



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Ehituse ja arhitektuuri instituut

TALLINNA SILDADE ANALÜÜS
ANALYSIS OF THE BRIDGES OF TALLINN
MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Priit Kasari

Üliõpilaskood 176467EAXM

Juhendaja: Sander Sein, lektor

Tallinn 2021

(Tiitellehe pöördel)

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad,

kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." 2021

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

"....." 2021

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."2021 .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Priit Kasari _____ (sünnikuupäev: 03.01.1992)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Tallinna sildade analüüs,

mille juhendaja on

Sander Sein,

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

¹*Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.*

_____ (allkiri)

_____ (kuupäev)

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Priit Kasari, 176467EAXM

Õppekava, peeriala: EAXM15/15 - Hooned ja rajatised

Juhendaja(d): lektor, Sander Sein, 620610

Konsultant:(nimi, amet)

..... (ettevõtte, telefon, e-post)

Lõputöö teema:

Tallinna sildade analüüs

Analysis of the bridges of Tallinn

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Töötada välja prognoosimudel sildade seisukorra muutuse hindamiseks ning hooldustegevuse kavandamiseks
2. Uurida kaalufaktori mõju silla seisundi indeksi kujunemisele
3. Tuua välja silla seisundi indeksit enim mõjutavad elemendid

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.		
2.		
3.		

Töö keel: Eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** ".....".....2021.a

Üliõpilane: ".....".....2021.a
/allkiri/

Juhendaja: ".....".....2021.a
/allkiri/

Konsultant: ".....".....2021.a
/allkiri/

Programmijuht: ".....".....2021.a
/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

EESSÕNA	6
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU	7
SISSEJUHATUS	8
1 SILLAHALDUSE ARENG NING TÖÖ ÜLESEHITUS	9
1.1 Eesmärgid	9
1.2 Lõputöö ülesehitus.....	10
2 SILLA HALDUSSÜSTEEMID	11
2.1 Sisend.....	11
2.2 Silla haldussüsteem Eestis	11
2.3 Sildade ülevaatused ja seisundi indeksi arvutus	12
2.3.1 Elementide seisunditasemete kirjeldus Eestis.....	13
2.3.2 Seisundiindeksi arvutus	14
3 LÄHTEANDMETE ANALÜÜS	16
3.1 Sildade arvuline koosseis.....	16
3.2 Erinevate elementide SI languse kiirus	17
3.3 Kandevelementide seisukord	20
3.4 Liiklusohutust mõjutavate elementide seisukord	21
3.5 Silla SI enim mõjutavad elemendid.....	22
3.5.1 Vuugid	22
3.5.2 Trepid	23
3.5.3 Talad	24
3.5.4 Suuremahulised elemendid.....	25
3.6 Kaalufaktor	27
3.7 Sildade ja sillavõrgu seisundi indeks (SI).....	29
4 PROGNOOSIMUDELI KOOSTAMINE	32
5 SILLAVÕRGU RAHALISED VAJADUSED	35
6 ARVUTUSMUDELI KONTROLL	39
KOKKUVÕTE	46
SUMMARY	48
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	50

EESSÕNA

Lõputöö teema sündis autori võimalusest läbiviija 2020 aasta Tallinna sildade ja tunnelite kordusülevaatus. Projekti läbi viies ning andmeid analüüsid selgus et tegu oli esimese korraga kui ülevaatus läbiviimiseks ei olnud võimalik kasutada AASHTO poolt välja antud silla haldussüsteemi programmi PONTIS. Kuna tegu oli viienda ülevaatusena, mida antud rajatistele teostati oli võimalik eelnevaid ülevaatusandmeid analüüsida ning nendele lähtudes töötada välja arvutusmudeleid millega prognoosida rajatiste seisukorra muutusi. Saadud halvenemise mudeleid saab omakorda kasutada rajatiste parendamistegevuste kavandamiseks ja rahaliste vajaduste arvutamiseks.

Lõputöös analüüsitakse ka sillaelementidele määratud kaalufaktorite mõju SI (seisundiindeksi) kujunemisel. Kuna Pontist enam kasutada ei ole võimalik ning sellest tulenevalt tuleb uuele prognoosi mudelile üle minna siis avaneb ka võimalus minna üle Transpordiameti sildade hindamisel kasutatavate kaalufaktorite rakendamisele ka Tallinna Kommunaalameti sildade analüüsimisel, et kogu Eesti sillavõrk oleks ühtses süsteemis.

Prognoosi läbiviimisel on lisaks kasutatud kirjanduse loetelus esitatud allikatele kasutatud ka AS Teede Tehnokeskuse Veiko Tikaselt saadud ülevaatusandmeid sisaldavat andmebaasi ning ülevaatusandmeid ja pilte sisaldavat veebiandmebaasi veebiaadressil <http://bms.teed.ee/>

Töö autor tänab siinkohal ka kõiki AS Teede Tehnokeskuse kollektiivi liikmeid kes olid abiks andmete kogumisel ning ka neid kes võimaldasid töö autoril analüüsi läbiviimise ajal, tava tööülesannetest eemal viibida.

Veel enam soovib autor tänada Sander Seina, kes lisaks käesoleva töö juhendamisele, juhendas autorit visuaalsete ülevaatus läbiviimisel ning 2020 Tallinna sildade ja tunnelite kordusülevaatus aruande koostamisel.

Silla haldussüsteem/ statistika/ sildade hooldus/ sillad/ magistritöö.

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

SI – seisundiindeks

BMS (Bridge management system) – silla haldussüsteem

PMS (Pavement management system) – katendi haldusteenus

AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) – Ameerika maantee ja transpordiametnike ühendus

$S_{1i} \dots S_{4i}$ – elemendi ühikute kogus, vestvas seisundi tasemes

KF – kaalufaktor

ÜV – ülevaatuse aasta

Y – silla arvutatava aasta seisundi indeks

X – arvutatava aasta seisunditasemele eelnev seisunditase

H_0 – null hüpotees (tegelikud väärtused)

H_i – kontrollitav hüpotees (prognoositud väärtused)

n - vabaduseaste

SISSEJUHATUS

Tulenevalt liiklussageduse kasvust on suur osa arenenud maailma riikidest arendanud oma infrastruktuuri viimastel aastakümnetel just sildade ja viaduktide ehitamisega. Kuna aga osad nendest sildadest on juba mitu dekaadi vanad siis on nendel selgeid lagunemismärke näha. Selleks et sillapark edasi ei laguneks on vajalik investeerida sildade hooldamisse, kuid selleks et teada, millisele sillale millal tähelepanu pöörata, on vajalik korralikku ning efektiivset silla haldussüsteemi.

Silla haldussüsteemi eesmärgiks on koguda ning töödelda sildade alast teavet, mille põhjal prognoosida transpordirajatiste seisundi muutusi ning kavandada remondi ning hooldus töid.

Antud teadustöö eesmärgiks on analüüsida Eestis teostatud BMS ülevaatuste andmeid ning välja selgitada kriitilise tähtsusega silla elementide olemus ning töötata välja arvutusmudelid silla ning sillaelementide seisundi muutuste arvutamiseks. Varasemalt on Eestis BMS uuringute läbiviimiseks kasutatud tarkvara PONTIS. Paraku ei ole antud programm enam võimalik kasutada. Mistõttu on tekkinud vajadus välja töötada uus lahendus, millega hallata kõiki Eestis paiknevaid transpordirajatise olenemata nende omanikust.

Analüüsi läbiviimiseks kasutatakse Tallinna kommunaalameeti valdusesse kuuluvate rajatiste BMS ülevaatuste andmeid. Esimesed andmed pärinevad aastast 2008 ning kõige värskemad andmed on kogutud 2020 aasta kordusülevaatuse raames. Antud rajatistele oli 2020 aastal teostatud kordusülevaatus viies, millest tulenevalt on enamikele rajatistele teostatud vähemalt 2 ülevaatus ning paljudel rajatiste kohta on olemas ülevaatus andmed kõigilt viielt ülevaatuselt.

Viimase ülevaatus läbiviimisel, andmete analüüsil ning aruande koostamisel osales ka käesoleva teadustöö autor. 2020 aasta Tallinna sildade ja tunnelite kordusülevaatus raames hinnati kokku 61 rajatise seisukorda. Esmakordselt oli ühe ülevaatus alla koondatud nii sillad kui ka tunnelid. Hinnatavad rajatised jagunesid 39-ks sillaks, millest 2 silda olid ülevaatus nimekirjas esimest korda ning 22 tunnelit, millest 7 olid esimest korda ülevaatus nimekirjas.

1 SILLAHALDUSE ARENG NING TÖÖ ÜLESEHITUS

Sillad on insenerirajatised mille eesmärk on võimaldada liiklusel ületada takistusi. Need rajatised jagunevad omakorda kaheks. Veekogu ületav rajatis on sild ning maismaa takistusi, nagu ristuva tee või raudtee ületamiseks rajatud rajatist nimetatakse viaduktiks. Antud teoses nimetatakse mõlemaid rajatisi nimega sild.

Silla lagunemist mõjutavad mitmed tegurid nagu ehitamismetoodikad, materjalide valik kui ka keskkond milles sillad eksisteerivad. Kuna Eestis ehitatakse sillad 100 aastase ettenähtud elueaga, siis on vajalik et sillad oleksid võimelised täitma oma ülesandeid nii oma eluea alguses kui ka elutuskki lõpp aastatel. Selleks et see oleks võimalik tuleb sildasid hooldada ning nende seisukorda pidevalt jälgida.

Tulenevalt arvutusmudelite arenemisest ning materjaliteaduste arengust, on võimalik kaasaegseid sildasid rajada efektiivsemalt, pikemate silletega ning saledamate profiilidega. See aga muudab sillad vastuvõtlikumaks lagunemisele, võrreldes robustsete sildadega, mida varasematel sajanditel rajatud on.

Hoolimata Eesti, globaalses mõttes, väikesest pindalast on Eesti territooriumil väga palju sildasid. Need sillad kuuluvad erinevatele asutustele, omavalitsustele või Transpordiametile. Sillapargi suurest mahust ei ole võimalik iga aastaselt või iga perioodilise ülevaatuses raames kõiki sildasid, ühe korraga, ära hinnata, millest tulenevalt on sildade korrapäraseid kordusülevaatused jagatud mitme aasta vahel ära. Lisaks ei ole Eesti sillavõrk täielikult ära dokumenteeritud, mis muudab Eesti kui terviku, pindalal paiknevate sildade seisukorra hindamise ning rahalise vajaduse hindamise keerukaks.

Sillapargi seisukorra muutuste hindamine on aluseks efektiivse hooldustegevuse planeerimisel ning sillavõrku mõjutavate otsuste langetamisel.

1.1 Eesmärgid

Selle teadustöö eesmärk on välja töötada ja rakendada algoritm, mis võimaldab ennustada ja optimeerida olemasolevate sildade seisukorda kogu nende elutsükli vältel. See teema on üha enam esile kerkinud tänu struktuurse taastamise ja tugevdamise turu laienemisele ning teadlikkusele, et suuremahulised tööd, näiteks sillad, vajavad selle kasuliku eluea jooksul tõhusat jälgimist.

Käesoleva töö peamine eesmärk on välja töötada arvutusmudelid olemasolevate sildade seisundi halvenemise prognoosimiseks, mida oleks võimalik olemasolevasse süsteeme integreerida. Seda teostatakse võtteks aluseks sildade varasem seisundi halvenemine, et seda jäljendades, prognoosida sildade edasist seisundi halvenemist ja lagunemist. Prognoosi koostamiseks kasutatavad statistilised andmed väljendavad ülevaatusel läbiviijate poolt elementidele antud visuaalseid hinnanguid. Saadud prognoose võrreldakse

1.2 Lõputöö ülesehitus

1. peatükis käsitletakse uuritavat teemat üldiselt ning esitatakse lõputöö väljatöötamise eesmärgid;
2. peatükis esitatakse silla juhtimissüsteemide funktsioonid ja eesmärgid ning kirjeldatakse Eestis seni kasutatavat silla haldussüsteemi;
3. peatükis analüüsitakse sisend andmebaasi ning antakse ülevaade Tallinna sildade hetke olukorrast ning tuuakse välja elemendid mis sildade seisundi muutusele kõige suuremat mõju avaldavad. Antud peatükis käsitletakse ka elementidele omistatud kaalufaktori mõju seisundi indeksi kujunemisele;
4. peatükis koostatakse välja arvutusmudel, millega prognoosida sildade SI langemise kiirust;
5. peatükis hinnatakse Tallinna sillapargi rahalist vajadust, lähtudes eelnevas peatükis väljatöötatud prognoosi mudelile;
6. peatükis kontrollitakse arvutusmudeli võimekust prognoosida sildade seisundi langust ajas.

2 SILLA HALDUSSÜSTEEMID

Silla haldussüsteemi võib määratleda tööriistana, mis aitab sillahaldajatel ja vastutajatel hooldustööde kavandamisega seotud otsuseid optimaalselt langetada, võttes arvesse pikaajalisi eesmärke ja olemasolevaid ressursse. Sellist laadi haldussüsteemi kasutamise eesmärk on alati maksimaalne kasu ja minimaalne elutsükli maksumus. [1]

Juhtimissüsteemi tõhusaks toimimiseks peab see sisaldama võimalikult palju teavet. Sisend, peab olema äärmiselt täpne ja järjepidev, sest ainult nii saab süsteemi väljundiks olla usaldusväärseid tulemusi. Juhtimissüsteem on siiski midagi enam kui faktide kogum, selle eesmärk on analüüsida, kombineerida ja töödelda sisendid juhtimis-, inseneri- ja majandustegureid ning määravad hoolikalt kindlaks teede võrgus pika aja jooksul rakendatavad parimad tegevused. [1]

2.1 Sisend

Ilma sisendita oleks sildhaldussüsteemi ehitamine võimatu. Sisend on kõigi muude komponentide väljatöötamise alus, olles alati esimene samm mis tahes süsteemi väljatöötamisel. See koosneb andmebaasist, kuhu salvestatakse ja koondatakse kogu teave, mis on seotud kõigi infrastruktuurivõrku kuuluvate sildadega, näiteks silda ületav liiklus, ületatav takistus, konstruktsiooni gabariidid ja ülevaatuste tulemused ja hooldustoimingud. Seda teavet säilitatakse kogu sildade olelusringi jooksul, et säilitada ajalooline taust.

