



TALLINNA TEHNIKAKÕRGKOO

Koit Vaino

**SILDADE PEALESÕITUDEL
ESINEVATE DEFEKTIDE
ANALÜÜS NING VÕIMALIKE
LAHENDUSTE SELGITAMINE**

LÕPUTÖÖ

Ehitusteaduskond

Teedehituse eriala

Tallinn 2013

SISUKORD

Sissejuhatus.....	5
1 Sildade pealesõitudel esinevad defektid.....	6
1.1 Defektid ja nende põhjustajad.....	6
1.1.1 Katendi defektid.....	7
1.1.2 Konstruksioonidega seotud defektid.....	9
1.1.3 Hüdroloogilised defektid.....	11
1.1.4 Täite- ja aluspinnase vajumisest tulenevad defektid.....	14
1.2 Defektide tagajärjed.....	16
1.3 Sildade pealesõitude olukord Eesti maanteedel.....	17
1.3.1 Sildade vanuseline jagunemine.....	18
1.3.2 Sildade pealesõitude seisundi insecs (SI).....	19
2 Sildade pealesõitudel esinevate defektide remontimine.....	23
2.1 Teostusaja ja meetodi valimine.....	23
2.1.1 Püsiv remontimine.....	23
2.1.2 Ajutine remontimine.....	24
2.2 Defektide remondimeetodid.....	24
2.2.1 Katendi defektide remont.....	25
2.2.2 Konstruksioonidega seotud defektide remont.....	26
2.2.3 Hüdroloogiliste defektide remont.....	27
2.2.4 Pinnase vajumisest tulenevate defektide remont.....	28
3 Sildade pealesõitude lahendused.....	30
3.1 Pealesõitude muldkeha.....	30
3.1.1 Taaskasutatavad täitematerjalid.....	32
3.1.2 Geosünteedidega tugevndatud täitepinnas.....	32
3.1.3 Vahtbetoon täitepinnasena.....	34
3.1.4 Kerged täitematerjalid.....	36
3.2 Drenaaž.....	39
3.2.1 Pealesõiduplaadi drenaaž.....	40

3.2.2	Kaldasamba tagune drenaaž.....	40
3.3	Nõlvade ja koonuste kindlustamine	42
3.4	Pealesõiduplaadid.....	45
3.4.1	Pealesõiduplaatide liigid.....	46
3.4.2	Pealesõiduplaatide ankurdamine ja toestamine	49
3.4.3	Pealesõiduplaadi mõõtmed	50
3.5	Kaldasamba deformatsioonivuugid.....	54
3.5.1	Deformatsioonivuukide tüübid	55
3.5.2	Deformatsioonivuukide arvutusalsused ja valik.....	59
1.1.1.	Deformatsioonivuukide hooldamine	59
4	Sildade ülevaatus.....	61
	Kokkuvõte.....	69
	Summary.....	70
	Viidatud allikad	71
	Lisad	75

Lisa 1. Lõuna-Eesti sildade vaatlustulemused

SISSEJUHATUS

Üheks suurimaks probleemiks sildadel, nii Eestis kui ka mujal maailmas, on spetsiifiline „jõnks“ rajatise ja pealesõidu muldkeha ühenduskohal. Selle sõidumugavust oluliselt mõjutava jõnksu põhjustajaks on silla pealesõidu vajumine, kuid vajumise enda põhjustaja väljaselgitamine on juba keerulisem ülesanne. Tihtipeale on põhjuseks mitmete erinevate silla pealesõidul esinevate defektide koosmõju.

Käesoleva töö eesmärgiks on välja selgitada kõikvõimalikud sildade pealesõitudel esinevad defektid, nende tekkepõhjused ja tagajärjed. Käesolevas töös keskendutakse peamiselt silla pealesõidu piirkonnale, mis on kaldasamba vahetus läheduses ehk siis piirkonnale, kus silla pealesõit kohtub silla konstruktsioonidega. Töös on kasutatud lisaks autori isiklikele praktilistele kogemustele veel mitmete erinevate autorite ja institutsioonide uurimistöid sildade pealesõitudel esinevatest probleemidest ja lahendustest ning neid on kõrvutatud Eesti sillamajanduse eripärasustega ja rakendatavate põhitõdedega. Ühtlasi on töös käsitletud teemasid, mis puudutavad nimetatud defektide ennetamist ja parandamist ning sildade pealesõitude hooldusega seonduvat.

Lisaks sildade pealesõitudel esinevate defektide analüüsimisele on käesolevas töös antud ülevaade pealesõidu peamiste elementide erinevatest lahendustest, ehituslikest nüanssidest ning teistest aspektidest, mis on eelduseks võimalikult sobiliku ja vastupidava rajatise pealesõidu rajamiseks. Pikemalt on kirjeldatud sildade pealesõitude muldkeha, pealesõiduplaatide ja kaldasamba deformatsioonivuukide lahendusi.

Töö viimases osas on autor teostanud vaatlusi Lõuna-Eesti maantee-sildadel. Vaatluse tulemusena on antud ülevaade Lõuna-Eesti sildade seisukorrast. Tähelepanu on juhitud lõputöös kirjeldatud defektide esinemisele reaalsel objektidel koos lühidate selgituste ja soovitusetega. Ühtlasi on toodud näiteid headest lahendustest uuematel ja vanematel sildadel.

1 SILDADE PEALESÕITUDEL ESINEVAD DEFEEKTID

Sildade üheks suuremaks probleemiks läbi aegade on olnud sillale ja sillalt maha sõites spetsiifiline „jõnks“. Selle ebamugava jõnksu tekitajaid võib olla mitu, kuid enamasti on põhjuseks pealesõidu vajumine, mille tõttu silla pealesõidu ja silladeki tasapindade vahel on tekkinud kõrguslik erinevus. Pealesõidu vajumise põhjuse väljaselgitamine ei ole aga nii lihtne, kui see esialgu tundub. Enamasti on see tekkinud mitme teguri koosmõjul.

1.1 Defektid ja nende põhjustajad

Olemuselt võib sildade pealesõitude defektid jagada nelja peamisesse kategooriasse:

- katendi defektid;
- konstruktsioonidega seotud defektid;
- hüdroloogilised defektid;
- täite- ja aluspinnase vajumisest tulenevad defektid.

