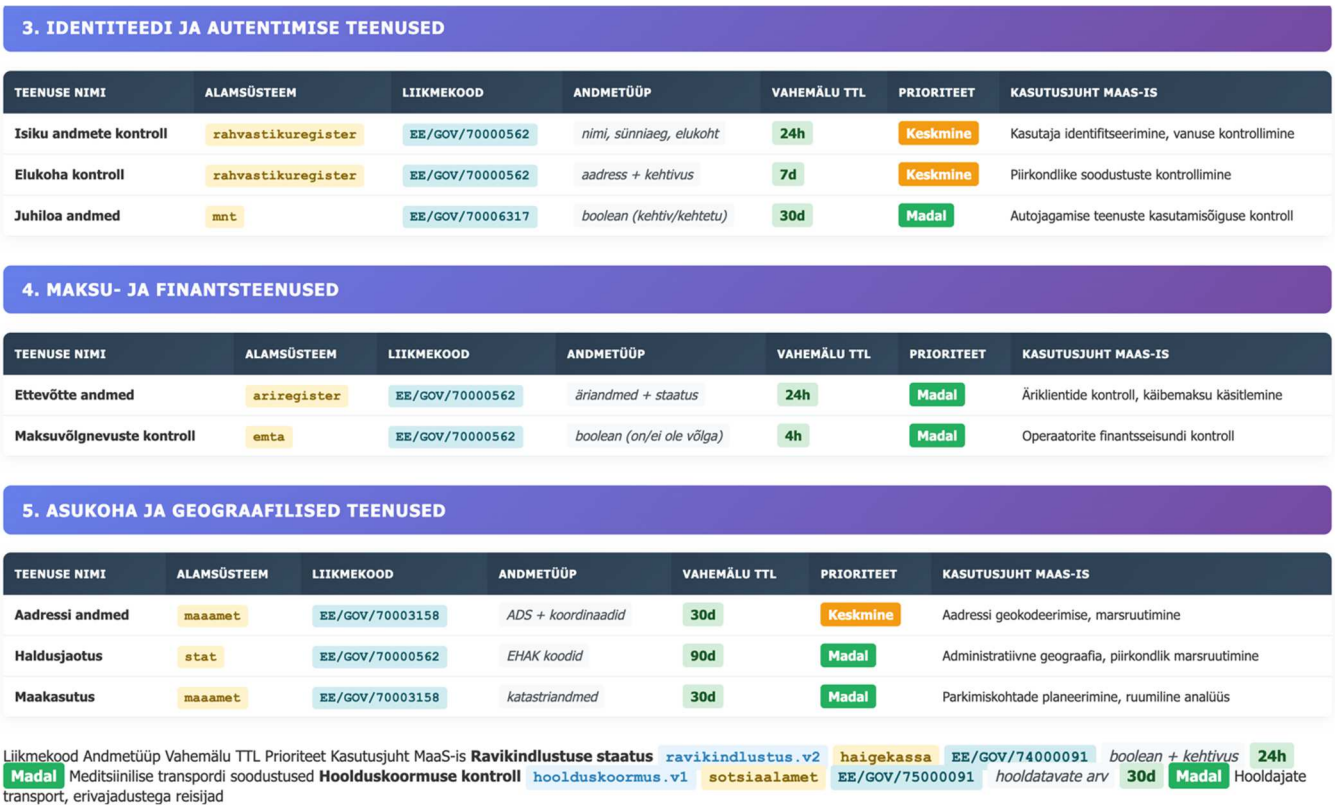
Kõrge prioriteet Keskmine prioriteet Madal prioriteet

1. SOODUSTUSTE KONTROLLIMISE TEENUSED

TEENUSE NIMI	ALAMSÜSTEEM	LIIKMEKOOD	ANDMETÜÜP	VAHEMÄLU TTL	PRIORITEET	KASUTUSJUHT MAAS-IS
Õpilastaatuse kontroll	`ehis`	`EE/GOV/70000740`	*boolean (aktiivne/mitteaktiivne)*	30p	Keskmine	Üliõpilaspiletite soodustuse kontrollimine
Pensionäri staatus	`skais`	`EE/GOV/70000562`	*boolean (on/ei ole pensionär)*	90p	Keskmine	Pensionäride sõidusoodustuse rakendamine
Puudega isiku staatus	`skais`	`EE/GOV/70000562`	*boolean (on/ei ole puue)*	90p	Kõrge	Puudega inimeste tasuta sõidu õiguse kontroll
Töötuskassa staatus	`skais`	`EE/GOV/70000562`	*boolean (saab/ei saa hüvitist)*	30p	Madal	Töötute sõidusoodustuse rakendamine
Suurpere staatus	`rahvastikuregister`	`EE/GOV/70000562`	*boolean (on/ei ole suurpere)*	90p	Keskmine	Suurperede sõidusoodustuste rakendamine

2. ÜHISTRANSPORDI ANDMETE TEENUSED

TEENUSE NIMI	ALAMSÜSTEEM	LIIKMEKOOD	ANDMETÜÜP	VAHEMÄLU TTL	PRIORITEET	KASUTUSJUHT MAAS-IS
ÜTRIS sõiduplaanid	`utris`	`EE/GOV/70006317`	*GTFS Static*	2h	Kõrge	Reisiplaneerimise alus, marsruutide arvutamine
ÜTRIS reaalajas andmed	`utris`	`EE/GOV/70006317`	*GTFS Realtime*	30s	Kõrge	Sõidukite asukohad, viivitused, häired
Peatuste andmed	`utris`	`EE/GOV/70006317`	*GTFS stops + metaandmed*	4h	Keskmine	Peatuste otsimine, geokodeerimise tugi
Teenuseteated	`utris`	`EE/GOV/70006317`	*GTFS Service Alerts*	5m	Kõrge	Liiklushäirete ja teenusmuudatuste teavitamine



3. IDENTITEEDI JA AUTENTIMISE TEENUSED

TEENUSE NIMI	ALAMSÜSTEEM	LIIKMEKOOD	ANDMETÜÜP	VAHEMÄLU TTL	PRIORITEET	KASUTUSJUHT MAAS-IS
Isiku andmete kontroll	rahvastikuregister	EE/GOV/70000562	nimi, sünniaeg, elukoht	24h	Keskmine	Kasutaja identifitseerimine, vanuse kontrollimine
Elukoha kontroll	rahvastikuregister	EE/GOV/70000562	aadress + kehtivus	7d	Keskmine	Piirkondlike soodustuste kontrollimine
Juhiloa andmed	mnt	EE/GOV/70006317	boolean (kehtiv/kehtetu)	30d	Madal	Autojagamise teenuste kasutamisõiguse kontroll