2.2 Silla haldussüsteem Eestis

Eesti on hetkel olemas toimiv sildade registritaseme haldussüsteem. Süsteemi juurde kuuluvad korrapärased ülevaated, kus sillakonstruktsioonide seisukorda hinnatakse silla elementide kaupa ja sillale määratakse ka selle visuaalset seisundit kirjeldav hinnang. Süsteem on remont-orienteeritud ja lühiajaline, sest infotöötlus praegusel tasemel ei võimalda infot piisavalt analüüsida ja tööde planeerimisel pikemaajalisi hinnanguid anda. [2]

Sildade haldussüsteemi BMS (Bridge Management System) kasutamise võimalusi hakati Eestis tõsisemalt uurima alates 1998. aastast, millal valmis Hillar Variku magistritöö "Sillatööde planeerimissüsteem". Sellele järgnes 2000. aastal Raul Vibo magistritöö "Sildade halduse probleemid ja haldussüsteemid". Mõlemad magistritööd käsitlevad mujal maailmas kasutatavaid BMS süsteeme ja arvutitarkvara, mida kasutatakse silla

andmete haldamiseks. Mõlemas töös jõuti järelduseni, et tänapäeval on võimalik suurt sillavõrku efektiivselt hallata ja majandada kui: [2]

- andmeid aitab hallata ja analüüsida arvutisüsteem;
- toimib efektiivne sildade ülevaatuste kord;
- on loodud ning toimib arvutisüsteemi haldav ja ülevaatusi korraldav organisatsioon.

AS Teede Tehnokeskus alustas kaasaegse BMSi juurutamist 2002. aastal. BMSi tarkvaraks osteti Ameerika Ühendriikides väljatöötatud programm Pontis. Euroopa Komisjoni poolt 2001. aastal läbi viidud uurimus BRIME tunnistas Pontise üheks maailma enamarenenud sillavõrgu haldamise programmiks. Samuti pakuti see programm välja ka eelnevalt nimetatud magistritöös. [2]

2004. aastal valmis toona Maanteeameti, tänaseks Transpordiameti, tellimusel AS Teede Tehnokeskuse PMS-grupi poolt aruanne "Sildade võrgutasandi analüüsil põhineva sildade haldussüsteemi BMS juurutamine Eestis". See oli seda teemat käsitlevatest töödest järjekorras teine. Varasemalt oli 2003 aasta kevadel koostöös Harju Teedevalitsusega tehtud Harju maakonna põhimaanteedel asuvasillatele 45-le sillale ülevaatus ja kogutud andmeid Pontis tarkvaraga analüüsitud. 2004. aastal viidi läbi sildade visuaalne ülevaatus, mis hõlmas 100 kõige halvemas seisukorras maantee-silda. Kõik teedevalitsuse regioonid esitasid oma regioonis remonti vajavate sildade nimekirja ning Maanteeamet koostas tulenevalt antud teedevalitsuse sildade koguarvust enim remonti vajavate sildade pingerea, milles sisaldus 100 silda. Sildade ülevaatus viis AS Teede Tehnokeskuse spetsialist läbi koos kohaliku teedevalitsuse esindajatega. [2]

Tänapäeval programmi PONTIS Eestis silla haldussüsteemis enam ei kasutata. Selle põhjuseks on programmi teenust pakkuva AASHTO otsus, mitte pikendada Eestis kasutatavat programmi litsentsi, sest meie turg on nende jaoks liiga väike. Sellest tulenevalt on 2020 läbiviidud Tallinna sildade ja tunnelite kordusülevaatus läbi viidud Pontise baasil väljatöötatud arvutusmudeleid kasutades. [2]

2.3 Sildade ülevaatused ja seisundi indeksi arvutus

Sildade ülevaatus teostatakse visuaalselt, kus iga silla elemendiühikut hinnatakse nelja palli süsteemis. Üldiselt põhinevad need AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) poolt koostatud ja AS Teede Tehnokeskuse poolt täiendatud juhenditel. [3]

2.3.1 Elementide seisunditasemete kirjeldus Eestis

Seisund 1

Elemendil puuduvad kahjustused ja kulumise tunnused. Üldine välimus on puhas ja uueväärne. Võib esineda pisipuuduseid, nagu näiteks mahukahanemis praod (alla 0,3 mm) või värvi pleekimine. Potentsiaalne järeltegevus on hooldamine. [4]

Seisund 2

Elemendil esinevad väiksemad pinnapealsed kahjustused, esineb kulumist ja viiteid konstruktsioone kahjustavatest protsessidest. Üldine välimus on korralik, aga pinna kvaliteet ei ole uueväärne ja esineb selgeid kulumise tunnuseid. Võib esineda funktsioneerimise seisukohalt mitteolulised defekte ja väiksemaid geomeetrilisi kõrvalekaldeid. Potentsiaalne järeltegevus on pisiremont või hooldamine. [4]

Seisund 3

Elemendil esinevad kahjustused, mis otseselt kandevõimet ja funktsioneerimist ei vähenda, kuid mõistlik on element remontida ja mõnel juhul asendada. Üldisest välimusest paistavad esile kahjustused mille likvideerimiseks ei piisa pisiremondist. Seisundit halvendavad keskkonna protsessid on hakanud elementi kahjustama. Esineb olulisi defekte ja geomeetrilisi kõrvalekaldeid. Potentsiaalne järeltegevus on kapitaalremont. [4]

Seisund 4

Elemendil esinevad kahjustused, mis avaldavad mõju tugevusele ja kogu konstruktsiooni kandevõimele. Üldisest välimusest on näha, et element on halvenenud ja vajaks viivitamatut kapitaalremonti või asendamist. Element ei täida oma funktsiooni ja kujutab tõsist ohtu silla tugevusele, teistele elementidele või ohutusele. Potentsiaalne järeltegevus on ümberehitamine või elemendi vahetus uue vastu. [4]

Andreas Papp pööras oma 2012 aasta lõputöös tähelepanu kandevõime hindamisele lähtuvalt visuaalse hindamise tulemustele. Kuigi numbriliselt ei ole antud süsteemis võimalik kandevõime kadu hinnata on 2020 aasta aruandes ja ka antud töö raames kõik kandevõimet mõjutavad elemendid tähistatud, mis võimaldab antud elemendid esile tõsta ning kui nende elementide seas esineb kolmandasse või neljandasse seisundisse hinnatud elemente märkimisväärses koguses saab antud elemente aruandes esile tõsta ning seeläbi nendele ka tähelepanu pöörata. [5]

2.3.2 Seisundiindeksi arvutus

Seisundi indeks (SI) on sildadele ja nende elementidele antav numbriline hinnang, mis väljendab nende füüsilist välimust. Tulenevalt elemendi funktsioonist ning olulisusest on määratud igale elemendile kaalufaktor. Kõikide silla elementide seisundi indeksitest arvutatakse välja kogu silda kirjeldav keskmine hinnang ning tulemust väljendatakse skaalal 0 kuni 100%. Arvutatud tulemus ei ole sobilik silla funktsionaalsuse hindamiseks vaid selle otstarve on olla aluseks parendamis tegevuste planeerimisel ning rahaliste vajaduste hindamiseks. Nagu varem mainitud, on hindamisel sild jagatud funktsionaalsuse ja/või tüübi alusel elementideks (nt. Hüdroisolatsioon, sõidutee kate, tala, käsipuu, pörkepiire, jne.). Edasi hinnatakse element ühikute või protsendi baasil 4- taseme skaalal eelnevas alapeatükis kirjeldatud seisunditasemetesse. Elemendi i seisundi indeks SI_i arvutatakse eelnimetatud nelja hinnangu kaalutud keskmise summana, valemiga

$$SI_i = \left(1 \cdot S1_i + \frac{2}{3} \cdot S2_i + \frac{1}{3} \cdot S3_i + 0 \cdot S4_i \right) \quad (2.1) [6]$$

Kus $S1_i \dots S4_i$ väärtused on korrutatud läbi vastava teguriga, mis on toodud tabelis Tabel 2.1

Tabel 2.1 Seisunditasemete kordajad [6]

Seisunditase	Tegur
S1i	1
S2i	2/3
S3i	1/3
S4i	0

Silla seisukorra indeks on arvutatud elementide seisukorra indeksite kaalutud keskmine

$$SI = \frac{\sum(KF_i \cdot SI_i)}{\sum KF_i}, i = 1 \dots N \quad (2.2) [6]$$

Kus tegur KF on igale elemendile määratud kaalufaktor, mis võtab arvesse elemendi olulisust silla seisukohalt.

Maanteeameti juhises on SI arvutamise valem avaldatud pisut erineval ja füüsilises tähenduses veidral kujul, kus suurused $S1_i \dots S4_i$ on valemis väljendatud absoluutühikutes (nt. m, m2, tk.), millega võib kaasna mitteühilduvate mõõtühikutega suuruste liitmine nii murru lugejas kui selle nimetajas. [6]

$$SI = \frac{\sum \left(KF_i \cdot \left(1 \cdot S1_i + \frac{2}{3} \cdot S2_i + \frac{1}{3} \cdot S3_i + 0 \cdot S4_i \right) \right)}{\sum (KF_i \cdot (S1_i + S2_i + S3_i + S4_i))} \cdot 100\%, i = 1 \dots N \quad (2.3) [6]$$

Kokkuvõtlikult võib öelda, et SI on number mille alusel on loodud taustsüsteem kogu sillapargi seisundi kirjeldamiseks ja mis on abiks haldamisega seotud otsuste vastu võtmiseks. Antud kokkuvõttes kasutatakse SI samuti valitud sildade seisundi kirjeldamiseks ja analüüsis võrdlemaks omavahel erinevaid sildasid ning praegust olukorda teiste lähenemistega. Kõik selle töö raames teostatud arvutused on koostatud vastavalt visuaalsetele ülevaate tulemustele ja eelpool kirjeldatud valemitele. [6]

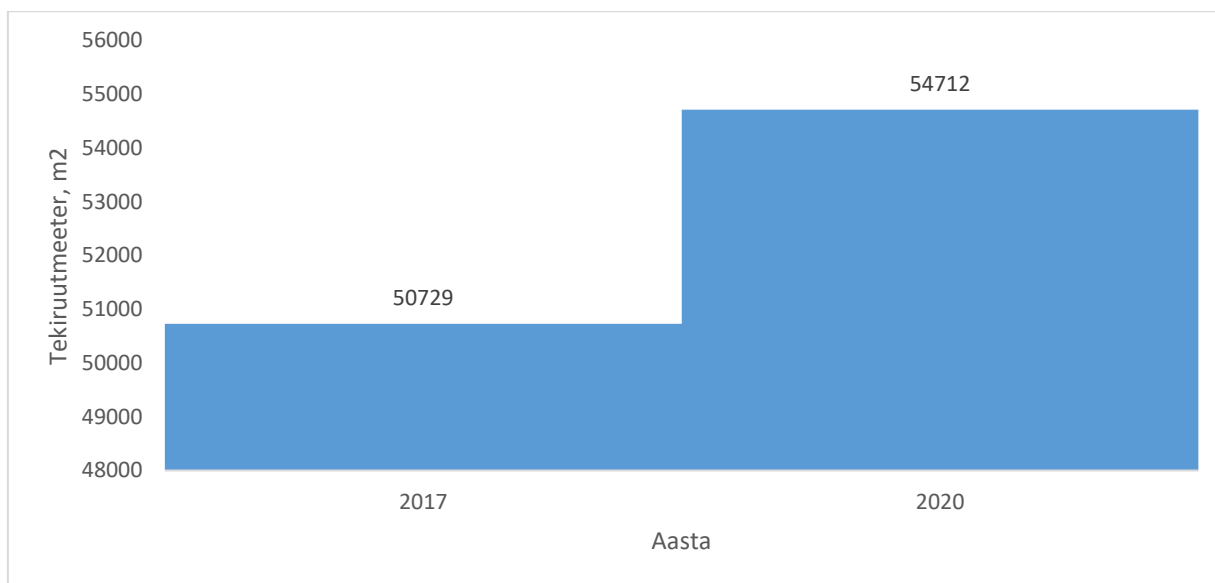
3 LÄHTEANDMETE ANALÜÜS

Töö autorile oli ülevaatus ajal kättesaadavad eelneva ülevaatus fotod ning elementide seisunditasemete info, mis andis võimaluse võrrelda ning anda ülevaatus silla elementide seisukorra muutusest ning tuua välja ka teostatud hooldustöid.

Tallinna sildade üldine olukord oli hea. Mitmel sillal millel 2017 ülevaatus ajal oli märgitud pealisehitise defekte, oli probleemidega tegeletud. Märgata oli teekatte paranemist, metallpiirete värvimist ning mõningal juhul kui teostatud oli teekatte parandamist oli välja vahetatud ka vuugi konstruktsioonid. [7]

3.1 Sildade arvuline koosseis

Aastal 2020 on Tallinna Kommunaalameti haldusalas kokku 61 rajatist. Rajatiste koguarv on viimase 3 aastaga kasvanud 6 võrra. Alates 2008. aastast on sildade tekiruutmeerid pidevalt kasvanud, mis tuleneb juurde ehitatud eritasandiliste liiklussõlmede arvelt (Joonis 3.1).



Joonis 3.1. Tekiruutmeerid aastate lõikes.

Jooniselt on näha, et rajatiste pindala on kasvanud 7,85%, mis mõjutab ka edasisi iga aastaseid kulutusi rajatistele ning mida on vaja arvestada hooldetööde planeerimisel.

Sildade arvu poolest on viimase kahe ülevaatusega lisandunud kõige enam just ühe avalaseid sildasid, mis reaalsuses kvalifitseeruvad tunnelitena. Tunnelite ava arv on mõninga erandina tihtipeale üks, kuid tulenevalt tunnelite pikkusest omavad tunnelid suurt tekiplaadipindala, .

Võrreldes 2017 aastaga [7] on juurde tulnud pigem keskmisest suuremaid rajatise ning kui kirjeldada 2020.aastal Tallinna Kommunaalameti keskmist rajatist, siis keskmine avade arv on 3, kuid sellegipoolest on kõige enam 1-avalisi rajatise. Rajatiste mediaan pikkus on 45 m, mis on kolm korda suurem kui riigiteede keskmisel sillal ning rajatise mediaan tekiplaadi pindala on 415 m², mis on samuti oluliselt suurem näitaja kui riigiteede sildadel. Sellest tulenevalt on tähtis ressurside planeerimisel lähtuda tekiplaadi ruutmeetritest ning arvestada, et ühe keskmise Tallinna silla ümber ehitus on kallim kui riigiteede sildade puhul.

3.2 Erinevate elementide SI languse kiirus

Selleks, et leida õigemaid hooldusvõtteid, analüüsiti lisaks sildade SI muutustele ka erinevate elemendigruppide seisunditaseme muutuseid. Kõikide elemendigruppide kohta ei olnud võimalik analüüsi teha, sest puudusid terviklikud andmed, kuid 101 erinevast elemendigrupist on analüüsi kaasatud 77. Kõige kiiremini langevad elemendigrupid on toodud järgnevalt (Joonis 3.2).