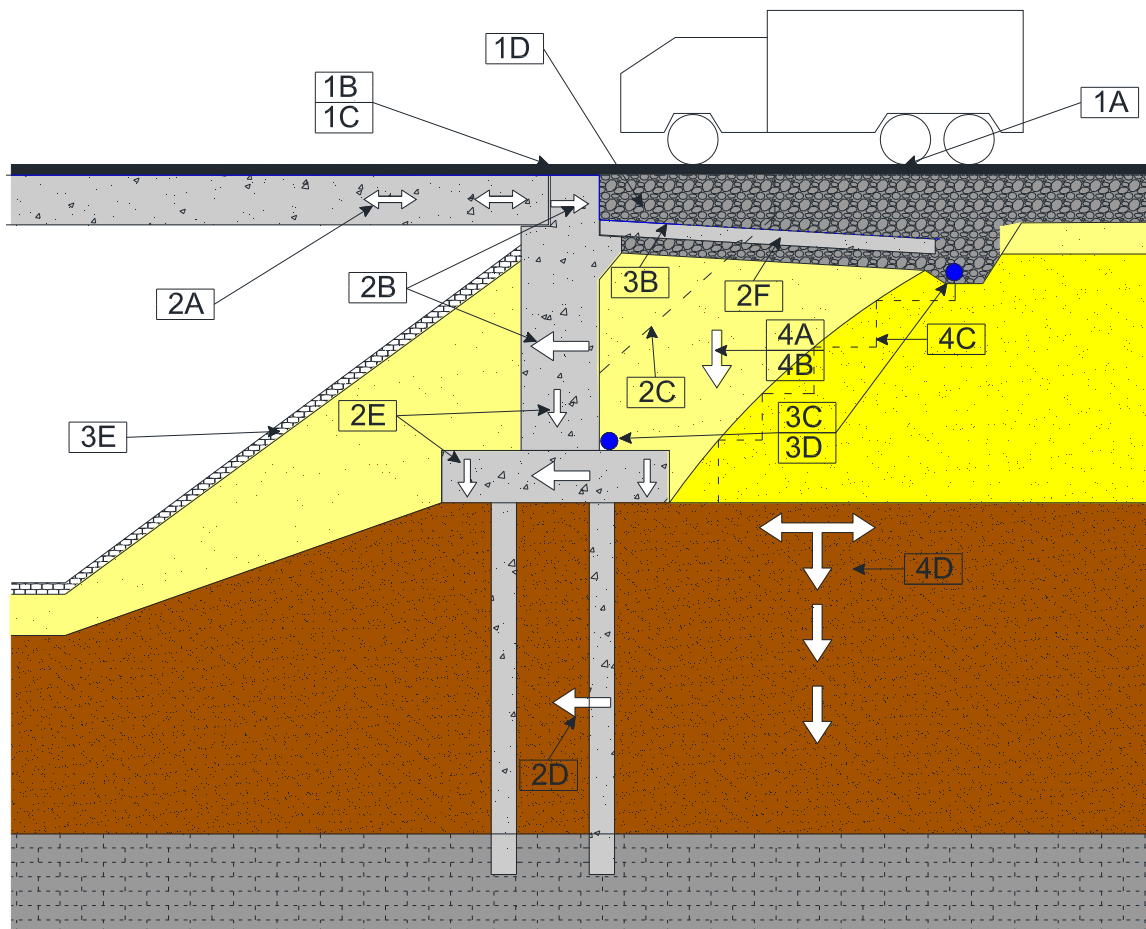
Samas ei ole alati kindlat kuuluvust mingi kategooria alla. Samalaadsed defektid võivad kohati olla olemuselt erinevad. Tabelis 1 on toodud nimetatud kategooriad ning iga kategooria all on leotletud defektide põhjustajad. Defektide kategooriate ja põhjustajate tabelit illustreerib joonis 1, kus on kujutatud eraldi iga kategooria defekti põhjustajat.

Tabel 1

Defektide kategooriad ja põhjustajad [1: 4]

Kategooria		Defektide põhjustaja	
1	Katendi defektid	A	Liikluskoormus
		B	Valesti valitud kaldasambavuugid
		C	Hooldamata kaldasambavuugid
		D	Nõrk katendi aluskiht pealesõiduplaadi peal
2	Konstruktsioonidega seotud defektid	A	Silla konstruktsioonide temperatuurisiirded
		B	Kaldasamba deformeerumine
		C	Kaldasamba külgtiibade deformeerumine
		D	Kaldasamba vaiade deformeerumine
		E	Kaldasamba vajumine
		F	Pealesõiduplaadi purunemine

3	Hüdroloogilised defektid	A	Pealesõitudel ei ole tagatud vete äravool
		B	Puudulik pealesõiduplaadi hüdroisolatsioon
		C	Drenaaži puudumine
		D	Valestivalitud drenaažitorud
		E	Puudulik nõlva- ja koonusekindlustus
4	Täite- ja aluspinnase vajumisest tulenevad defektid	A	Puudulik täitematerjali tihendamine
		B	Ebasobiv täitematerjal
		C	Täitematerjali halb seotus olemasoleva muldkehaga
		D	Nõrk aluspinnas



Joonis 1. Defektide põhjustajad ja defektid [1: 5]

1.1.1 Katendi defektid

Liikluskooormus (1A) on oma loomuselt väga vahelduv. Teedel liiklevad masinad on väga erinevad vaheldudes sõiduautodest suurte veoautodeni. Raskeliikluse ehk veokite ja busside koormus vaheldub veel suuresti sõltudes nende kantavast koormusest (ehk kas auto sõidab tühjalt või kannab maksimaalset koormat). Seetõttu liikluskooormuse suurus vaheldub autost-autosse ja vahed kõige väiksemast suurimani on eriti drastilised. [2: 5]

Liikluskooormusest avaldab otseselt mõju pealesõidu katendikonstruktsioonile raskeveokite koormus. Ei ole vahet, kas veokid liiguvad sillale või sillalt maha, mõju silla pealesõidule on ühesugune. Sõuduautode mõju pealesõidu teekonstruktsioonile on võrreldes raskete veokitega väike, mõjudes vaid naastrehvide kulutava toime näol. Siinkohal võib katte kulumisele kaasa aidata ka katte vanus. Aastatega kaotab katte sideaine tasapisi oma nakke mineraalmaterjalidega, mille tulemuseks on katte murenemine – progresseeruv mineraalmaterjali osakeste eraldumine teekatte pinnalt sügavusega kuni 2,5 cm [3: 19]. Veel on probleemiks teede katendite aladimensioneerimine, kuna meie teede tänapäevane liikluskooormuse mõju sildade pealesõitude katendile on tunduvalt suurem kui arvutusliku koormuse mõju [2: 13].