4. MAKSU- JA FINANTSTEENUSED

TEENUSE NIMI	ALAMSÜSTEEM	LIIKMEKOOD	ANDMETÜÜP	VAHEMÄLU TTL	PRIORITEET	KASUTUSJUHT MAAS-IS
Ettevõtte andmed	ariregister	EE/GOV/70000562	äriandmed + staatus	24h	Madal	Äriklientide kontroll, käibemaksu käsitlemine
Maksuvõlgnevuste kontroll	emta	EE/GOV/70000562	boolean (on/ei ole võlga)	4h	Madal	Operaatorite finantsseisundi kontroll

5. ASUKOHA JA GEOGRAAFILISED TEENUSED

TEENUSE NIMI	ALAMSÜSTEEM	LIIKMEKOOD	ANDMETÜÜP	VAHEMÄLU TTL	PRIORITEET	KASUTUSJUHT MAAS-IS
Aadressi andmed	maaamet	EE/GOV/70003158	ADS + koordinaadid	30d	Keskmine	Aadressi geokodeerimise, marsruutimine
Haldusjaotus	stat	EE/GOV/70000562	EHAK koodid	90d	Madal	Administratiivne geograafia, piirkondlik marsruutimine
Maakasutus	maaamet	EE/GOV/70003158	katastriandmed	30d	Madal	Parkimiskohtade planeerimine, ruumiline analüüs

Liikmekood Andmetüüp Vahemälu TTL Prioriteet Kasutusjuht MaaS-is **Ravikindlustuse staatus** ravikindlustus.v2 haigekassa EE/GOV/74000091 *boolean + kehtivus* 24h Madal Meditsiinilise transpordi soodustused **Hoolduskoormuse kontroll** hoolduskoormus.v1 sotsiaalamet EE/GOV/75000091 *hooldatavate arv* 30d Madal Hooldajate transport, erivajadustega reisijad

Joonis 5 Näide MaaS X-Tee klassifikaatorite tabelist

6.5. MaaS Operaatori identifikaatorid

MaaS ökosüsteemis on iga operaator (teenusepakkuja, platvorm, riiklik asutus) identifitseeritud mitmetasandilise identifikaatorite süsteemiga, mis tagab unikaalse tuvastamise, selge vastutuse jaotuse ja efektiivse süsteemivahelise kommunikatsiooni. Identifikaatorite struktuur järgib nii X-Tee standardeid kui ka rahvusvahelisi MaaS parimaid praktikaid, võimaldades samas kohalikku kohandamist Eesti spetsiifikale.

Need identifikaatorid määravad, milline teenusepakkuja või süsteem peaks päringu käsitlema. Iga MaaS ökosüsteemi partner peab olema üheselt identifitseeritav, et tagada õige andmevahetus ja vastutuse määramine.

Identifikaatorid järgivad hierarhilist struktuuri:
riik/õiguslik_vorm/registrikood/alamüsteem/teenus/versioon.

Eesti MaaS süsteemis algavad kõik identifikaatorid "EE" riigikoodiga, millele järgneb õigusliku vormi tähistus. Peamised kategooriad on GOV (valitsusasutused), COM (äriettevõtted), MUN (kohalik omavalitsus), MAAS (MaaS platvormid), FIN (finantsteenused) ja TECH (tehnilised teenused). Registrikoodi järel määratletakse alamüsteem ja konkreetne teenus, lõpetades versiooni numbriga.

Uute operaatorite registreerimine algab avalduse esitamisega, millele järgneb ärilise sobivuse kontroll, tehnilise valmisoleku hindamine ja identifikaatori eraldamine. Iga operaator läbib testimisfaasi testkeskkonnas enne toodangukeskkonda minekut.

Identifikaatorite muutmine on võimalik ettevõtte nimemuutuste, ühinemiste või ärimudeli muutuste korral. Versioonihaldus tagab API-de tagasiühilduvuse 24 kuu jooksul. Turvalisuse tagamiseks on kõik identifikaatorid krüptograafiliselt kontrollitavad ja nendega seotud pääsuõigused selgelt määratletud.

Kompromiteerimise (nt turvaintsidendi või küberründe) korral saab identifikaatori koheselt tühistada, katkestades kohe kõik sellega seotud teenused. Täielik auditijälg säilitab ajaloolise ülevaate kõigist identifikaatori kasutamistest ja muutmistest.

MaaS operaatori identifikaatorid moodustavad seega süsteemi teljeraamistiku, mis võimaldab kõigil osapooltel selgelt tuvastada üksteist, hallata õigusi ja tagada usaldusväärse kommunikatsiooni kogu ökosüsteemis.

Näited:

Operaatori identifikaator:

```
operator_id: "ee.ridango"
operator_type: "ticketing_provider"
x_road_member: "EE/GOV/70000562/ridango"
service_code: "ticket.purchase.v2"
capabilities: ["ticketing", "validation", "refund"]
regions: ["tallinn", "tartu", "parnu"]
```

Transpordiliigi identifikaator:

```
transport_mode: "bus" | "train" | "ferry" | "taxi" | "bike_share" | "e_scooter"
vehicle_type: "low_floor_bus" | "electric_bus" | "regional_train"
accessibility: ["wheelchair", "low_vision", "audio_announce"]
capacity_type: "seats" | "standing" | "mixed" | "cargo"
```

6.6. Geograafilised metaandmed

Asukoha põhised identifikaatorid on MaaS-i jaoks fundamentaalsed, kuna erinevad piirkonnad on teenindatud erinevate MaaS Operaatorite või vedajate poolt. Kuna MaaS koondab mitmete erinevate teenuseosutajate (nt linnade, ÜTKde, kommerts) liikuvusteenuseid ühtsesse liidesesse, peab süsteem suutma **täpselt tuvastada geograafilise päringu asukoha** ja selle alusel otsustada, millise teenusepakkuja süsteemiga tuleb edasi suhelda (päringu esitaja asukoht päringu esitamise hetkel). Need metaandmed võimaldavad süsteemil automaatselt tuvastada, milline piirkondlik teenusepakkuja peaks päringu käsitlema. Kui kasutaja esitab piletiotsingu (nt soovib reisida Tallinnast Tartusse), peab süsteem automaatselt:

1. tuvastama alg- ja sihtkoha asukoha põhjal, millised teenusepakkujad võiksid olla seotud;
2. filtreerima sobivad liinid, arvestades liini ulatust ja tüüpi;
3. arvestama, millised tariifitsoonid või piletikehtivused kehtivad antud marsruudil;
4. suunama päringud õigete operaatorite API-dele või andmeallikatele.