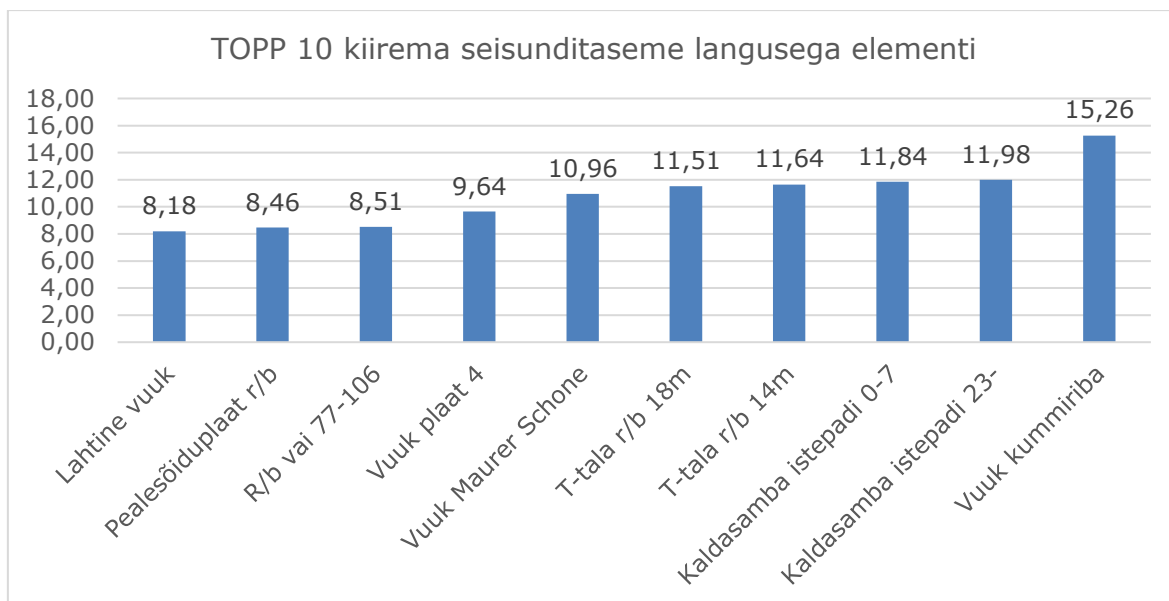
Joonistel Joonis 3.2, Joonis 3.3, Joonis 3.4 ja Joonis 3.5 esitatud andmed on saadud leides valemiga (2.1) saadud järjestikuste ülevaatuste elemendi SI languse vahe ning seejärel on tulemus jagatud ülevaatuste vahele jäävate aastate summaga, et saada selle elemendi aastane langus.

Iga elemendi keksimine SI, mis on vajalik et leida keskmine SI langus aastas, on leitud järgneva seosega:

$$SI \text{ muutus} = \frac{SI_x - SI_y}{(\ddot{U}V_x - \ddot{U}V_y)} \quad (3.1) [6]$$

Kus SI muutus tähistab SI aastast muutust, SI_x praeguse ülevaatuse tulemust, SI_y eelneva ülevaatuse tulemust, $\ddot{U}V_x - \ddot{U}V_y$ ülevaatuste kuupäevade vahemik taandatud aastatesse.

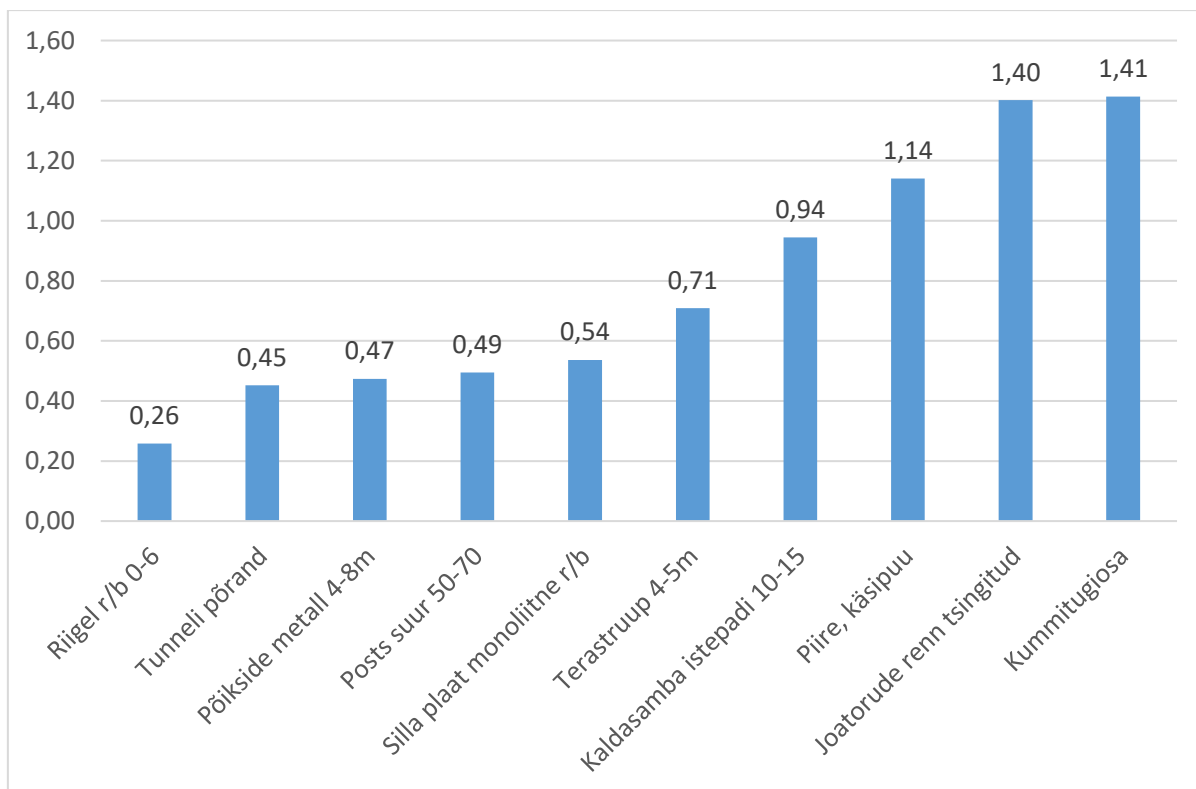
Seejärel on võetud kõikide sildade sama elemendi aastane SI langus ning nendest tulemustest on võetud aritmeetiline keskmine.



Joonis 3.2. TOP 10 kiirema seisunditaseme langusega elementi

Jooniselt on näha, et kõige kiiremini halvenevate elementide hulgas võib leida erinevad deformatsioonivuugid, mis kipuvad lekkima ning suurema liikluskoormuse all purunema. Lisaks leiab sealt kaldasamba istepadjad, mille betoon mureneb kiiresti, sest nende vähese puhastamise tõttu ümber koguneb sinna niiskus. Lisaks on oodatud elemendina sees pealesõit, kuid huvitaval kombel on topp 10 elemendi hulgas esindatud ka talad. Joonisel toodud elementidele tuleks hooldetööde käigus enam tähelepanu pöörata ning vajadusel remontida. Võrreldes sildade SI muutusega on näha, et elemendi tasandil toimub seisukorra halvenemine enam kui kaks korda kiiremini kui silla tasandil.

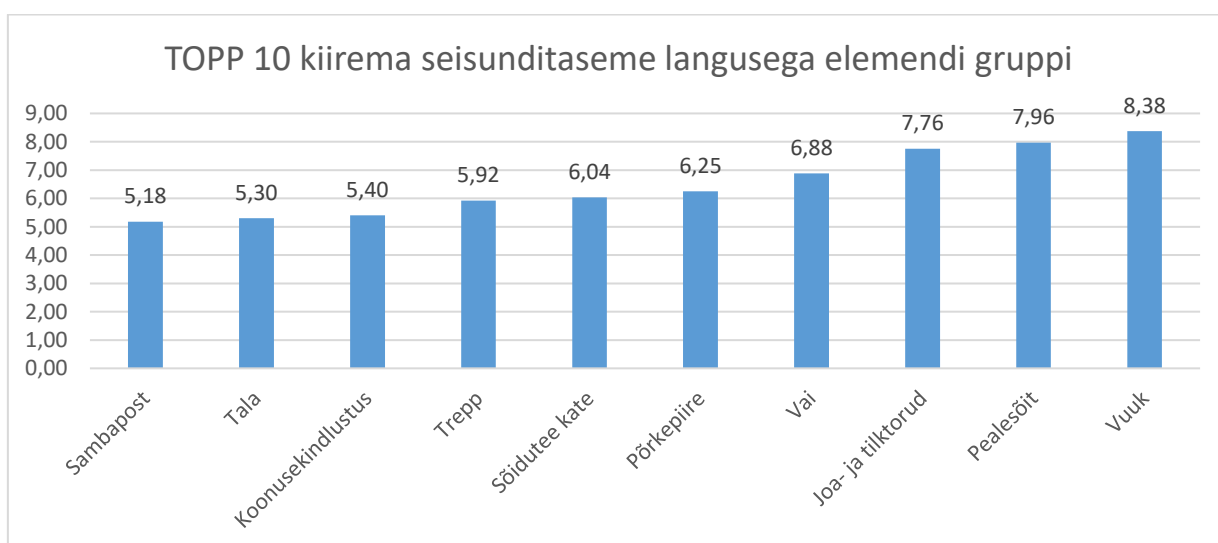
Kõige aeglasema seisundimuutusega elemendid on toodud järgnevalt: (Joonis 3.3)



Joonis 3.3. Topp 10 kõige aeglasema seisunditaseme muutusega elemendid

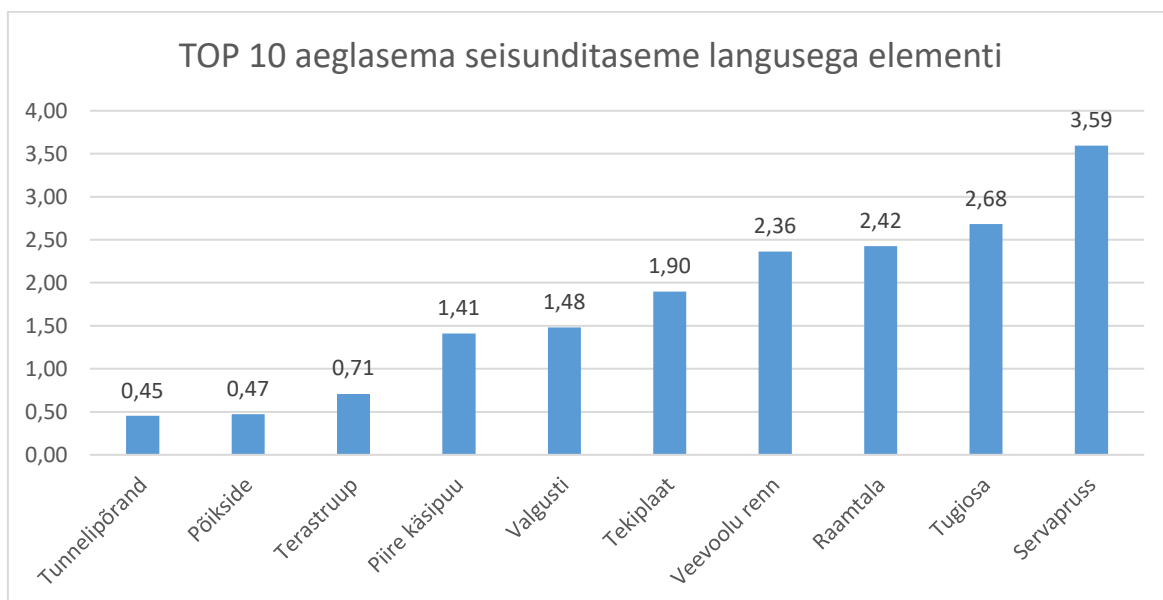
Enamik elemente on alusehitisest või kandvad elemendid, kuid lisaks on huvitavalt kombel aeglasema seisunditaseme muutusega ka käsipuid ning rennid. See viitab asjaolule, et sildu on hooldatud.

Kui neid samasid andmeid analüüsida elemendi gruppides, kus ei eristata elemente enam materjali ega suuruse järgi, vaid lähtudes elemendi funktsioonist, ühtlustuvad kiiresti halvenevad elemendid mõnevõrra ära (Joonis 3.4).



Joonis 3.4 Kiireima SI langusega elemendigrupid

Jooniselt on näha, et kõige kiiremini halvnevad ka kombineeritult just erinevad vuugid. Nendele järgneb pealesõit, mille ära vajumist oli ülevaatus läbiviies ka märgata. Pingereast on aga ära kadunud kandesamba istmepadjad, mis viitab et tegu oli üksikutel sildadel esineva elemendiga, ning nende kiire halvenemine ei kirjelda kandesambaid tervikuna. Jooniselt on ka näha, et ka grupeeritult esineb mitmeid kandvaid elemente kiiremate seisundi langustega elementide seas. Joonisele on mahtunud ka uusi elemente nagu trepid, mis võrreldes sildadega, mille koosseisu need kuuluvad, olid märgatavalt halvemas seisukorras. Uue elemendina on loetelus ka sõidutee kate, mille seisunditase tulenevalt suurest liikluskoormusest ning naastrehvide kasutusest jõudsasti langeb. Põrkepiirete esinemine nimekirjas tuleneb selle deformeerumisest mitme meetri ulatuses, kui liiklussõiduk sellega kokku puutub.

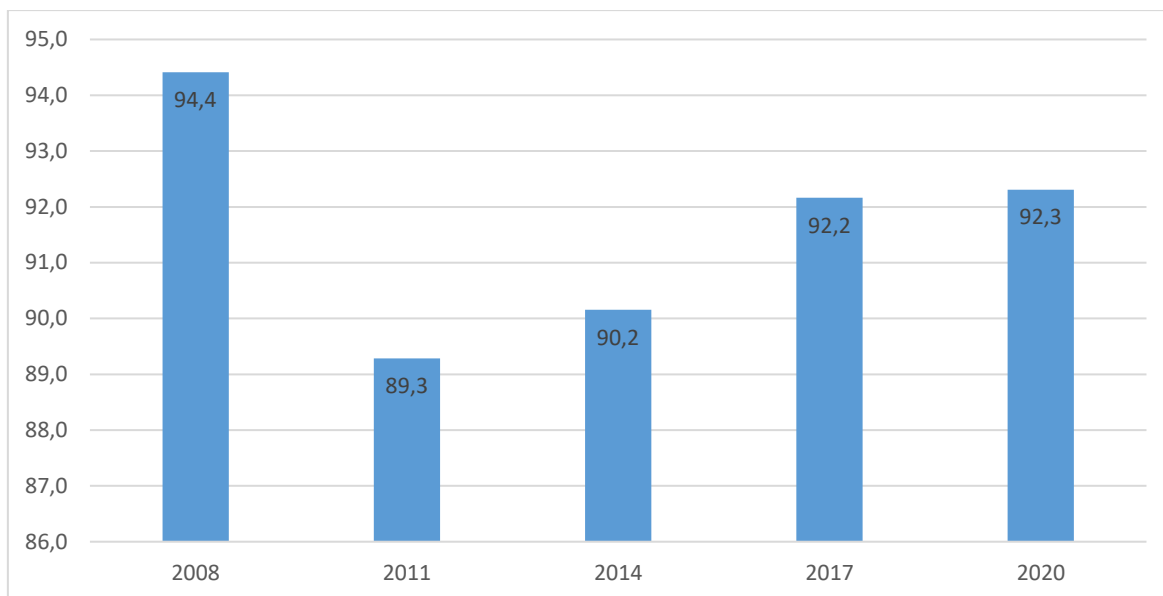


Joonis 3.5 Kõige aeglasema SI langusega elemendigrupid

Kui analüüsida samas meetodiga kõige aeglasemalt halvnevaid elemente (Joonis 3.5) on taaskord näha erinevaid kandvaid elemente ning piirdeid. Lisaks leiab jooniselt erinevaid tunnelite elemente. Joonise kõige kiirema halvenemisega elemendiks on servapruss, mis viitab elemendi halvenemisele tulenevalt ühenduskohtade lekkimisest.