Liikluskooormuse poolt tekitatud defektideks silla pealesõidu kattele on enamasti võrkpraod. Võrkpraod on pealesõidu kattel esinev piki- ja põiksuunaliste pragudega võrgustiku moodustav ala [3: 16].

Tavaliselt on võrkpragude põhjuseks puudulik kandevõime või liiga suur peenmaterjali sisaldus katte all olevas sidumata kandvas kihis. Võrgu silma suurus näitab ligikaudselt, kui sügaval nõrk koht paikneb. Väike, alla 150 mm suurune võrgusilm viitab kõige kõrgema, sidumata kihi nõrkusele. Võrkpraod kui sellised ei häiri liiklust, kuid sageli muutuvad praod kiiresti tihedamaks ja sellisel juhul hakkab pealesõidu katend osade kaupa lagunema. [4: 7]



Joonis 2. Võrkpragu Sõmeru viadukti pealesõidul [erakogu]

Valestivalitud kaldasambavuugid (1B) on põhjuseks kaldasammaste vuukide lekkimisele ning sealt edasi arenevale erosioonile kaldasamba ees või taga. Koos sademevetega satuvad läbi lekkiva vuugi

silla kaldasamba konstruktsioonidele, pealesõiduplaadile ja killustikalustele teede soolatomisel kasutatavad kloriidid, mille mõju betoonle ja killustikalusele on kahjustav. Vuukide valikul eksitakse peamiselt silla dekiplaadi temperatuurisiiretest tuleneva vuugi tööulatusega või siis ei arvestata liiklussageduse ja -koormusega. Eksitakse kas siis tahtlikult riskeerides kokkuhoiu eesmärgil või väheste teadmiste tõttu. Isegi siiretele vastav vuuk ei pruugi olla piisav, kui see ei ole sobilik liikluskoormusele sillal ja vastupidi. Kahjustunud vuugid ei ole enam veetihedad, seega vete sattumine konstruktsioonidele ja kaldasamba taha ei ole enam kaitstud. Edasisteks kahjustusteks võivad olla nii betoonkonstruktsioonide defektid kui ka kaldasamba taguse täitepinnase erosioon.

Hooldamata kaldasambavuugid (1C) võivad põhjustada silla kaldasamba deformatsioonivuukide purunemist, mille tulemusena vuugid ei ole jällegi enam veetihedad. Deformatsioonivuugid ei ole hooldevabad, seega tuleb neid jooksvalt kontrollida (umbes paari aasta tagant). Kaetud vuukide puhul tuleb kontrollida, kas asfaltbetoonkatte ülemisse kihti lõigatud soone sees olev bituumenmastiks on alles ja terve ning kas silla all on näha jälgi vuugisüsteemi lekkimisest. Vajadusel tuleb kattes olevasse soonde lisada bituumenmastiksit. Juhul kui on vaja kaetud vuuk välja vahetada, tuleb kogu konstruktsioon kuni kaldekolmnurgani vuugi läheduses üles võtta (nt freesida) ja paigaldada uus vuugisüsteem. [5]

Pealesõiduplaadi pealne nõrk katendi aluskiht (1D) on üks pealesõitude vajumise ja (võrk)pragude tekkimise põhjustest. Kogemused näitavad, et pealesõiduplaadi ja katte vahel sama materjali kasutamine, mida kasutatakse ülejäänud tee katte killustikaluse materjalina (paekivikillustik), ei õigusta ennast. Pealesõiduplaadi peal on soovitatav kasutada parema purunemiskindlusega tardkivikillustikku.

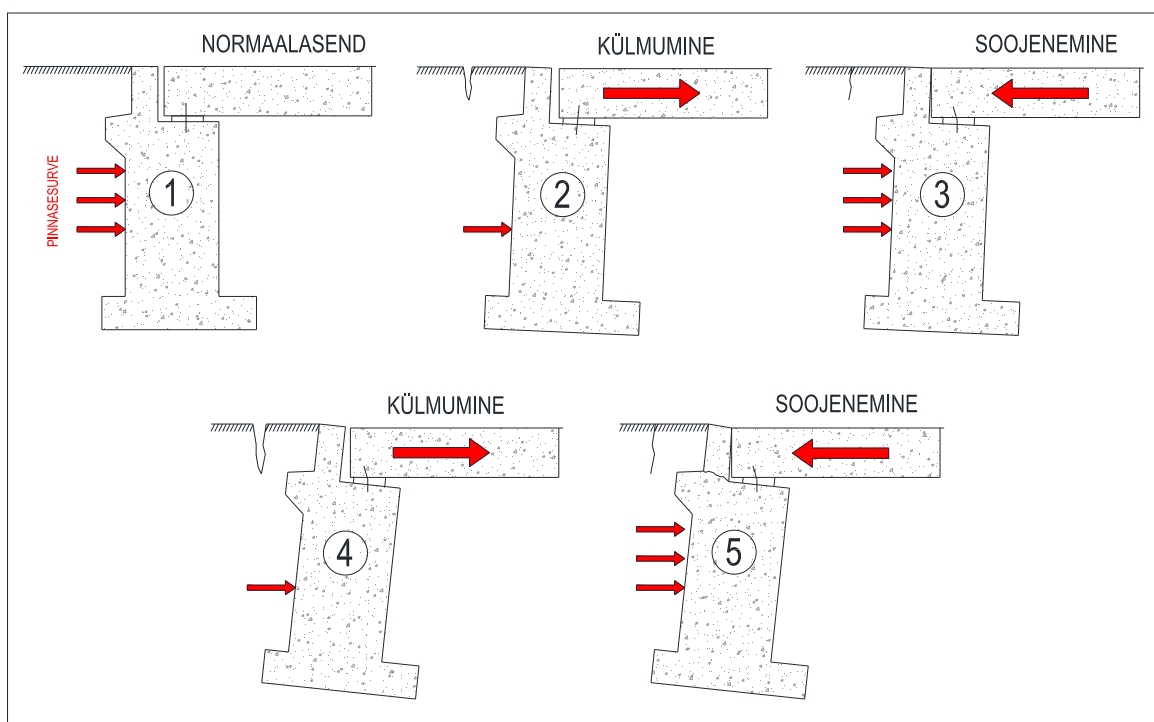
1.1.2 Konstruktsioonidega seotud defektid