Selline andmete struktureeritus ja standardiseeritud identifikaatorite kasutus tagab täpse, skaleeritava ja koostalitlusvõimelise MaaS-teenuse, kus info liikumine eri osapoolte vahel on sujuv ja masintöödeldav.

Asukoha identifikaatorid:

```
stop_id: "ee:tallinn:bus:10101"  # Riik:Linn:Liik:ID
zone_id: "tallinn_zone_1"
coordinates: [59.4370, 24.7536]  # WGS84
administrative_area: "harju_maakond"
service_area: "tallinn_transport_network"
```

Marsruudi metaandmed:

```
route_id: "ee:tallinn:bus:1"
route_short_name: "1"
route_long_name: "Kopli - Kadriorg"
route_type: "3" # GTFS standard
agency_id: "tallinna_linnatransport"
geometric_bounds: { north: 59.4500, south: 59.4200, east: 24.8000, west: 24.7000 }
```

6.7. Piletisüsteemi identifikaatorid

MaaS piletisüsteemis kasutatakse mitmetasandilist identifikaatorite süsteemi, mis tagab iga pileti (nii sõiduõigus kui istekoha põhine), broneeringu, maksetegevuse ja kasutaja unikaalse tuvastamise kogu piletitöötlemise elutsükli jooksul. See süsteem peab toetama hajutatud arhitektuuri, kus piletid liiguvad erinevate süsteemide vahel, säilitades samal ajal terviklikkuse ja jälgitavuse.

Piletisüsteemide metaandmed moodustavad MaaS teenuse toimimise ühe kriitilise osa, kuna need määratlevad, milliseid pileteid saab pakkuda, millistel tingimustel ja kellele. Metaandmete struktuur ja sisu võimaldavad MaaS-platvormil automaatselt tõlgendada pileti sisu, suunata ostupäringud “piletilattu” või vastavasse piletimüügisüsteemi ning tagada, et igale kasutajale kehtib õige hind ja kehtivusala vastavalt tema profiilile (nt tudeng, eakas, puudega isik).

Piletitoodete klassifikatsioon:

```
product_id: "ee:tallinn:single_ticket:adult"
product_category: "single" | "day_pass" | "monthly" | "seasonal"
fare_class: "adult" | "child" | "student" | "senior" | "disabled"
validity_zones: ["zone_1", "zone_2"]
validity_duration: "PT90M" # ISO 8601 duration
intermodal_scope: ["bus", "tram", "trolley"]
```

Selliste metaandmete struktuur võimaldab :

- pakkuda personaliseeritud ja kontekstitundlikku piletiinfot,
- tagada, et õiged hinnad rakenduvad õigetele reisijatele õigel marsruudil,
- liidestada mitmeid piletimüügisüsteeme ühtseks toimivaks liideseks,
- vältida vigu ja dubleerimist piletiostu või valideerimise hetkel.

Iga MaaS süsteemis müüdud pilet omab globaalset unikaalset identifikaatorit (Ticket ID), mis koosneb mitmest komponendist: väljastavad platvorm, ajatempel, operaator ja järjekorranumber. Pileti identifikaator järgib struktuuri: {platform_id}-{timestamp}-{operator_code}-{sequence}. Näiteks: MAAS-20250706153045-TLT-00012345 tähistab riikliku MaaS platvormi poolt 6. juulil 2025 kell 15:30:45 väljastatud Tallinna Linnatranspordi 12345. piletit.

Kombineeritud reisides, mis hõlmavad mitut operaatorit, kasutatakse grupeeritavat identifikaatorit (Journey Group ID): JG-20250706153045-MAAS-001, millele alluvad individuaalsed piletikomponendid: MAAS-20250706153045-TLT-00012345 (buss), MAAS-20250706153045-ELR-00004567 (rong), MAAS-20250706153045-BOL-00001289 (takso). See võimaldab hallata keerulist multimodaalset reisi ühe tervikuna.

Ajutised broneeringud (15-minutised reserveeringud) kasutavad kinnitamata identifikaatoreid: RES-{platform_id}-{timestamp}-{random}.

Näiteks RES-MAAS-20250706153045-A7B2C9 tähistab ajutist broneeringut, mis aegub automaatselt 15 minuti pärast, kui seda ei kinnitata. Broneeringu kinnitamisel genereeritakse lõplik pileti identifikaator, säilitades seose ajutise broneeringuga auditeerimise eesmärgil.

Piletilao API-s omab iga reserveering ka kohalikku identifikaatorit: LOCAL-{platform_id}-{inventory_slot}-{sequence}. Näiteks LOCAL-MAAS-TLT-SLOT47-00123 tähistaks Tallinna Linnatranspordi piletimüügi API 47 slotis olevat 123. broneeringut riikliku MaaS platvormi jaoks. See võimaldab kiiret kohalikku haldamist ilma globaalse süsteemiga suhtlemata.

Iga maksetegevus omab unikaalset maksetegevuse identifikaatorit (Payment Transaction ID): PAY-{payment_processor}-{timestamp}-{amount_hash}-{sequence}.

Näiteks PAY-MKESKUS-20250706153045-8E4A-00789 tähistab Maksekeskuse kaudu sooritatud 789. maksetegevust konkreetsel ajal, kus 8E4A on summa hash. See tagab maksete jälgitavuse ja võimaldab kliiringusüsteemil grupeerida seotud tehinguid.

Kliiringusüsteemis kasutatakse kuukogumite identifikaatoreid: CLR-{year}{month}-{clearing_batch}-{participant}. Näiteks CLR-202507-B001-TLT tähistab 2025. aasta juuli esimese kliiringpaketi Tallinna Linnatranspordi osa. Iga kliiringidentifikaator sisaldab viiteid kõigile selles sisalduvatele individuaalsetele maksetegevustele.

Kasutajate identiteet on pseudonüümiseeritud läbi krüpteeritud kasutaja hash-i (User Hash ID): USR-{platform_id}-{encrypted_personal_code_hash}. Näiteks USR-MAAS-9F4B8A7C2D1E tähistab konkreetset kasutajat riikliku MaaS platvormi kontekstis ilma tema isikukoodi paljastamata. Sama kasutaja erinevates platvormides omab erinevaid hash-e, tagades privaatsuse.