3.3 Kandevelementide seisukord

Kuna silla SI annab silla toimivusele hinnangu keskvärtuse kaudu, analüüsiti sildade seisukorda ja selle muutust ainult kandevelementide vaates eesmärgiga leida viiteid, kas sildade kiire seisukorra halvenemine võib olla tingitud kandevelementide seisukorrast (Joonis 3.6).

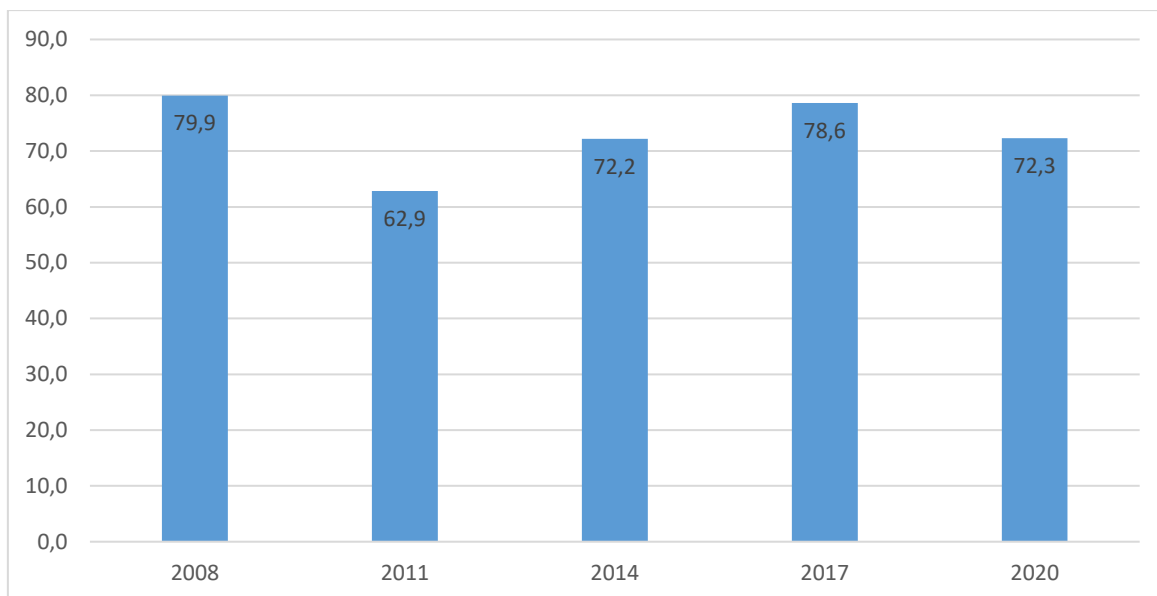


Joonis 3.6. Sildade kandevelementide keskmine SI

Jooniselt on näha, et kandevelementide seisukord on, vastupidiselt üldisele SI tõusule, langenud 1 punkti võrra. Kandevelementide SI aastane langus on 1,44, mis on madalam kui sillaelementidel keskmiselt. Kokkuvõttes võib öelda, et silla kandevelementide seisukord on pigem silla keskmisest seisukorrast parem ning seisund halveneb aeglasemalt, samas on keskmised väärtused piisavalt suured, et kandevelemente tuleks pidevalt hooldada.

3.4 Liiklusohutust mõjutavate elementide seisukord

Sarnaselt kandevelementidele analüüsiti ka liiklejate ohutust mõjutavate elementide nagu tee katend, piirded ja liiklusmärgid keskmist seisundit eri aastatel. Tulemused on toodud järgnevalt (Joonis 3.7)



Joonis 3.7. Liiklejate ohutust mõjutavate elementide keskmine SI

Jooniselt on näha, et sarnaselt kandevelementidele on nende elementide keskmine seisukord langenud. Võrreldes algusaastatega võib liiklusohutust mõjutavate elementide taset lugeda väga hea asemel heaks ning kui elementide seisund muutub jätkuvalt, siis pärast järgmist kordusülevaatust on juba enam kui kolmandik elementidest rahuldavas seisukorras. Keskmine aastane langus on liiklusohutust mõjutavatel elementidel 4,0, mis on peaaegu kaks korda suurem kui sillal üldiselt ning võrreldes kandevelementidega on kiirus peaaegu kolm korda suurem. Sellest tulenevalt võib väita, et hooldetööde käigus tuleks enam tähelepanu pöörata liiklusohutust mõjutavate elementide hooldamisele ning suures osas vajavad juba praegu need elemendid remonti, kapitaalremonti või välja vahetamist.

3.5 Silla SI enim mõjutavad elemendid

3.5.1 Vuugid

Tallinna linna sildade puhul mõjutab vuukide seisukord väga suurt rolli. Tulenevalt suurest liikluskoormusest kipuvad vuugi konstruktsioonid purunema ning lekkima (Joonis 3.8).



Joonis 3.8 Võidujooksu viadukti vuuk

Selle tulemusena sattub niiskus ning mustus kandvatele elementidele, mille tulemusena leiavad nendes aset niiskusest ning mustusest tulenevad lagunemisprotsessid. Vuukide parandamise ning alusehitise puhastamisega on võimalik lagunemis potsesse aeglustada või peatada. Seda olukorda esindab Smuuli viadukt (sild 31), kus vahemikus 2014 kuni 2017 on viis tugiosa ning viis tugipatja hinnatud seisunditasemesse kaks. Samal ajal on näha et aastal 2014 oli kogu vuuk hinnatud kolmandasse seisunditasemesse ning aastal 2017 oli 50% vuugist määratud lausa seisunditasemesse neli, mistõttu võib järeldada et tugiosade ning tugipatjade halvenemine oli põhjustatud vuugi kahjustustega kaasnevast mustusest ning niiskusest. 2018 on antud sillal teostatud sillal remonti, mille käigus on muude hooldustööde seas välj vahetatud vuugikonstruktsioon ning sõiduteekate. Sellest tulenevalt pole 2020 aasta ülevaatuslega lisandunud ühegi tugipatja seisunditaseme muutust ning kõigest üks tugiosa on liikunud seisundisse kaks.

3.5.2 Trepid

Treppide seisunditase võrreldes sildadega mille koosseisu need kuuluvad oli tihtipeale palju halvem kui sild ise. Kui autoliikluse seisukohalt oldi sillal hooldusega tegeletud siis kõnniteedeni ning treppideni hooldustegevus tihtipeale jõudnud ei olnud. Pärnu mnt. Viadukti puhul oli küll näha et trepikonstruktsiooni armatuuri kaitsekihti oli üritatud

taastad, kuid tulenevalt armatuuri laialdasest korrosioonist oli kaitsekiht taaskord lahti löönud.

Laagna teed ületavad mitmed sillad esindavad põhiosa problemaatiliste treppidega sildadest. Nende kõikide sildade ehitusaasta jääb vahemikku 1980 kuni 1987, mis teeb nende vanuseks üle 30 aasta (Joonis 3.9). Kõik sillal, millel trepid on, kasutavad sama trepikonstruktsiooni ning kõikidel treppidel sarnased tüüpilised probleemid. Trepiaastmed on kulunud, kohati armatuur paljastunud ning betoonpiirete ühenduskohad lekivad. Kuna kahjustused ilmnevad kõige enam just treppide alumistel pindadel ning trepid varisemisohtlikud ei ole siis ei ole siiski vajalik treppe sillast eraldi remontida. Eriti veel arvestades et sillad mille küljes trepid on üle 30 aasta vanused ning vajavad isegi remonti. Seetõttu on mõistlik trepikonstruktsioonid välja vahetada sillaremondiga samaaegselt. Sellegipoolest ei muuda see tõsiasi et trepid on vananenud ning nende visuaalne välimus ei võimalda nendele kõrgemat seisunditaset määrata.



Joonis 3.9 Pallasti viadukti trepp

3.5.3 Talad

Tallinna sildade talad on kohati väga halvas seisukorras (Joonis 3.10). Tulenevalt lekkivatest vuukidest ning nendega kaasnevatest probleemidest on talade otsad

murenenud, ja roostetavad. Märgata on ka et äärmised talad kipuvad olema halvemas seisukorras kui keskmised, kuigi see on arusaadav, kuna äärmised talad puutuvad niiskuse ja mustusega kokku ka olukordades, kus vuugid on terved, sest äärmised talad puutuvad kokku ilmastikuoludega.



Joonis 3.10 Piritajõe silla tala

Tulenevalt asjaolust, et talade hindamisel on mõõte ühikuks tükk, ehk siis talasid hinnatakse tervikuna siis ei ole võimalik sillakaardilt välja lugeda talade muutust täpsemalt. Kui võrrelda erinevatel aastatel teostatud fotosid on näha et taladel, mille seisunditase pole eelneva ülevaatuses suhtes muutunud, on näha progressiivsed kahjustuste levikut, kuid mitte nii laialdast, et see argumenteeriks tala liigutamist madalamasse seisunditasemesse.

3.5.4 Suuremahulised elemendid

Kuigi elemente nagu sõidutee kate ja hüdroisolatsioon kõige kiiremini halvenevate elementide loetelust ei leidu on antud elemendid siiski suure SI mõjutamis võimekusega elemendid. Kuna nii sõidutee kate kui ka hüdroisolatsiooni ühikuks on ruutmeeter (m²) siis võivad need kaks elementi moodustada kahepeale ligi kolmandiku kogu silla ühikutest. Sellest tulenevalt sõltub suuresti silla SI just nende kahe elemendi seisundist.

Tulenevalt suurest liikluskoormusest on eriti just sõidutee kate väga kiire seisundimuutusega element. Hoolimata sellest et topp 10 elemendi hulka antud analüüsi tulemustena see ei mahtunud.

Võrreldes 2017 ja 2020 aasta (Joonis 3.11)(Joonis 3.12) ülevaatusel tehtud fotosid teekattest on näha et teekate on ülevaatuste vahelisel ajal suurel hulgal kulunud. Mõningatel juhtudel aga on fotodelt näha et enne 2020 aasta ülevaatusel on teekattel teostatud ka parendamis protsesse, pindamise näol ning ülevaatusel määrati pinnatud sildadele ka kõrgem seisund.



Joonis 3.11 Raadiku silla sõiduteekate 2017

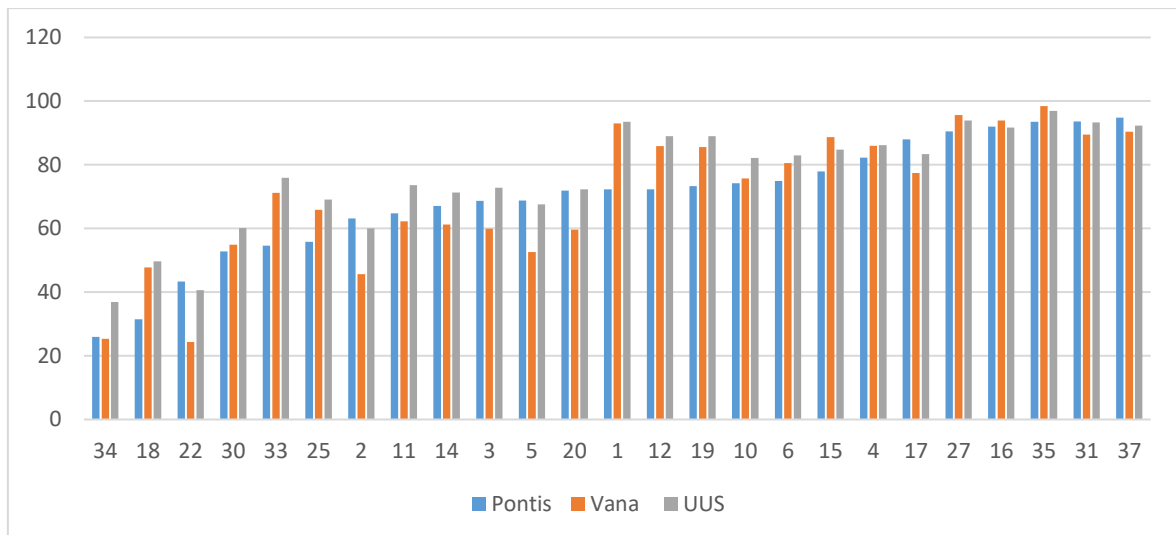


Joonis 3.12 Raadiku silla sõiduteekate 2020

Sellest väljendub asjaolu et sõidutee kate on siiski üks kiireima seisundi halvenemisega element, kuid tulenevalt aegsasti teostatud hooldustegevusele see iseärasus numbrites ei väljendu.

3.6 Kaalufaktor

2020 aasta aruannet koostades ilmnes tõsiasi et hoolimata samast algandmetest ning Veiko Tikaselt saadud PONTISES kasutatavatest kaalufaktoritest ei onud võimalik neid kaalufaktoreid kasutades saada samasid silla SI tulemusi mis oli saadud varasematel ülevaatustel, tulenevalt asjaolust et PONTIS sidus elemendi ühiku asendamiseks kuluva ühikhinna kaalufaktori arvutamise ja antud ühikhindasid ei olnud võimalik taastada. [4]



Joonis 3.13 SI arvutatud erinevate kaalufaktoritega

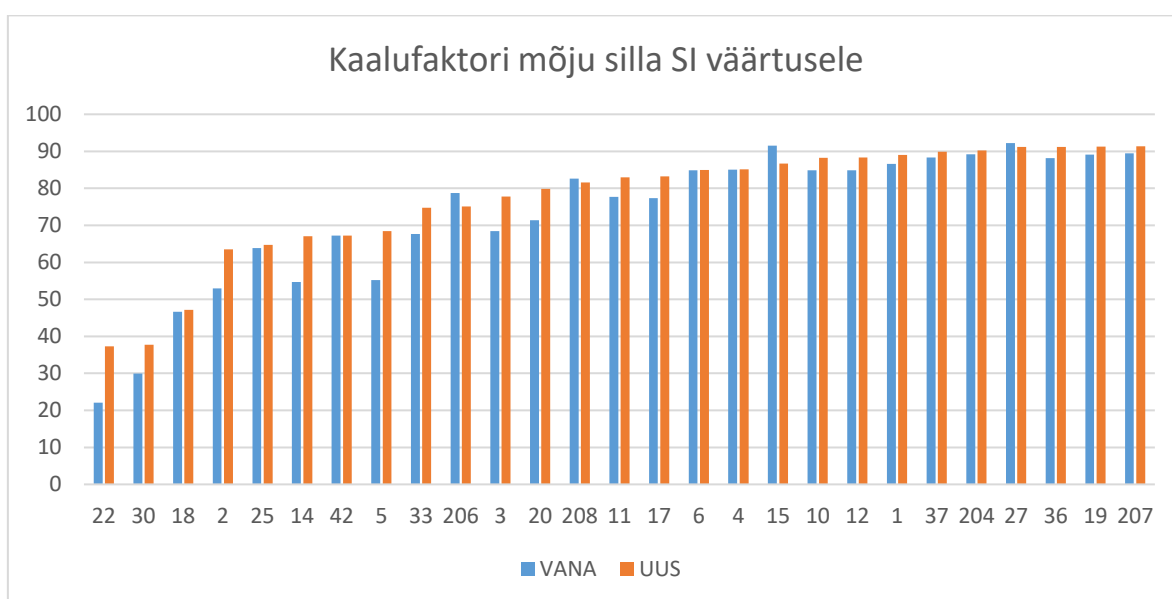
Joonis(Joonis 3.13) on välja toodud 2017 aasta SI väärtused arvutatud erinevaate meetoditega. Pontise tulemused on võetud 2017 aasta kordusülevaatus aruandest [7]. Imelikul kombel ei anna Pontise kaalufaktoritega arvutus aga samasid tulemusi, mis programm sai. See viitab et programm PONTIS kasutas taustal veel lisa kordajad, mis mõjutasid sildasid erinevalt. Graafikult on välja jäetud sillad mille SI on kõrgem kui 95, sest väga heas seisukorras sildade puhul ei kerki erinevus esile.