Aastaringsete temperatuurikõikumiste tõttu toimuvad silla konstruktsioonides paisumised ja kahanemised - silla konstruktsioonide temperatuurisiirded (2A). Tekkivad siirded võivad avaldada mõju ka kaldasammastele nende liigutamise näol. Suvel, kui temperatuurid on kõrgemad, raudbetooni maht suureneb avaldades survet kaldasambale. Kaldasammas liigub vähesel määral pealesõidu suunas surudes selle tulemusena kaldasamba taga olevat täitepinnast kokku. Talvel toimub aga temperatuurikahanemine, mille puhul kaldasammas liigub oma esialgsesse asendisse tagasi ning selle tulemusena kaldasamba taha jääb väike tühimik. Selliste tsüklite kordumine võib suurendada tekkinud tühimikku ning ajapikku võib tulemuseks olla pealesõidu vajumine. Antud

probleem on aga pigem pikkade silletega sildadel, lühemate avadega sildadel on temperatuurisiirded praktiliselt olematud. [6: 273]

Aastaringsetel temperatuuride muutumisel võib aga olla tunduvalt suurem koosmõju kaldasamba taguse pinnasega. Nimelt aitavad temperatuuride muutumisest tekkivad konstruktsioonide siirded kaasa kaldasamba nihkumisele pinnasesurve mõjul (2B). Seda kaldasambal, millel on dekikonstruktsiooniga liikumatu ühendus (liikumatu tugiosa). Olgugi, et silla kaldasammas on arvatatud samba taga oelva pinnase ümberlükkele, aitab talvine silla dekikonstruktsiooni mahukahanemine ja suvine mahupaisumine kaasa kaldasamba nihkumisele.

Silla peakandjate paigaldamise hetkel asetsevad silla peakandjad kaldasambal vastavalt projektile. Talvel temperatuuri alanemise tõttu toimuvad betooni mahus kahanemised, dekiplaat lüheneb ning olles kinnitatud kaldasamba külge jäiga toega aitab dekiplaadi lühenemine kaasa kaldasamba taga olevale pinnasesurvele kaldasammast „ümber lükata“. Suvisel dekikonstruktsiooni temperatuuripaisumisel liigub kaldasammas küll tagasi oma normaalse paiknemise suunas, kuid kaldasamba taga oleva pinnasesurve tõttu ei ole enam esialgse asendi saavutamine võimalik. Tulemuseks on kaldasamba taga pinnase vajumine ning kaldasamba deformatsioonivuugi kahjustused. Pikemas perspektiivis võivad tekkida aastaringsete deformatsioonitsüklite kordumisel, lisaks vajumise suurenemisele ning deformatsioonivuukide olukorra halvenemisele, kahjustused ka kaldasamba enda konstruktsioonis (vt joonis 3).



Joonis 3. Kaldasamba nihkumine temperatuurisiirete ja pinnasesurve koosmõjul [7: 20]

Kaldasamba külgtiibade nihkumine pinnasesurve mõjul (2C) on põhjustatud kas siis tiibade väikesest omakaalust või nõrgast ühenduskohast kaldasambaga. Kui tiib töötab tugiseinana, peab olema külgtiibade konstrueerimisel arvestatud nii ümberlükke kui ka lihke arvutustega, samuti peab olema tiibade konstruktsioon piisavalt tugev. Olukorras, kus külgtiivad ei ole oma olemuselt gravitatsiooniseinad, on tiibade deformeerumise peamiseks põhjuseks ühenduskoha kaldasambaga purunemine. Külgtiibade deformeerumise tagajärjel liigub pealesõidu pinnas koormuse all külgede suunas, mille tulemusena toimub pealesõiduplaadi vajumine. Deformeerumise vältimiseks tuleks külgtiibade ja kaldasamba ühenduskohad konstrueerida vastupidavamad. Teiseks võimaluseks on tiivad konstrueerida selliselt, et nad on omavahel ottest ühendatud tõmbevarda või muu konstruktsiooniga [31].

Kaldasamba vaiade nihkumine ja/või nõtkumine (2D) võib olla põhjustatud silla konstruktsioonide temperatuurisiiretest ja nõrgast pinnasest. Koos kaldasamba liikumistega liiguvad ka vaiad, ning seega tekivad ka vaiasid toetava pinnase ja vaiade vahele tühimikud, mis võivad põhjustada vaiade deformeerumist. Tekkinud deformatsioon tekitab omakorda kaldasamba ning silla pealesõidu vajumise. [6: 273-274]

Kaldasamba vajumine (2E) tekib olukorras, kus kaldasamba taldmiku all olevale pinnasele mõjuvad jõud on suuremad kui selle pinnase kandevõime. Kaldasamba taldmiku alune pinnas võib vajuda ka kaldasamba taga oleva pinnase omakaalu tõttu. Seega peab olema kaldasamba taldmiku alune pinnas piisavalt tugev, et võtta vastu nii kaldasamba (koos kaldasambale mõjuva koormusega) kui ka sammast ümbritseva täitepinnase koormus (koos liikluskoormusega). Kui aluspinnas ei ole piisavalt tugev, tuleb kaaluda kaldasamba ehitamist vaiadele, mis on süvistatud kandva pinnasekihini. Kaldasamba taldmiku vajumine põhjustab kogu kaldasamba, silla avaehituse ja pealesõidu deformeerumise, halvimal juhul purunemise ning hävimise.

Pealesõiduplaadi purunemine (2F) võib juhtuda olukorras, kus pealesõiduplaadi alla on tekkinud tühimik, ning aluse toepinnata tuleb pealesõiduplaadil kogu plaadile mõjuv omakaalu- ja liikluskoormus ise vastu võtta. Juhul, kui pealesõiduplaad ei ole dimensioneeritud piisavalt tugev, see puruneb ja tekitab pealesõidu katendi vajumise.

1.1.3 Hüdroloogilised defektid

Peamisi defektide tekitajaid sildade pealesõitudel on erosioon. Väga oluline on sillale ja pealesõitudele sattunud sademevete korrektne ärajuhtimine. Pealesõitudelt juhitakse tavaliselt sademeveed ära kas silla otstesse rajatavate äravoolurennidega või siis restkaevudega. Kui silla

pealesõitudel ei ole tagatud vete äravool (3A), siis on suure tõenäosusega tulemuseks pealesõitude muldkeha nõlvade erosioon. Kui vete äravool pealesõitudel on takistatud, või puudub sootuks, püsib vesi kauem silla ja pealesõidu kattel ning imbub rohkem ka läbi asfaltbetooni.