Sessiooni identifikaatorid (Session ID) võimaldavad jälgida kasutaja tegevust ühe reisiplaneerimise ja ostmise seansi jooksul: SES-{platform_id}-{timestamp}-{user_hash_short}-{random}. Näiteks SES-MAAS-20250706150000-9F4B-X7Y2 aitab mõista kasutaja käitumist alates otsingust kuni pileti ostmiseni.

Iga operaator säilitab oma sisemise identifikaatorite süsteemi, mis vastendatakse MaaS globaalsetele identifikaatoritele. Tallinna Linnatranspordi piletiandmebaasis võib sama pilet kanda identifikaatorit TLT-INTERNAL-789456, mis on seotud MaaS identifikaatoriga MAAS-20250706153045-TLT-00012345 läbi vastendamistabeli.

Elroni rongipiletid omavad raudteespetsiifilisi identifikaatoreid: ELR-{route_code}-{departure_date}-{car_number}-{seat_number}. Näiteks ELR-TLNTAR-20250706-03-12A tähistab Tallinn-Tartu reisiliinil 6. juulil 2025 vaguni 3 istekohas 12A müüdud piletit. See identifikaator on seotud MaaS identifikaatoriga läbi operaatori vastendamise.

Transporditeenused omavad standardiseeritud identifikaatoreid: SVC-{operator}-{service_type}-{route_id}. Näiteks SVC-TLT-BUS-17A tähistab Tallinna Linnatranspordi 17A bussiliinil pakutavat teenust. Iga teenuse identifikaator võib olla seotud näiteks GTFS või NeTEx andmetega, võimaldades rahvusvahelist koostalitlusvõimet.

Marsruutide identifikaatorid järgivad struktuuri: RTE-{origin_code}-{destination_code}-{transport_modes}. Näiteks RTE-TLN001-TAR001-BUS+TRAIN tähistab Tallinna keskusest Tartu keskusesse viivat marsruuti, mis kombineerib bussi ja rongi. Need identifikaatorid võimaldavad kiiremat marsruutide vahemällu salvestamist ja korduvkasutamist.

Digitaalsed piletid omavad valideerimiseks vajalikke identifikaatoreid: TKT-{ticket_global_id}-{validation_hash}. Näiteks TKT-MAAS-20250706153045-TLT-00012345-A7F3 sisaldab nii pileti identifikaatorit kui ka krüptograafilist hash-i, mis võimaldab kontrollida pileti ehtsust ilma keskse süsteemiga ühendust võtmata.

QR-koodid ja NFC tagid sisaldavad kompaktseid identifikaatoreid: QR-{short_ticket_id}-{checksum}. Näiteks QR-M706TLT123-C9 viitab samale piletile MAAS-20250706153045-TLT-00012345, kuid kompaktsemal kujul mobiilikasutuse jaoks. Checksum tagab, et QR-koodi ei saa kergesti võltsida.

Logide identifikaatorid grupeerivad seotud sündmusi: LOG-{date}-{system_component}-{batch}. Näiteks LOG-20250706-TICKETSTORE-B003 tähistab 6. juuli piletilao kolmandat logipaketti. See võimaldab efektiivset logide arhiveerimist ja vajadusel kiiresti konkreetsete sündmuste leidmist.

Erinevate süsteemide vaheliste identifikaatorite vastendamiseks kasutatakse vastendamistabeleid (Mapping Tables), mis säilitavad seoseid MaaS globaalsete identifikaatorite ja operaatorite sisemiste süsteemide vahel. Näiteks vastendamistabel sisaldab kirjeid: MaaS_ID: MAAS-20250706153045-TLT-00012345 ↔ TLT_Internal_ID: TLT-INTERNAL-789456.

Sünkroniseerimise identifikaatorid (Sync ID) võimaldavad jälgida andmete liikumist süsteemide vahel: SYNC-{source_system}-{target_system}-{timestamp}-{batch_id}. Näiteks SYNC-MAAS-TLT-20250706153100-B047 tähistab riiklikust MaaS süsteemist Tallinna Linnatranspordi suunas toimunud 47. andmesünkroniseerimispaketti.

Identifikaatorite turvalisuse tagamiseks kasutatakse krüpteeritud komponente, mis muudavad süsteemisiseste identifikaatorite äraarvamise võimatuks. Hash komponendid genereeritakse SHA-256 algoritmiga, kasutades salajast võtit, mida ainult autoriseeritud süsteemid teavad.

Kompromiteerimise tuvastamiseks kasutatakse kontrollsummasid ja digitaalseid allkirju. Iga kriitilise tähtsusega identifikaator (piletid, maksed) sisaldab kontrollsummat, mis genereeritakse HMAC algoritmiga. Kui identifikaator on muudetud või võltsitud, ei kattu kontrollsumma ja süsteem tagastab vea.

Aegumise kontrollimine toimub läbi ajatemplite analüüsi. Ajutised identifikaatorid (broneeringud, sessioonid) sisaldavad aegumisaega, mille kontrollimine toimub automaatselt ilma keskse süsteemiga suhtlemata. See vähendab süsteemi koormust ja suurendab jõudlust.

MaaS piletisüsteemi identifikaatorid moodustavad seega keeruka, kuid loogilise süsteemi, mis võimaldab hajutatud arhitektuuris säilitada andmete terviklikkuse, tagada jälgitavuse ja samas kaitsta kasutajate privaatsust läbi pseudonüümiseerimise ja krüpteeritud identifikaatorite kasutamise.

6.8. Tehing□te klassifikaatorid

Tehingute klassifikaatorid on olulised identifitseerimiseks, jälgimiseks ja arvelduseks MaaS-süsteemi raames. Igaüks neist täidab konkreetset rolli tehingu elutsükli jooksul – alates broneeringust ja maksmisest kuni arvelduseni teenusepakkuja vahel. Need väljundid võimaldavad siduda tehingu kindla reisija, makse, operaatori ja platvormi vahelistesse süsteemidesse, säilitades jälgitavuse, turvalisuse ja finantsseisundi arvestuse.

Kõik süsteemis toimuvad tegevused omavad auditeerimise identifikaatoreid: AUD-{action_type}-{timestamp}-{actor_id}-{sequence}. Näiteks AUD-PURCHASE-20250706153045-USR9F4B-00456 dokumenteerib kasutaja pileti ostu tegevust. Need identifikaatorid võimaldavad rekonstrueerida täieliku kronoloogia iga pileti ja kasutaja tegevuste kohta.