Tulenevalt asjaolust et varasematel aastatel saadud SI ei olnud võimalik taastada, antud arvutusmeetodiga, avaneb võimalus minna üle teisele kaalufaktori skaalale. Pontisest üle toodud kaalufaktoritel on väga lai skaala. 1-86. See tuleneb sellest et hooldustegevuse ühikhinnad on otseselt seotud kaalufaktoriga. Eesmärgiga rõhutada alusehitises paiknevate elementide kõrgemat ühikhinda on nendele määratud ka kõrgemad kaalufaktorid. Paraku ei võtta see lahendus siiski arvesse silla suurust, mille tulemusena mõjutab madalas seisukorras sammas väikest silda väga palju, kuid suure silla puhul ei ilmne see üldse. Heaks näiteks sellele on Kadaka tee viadukt. Mille SI on 2020 aasta ülevaatus seisuga 89,05 hoolimata sellest kõik samba postid on halvimas 4. seisundis ning ka 2 tala on 4. seisundis ning veel neli tala on 3. seisundis. Seega ei täida kõrge kaalufaktor oma eesmärki ning vaid diskrimineerib väikse pindalalisi sildasid.

Transpordiameti viimasel kordusülevaatusel kasutati kaalufaktoreid mille skaala on 1 kuni 3-ni. Fail, mis sisaldab maantee-sildadel kasutatud sillaelementide jaotust, koos nendele omistatud kaalufaktoritega, on saadud Sander Seinalt. Kui kasutada antud kaalufaktoreid ka Tallinna sildade SI arvutamisel, siis see küll ei lahenda probleemi, et silla tegelikku seisukorda ning silla paiknemist remonditööde pingereas ei ole võimalik määrata üksnes SI lähtuvalt. Kuid see lahendaks probleemi, kus kiire lagunemisega

sõiduteekate ning liiklusest põhjustatud kahjustustega pörkepiirded langetavad märkimisväärsel määral silla kogu seisundi indeksit.

Joonis (Joonis 3.14) illustreerib kaalufaktori mõju SI kujunemisele, kasutades 2020 aasta ülevaatusandmeid. Jooniselt on välja jäetud väga heas seisukorras olevad sillad, sest SI kasvades muutub erinevus väiksemaks. Näha on et mida madalam on SI seda suurem on ka arvutuste erinevus. Kui väga heas seisukorras sildade SI erinevus jääb 1 % piirkonda, siis kõige ekstreemsemal juhul on SI erinevus lause 15,3 % ning keskmine erinevus on natukene üle 3 %. Antud SI erinevus küll ei muuda fakti et sild oleks vaja rekonstrueerida, kuid see mõjutab sildade SI muutumise kiirust, millest omakorda sõltub sillapargi rahalise vajaduse prognoos, mida käsitletakse peatükis 4.



Joonis 3.14 Kaalufaktori mõju SI kujunemisele

Järgnevatel peatükkides uuritaksegi, kuidas täpsemalt mõjutab kaalufaktori muutmine silla seisundindeksit ning sellest näitajast tulenevaid näitajaid nagu silla seisundi muutus ajas ning sillapargi rahalised vajadused.

3.7 Sildade ja sillavõrgu seisundi indeks (SI)

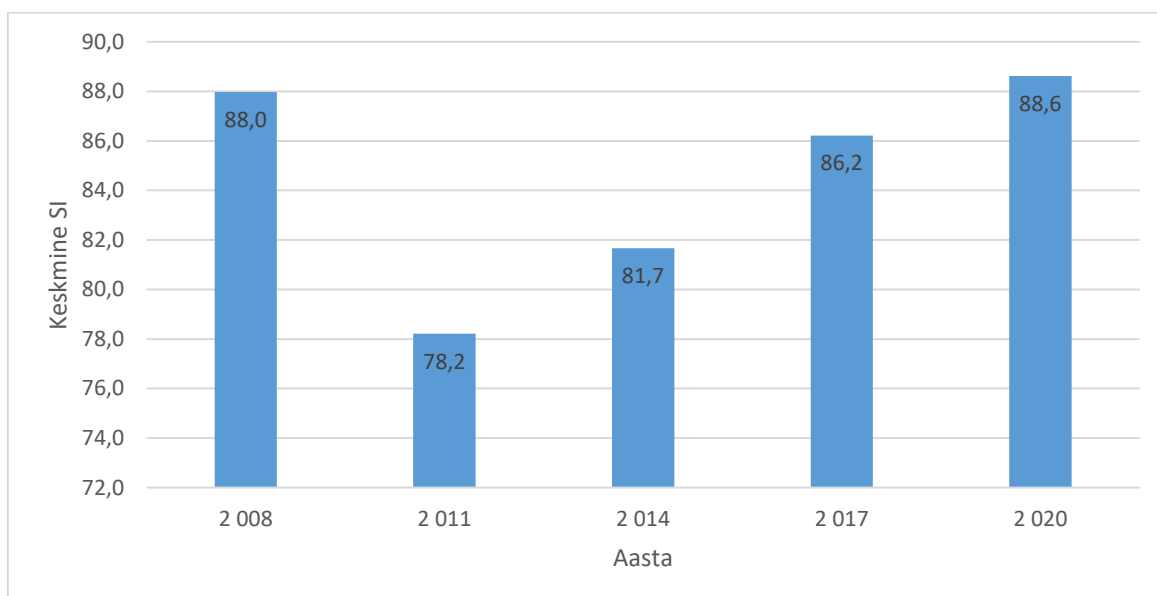
Sildade omavaheliseks võrdluseks on lähtuvalt elementide seisunditele arvutatud igale sillale SI väärtus. SI väljendab silla välimust vahemikus 0 – 100 %. Kui sillale omistatakse SI väärtus 100 % et sild näeb uueväärseks välja ning SI langus väljendab silla elementide füüsilise välimuse muutust mitte otseselt kahjustuste arenemist. [6]

SI lähtudes on võimalik kohandada hooldustegevust. Seda tehakse võrreldes sildade seisundite muutust läbi aastate ning leides erinevaid mustreid erinevate sillatüüpide ja elemendigruppide vahel. [6]

Analüüsi tulemuste tõlgendamise puhul tuleb meeles pidada kahte asjaolu: [7]

- SI on ülevaataja poolt elementide hinnangute põhjal arvutuslikult saadud väärtus, mis peegeldab silla elementide „kaalutud“ keskmist väärtust ja selleks, et probleemidest täpsemalt aru saada ja õigeid parendustegevusi planeerida on vaja vaadata silla seisundit elementide tasandil.
- SI ei ole seotud silla kandevõimega ning selle näitaja põhjal ei ole korrektne anda hinnanguid kandevõimele.

Analüüsi keskne osa on võrrelda eelmiste ülevaatuste andmeid kõige värskemate andmetega. SI on siiski vaid üks taustsüsteemi komponent, mille abil on võimalik sillapargi eri komponente võrrelda ning seda on hea kasutada otsuste majandusliku efektiivsuse hindamisel [6]. Järgnevalt (Joonis 3.15) on toodud kõige esimeste ülevaatuste ja viimase ülevaatuste erinevus.

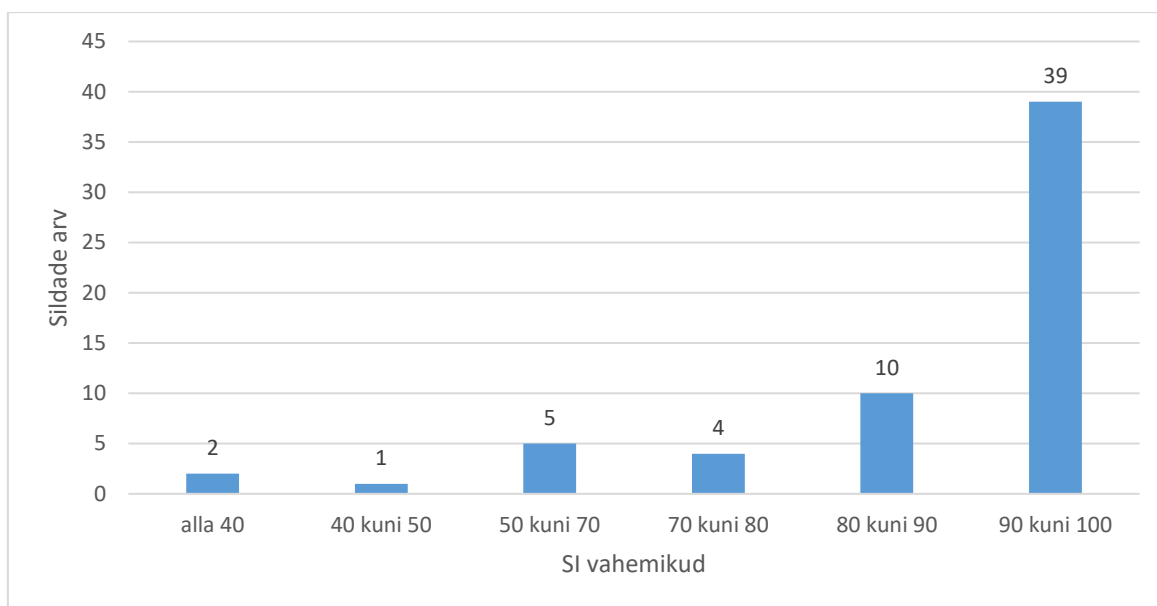


Joonis 3.15. Sillapargi keskmine SI pärast esimesi ja viimaseid ülevaatusi

Jooniselt on näha, et keskmine SI on kasvanud 0,6% võrra, mis tähendab, et 12 aastaga on sillapargi seisund paranenud, kuid tähelepanu tuleb juhtida, et palju on rajatud uusi, millele on omistatud kõrgem seisundi indeks ja mis on oma mõõtmetelt suuremad kui keskmine sild. Sellegipoolest võib öelda, et keskmise SI järgi vaadates on sillapark väga heas seisundis.

Samalt jooniselt on ka näha, et 2011 aastal on sildasid hinnatud eelneva ja järgneva aastaga võrreldes maldamaks. See viitab, et aastal 2014 on sildasid mahukalt parandatud. 2011 aastal lisandus ülevaatus nimekirja ka sild nr. 34 Kõrkja tee sild, mis uuendatud arvutusmudeliga on hinnatud seisundi indeksile 37,96, mis toob sillapargi keskmise SI alla.

Vaadeldes sildade arvu eri SI vahemikes (Joonis 3.16), siis on näha, et enamik rajatise on väga heas seisus ning peamine parendustegevus, millele tuleb tähelepanu pöörata on hooldus, sest ainult sellisel juhul on võimalik rajatiste seisukorra langust aeglustada.



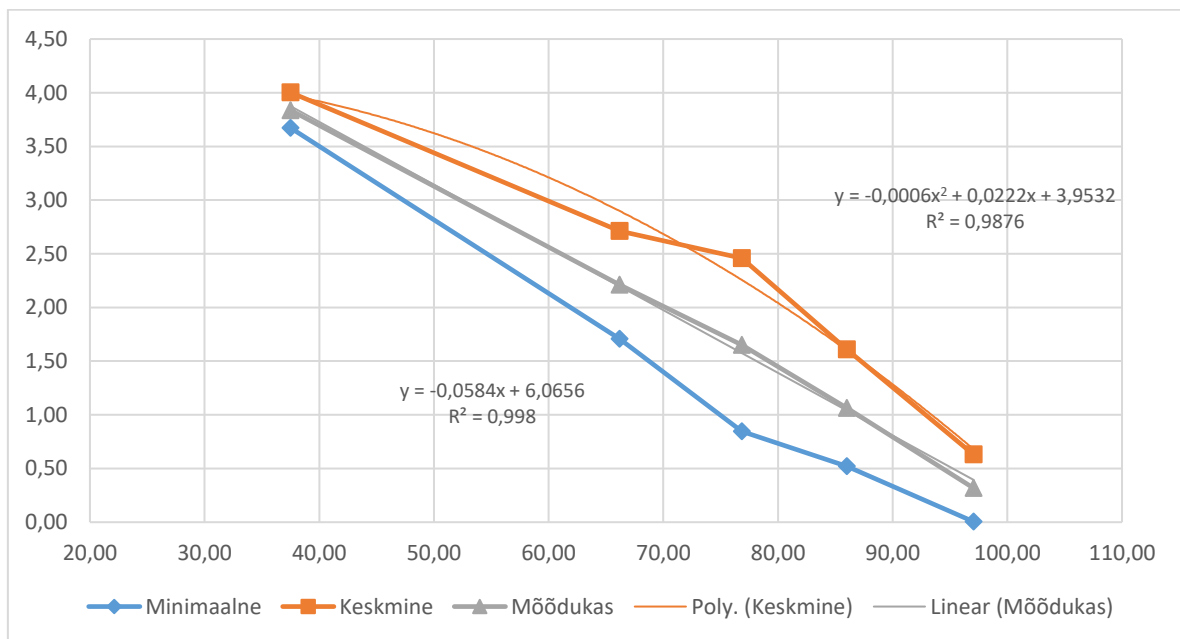
Joonis 3.16. SI vahemikud aastal 2020.

Vaadeldes vahemike madalamat otsa, siis on näha, et 3 silda vajavad rekonstrueerimist, 5 kapitaalremonti ning 4 silda ennetavat remonti.