Oluline on kaitsta läbi katte tulevate vete eest pealesõiduplaati. Peab olema korrektselt isoleeritud pealesõiduplaadi kaldasamba poolne ots. Tavaliselt paigaldatakse silla dekiplaadi hüdroisolatsioonimaterjal üle dekiplaadi otsa pealesõiduplaadi peale ligikaudu 1 m ulatuses. Ülejäänud pealesõiduplaad kaetakse kahekordse kummibituumenmastiksi kihiga (v.a. juhul, kui pealesõiduplaad on valmistatud veekindlast betoonist). Sadevete eest kaistmata pealesõiduplaadid (3B) võivad läbi katendi imunud soolvete mõjul hakata ajapikku lagunema, kuid veel suurem mure on jällegi erosioon. Hüdroisolatsioonita pealesõiduplaadi kaldasamba poolse otsa alla satub vesi, mis hakkab sealt pealesõiduplaadialusest täitepinnasest peenemaid pinnaseosakesi välja uhtma. Tulemuseks on tühimik pealesõiduplaadi kaldasambapoolse otsa all, mis omakorda kaotab ära pealesõiduplaadi toepinna ning ajapikku võib tagajärjeks olla pealesõiduplaadi purunemine.

Pealesõiduplaadile sattunud vesi liigub mööda pealesõiduplaati, mis ehitatakse tavaliselt 10 % kaldega pealesõidu suunas. Siinkohal on järgmiseks oluliseks nüansiks materjali valik pealesõiduplaadi peale. Mõistlik on kasutada kogu paksuses, kuni katteni välja, killustikku ja nagu eelnevalt juba kirjutatud, tuleks kasutada tardkivikillustikku. Eriti sügavalasuva pealesõiduplaadi puhul kasutada hästidreenivat materjali. Kasutades aga killustikku, ei ole ohtu, et mööda pealesõiduplaadi pinda liikuv vesi kannaks sealt ära peenemaid täitepinnase osakesi. Pealesõiduplaadi otsa alla tuleb ehitada drenaaž, mille kaudu liigub vesi pealesõidu muldkehast välja. Drenaaži puudumisel pealesõiduplaadi otsas (3C) võib pealesõiduplaadilt tulev vesi jällegi hakata pinnasest peenemaid osakesi välja kandma. Tulemuseks võivad olla defektid kattes pealesõiduplaadi otsas, kas erosioonist tuleneva vajumise või siis külmakergete näol.

Alati ei pruugi liiklejale nähtav vajumine pealesõiduplaadi otsa kohal olla drenaaži puudumise märk. Põhjuseks võib olla ka valestivalitud drenaaž (3D). Valides drenaaži peab olema kindel, et drenaaž ei ummistuks. Teiseks tuleb jälgida drenaažitoru valikul, et see peaks vastu liiklusest tulevale koormusele. Drenaaži väljaviikude otsad muldkehast peavad olema kindlustatud ning kaetud võrega, et ulukid ei saaks siseneda drenaažitorusse tekitades sedasi võimaliku drenaaži ummistumise ohu.

Vesi ei ohusta aga pealesõidu muldkeha ainult ülevalt, vaid ka altpoolt. Kõrge põhjaveetaseme tõttu muutub pealesõidu muldkeha pinnas külmaohtlikuks ja tekib külmakerge. Muldkeha külmumise

protsessi käigus moodustub temperatuuride vahe $+4$ kuni $+6$ °C-st (pinnasevete paiknemise sügavuses) kuni miinkuskraadideni pinnase ülemises külmunud kihis. Temperatuuride vahest põhjustatult hakkab vesi (veeaur) liikuma soojemast pinnasest külmumispiiri poole. Selleks on mitu võimalust [2: 16]:

- niiskuse ümberpaiknemine mööda pinnaseosakesi ümbritsevaid kilesid (soojematelt pinnaseosakestelt külmematele, kuna viimased omavad suuremat pinnaenergiat);
- altpoolt soojematest kihtidest mööda poore ülespoole liikunud veeauru kondenseerumine madalama temperatuuriga pinnaseosakeste pinnale ülemistes kihtides;
- veel külmumata vee kapillaartõus külmunud kihti (külmunud pinnase piirkonnas külmub vesi kapillaarides $-0,2$ °C juures, samal ajal tekivad üksikutes suuremates poorides jääkristallid).

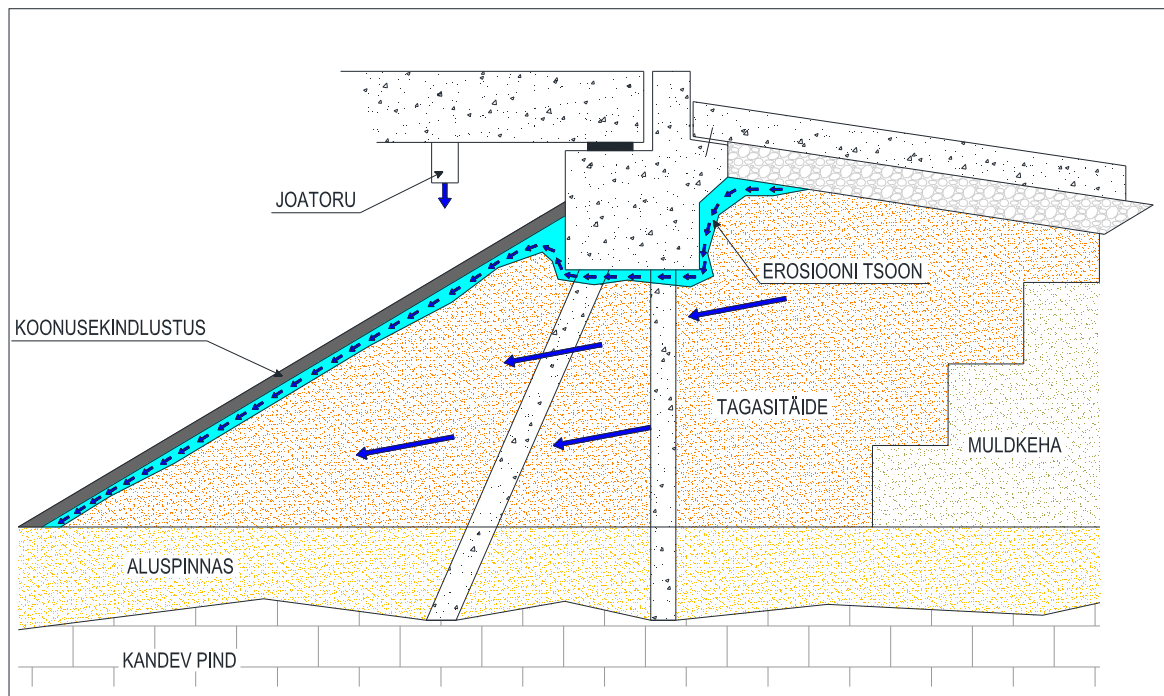
Teiseks ohuks kõrge pinnasevee puhul on kaldasambale mõjuv hüdrostaatiline surve kaldasamba taga, mis on vähemalt poolteist korda suurem tavalisest pinnasesurvest. Koos pinansesurvega aga üle kahe korra suurem tavalisest pinnasesurvest. Lisaks väiksemale pinnase kandevõimele suureneb kaldasamba nihkumise (ümberlükke või lihkumise) oht. See asjaolu ongi tihtipeale kaldasammaste tugiseinte ja –tiibade deformeerumise põhjuseks. Seega on sildade pealesõitudel pinnasevee madalana hoidmine eriti oluline. [1: 30]