Need on eriti tähtsad juhul, kui tehinguid tuleb hiljem:

- analüüsida või vaidlustada (nt makse nurjus või tagastati),
- arveldada MaaS-platvormi ja vedajate vahel,
- esitada aruandluseks (nt statistika, maksustamine).

```
transaction_id: "txn_ee_20240616_123456789"
payment_provider: "montonio" | "ridango" | "maksekeskus"
settlement_operator: "ee.ridango"
booking_reference: "PNR123ABC"
external_reference: "stripe_pi_1234567890"
```

Klassifikaatorite selgitused:

1. *transaction_id*: "txn_ee_20240616_123456789"

See on **MaaS-platvormi sisemine tehingu unikaalne ID**, mis sisaldab tavaliselt informatsiooni:

- riigi koodi (ee),
- kuupäeva (20240616),
- järjestusnumbrit või juhuslikku identifikaatorit.

Seda kasutatakse logimises, jälgimises ja aruandluses.

2. *payment_provider*: "montonio" | "ridango" | "maksekeskus"

Tähistab **makseteenuse pakkujat**, kelle kaudu tehing tegelikult sooritati. Erinevatel teenusepakkujatel võivad olla erinevad maksemeetodid ja teenustasud. Näide: “Montonio” kaudu tehti otseülekanne, “Maksekeskus” kaudu kaardimakse jne.

3. *settlement_operator*: "ee.ridango"

Viitab **teenuseosutajale, kellele raha lõpuks kuulub** – ehk kelle nimel või arvel teenus osutati ja kellele komisjonid või netosummad tasutakse. See on vajalik, et:

- määrata arveldusvoog õigesse organisatsiooni,
- toetada mitme operaatori olemasolu MaaS-süsteemis.
- *booking_reference*: "PNR123ABC"

Klientidele nähtav **broneeringu viitenumber** (tihti tähistatud kui PNR – Passenger Name Record). Seda kasutatakse klienditeeninduses, e-kirjades, piletikinnitusel jne.

4. *external_reference*: "stripe_pi_1234567890"

Välise maksepakkuja tehingu ID, mis võimaldab makset platvormiväliselt kontrollida või vajadusel vaidlustada. Näiteks Stripe või Montonio annab igale maksele oma unikaalse koodi, mis on jälgitav nende süsteemis.

6.9. Innovatsiooni võimaldamine läbi standardiseerimise

Paradoksaalselt võimaldab MaaS identifikaatorite ja andmemudeli range standardiseerimine hoopis suuremat innovatsioonivabadust. Kui põhiinfrastruktuur on standardiseeritud ja etteaimatav, saavad innovaatorid keskenduda kasutajaväärtuse loomisele, mitte tehniliste probleemide lahendamisele.

Standardiseeritud identifikaatorid võimaldavad kolmandatel osapooltel arendada väärtust lisavaid teenuseid. Näiteks iseseisvad arendajad saavad luua spetsialiseeritud rakendusi (jalgrattasõbralik navigatsioon, erivajadused arvestav reisiplaneerimine, CO2 jalajälje jälgija), kasutades standardseid MaaS API-sid ja identifikaatoreid. Nad ei pea leiutama ratast uuesti, vaid saavad ehitada olemasoleva infrastruktuuri peale.

Andmemudeli laiendatavus (extensibility) võimaldab lisada uusi funktsionaalsusi ilma olemasolevat süsteemi lõhkumata. Kui tulevikus lisanduvad uued transpordiliigid (droonid, hyperloop, autonoomsed autod), saab neid integreerida olemasolevasse süsteemi, laiendades klassifikaatoreid ja lisades uusi identifikaatori tüüpe.

API-first design tähendab, et MaaS süsteem on disainitud algusest peale nii, et kolmandad osapooled saaksid sellega lihtsalt integreeruda. Identifikaatorid võimaldavad external developers'tel mõista süsteemi struktuuri, klassifikaatorid annavad neile standardse sõnavara ja andmemudel määratleb, milliseid andmeid nad saavad kasutada ja millised volitused on vajalikud.

MaaS identifikaatorite ja andmemudeli kriitilise tähtsuse võib kokku võtta järgmiselt: need ei ole vaid tehnilised detailid, vaid moodustavad MaaS ökosüsteemi "keele" ja "grammatika", mis võimaldab erinevatel osapooltel mõista üksteist, koostööd teha ja ühiselt väärtust luua. Ilma selleta jääks MaaS vaid teoreetiliseks kontseptsiooniks, mida ei saa praktikas realiseerida.

7. Ühtne piletitoodete kataloog

MaaS platvorm hoiab piletitoodete standardit, mille eesmärk on koondada kõikide transpordioperaatorite piletitüübid ühtsesse süsteemi, mis ei tähenda tingimata ühte keskset klassifikaatorit vaid piletitoodete haldus saab olla jagatud hajusalt mitme osapoole vahel kokkulepitud andmestandardi alusel. Iga piletitoode kirjeldatakse inim- ja masinloetavalt koos kõigi oluliste omadustega . See võimaldab MaaS platvormil:

- hallata kõikide vedajate pileteid ühtsel viisil;
- pakkuda kasutajale kohandatud piletivalikuid vastavalt tema marsruudile ja profiilile;
- tagada korrektne hinnastus ja lihtsustada arveldust operaatoritega.

Peamised funktsioonid ja mõisted:

- Globaalne identifikaator (*global_product_code*): Igal piletitootel on unikaalne nimi, nt *ee.tallinn.single.adult*, mis näitab, et tegu on Tallinna täiskasvanu ühekordse piletiga. See võimaldab süsteemil pileteid erinevatelt operaatoritelt eristada ja kasutajale õiged valikud esitada.
- Operaatori viited: Igale piletile on lisatud info selle kohta, milline operaator (nt TLT, Elron, Lux Express) seda väljastab, samuti tema sisemine piletikood (*operator_product_id*), mis võimaldab täpset arveldamist ja päringute suunamist.
- Kirjeldused mitmes keeles: Igal tootel on nimi ja kirjeldus eesti ja inglise keeles – see võimaldab kasutajaliidese tõlkimist ning mugavat kuvamist turistidele.
- Klassifikatsioon ja sihtrühm: Piletid on liigitatud nii toote tüübi (*product_category*) kui ka kasutajarühma (*fare_class*) järgi – nt kas tegemist on päevapileti või kuukaardiga, ja kas see on mõeldud täiskasvanule, lapsele või näiteks tudengile.
- Kehtivuspiirkond ja transpordiliigid: Iga piletiga on seotud info selle kohta, kus (millistes vööndites või marsruutidel) ja millega (buss, rong, tramm jne) see kehtib. Seda määravad väljad *validity_zones, geographic_scope, transport_modes ja valid_routes*.
- Kehtivuse aeg: Lisaks piirkonnale määratakse ka ajaline kehtivus, nt kas pilet kehtib 90 minutit (*validity_duration*), ainult tööpäevadel või ainult kindlatel kellaaegadel.
- Hinnakujundus ja maksud: Igal tootel on baashind, käibemaksu määr ja võimalus lisada dünaamilisi hinnareegleid (*pricing_rules*), näiteks soodustusi või hinnamudelit sõltuvalt ajast ja koormusest.
- Müügipiirangud: Näiteks kas piletit saab ette osta, kas seda saab tagasi maksta või tühistada – need tingimused on samuti struktureeritult kirjeldatud.
- Kanalite määratlus: Näidatud on, kus seda piletit saab müüa: kas mobiiliäpis, veebis, kassas või otse sõidukis.
- Tehnilised parameetrid: Näiteks kas pilet on digitaalne ainult, kas nõuab istekoha reserveeringut või on edasikantav.