4 PROGNOOSIMUDELI KOOSTAMINE

Kuna praeguseks hetkeks on käesolevatele sildadele teostatud viis ülevaatus, on mõninga erandiga kõikide sildade kohta olemas vähemalt kahe ülevaatus andmed. See annab võimaluse analüüsida SI muutust ajas, mis tänu ajalise komponendi lisamisega, annab võrreldes keskmiste seisundi tulemuste võrdlemisele, rohkem infot sillapargi kohta. Lisaks üldisele muutusele on võrreldud veel eri seisukorras ja tüüpi sildade SI languse kiirust. Tulemusi on võimalik kontrollida järgnevatel ülevaatusel ja arendades süsteemi edasi on võimalik kogu sillapargi informatsiooni uuendada iga aasta vastavalt elementide või silla prognoosimudelitele. [6]

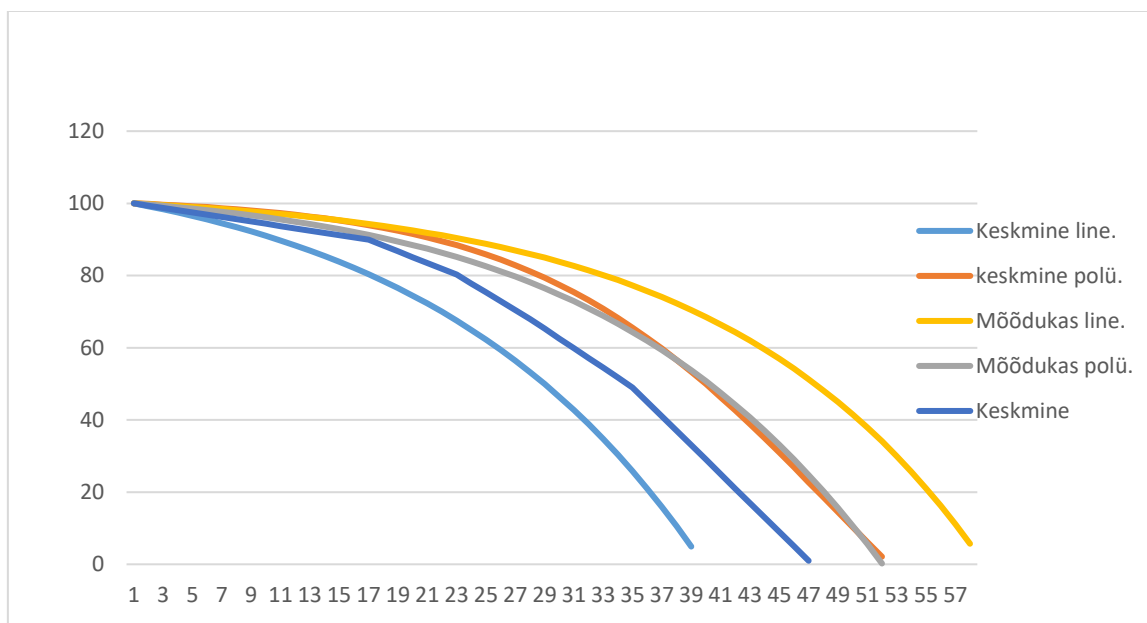
Üldisest analüüsist on välja jäetud sillad, millel on teostatud remonditöid või mille SI on paranenud seoses registreerimata hooldetöödega või mõne muu parendamisega (näiteks samba remont või piirete vahetus) [8]. Kõige elementaarsemal tasemel on analüüsitud sildade keskmise aastase SI languse(3.1) ja keskmise SI seost.



Joonis 4.1 Keskmise SI ja SI langemise seos

Jooniselt(Joonis 4.1) on näha, et lisaks keskmistele näitajatel on joonisel välja toodud ka minimaalne ja mõõdukas seos, mis kujutavad endast vastavalt grupi minimaalse SI languse ning minimaalse ja keskmise SI languse vahelisi parameetreid. Jooniselt on välja jäetud SI vahemik 40 kuni 50, sest selles vahemikus oli ainult üks rajatis. Lisaks on joonisel kujutatud keskmine ruutvõrrandi seos (korrelatsioonikordaja 99%) ning mõõdukas lineaarne seos (korrelatsioonikordaja 100%)

Joonise põhjal võib väita, et mida suurem on SI ehk mida paremas seisukorras on sild, seda madalam on ka aastane SI langus. Selleks, et seda muutust paremini visualiseerida, on järgnevalt välja toodud SI muutused ajas (Joonis 4.2).



Joonis 4.2. Silla SI muutus vastavalt erinevatele seostele

Jooniselt on näha, et silla SI langeb väga kiiresti ning see kiire langus mõjutab heas seisundis sildade tuleviku investeringuvajaduste hindamist olulisel määral, sest jättes tegemata ennetava remondi, siis silla SI langeb juba 28 aastaga nii palju, et sild vajab rekonstrueerimist(keskmine lineaarne seos).

Lisaks analüüsiti erinevate sillatüüpide SI muutust ajas (Tabel 4.1) ning leiti, et plaatsildade SI langeb oluliselt aeglasemalt kui talasildade SI ja väga heas seisukorras sildade puhul on kõige kiirema SI langusega kaarsillad.

Tabel 4.1 Erinevate konstruktsioonitüüpide keskmine SI aastane langus

SI vahemik	SI aastane langus						
	tala	plaat	Võlv	Kaar	Karptala	Terastoru	Vant
alla 40	4,00						
40 kuni 50	2,15						
50 kuni 70	2,71						
70 kuni 80	3,00	0,84					
80 kuni 90	1,63	2,51				0,52	
90 kuni							
100	1,22	0,28		1,00	0,01		0,30 0,06

Tabelis toodu põhjal võib väita, et tähelepanu tuleb enam pöörata talasildadele, sest nende seisukord muutub aastas väga suurel määral.

Keskmiseks SI languse kiiruseks võib välja pakkuda 1,30, kusjuures Pontise kaalufaktoritega arvatades oli see 2,14 aastas [6], mis on umbes 3,5 korda suurem väärtus kui riigiteede sildadel – teisalt saab analüüside tulemusest tõlgendada et paremas seisundis sillad ei halvene nii kiiresti ning seisundi halvenedes kasvab ka seisundi halvenemise kiirus, mis on sarnane ka maantee sildade puhul, seega kui hoida sillad paremas seisukorras, siis ei tohiks SI languse kiirus nii suur olla. [8]

5 SILLAVÕRGU RAHALISED VAJADUSED

Rahaliste vajaduste hindamisel on aluseks võetud Maanteeameti poolt kogutud Teetööde Tehnilises Kirjelduses olevate makseartiklite keskmised ühikhinnad, mida on korrigeeritud vastavalt tehtavatele töödele. Näiteks on analüüsis eeldatud, et silla parendustegevuse puhul piirduakse silla enda töödega ning pealesõitude ümberehitamist ei ole ette nähtud. Analüüsi aluseks olevad hinnad on ümardatud silla tekiplaadi ruutmeetritele ja nende aluseks on riigihangetel osalenud töövõtjate hinnapakkumised, kusjuures kõige madalamad ja kõrgemad pakkumised olid analüüsis välistatud.

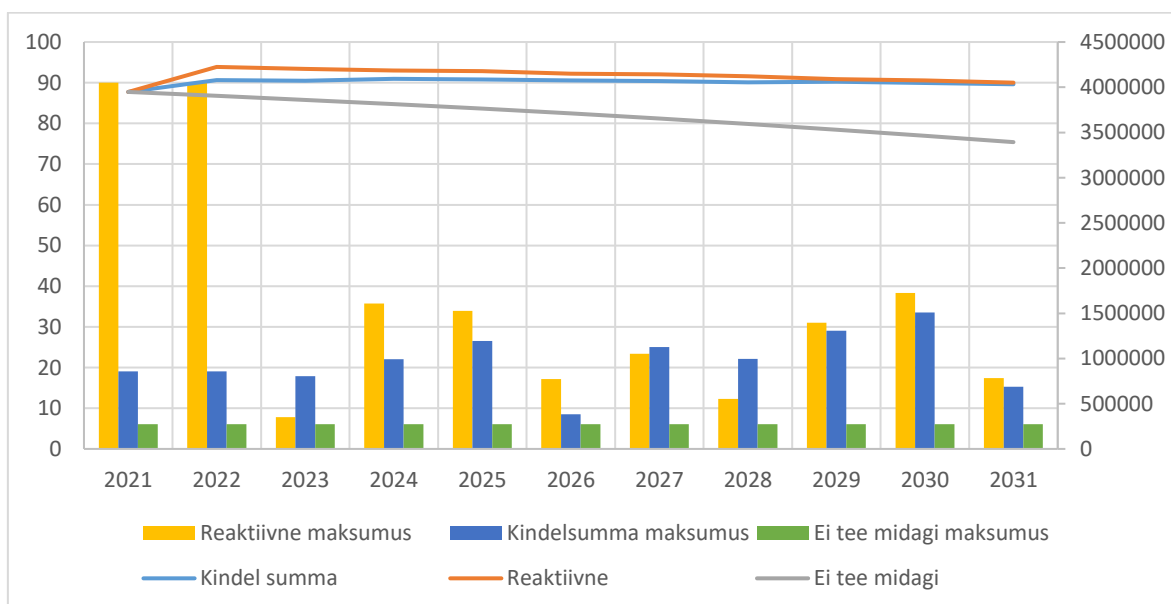
Käesolevas töös on iga silla kohta teostatava töö liik määratud lähtudes järgnevatest põhimõtetest: [6]

- Kui silla seisund on väga hea (SI üle 80), siis piirduakse silla hooldamisega, mille maksumuseks on arvestatud 5 EUR/m² aastas. Hooldetegevuse käigus on arvestatud sildade pesuga 2 korda aastas; deformatsiooni vuukide, joatorude ja veerennide puhastamisega vähemalt 1 kord aastas; lokaalsete remonttöödega (betooni kohtparandus, terase värviparandused, kivikonstruktsioonide vuukide täitmine jms.), mis on mahu poolest võrdne ühe 150 m² tekiplaadi pindalaga silla remondiga.
- Kui silla seisund on hea (SI 70-80), siis teostakse sillale ennetav remont lokaalsete kahjustuste parandamisega kuni 20% rajatise mahust, mille maksumuseks on arvestatud 500 EUR/m². Remont võib hõlmata ka sarruse puhastamist ning torkreetimist ja piirete täieliku välja vahetamist. Selle parendustegevuse tulemusena tõuseb silla SI kuni 90-ni.
- Kui silla seisund on rahuldav (SI 50-70), siis on sillale ette nähtud kapitaalremont maksumusega 900 EUR/m². Kapitaalremont hõlmab pindade parandamist ning olenevalt ehitusmaterjalist täielikku katmist (betooni puhul torkreet, terast puhul üle värvimine, kivikonstruktsiooni puhul täielik pindade parandus). Selle parendustegevuse tulemusena tõstetakse silla SI 95-ni.
- Kui silla seisund on halb (SI alla 50), siis sild rekonstrueeritakse vastavalt praegustele mõõtmetele maksumusega 1400 EUR/m². Rekonstrueerimise käigus vahetatakse kõik elemendid uute vastu või taastatakse täielikult, et rajatis vastaks tänapäeva nõuetele. Selle parendustegevuse tulemusena tõuseb silla SI 100-ni.

Sillavõrgu rahaliste vajaduste hindamisel lähtuti kolmest erinevast stsenaariumist: [6]

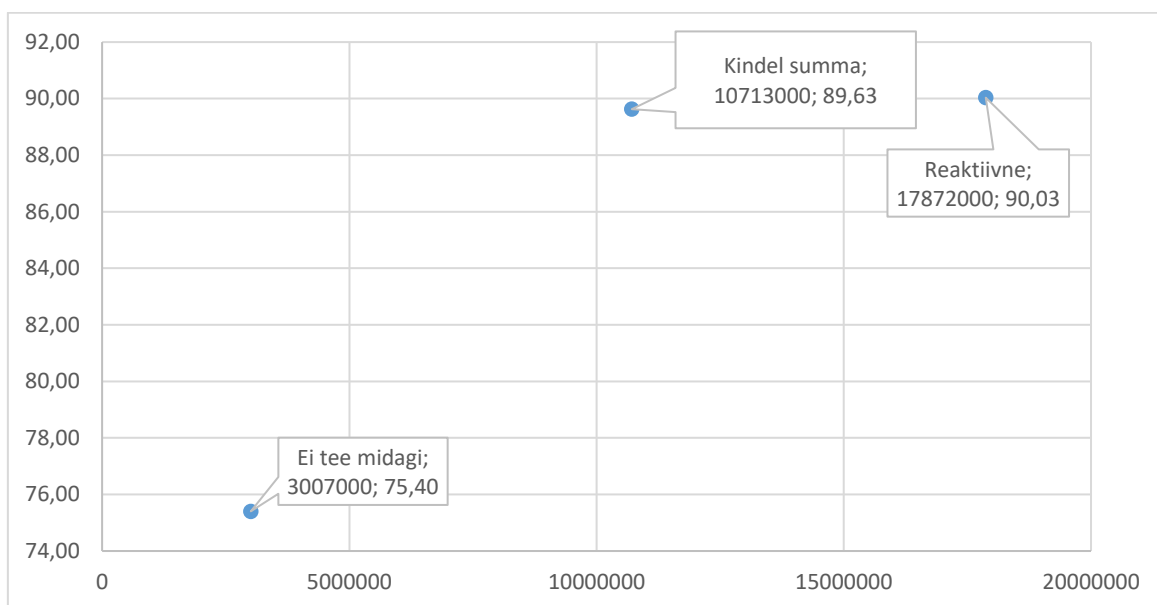
1. „Ei tee midagi“ stsenaarium – sildade remondile ei kulutata raha, kuid jätkatakse tavapäraste hooldetegevustega. Selle stsenaariumi eesmärgiks on kulutada võimalikult vähe raha sillapargi hooldusele.
2. Reaktiivne stsenaarium – kõik sillad, mille seisukord on alla 80 remonditakse, kapitaalremonditakse või rekonstrueeritakse esimesel võimalusel. Pärast seda teostatakse sildadele lokaalseid remonte. Selle stsenaariumi eesmärk on sillapargi seisukord võimalikult ruttu maksimaalselt heaks muuta, et seejärel vähem raha kulutada.
3. Ühtlase summa stsenaarium – iga aasta kulutatakse sildade hooldustegevusele umbkaudu 1 MEUR ning selle raames proovitakse parendustegevusega katta nii palju silde kui võimalik. Selle stsenaariumi eesmärk on leida mõistlik kompromiss kahe eelneva stsenaariumi vahel.