Pinnasevee taseme kõrguse piiramiseks tuleb rajada kaldasamba alaossa samuti drenaaž või siis kasutada kaldasamba taga täitematerjali filtratsioonimooduliga üle $2,0$ m/ööpäevas. Efektiivne lahendus on ka drenaaživõrgu kasutamine kaldasamba seinal, koos alaosas paikneva drenaažitoruga, mis juhhib vee muldkehast välja. Vee liikumise vastu aitab ka geotekstiilide kasutamine pealesõidu muldkeha kihtide vahel. See töötab barjäärina takistdes vete liikumist ülessuunas. Lahendused on kujutatud joonisel 22.

Väljaspool muldkeha sisemust liigub vesi mööda muldkeha nõlvasid. Nõlvade erosioon ja koonuste vajumine on üks peamisi defekte sildade pealesõitudel. Selle põhjuseks on puudulik nõlva- ja koonusekindlustus (3E). Pealesõidu muldkeha ning silla koonuse nõlvad, mis alluvad ilmastiku ning vee purustavale toimele, peavad olema kindlustatud.

Puuduliku koonusekindlustuse lahenduse korral liigub pealesõidu muldkehast, pealesõiduplaadi alt ja silla joa- ning tilktorudest tulev vesi mööda silla koonuse pinda või selle all. Tagajärjeks võib olla koonusekindlustuse vajumine kuna vesi kannab koonusekindlustuse alt pinnase ära ja tekkivad

tühimikud ei toesta enam koonusekindlustust (vt joonis 4). Ühtlasi väheneb sedasi kaldasammast toetava pinnase mass. [1: 27-28]



Joonis 4. Erosioon pealesõidu täitepinnases [1: 28]

Muldkeha nõlvadele, mis ei ole üleujutuse piires, tuleb moodustada rohukamar, katta nõlv sidusate või muude kohalike materjalidega tugevdatud pinnastega või kui pinnas ei sobi rohukasvuks, tuleb nõlvad katta 10 kuni 15 cm paksuse kasvumulla kihiga ja sellele külvata mitmeaastaste taimede seemnete segu. Vajadusel tuleks kuni rajatava haljastuse vegeteerumiseni kasutada erosioonitõkkematte. Erosioonitõkkematid valmistatakse keskkonnasõbralikust biolagunevast materjalist nagu näiteks kookose kiud, õled, džuud ja mis on kinnitatud polüpropüleenist või džuudist võrku. Tugeva vihmajärgu ajal vähendab matt pinnase väljauhtumist tunduvalt. Matt hoiab ära pinnase nihkumise järskul nõlvadel ja toetab taimi nende kasvu algstaadiumis. Erosioonitõkkematt ankurdatakse vastavalt tootjate poolsetele juhistele. [9]

1.1.4 Täite- ja aluspinnase vajumisest tulenevad defektid

Sildade pealesõitude vajumise üheks levinumaks põhjuseks on pealesõiduplaadi all oleva pinnase vajumine. Kui pealesõiduplaat kaotab teda toetava aluspinnase, see kas puruneb või vajub koos aluspinnasega. Mõlemal juhul on tulemuseks defektid silla pealesõidu kattes. Peamiseks põhjuseks pealesõiduplaadi aluse täitepinnase vajumisele on pinnase ebapiisav tihendamine (4A).

Täiesti 100 % tihedaks pinnast ei saa. Ajapikku pinnas tiheneb täiendavalt, eriti just kõrge muldkeha puhul. Teostades aga täitepinnase tihendamist korrektselt, vähendab see edasisi vajumisi. Selleks, et pinnase tihedus pealesõidu muldkehas vastaks nõuetele, tuleb kasutada täiendavalt spetsiaalseid tihendusmasinaid. Kaldasamba ja külgtiibade läheduses ei saa pinnast tihendada suurte tihendusmasinatega. Vältimaks pinnase alatihendamist neis piirkondaades, tuleb kasutada tihendusmasinaid, mis ei kahjusta silla konstruktsioone, kuid on piisavad vajaliku tulemuse saavutamiseks. See tagab täitepinnase samaväärse tihendatuse sillakonstruktsioonide vahetus läheduses ja ülejäänud pealesõidu osas, kus on tihendamiseks kasutatud massiivsemaid tihendusmasinaid.