7.1. Reaalajas pileti (istekoha) saadav□s

Varude haldus on keskne komponent MaaS-süsteemis, eriti juhul kui tegu on piiratud mahutavusega teenustega – näiteks rongi-, kaugliini- või laevapiletid, kus igale väljumisele on kindel arv kohti. See võimaldab reaalajas jälgida piletite saadavust ning toetab dünaamilist hinnakujundust, mis reageerib nõudlusele ja ajastusele (nt varajase ostu allahindlused või viimase hetke hinnatõusud).

Tabel *inventory_status* kirjeldab just seda funktsionaalsust. Iga kirje määrab:

- **Millisele piletitootele ja kuupäevale** (ning vajadusel kellaajale) see laoseis kehtib – see on oluline, kui sama toode (nt Elroni pilet) võib kehtida mitmel päeval erineva mahutavusega.
- **Broneeritava istekoha parameetrid** (akna ääres, parem või vasak, akna all või vahekäigu ääres, lauaga, kas kahene või neljane istmegrupp, kupee, ülemine või alumine korrus jne)
- **Mahutavusnäitajad**:
- *total_capacity* – maksimaalne lubatud maht,
- *available_capacity* – hetkel vaba,
- *sold_count, reserved_count ja blocked_*count – eraldi loendused müüdud, ajutiselt reserveeritud ja süsteemi poolt blokeeritud piletitele.
- **Hinnastamine**:
- *current_price* võimaldab kuvada reaalset hinda kasutajale,
- *price_factor* peegeldab hinna dünaamilist muutmist vastavalt nõudlusele (demand_level), näiteks „high“ võib kaasa tuua hinna suurenemise.
- **Tugi kampaaniatele ja eripakkumistele**, nagu *early_bird_price* või *last_minute_price*, võimaldades operaatoritel pakkuda paindlikke hindu.
- **Metaandmed** jälgivad viimase uuenduse aega ja allikat (*update_source*), mis võib olla automaatne (nt API kaudu) või manuaalne.

Selline süsteem võimaldab MaaS platvormil teha täpseid ja reaalajas ajakohaseid otsuseid, näiteks millal kasutajale pilet müüa, millise hinnaga, ning millisel hetkel lõpetada müük, et vältida ülemüüki. See suurendab operaatorite tõhusust ja lõppkasutaja usaldust.

7.2. Päring□te marsr□□timise süsteem

Päringute marsruutimise süsteem on MaaS-platvormi loogiline komponent, mis vastutab selle eest, et kasutaja algatatud piletite otsingu- või broneerimispäring suunatakse õigetele vedajatele või MaaS-operaatoritele. Kuna MaaS platvorm võib siduda kümneid või isegi sadu erinevaid teenusepakkujaid, peab marsruutimise süsteem tagama, et päring jõuaks just nende partneriteni, kes teenindavad antud geograafilist piirkonda ja transpordiliiki.

Marsruutimine toimub mitmekihilise loogika alusel:

1. **Geograafiline sobivus**: süsteem määrab reisija lähte- ja sihtpunkti koordinaatide, peatuste, piirkondade või tariifitsoonide järgi, millised operaatorid sellel trajektooril teenuseid osutavad. Näiteks kui alguspunkt on Tallinnas ja sihtpunkt Tartus, kaasatakse süsteemi kõik bussi kaugliini- ja raudteeoperaatorid, kes seda lõiku katavad.
2. **Transpordiliigi filter**: kasutaja eelistuste alusel (nt buss, rong, jagatud tõukeratas) välistatakse sobimatud valikud ning kaasatakse ainult vastava liigi pakkujad.

3. **Teenusepakkujate vahelised kokkulepped ja õigused**: süsteem arvestab, millised tenusepakkujad on platvormiga liidestatud ning millised neist on lubanud piletimüügi läbi kolmanda osapoole. Samuti võivad kehtida piirangud teatud hinnakategooriate või kampaaniatoodete müümiseks väljaspool operaatori enda süsteemi.
4. **Reaalajas tingimused**: marsruutimisel võib rolli mängida ka andmed hetkeseisust – näiteks ajutised katkestused, piiratud saadavus või kohapealsed häired (nt tühistatud väljumine).
5. **Tehniline võimekus**: süsteem peab suutma paralleelselt luua asjakohased API-päringud kõigile sobivatele operaatoritele, saada tulemused lubatud aja jooksul ning need ühises vormingus tagasi koondada ja järjestada (nt hinna, kestuse või vahetuste arvu alusel).

Selline marsruutimisloogika on oluline, et tagada kasutajale personaliseeritud, korrektne ja kiire otsingutulemus – ka juhul, kui reis hõlmab mitut erinevat teenusepakkujat või transpordiliiki. Samuti on see vältimatu eeldus korrektseks piletihalduseks, arvelduseks ja broneeringute sünkroonimiseks erinevate partnerite vahel.

7.3. Päring□te str□kt□□r

API päringute struktuur määrab, kuidas välised süsteemid (mobiilirakendused, veebilehed, partnerite süsteemid) omavahel suhtlevad. MaaS süsteemi API-d järgivad RESTful arhitektuuri põhimõtteid, kus iga ressurss (kasutaja, pilet, reis, operaator) on identifitseeritud unikaalse URL-iga ja manipuleeritakse standardsete HTTP verbide kaudu. GET päringuid kasutatakse andmete lugemiseks ja pärimiseks, POST päringuid uute ressursside loomiseks, PUT päringuid olemasolevate ressursside uuendamiseks ja DELETE päringuid ressursside kustutamiseks.