Rajatise seisundi muutuse prognoosimisel on kasutatud eelnevalt (Joonis 5) toodud lineaarset mõõdukat mudelit, mille puhul on uue silla puhul remondini aega 24 aastat. Tulemused on toodud järgnevalt (Joonis 10) tuleb tähelepanu juhtida asjaolule, et iga prognoosiga kaasneb järgmise 10 aasta jooksul langus, sest lähitulevikus on tulemas aeg, kus keskmise SI järgi jõuavad sillad maksimumini, kust edasi ei ole enam mõttekas investeerida, sest sillad on piisavalt heas seisukorras. Kõik prognoositud maksumused on diskonteerimata, sest sildade kohta puudub täpne diskontomäär soovitus ja see lisaks kõikidesse mudelitesse ühe muutuja juurde, kuid ei mõjutaks lõpptulemusi.



Joonis 5.1 SI muutused ja maksumused erinevate prognooside korral

Jooniselt on näha, et „ei tee midagi“ stsenaariumi puhul langeb sildade keskmine SI ligemale 75-le, mis tähendab, et sildade hooldevajadus on suurem ning ligemale kolmandik sillad vajavad kapitaalremonti ning kolm silda on kokku varisemas või juba kokku varisenud, sest nende SI on langenud nulli. Vaadeldes teisi lahenumisi, siis on näha, et reaktiivse lähenemisega toimuv seisundimuutus kiiremini, kuid kuna edasine SI parandamine ei ole mõistlik, siis tase hakkab vaikselt langema. Kindla summa puhul ei ole SI tõus nii kiire kui reaktiivse lähenemise puhul, kuid 10 aasta perspektiivis on lõplik vahe väike. Selleks, et võrrelda erinevate stsenaariumite lõpptulemust ning kogu kulu on need asetatud graafikule, mis on nähtav järgnevalt (Joonis 11).

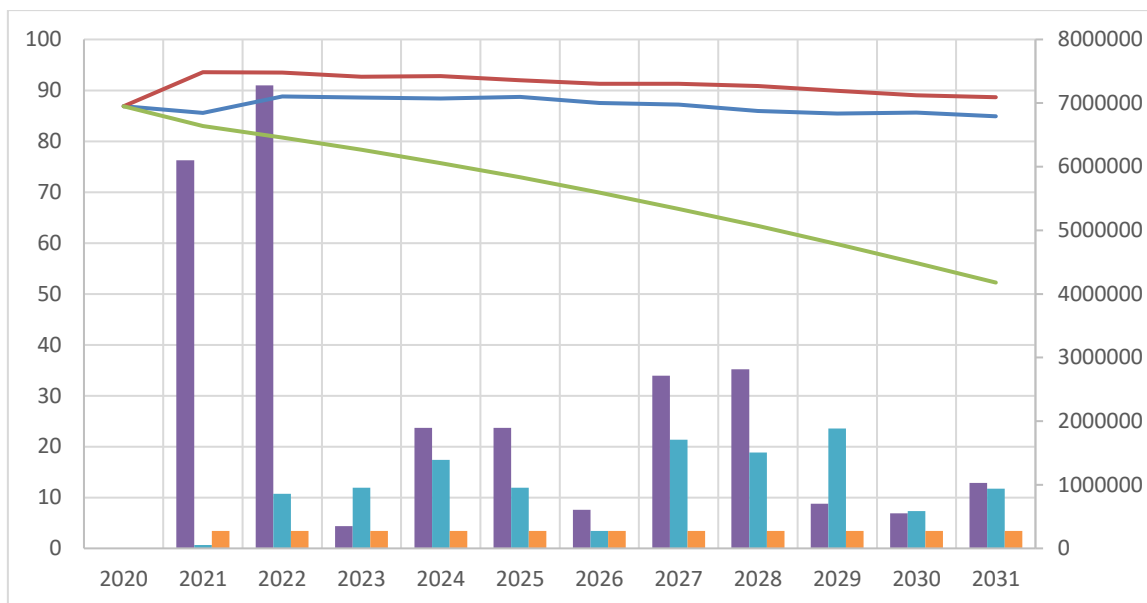


Joonis 5.2 Erinevate prognooside rahalisel vajadused

Jooniselt on näha et rahaliselt kõige vähem nõudlik lahendus on „ei tee midagi“ prognoos, kuid arvestades et sellega kaasneb sillavõrgu pidev halvenemine mis on keskel läbi 1 % aastas.

Võrreldes kindla summa ja reaktiivse prognoosi vahet on näha et SI erinevus jääb alla poole protsendi, kuid reaktiivse meetodi rakendamine on kokkuvõttes prognoositavalt 7,159,000 eurot ehk 40,1 % rahaliselt nõudlikum kui „kindla summa meetod. Seetõttu on hooldustööde kavandmisel mõistlik lähtuda just „kindla summa“ meetodiga prognoosist.

Kuna samad arvutused on läbi tehtud ka 2020. aasta Tallinna kordusülevaatusel aruandes, on võimalus taaskord võrrelda kaalufaktori mõju lõpptulemusele.



Joonis 5.3 2020 Tallinna kordusülevaatuse prognoos [6]

Jooniselt (Joonis 5.3) on näha, et võrreldes käesolevas töös tehtud arvutustega (Joonis 5.1) on „ei tee midagi“ prognoosi puhul SI langemine palju järsem ning seeläbi ka 10 aastase prognoosi lõppedes sillapargi keskmine SI palju madalam.

Kuna antud kaalufaktorid soosivad kiiremat SI muutust silla tasandil mõjutavad need ka prognoose, kus on planeeritud teostada SI parandavaid tegevusi. Tulenevalt kiiremast SI langusest on sildasid vaja tihedamini ning mahukamalt ka parandada. Selle tulemuseks on 399,000 Euro suurune rahalise vajaduse erinevus, võrreldes antud töös tehtud vastava prognoosiga. Kusjuures, „reaktiivse“ prognoosi puhul küündib erinevus suuremaks kui antud töös esitatud reaktiivse ja kindlasumma erinevus. Ehk erinevus on üle 800,000 euro.

6 ARVUTUSMUDELI KONTROLL

Selleks, et veenduda prognoosimudeli sobivuses sildade ja sillapargi SI muutuste prognoosimises tuleb kontrollida selle tulemuste õigsustes. Antud töös lahendatakse probleem kasutades hii-ruut testi (ing. Chi-square test) vaadeldes, kas 2008 aasta ülevaatuse andmed aluseks võttes on võimalik saada 2020 aastal hinnatud sildade seisundi tasemed.

Uuritavaks mudeliks on taaskord lineaarse seosega mõõdukas seos (valem (6.1), mis mõõdukate SI muutustega andis korrelatsioonikordaja mis jäi napilt alla 100 %.

$$y = -0,0584x + 6,0656 \quad (6.1)$$

Kus x tähistab eelneva aasta SI väärtust prognoositaval sillal.

Kuna kõikide sildade kohta ei ole olemas ülevaatuse andmeid aastast 2008 ning ka sellest et hiljem lisandunud sillad on üldjuhul nimekirja lisandunud uute sildadena, sellest tulenevalt kaotavad SI aeglasemalt, jätame need antud analüüsist välja. Kuna antud rajatised omavad veel praegugi kõrget SI ning nagu varasemast analüüsist selgus (**Error! Reference source not found.**) on selles seisundis sildadel veel jätkuvalt madal SI langus ning sellest tulenevalt ei näitaks prognoos märkimisväärset SI erinevust. Seega kontrollitakse arvutusmudeli sobivust lähtudes 28 silla 2008. aasta ülevaatuse andmetele.

Hii- ruut test töötab, luues hüpoteesi et kaks valimit on omavahel seotud ning seejärel leitakse tõenäosus et seda hüpoteesi saab ümber lükata. Seega antud olukorras on soov justkui tõestada, et arvutusmudeliga ei ole võimalik SI arvutada. [9]

Selleks et arvutusmudelit ümber lükata on vajalik arvutada välja χ^2 (Hii ruut kordaja) järgneva seosega:

$$\chi^2 = \sum \frac{(H_0 - H_i)^2}{H_i} \quad (6.2) [9]$$

Kus:

- H_0 – tegelikud väärtused;
- H_i – prognoositud väärtused.

Saadud tulemust kontrollitakse kasutades hii-ruut testi ekstreemsete väärtuste tabeliga.

Kasutades lineaarset mõõdukat seost arvutati 2008 andmetest lähtuvalt, 2020 aasta sildade SI prognoos kasutades valemit (6.1).

Tabel 6.1 2020 aasta prognoos lähtuvalt 2008 andmetest

Nr.	Nimi	2008	2020	Prognoos
1	Kadaka pst.viadukt	98,97	89,05	94,20
2	Kopli tn. viadukt	94,25	63,54	84,86
3	Smuuli tn. transpordisild I	84,98	77,79	66,55
4	Lindakivi pst.jalakäijate sild	92,15	85,12	80,71
5	M. Härma tn transpordisild	74,20	68,43	45,26
6	Saarepiiga sild	89,29	84,92	75,07
8	Mustamäe jalakäijate sild	93,27	99,88	82,93
9	Pärnu mnt. viadukt (üle rdt.)	96,16	98,07	88,64
10	Mustakivi sild	89,34	88,27	75,17
11	Pallasti sild	84,71	82,94	66,02
12	Võidujooksu sild	82,16	88,35	60,97
13	Ülemiste jaama jalakäijate sild	83,62	97,79	63,85
14	Mäekalda tn jalakäijate sild	85,51	67,07	67,60
15	Pae sild	90,53	86,73	77,52
16	A.H. Tammsaare tee jalakäijate sild	94,58	91,43	85,51
17	Pärnu mnt. viadukt(üle Tammsaare tee)	95,65	83,24	87,63
18	Pääsküla sild(kivisild)	72,52	47,19	41,92
19	Pirita jõe sild	96,67	91,26	89,64
20	Iru sild	90,98	79,82	78,41
21	Lükati sild	75,42	99,12	47,65
22	Kanali tee sild	65,53	37,33	28,12
25	Vesse viadukt	96,24	64,69	88,80
27	Peeter Suure Merekindluse kindlusraudtee	97,93	91,20	92,13
28	Raadiku sild	98,00	94,06	92,27
29	Lükati tee suusasild (puidust)	91,78	97,65	79,99
30	Vana-Rannamõisa tee sild üle Tiskre oja	63,42	37,69	23,95
31	Smuuli tee viadukt	99,88	98,18	95,99
33	Smuuli tn. transpordisild II	85,65	74,74	67,88

Eelolevas tabelis on näha et prognoos on enam jaolt ennustanud sildadele madalamat SI võrreldes ülevaatus käigus saadud tulemusele. See viitab et sildasid on ülevaatus vahelisel ajal parandatud.

Kuue silla puhul on prognoos ennustanud aga kõrgemat SI kui esineb reaalsuses. Kahe nendest vahe on alla ühe protsendi mistõttu tunnistatakse need lubatavaks eksimuseks. Sildade 1 ja 17 puhul (Tabel 6.2) on erinevuseks sõidutee katte ootamatult kiire

halvenemine viimaste ülevaatuste vahel, mida keskmistele näitajatele tuginev arvutusmudel ennustada ei osanud. Sildade 2 ning 25 puhul on lisaks sõiduteele langenud ka hüdroisolatsiooni tase, millel puudub seisund 2 ning 3. Kuna sarnaselt sõiduteekattele on hüdroisolatsioonil sammuti suur pindala, siis kombineeritult selle liikumisest seisundist 1 otse seisundisse 4, on põhjustatud nende kahe silla SI kiire languse. Halvenemine mis taaskord on liiga ekstreemne ning harva juhtuv, et ennustada keskmistest väärtustest.

Tabel 6.2 Ekstreemsete SI muutustega sillad

Nr	Nimi	2008	2011	2014	2017	2020	Keskmine langus
1	Kadaka pst.viadukt	98,97	90,93	97,86	93,53	89,05	1,86
2	Kopli tn. viadukt	94,25	79,71	62,58	60,01	63,54	3,91
17	Pärnu mnt. viadukt(üle Tammsaare tee)	95,65	83,97	94,16	83,32	83,24	2,51
25	Vesse viadukt	96,24	85,65	78,28	69,11	64,69	2,67

Kasutades saadud väärtusi (Tabel 6.1) hii-ruut näitaja arvutamiseks, kasutades valemit (6.2) tuleb tulemust 96,88, mida tuleb kontrollida hii-ruut testi ekstreemsete tulemuste tabeli suhtes.

Enne kui kontrolli teostada saab, tuleb välja arvutada vabadusaste n , kasutades valemit (6.3)

$$n = N - 1 \quad (6.3)$$

Kus N tähistab uuritavate muutujate hulka. Kuna valimis on 28 silda siis antud juhul on vabadusastmeks n 27.

Tabel 6.3 Hii -ruut ekstreemsed väärtused [10]

	0.995	0.5	0.05	0.025	0.02	0.01	0.005	0.002	0.001
19	6.844	18.338	30.144	32.852	33.687	36.191	38.582	41.610	43.820
20	7.434	19.337	31.410	34.170	35.020	37.566	39.997	43.072	45.315
21	8.034	20.337	32.671	35.479	36.343	38.932	41.401	44.522	46.797
22	8.643	21.337	33.924	36.781	37.659	40.289	42.796	45.962	48.268
23	9.260	22.337	35.172	38.076	38.968	41.638	44.181	47.391	49.728
24	9.886	23.337	36.415	39.364	40.270	42.980	45.559	48.812	51.179
25	10.520	24.337	37.652	40.646	41.566	44.314	46.928	50.223	52.620
26	11.160	25.336	38.885	41.923	42.856	45.642	48.290	51.627	54.052
27	11.808	26.336	40.113	43.195	44.140	46.963	49.645	53.023	55.476
28	12.461	27.336	41.337	44.461	45.419	48.278	50.993	54.411	56.892
29	13.121	28.336	42.557	45.722	46.693	49.588	52.336	55.792	58.301
30	13.787	29.336	43.773	46.979	47.962	50.892	53.672	57.167	59.703
31	14.458	30.336	44.985	48.232	49.226	52.191	55.003	58.536	61.098
32	15.134	31.336	46.194	49.480	50.487	53.486	56.328	59.899	62.487
	0.995	0.5	0.05	0.025	0.02	0.01	0.005	0.002	0.001

Tabelist (Tabel 6.3) on näha et arvatud hii-ruut väärtus ületab ka kõige ekstreemsema kriitilise väärtuse 0,1 % sobivusega ligi kahe kordselt. Sellest tulenevalt saab hüpoteesi, et sellise meetodiga on sobilik sildade seisundimuutust prognoosida, ümber lükata ning proovida teist lähenemist.

Kuna eelneva prognoosi puuduseks osutus asjaolu et sildasid on hooldatud, siis järgnevas katsetatavaks prognoosimudeliks on „kindla summa meetod“ mis kasutab sammuti lineaarset mõõdukast seost (6.1).