Põhiliseks tihendamise kvaliteeti mõjutavaks teguriks tuleb lugeda pinnase niiskust. Korraga tihendatava pinnasekihi paksus sõltub pinnase niiskusest ja tihendamiseks kasutatavatest masinatest. Väheniisket pinnast tuleb tihendada õhemate kihtide kaupa võrreldes optimaalse niiskusega pinnasega. Muldkeha tuleb tihendada kogu laiuses ühtlaselt. Ebaühtlane tihendamine põhjustab muldkeha vajumist, mille tulemusena tekivad defektid silla pealesõidu katendis. Ka muldkeha laiuses ühtlane, kuid mittepiisav tihendamine põhjustab ebaühtlaseid vajumisi. Mõistlik on tihendatud pinnasele peale ehitada nii hilja kui võimalik, et pinnas saaks ise täiendavalt tiheneda mitte ei tekiks täiendav vajumine rajatud konstruktsioonide koormusest. Oluline on kontrollida pinnase tihendatust, eriti just nendest paikadest, kuhu on tihendusmasinaga ligipääs raskendatud. [10: 26]

Erinevate pinnaste korrapäratu puistamine muldesse on keelatud, sest selle tõttu võib mulde keskele moodustuda veekotte ja ülemised kihid võivad lihkuda mööda kallakulisi savikihte [10: 4]. Vältida tuleb ebasobivate materjalide kasutamist tagasitäitena (4B). Viaduktide, sillakonsoolide, -sammaste ja -koonuste ning muldkeha liitekohtades tuleb muldkeha ehitada drenivatest pinnastest. Pinnased, mis ei ole piisavalt drenivad, on külmaohtlikud.

Hästidrenivateks pinnasteks on jämeteralised pinnased (kruus ja liiv), mis sisaldavad vähem kui 10 % peenosist. Need pinnased on lihtsalt tihendatavad, eriti siis, kui need on veega küllastunud. Kui läheduses on veekogu, siis on mittesidusaid pinnaseid kasulik niisutada üle optimaalse niiskuse (kuni $1,2 w_0$). Sellega võib tihendatava pinnasekihi paksust, võrreldes optimaalse niiskusega, suurendada 20-30 % ja saavutada tiheduse, mis ületab maksimaalse standardse tiheduse. [10: 11]

Sageli on probleemiks olemasoleva pealesõidu muldkeha ja tagasitäitematerjali omavaheline sidumine (4C). Et erinevad pinnased omavahel koos töötaksid ega tekiks ühenduskohtade juures vajumist, tuleb tagasitäite paigaldamine teostada astmeliselt. See tähendab, et vana muldkeha ja tagasitäite kokkupuutepind peab olema astmeline, ning astmete kõrgus võrdne tihendatava täitematerjali kihi

paksusega. Vajadusel kasutada astmetel täiendavalt geotekstiili. Sedasi asetseb uus pinnas otsaga vana pinnase peal ning ei teki ühtset joont kahe erineva pinnase vahel. Kasutatav täitepinnas peab olema samaväärne või omadustelt parem olemasolevast pinnasest.

Ehitise koormuse mõjul tema alus deformeerub ja põhjustab vajumise. Aluspinnase vajumise põhjuseks on eelkõige vee eemaldumine pooridest ja sellele järgnev pinnase tihenemine. Seega nõrkade aluspinnaste puhul (4D), nagu näiteks turbapinnased ja nõrgad veega küllastunud savid, on oht, et aluspinnases tekivad vajumised täitepinnase ja ehitise omakaalukoormuse ning liikluskooormuse tõttu. Tagajärjeks võib olla sillakonstruktsioonide vajumine, mis võib kaasa tuua vajumise pealesõitudel, tugiosade nihkumise, deformatsioonivuukide sulgumise jms. [11: 9-10]

Probleemi lahendamiseks on vajalik aluspinnase tugevusomaduste parandamine tõstes sellega aluspinnase kandevõimet või siis aluspinnase asendamine tugevama pinnasega. Võimaluseks on ka geosünteedide ja kergema täitepinnase kasutamine (näiteks vahtpolüstüreen ehk EPS, kergkruus).

1.2 Defektide tagajärjed

Sildadel ja nende pealesõitudel tekkinud defektid on omakorda põhjuseks mitmetele erinevatele probleemidele, mis mõjutavad nii silda ennast, ümbritsevat keskkonda, silla omanikku kui ka kasutajat. On igati loogiline, et kui mistahes konstruktsioonil on juba tekkinud mingigi defekt, saab olukord minna ainult halvemaks. Seega tuleb silla ja pealesõitude konstruktsioonide võimalikult pikaks vastupidamiseks juba projekteerimise ja ehitamise staadiumis pöörata erilist tähelepanu pisikestele nüanssidele, mis aitavad ära hoida edasisi kahjustusi.

Silla omanikku puudutavad sildade pealesõitudel tekkinud defektid vast isegi kõige enam, vähemelt majanduslikult. Ka silla omaniku maine sõltub silla ja tee seisukorrast. Tekkinud kahjustused on kindlaks kuluartikliks silla omaniku eelarves ja mida suuremateks on kahjustustel lastud arened, seda suuremad on ka kulutused. Kuni selleni välja, et remonttööde teostamiseks muutub mingiks perioodiks sild liiklusele suletuks.

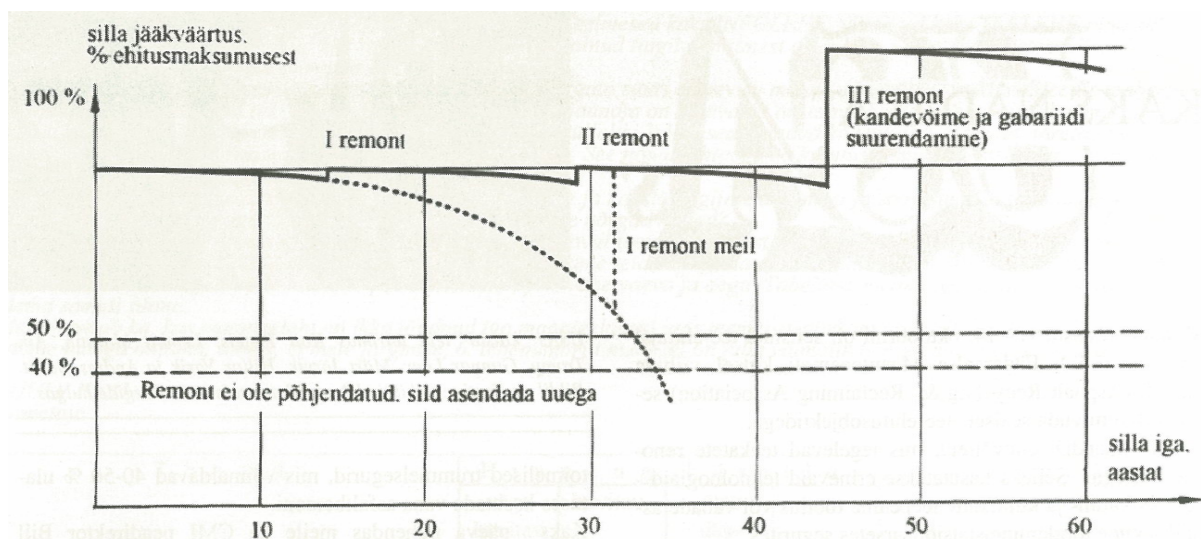
Samuti mõjutavad sildade pealesõitude defektid liiklejaid tekitades ebamugavusi sõiduki juhitavusel, muutes sedasi sillale ning sillalt sõitmise ohtlikumaks. Peale selle, et liiklemine sillal ei ole enam sujuv, tekitab see ka müra ning võib tekitada vigastusi sõidukitele. Pealegi on defektset silda raskem hooldada, näiteks talvel lumesahkadel.