MaaS kontekstis tähendab see, et iga transporditeenusega seotud element - olgu see kasutaja profiil, reisiplan, pilet või maksetehing - on kättesaadav standardse HTTP API kaudu. Näiteks kasutaja reisiajaloole pääseb ligi GET päringuga /api/v1/users/{user_id}/journeys, uue reisi planeerimine toimub POST päringuga /api/v1/journeys/search ja pileti ost POST päringuga /api/v1/bookings.

API versioonimine on kriitiline, kuna MaaS süsteem peab toetama samaaegselt mitut API versiooni tagasiühilduvuse tagamiseks. URL struktuur sisaldab alati versiooni identifikaatorit (/api/v1/, /api/v2/), mis võimaldab operaatoritel uuendada oma süsteeme järk-järgult ilma teenuse katkestamata.

7□3□1□ Ühtsed API lõpp-punktid

Need ühtlustatud API-lõpp-punktid (inglise keeles *endpoints*) võimaldavad ükskõik millisel rakendusel või kliendiliidesel teha piletimüüki viisil, mis on sõltumatu konkreetsetest operaatoritest. Nad loovad ühtse tehnilise kihistuse, mille kaudu saab MaaS-teenus ühilduda mitmete erinevate süsteemidega, säilitades samal ajal:

- kasutajakeskse loogika (otsing → broneering → ost),
- teenuseosutajate omavahelise võrreldavuse, ja
- selge tehnilise eristuse ja vastutuse iga etapi vahel.

7□3□2□ GET päringud (andmete lugemine)

GET päringud MaaS süsteemis on optimeeritud kiiruse ja cache'itavuse jaoks, kuna nad ei muuda süsteemi seisundit ja võivad olla sageli korduvad. GET päringute URL struktuuri disain järgib hierarhilist loogikat, kus ressursside seos peegeldub URL-i struktuuris.

Kõik päringud kasutavad HTTP GET-meetodit, mis tähendab, et need ei muuda serveris midagi – nad ainult loevad olemasolevat teavet. Kuna andmed ei muutu iga hetkega, on päringud ka vahemällu salvestatud (ingl. *cached*) kindlaks ajavahemikuks, et kiirendada vastuseid ja vähendada koormust.

Need API-päringud moodustavad avaliku informatsiooni kihi, mida saab kasutada näiteks reisi planeerimise äppide, kaartide, hindade kuvamise või üldise infoportaalide arendamiseks. Kuna need andmed ei vaja isikuandmete kaitset ega autentimist, on nad vaba ligipääsuga ja mõeldud laiemale infotarbijale või koostööpartnerile. Vahemälu abil tagatakse jõudlus ja süsteemi stabiilsus.

Näiteks reisivõimaluste otsimise päringu struktuur:

```
http
GET
/api/v1/journeys/search?origin=59.4370,24.7536&destination=58.3780,26.7290&departure_time=2025-07-07T08:00:00Z&modes=bus,train
Authorization: Bearer eyJhbGciOiJIUzI1NiIsInR5cCI6IkpXVCJ9...
Accept: application/json
```

Päringu parameetrid võimaldavad täpset filtreerimist:

- origin ja destination - GPS koordinaatidena või peatuse ID-na
- departure_time või arrival_time - ISO 8601 formaadis
- modes - lubatud transpordiliigid (bus,train,walk,bike,taxi)
- max_walking_distance - maksimaalne jalutuskaugus meetrites
- optimization - time/cost/comfort/eco
- accessibility - wheelchair/visual_impairment/hearing_impairment

7.3.3 POST päringud (andmete muutmine/tundlik info)

POST päringud MaaS süsteemis on keerukamad, kuna nad loovad uusi ressursse, käivitavad äriloogika protsesse ja nõuavad sageli mitme süsteemi koordineerimist. POST päringu keha (body) sisaldab alati täielikku andmestike uue ressursi loomiseks või toimingu käivitamiseks.

POST-päringuid ei salvestata vahemälus, kuna need on individuaalsed ja sageli seotud ajutise seisundiga (nt 15 min broneering). POST-päringud on kriitilise tähtsusega, kuna need käivitavad süsteemi muutusi (nt müük, broneeringud, maksed) ja nõuavad turvalist töötlemist. Selline arhitektuur on vajalik, et pakkuda usaldusväärset, skaleeritavat ja mitme operaatoriga töötavat MaaS-teenust.

7.3.4 Vigade käsitlemine ja HTTP staatuskoodid

MaaS API-d kasutavad standardseid HTTP staatuskoode, kuid lisavad MaaS-spetsiifilisi vea detaile, mis aitavad klientrakendustel pakkuda kasutajatele täpsemaid veateadeid ja võimalikke lahendusi.

MaaS hajutatud arhitektuuris on vigade käsitlemine märkimisväärselt keerukam kui monolitlikes süsteemides, kuna iga API päring võib hõlmata mitut sõltumatut süsteemi: Platvormi API → Piletilao API → MaaS X-Tee Operaatori API → Riiklike Kogude API → Operaatori sisemised süsteemid. Iga süsteemi vahel võib tekkida rikke, võrguprobleem, latentsuse tõus või andmete ebakõla, mis nõuab nutikat vigade käsitlemist ja graceful degradation'i.

Fundamentaalne probleem hajutatud süsteemides on, et ei saa samaaegselt tagada Consistency (andmete järjepidevus), Availability (kättesaadavus) ja Partition tolerance (võrgu killustumise taluvus). MaaS kontekstis tähendab see, et kui Elroni broneerimissüsteem on ajutiselt kättesaamatu, peab süsteem otsustama, kas pakkuda mittetäielikku teenust (availability), leida asendusteenus või keelduda teenuse osutamisest (consistency).

Temporal coupling on teine suur väljakutse - kui kasutaja broneerib multimodaalse reisi, mis sisaldab TLT bussi ja Elron rongi, siis mõlema operaatori süsteemid peavad samaaegselt funktsioneerima. Kui üks neist ebaõnnestub pärast teise edukat broneeringut, tekib partial failure olukord, mis nõuab taas kompensatsiooniloogikat.

Kui põhiline teenus ebaõnnestub, peab MaaS süsteem suutma pakkuda vähendatud, kuid siiski väärtuslikku teenust. Fallback mehhanismid klassifitseeritakse mitme tasandi kaupa, alates automaatsest fallback'ist kuni manuaalsete tegevusteni, mis tähendab protsessi tagasipööramist osaliselt või kuni tegevuste täieliku tühistamiseni.