Tabel 6.4 2020 aasta prognoos kindla summa meetodiga

Nr.	Nimi	2008	2020	Kindel summa
1	Kadaka pst. viadukt	98,97	89,05	94,20
2	Kopli tn. viadukt	94,25	63,54	84,86
3	Smuuli tn. transpordisild I	84,98	77,79	86,47
4	Lindakivi pst. jalakäijate sild	92,15	85,12	80,71
5	M. Härma tn transpordisild	74,20	68,43	79,41
6	Saarepiiga sild	89,29	84,92	88,33
8	Mustamäe jalakäijate sild	93,27	99,88	82,93
9	Pärnu mnt. viadukt (üle rdt.)	96,16	98,07	88,64
10	Mustakivi sild	89,34	88,27	75,17
11	Pallasti sild	84,71	82,94	83,24
12	Võidujooksu sild	82,16	88,35	80,76
13	Ülemiste jaama jalakäijate sild	83,62	97,79	82,03
14	Mäekalda tn jalakäijate sild	85,51	67,07	84,38
15	Pae sild	90,53	86,73	90,00
16	A. H. Tammsaare tee jalakäijate sild	94,58	91,43	85,51
17	Pärnu mnt. viadukt(üle Tammsaare tee)	95,65	83,24	87,63
18	Pääsküla sild(kivisild)	72,52	47,19	79,41
19	Pirita jõe sild	96,67	91,26	89,64
20	Iru sild	90,98	79,82	90,00
21	Lükati sild	75,42	99,12	80,76
22	Kanali tee sild	65,53	37,33	88,23
25	Vesse viadukt	96,24	64,69	88,80
27	Peeter Suure Merekindluse kindlusraudtee	97,93	91,20	92,13
28	Raadiku sild	98,00	94,06	92,27
29	Lükati tee suusasild (puidust)	91,78	97,65	79,99
30	Vana-Rannamõisa tee sild üle Tiskre oja	63,42	37,69	88,23
31	Smuuli tee viadukt	99,88	98,18	95,99
33	Smuuli tn. transpordisild II	85,65	74,74	85,45

Nagu tabelist näha (Tabel 6.4) ei ühti 2020 ülevaatuste tulemused ning prognoositud tulemused väga hästi. See tuleneb asjaolust et sildade hooldus tsükkel ei ühti prognoositud hooldustsükliga.

Arvutades „kindla summaga meetodi“ prognoosile hii-ruut näitaja (Valem(6.1) tuleb tulemuseks 112,06, mis on veelgi ekstreemsem näitaja, kui „ei tee midagi“ hooldus tsükli prognoosiga. Seega ka see meetod ei ole sobilik usaldusväärsete prognooside koostamiseks.

Kuna ülevaatuste tabelist (Tabel 6.5) näha on, on sildasid ülevaatuste vahelistel aegadel parandatud. See tõttu tuleb rakendada arvutusmudelit kus parandusi tehakse, kuid ainult nendel sildadel ning nendel aegadel kui seda on ka realselt sildadel rakendatud.

Tabel 6.5 Ülevaatus andmete väljavõte

Silla nr	Silla nimi	2008	2011	2014	2017	2020
22	Kanali tee sild	65,53	48,18	52,66	40,58	37,33
30	Vana-Rannamõisa tee sild üle Tiskre oja	63,42	59,33	59,97	60,13	37,69
18	Pääsküla sild(kivisild)	72,52	66,59	53,41	49,70	47,19
2	Kopli tn. viadukt	94,25	79,71	62,58	60,01	63,54
25	Vesse viadukt	96,24	85,65	78,28	69,11	64,69
14	Mäekalda tn jalakäijate sild	85,51	73,54	77,66	71,25	67,07
5	M. Härma tn transpordisild	74,20	72,14	75,55	67,52	68,43
33	Smuuli tn. transpordisild II	85,65	71,62	87,98	75,92	74,74
3	Smuuli tn. transpordisild I	84,98	77,76	77,46	72,77	77,79
20	Iru sild	90,98	72,68	80,76	72,29	79,82
11	Pallasti sild	84,71	69,67	75,14	73,63	82,94
17	Pärnu mnt. viadukt(üle Tammsaare tee)	95,65	83,97	94,16	83,32	83,24

Järgnevas tabelis (Tabel 6.6) rakendataksegi eel nimetatud remonditööde planeerimisega arvutusmudelit. Lisaks on ekstreemselt kiiresti SI kaotavate sildade puhul (Tabel 6.2) rakendatud prognoosi lähtuvalt eelmisest ehk 2017 ülevaatus andmetest.

Tabel 6.6 Kohandatud parandustöödega prognoos

Silla nr	Silla nimi	2020	Kohandatud
22	Kanali tee sild	37,33	31,89
30	Vana-Rannamõisa tee sild üle Tiskre oja	37,69	52,01
18	Pääsküla sild(kivisild)	47,19	41,92
2	Kopli tn. viadukt	63,54	51,87
25	Vesse viadukt	64,69	62,66
14	Mäekalda tn jalakäijate sild	67,07	67,60
5	M. Härma tn transpordisild	68,43	60,78
33	Smuuli tn. transpordisild II	74,74	70,73
3	Smuuli tn. transpordisild I	77,79	86,47
20	Iru sild	79,82	78,41
11	Pallasti sild	82,94	83,24
17	Pärnu mnt. viadukt(üle Tammsaare tee)	83,24	87,63
6	Saarepiiga sild	84,92	88,33
4	Lindakivi pst.jalakäijate sild	85,12	84,38
15	Pae sild	86,73	88,33
10	Mustakivi sild	88,27	89,19
12	Võidujooksu sild	88,35	86,47
1	Kadaka pst.viadukt	89,05	89,05
27	Peeter Suure Merekindluse kindlusraudtee	91,20	92,13
19	Pirita jõe sild	91,26	89,64
16	A. H. Tammsaare tee jalakäijate sild	91,43	85,51
28	Raadiku sild	94,06	94,46
29	Lükati tee suusasild (puidust)	97,65	98,73
13	Ülemiste jaama jalakäijate sild	97,79	99,28
9	Pärnu mnt. viadukt (üle rdt.)	98,07	98,12
31	Smuuli tee viadukt	98,18	95,99
21	Lükati sild	99,12	99,28
8	Mustamäe jalakäijate sild	99,88	99,77

Tabelist (Tabel 6.6) on näha et saadud tulemused peegeldavad üllatavalt hästi ülevaatuse tulemusi. Saadud tulemuse saavutamiseks oli vajalik sisestada õigetesse kohtadesse parandustöid ning selle järgselt piirata algoritmi võimekust sildasid edasi hooldada.

Arvutades saadud tulemustest taaskord hii-ruut kordaja on tulemuseks 11,29. Kui võrrelda saadud tulemust taaskord ekstreemsete näitajatega tabelis (Tabel 6.3) on näha et saadud tulemus sobib ka kõige rangema ekstreemsuse piirnormiga 0,995 kus tunnustatakse 99,5 % väärtusi liiga ekstreemseks. Seetõttu ei saa seda hüpoteesi ümber lükata ning saab tunnistada et antud arvutusmudeliga on võimalik sillapargi SI prognoosi hinnata. Tabelis (Tabel 6.6) saadud prognoosi tulemused annavad ülevaatuse

andmetega võrreldes korrelatsiooni kordaja 96,5 %, mis omakorda kinnitab algoritmi sobivust.

Tulenevalt prognoosi sõltuvusest hooldustööde mõjudest oleks tuleviku prognooside täpsuse huvides soovitatav dokumenteerida neid peatselt pärast teostatud parandustööd, teavitades andmebaasi haldajat muudatustest, et ta saaks uuendused andmebaasi sisse viia ning seeläbi muuta ka prognoosi täpsust paremaks.

KOKKUVÕTE

Tulenevalt silla haldussüsteemi Pontis kasutusvõimaluse lõppemisest tekkis vajadus töötada välja uus arvutus mudel, et analüüsida kordusülevaatustega kogutud andmeid ning nende kaudu hinnata sildade SI languse kiirust ning planeerida saadud tulemustest lähtuvalt remondi ja hooldustöid.

Kuna Tallinna sillapark iga ülevaatusega kasvab, kasvab ka sillavõrgu hooldamiseks vajaminev rahalise ressursi vajadus. Selgus et Tallinna sillad kaotavad SI maantee sildadega võrreldes kordades kiiremini ning seetõttu oli vajalik välja selgitada millistes silla elementides kiire SI langus peitub.

Analüüsist selgus et kõige problemaatiliseks elemendiks on Tallinna sildade puhul vuugid, mille lekkimise tulemusena satub mustus ning soolvesi kandvateleelementidele ning seeläbi soosib ka talade kiirendatud SI langust. Lisaks vuukidele on kiiresti lagunevate elementide seas ka sõidutee kate, mis suure liikluskoormuse ja naast rehvide mõju tulemusena kulub ning millesse tekivad pikki roopad. Ning tulenevalt sõidutee katendi suurest pindalast võib halvas seisukorras katend kogu silla seisundi indeksit langetada mitme protsendi võrra.

Käesolev too on koostatud paralleelselt 2020 Tallinna sildade ja tunnelite kordusülevaatuse aruandega ning käsitleb alternatiivse kaalufaktorite süsteemi kasutuse mõju SI ning sellest tulenevate näitajate kujunemisele. Erinevalt Tallinna kommunaalametile esitatud aruandest, mis kasutab Pontisest üle toodud kaalufaktoreid on kõik arvutused antud töös teostatud kasutades Transpordiameti sildade ülevaatusel kasutatavaid kaalufaktoreid, mille skaala on 1 kuni 3-ni. Pontisest üle toodud kaalufaktorite skaala on 1 kuni 86.

Selgus et väiksema skaalaga kaalufaktorite kasutamine toob kaasa sildade SI aeglasema halvenemise, mis omakorda võimaldas prognoosida väiksemaid sillavõrgu remondikulusid. Lineaarse mõõduka seosega prognoos, kasutades kindla summa meetodit kus ainukeseks erinevuseks oli kasutatud kaalufaktor oli 37,5 % madalam kui vastav prognoos Pontise kaalufaktoritega.

Lõpetuseks kontrolliti hii-ruut testi kasutades töös välja töötatud prognoosimudeli sobivust sildade ja sillavõrgu tuleviku prognooside tegemiseks. Kontrolli teostati vaadeldes, et kui rakendada prognoosimudelit 2008 aasta ülevaatuste tulemustele, kas on võimalik saada 2020 aasta ülevaatusel saadud tulemustega sarnased näitajad. Selgus et puhtalt lineaarset mõõdukat seost, kasutades ei ole võimalik prognoosida

reaalses elus esinevat sildade seisundit, tulenevalt asjaolust et arvutusmodel ei võta arvesse 12 aasta vältel teostatud remondi töid.

See eest kui määrata ette, millal remondi töid tehti ning see järel piirata programmi võimekust teostada lisanduvaid remondi töid, mida tegelikult ei tehtud, oli tulemuseks prognoos mis andis korrelatsioonikordaja 96,5 %. Seega kui dokumenteerida remonditöid korrektselt ning seejärel informeerida andmebaasi haldajat sammuti tehtud parandustest, on antud arvutusmodeliga võimalik usaldusväärset prognoosida sildade SI muutusi.

SUMMARY

Due to the expiration of the license to use Pontis bridge management system program in Estonia, it became necessary develop a new prediction model to estimate the decay of Estonian bridges. This prediction model is to be used to analyze the data collected during the routine visual inspections and from them assess the rate at which the SI (state index) decreases. The prediction model is the basis on which the repair and maintenance work is planned, and costs are estimated.

As the number of bridges in Tallinn grow, so do the need for financial resources to maintain the bridge network. It turns out that Tallinn's bridges lose their SI faster than the highways bridges, and therefore it was necessary to find out in which elements of the bridge the rapid decline of SI lies. The analysis revealed that the most problematic element in the case of Tallinn bridges is joints, as a result of which leakage, dirt and brine gets onto the load-bearing elements and thus also promotes the accelerated SI decline of the beams. In addition to the joints, the rapidly degrading elements also include the road surface, which is worn because of heavy traffic and the effect of studded tires, which results in rutting and wear of the road surface. And due to the large surface area of the road surface, a pavement in poor condition can lower the overall bridge condition index by several percent.

This paper has been prepared in parallel with the 2020 Tallinn Bridge and Tunnel routine inspection report and addresses the effects of an alternative scale factor use, and the affects it has to the development of SI of bridges and the resulting maintenance requirements. Unlike the report submitted to the Tallinn Municipal Administration, which uses the weighting factors transferred from Pontis, all calculations in this work have been performed using the weighting factors used in the inspection of the Transport Board's bridges, which have a scale from 1 to 3. The scale of weight factors transferred from the pontoon is 1 to 86.

It turned out that the use of smaller-scale weighting factors leads to a slower deterioration of the bridges SI, which in turn allowed to predict lower bridge network repair costs.

The linear moderate correlation model, which in combination with the flat sum method, where the only difference was the weighting factor used, resulted in 37.5% lower maintenance costs, compared to the corresponding prediction with Pontis weighting factors.

Finally, the suitability of the prediction model developed in the work for making predictions regarding the future state of bridges and the bridge network was tested using the chi-square test. The testing was carried out by looking at whether, if the prediction model is applied to the results of the 2008 surveys, it is possible to obtain indicators similar to those obtained in the 2020 survey. It turned out that it is not possible to predict the real-life condition of the bridges using a solely the linear moderate correlation model, since the calculation model does not take into account the repair work performed over 12 years.

Determining in advance when the repairs were carried out and then limiting the program's ability to carry out additional repairs that were not actually carried out resulted in a forecast that gave a correlation coefficient of 96.5%. Thus, if the repair work is documented correctly and then the database administrator is informed of the step-by-step corrections, it is possible to reliably predict the changes in the SI of the bridges with this calculation model.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] F. J. N. Sobreiro, *Modelos de Previsão de Deterioração de Pontes Existentes: Processos de Markov*, Lisboa, 2011.
- [2] V. Tikas, „Sildade haldussüsteem BMS Eestis,“ *Teeleht*, pp. 4-8, November 2004.
- [3] AS Teede Tehnokeskus, „Sillaelementide hindamiskriteeriumid,“ Tallinn, 2017.
- [4] AS Teede Tehnokeskus, „Tallinna sildade BMS kordusülevaatus 2014 aastal,“ Tallinn, 2014.
- [5] A. Papp, „Eestis toimunud BMS-uuringute analüüs. Tulemuste kasutamine sildade halduse planeerimisel,“ Tallinn, 2012.
- [6] AS Teede Tehnokeskus, „2020 Tallinna sildade ja tunnelite kordusülevaatus,“ Tallinn, 2020.
- [7] AS Teede Tehnokeskus, „Tallinna sildade BMS kordusülevaatus 2017,“ Tallinn, 2017.
- [8] AS Teede tehnokeskus, „Maantee sildade ülevaatused 2016. aastal,“ Tallinn, 2016.
- [9] A. Satorra ja P. M. Bentler, „A Scaled Difference Chi-Square Test Statistic for Moment Structure Analysis,“ University Pompeu Fabra, 2001.
- [10] R. Pierce, „Math is Fun,“ 12 mai 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.mathsisfun.com/data/chi-square-table.html>. [Kasutatud 20 mai 2021].

Lisaks viidatud allikatele on töö koostamiseks kasutatud Tallinna kordusülevaatuste andmebaasi ning pildikogu.