MaaS hajutatud arhitektuuri vigade käsitlemine nõuab lähenemist, mis ühendab tehnilise täiuslikkuse kasutajasõbraliku kogemusega. Süsteem peab olema piisavalt tark, et eristada ajutisi probleeme püsivatest, pakkuda automaatseid lahendusi seal, kus võimalik ja pakkuda lahendusi kui täielik teenus pole saadaval. Lõppkokkuvõttes määrab vigade käsitlemise kvaliteet suuresti selle, kas kasutajad usaldavad MaaS süsteemi oma igapäevaste transpordivajadustega.

8. Kokk□võte

MaaS X-Tee tehnilise analüüsi kokkuvõtteks võiks väita, et Eesti riigi kontekstis on multimodaalse liikuvusplatvormi loomine mitte ainult võimalik, vaid ka strateegiliselt vajalik järgmise kümnendi konkurentsivõime säilitamiseks. Analüüs näitab, et Eestis on võimalik luua maailma esimene riiklikult koordineeritud, kuid tehnoloogiliselt hajutatud MaaS ökosüsteem, mis ühendab avaliku sektori koordineerimise erakese sektori innovatsioonivõimega.

Peamine tehnoloogiline järeldus on, et traditsiooniline "üks platvorm kõigile" lähenemine ei ole optimaalne ei tehniliselt ega äriliselt. Selle asemel võimaldab hajutatud arhitektuur säilitada operaatorite autonoomia ja innovatsioonivabaduse, tagades samal ajal riikliku koordineerimise ja standardiseerimise. Kahetasandiline autentimine OAtht 2.0 ning riikliku X-Tee koostöös läbi MaaS Tuuma toimib selles kontekstis paindliku "usalduse taristuna", mis võimaldab erinevatel osapooltele turvaliselt, paindlikult ja efektiivselt koostööd teha.

Analüüsi käigus tuvastatud 27 vajalikku API teenust ja 4 arhitektuuri kihti moodustavad tervikliku süsteemi, mis on samaaegselt piisavalt keerukas reaalsete probleemide lahendamiseks ja piisavalt struktureeritud skaleeritavaks arendamiseks.

Kuna ühiskondlikult on peamine probleem, mida ühiskasutatavate liikuvusteenustega püütakse lahendada, seotud isikliku sõiduauto kasutusvajaduse vähendamisega, pakkudes alternatiivseid multimodaalseid liikuvusvõimalusi, siis MaaS X-Tee koos hajusa piletite ja sõiduõiguse müügi ja valideerimisega, pakub suurepärast tehnilist ja ärilist võimalust, mida saaks edukalt laiendada ka piiriülestele teenustele.

Tehnilise ja tehnoloogilise kompetentsi juhtimiseks soovitame luua MaaS Arenduskeskuse Põllumajandus- ja Regionaalministeeriumi juurde, mis vastutaks süsteemi tehnilise arendamise, standardite kehtestamise ja operaatorite sertifitseerimise eest. Kuna nende hallata on ka ÜTRIS ja lähiajal juurutatav REMIX, peaks loodav üksus olema piisavalt autonoomne ja tehnoloogiliselt kompetentne, et suuta järgida kiiresti muutuvat tehnoloogiamaastikku. Tegemist ei pea olema uue asutusega vaid võib olla ka osa tänasest ReM struktuurist, täiendades organisatsiooni vajalike kompetentside ja inimestega.

Lisaks vastutava asutuse nimetamist, on vajalik kaasata teisi osapooli riigiasutustest (nö governance mudeli osana) järgmiselt: RIA (X-Tee infrastruktuuri arendus, turvalisus), Kliimaministeerium (poliitika kujundamine, rahvusvaheline transpordialane koostöö), Transpordiametit (regulatiivne järelevalve, kvaliteedikontroll). Oluline on säilitada selge vastutuse jaotus ja vältida dubleerimist.

8.1. Riskide maandamine ja alternatiivid

Peamised riskid ja nende maandamine:

Riskikategooria	Riskikirjeldus	Maandamismeetmed	Alternatiivsed lahendused / Fallback plaanid
Tehnoloogiline risk	X-Tee infrastruktuuri võimalikud piirangud	Põhjalik testimine ja backup-lahenduste väljatöötamine	Alustada lihtsama cloud-põhise lahendusega ja migreeruda hiljem X-Tee peale
Turuosapoolte vastuseis	Teenusepakkujate vastuseis tulenevalt kartusest ärimudeli muutumise ees	Läbipaistvad lepingutingimused, vabatahtlik alustamine	Alustada ainult avaliku sektori teenustega, kaasata eraoperaatoreid hiljem
Kasutajate omaksvõtt	Kasutajate vähene valmidus võtta vastu uut tehnoloogiat	Järkjärguline juurutamine, turunduskampaaniad	Fookus kasutajakesksete funktsioonide testimisel ja varane tagasiside
Regulatiivne risk	Euroopa regulatsioonide muutused	Aktiivne osalemine Euroopa standardite ja regulatsioonide kujundamises	Alustada riigisisese lahendusega ja laiendada rahvusvaheliselt hiljem

8.2. T?levik? visooon

MaaS X-Tee projekt esindab ainulaadset võimalust positsiooneerides Eesti järgmise põlvkonna digitaalriigi liidriks. Kombineerides meie tugevused digitaalses identiteedis, X-Tee infrastruktuuris ja innovatsioonikultuuris, saame luua süsteemi, mis teenib mitte ainult Eesti elanikke, vaid saab eeskujuks kogu maailmale.

Projekt ei ole ainult tehnoloogiline väljakutse, vaid strateegiline investeering Eesti tulevikku. Eduka implementeerimise korral panustab see märkimisväärselt riigi majanduskasvusse, keskkonna eesmärkide saavutamisel ja elanike elukvaliteedi parandamisesse. Samad oluliselt, see tugevdab Eesti positsiooni digitaliseerimisliidrina ja avab uued ekspordi võimalused.

Tehnilise analüüsi põhjal on selge, et MaaS X-Tee projekt on mitte ainult teostatav, vaid ka vajalik. Soovitame riigile antud projektiga edasi liikumist täies ulatuses, säilitades samas ettenägelikkuse ja riskihalduse põhimõtted. Projekti edu määrab suuresti Eesti digitaalse riigi maine ja konkurentsivõime liikuvuspoliitika järgmises kümnendis.