Silla pealesõidul esinev ebatasasus (jõnks) on märgatav umbes 1-2 cm kõrguserinevuse juures silladeki ja pealesõidu vahel. Vajumine üle 2 cm muutub juba problemaatiliseks ning kui kõrguserinevus on rohkem kui 4 cm, tekivad tõsised ebamugavused liiklemisel. Sellised sildade pealesõidud vajavad kohest remonti. [1: 1]

1.3 Sildade pealesõitude olukord Eesti maanteedel

Majanduslikult mõtlev sillaomanik remondib defektid kohe, kui need on tekkinud. Veel ligikaudu 15 aastat tagasi oli aga Eestis olukord, kus tekkinud defekte ei remonditud kohe, seetõttu tuli hiljem kulutada kordades suuremaid summasid sildade remondile, kuna kahjustused olid aastatega muutunud suuremaks. [12: 4]

Joonisel 5 on kujutatud toleaeget sildade vananemise ja sellest tingitud tehnilise seisundi probleeme. Graafikul kujutab pidevjoon silla tehnilist seisundit normaalse majandamise korral ning punktjoon Eesti sildade keskmist tehnilist seisundit. Tulemuseks on olukord, kus tänapäevaks on Eestis suur hulk sildasid, millede kahjustused on arenenud sinnamaani, et sild vajab kohest laiaulatslikku remonti või ümberehtust. [12: 4-5]



Joonis 5. Sildade vananemine ja sellest tingitud tehnilise seisundi probleemid [12: 5]

Aastatel 2005-2007 teostati Eestis esimest korda kõigi riigimaanteedel asuvate sildade ülevaatus ja BMS-analüüs ühtsete põhimõtete alusel. BMS-analüüsi eesmärgiks on saada ülevaade aastate jooksul toimunud muudatustest sildade seisukorras ja ühtlasi täpsustada järgnevate aastate sildade ehitus-, remondi- ja hooldustööde plaane. [13: 3]

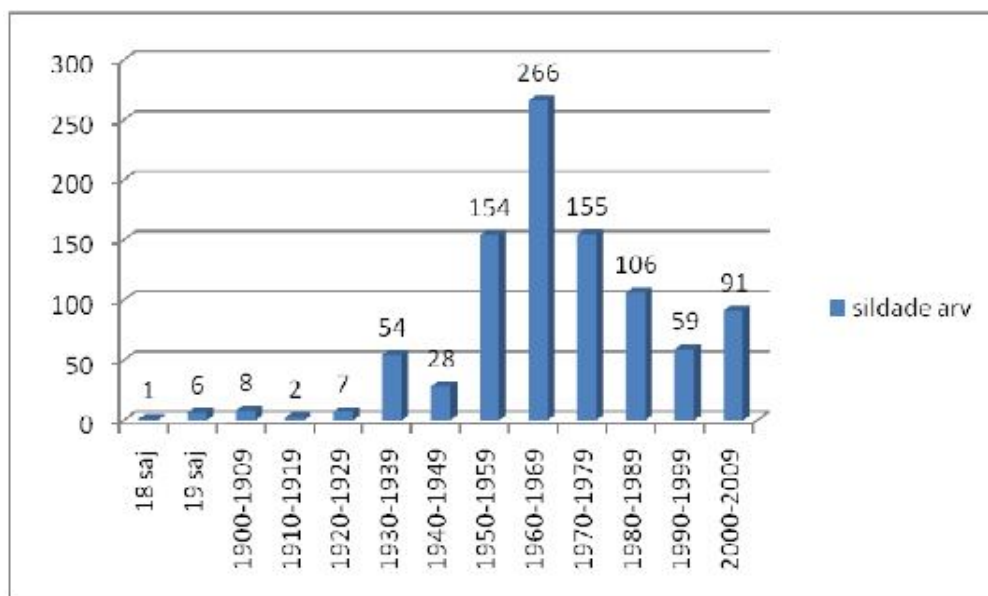
Ülevaatusel hinnatakse sildu elementide järgi (talad, sambad, käsipuud jne). Iga silla elementidele antakse hinne vastavalt seisunditasemele (4-palli skaalas, kus seisund 1 näitab elemendi korrasolekut ja seisund 4 halvimat seisukorda). Sildade ülevaatused teostatakse reeglina perioodil aprill-oktoober, kui ilmastikuolud on selleks sobivad ning kõrgvesi on taandunud. Ülevaatusel käigus teostatakse [28: 4]:

- sildade gabariitide kontrollmõõtmised (võrdlemaks andmeid Teeregistris olevatega ja vajadusel paranduste tegemine);
- elementide kahjustuste, seisunditasemete ja mahu hindamine ning fikseerimine;
- sillaelementide fotografeerimine – sildade külgvaated, pealtvaated ja kahjustused jms.

Eestis on põhimõtte, et väikesildasid üldjuhul ei kapitaalremondita, vaid lastakse neil amortiseeruda ja asendatakse hiljem terasprofiilsillaga (-truubiga) ning keskmistele ja pikkadele sildadele teostatakse kapitaalremont (uus hüdroisolatsioon, servapruss, pealesõiduplaad, piirded; sammaste, talade, dekiplaadi, koonuste remont). Sild asendatakse ka juhul, kui silla sambad on kehvast seisust ja neid ei ole võimalik remontida (asendada) ilma pealisehitist lõhkumata (liikluse sulgemine), ning juhul, kui gabariidid või kandevõime ei vasta nõuetele. [13: 12]

1.3.1 Sildade vanuseline jagunemine

Erinevatel aastakümnetel ehitatud sildade jaotumine vanuse järgi on esitatud joonisel 6. Kõige rohekem Eesti riigimaanteedel sildasid (266 tk.), ehk üle veerandi sildade üldarvust, on ehitatud aastatel 1960-1969. [13: 9]

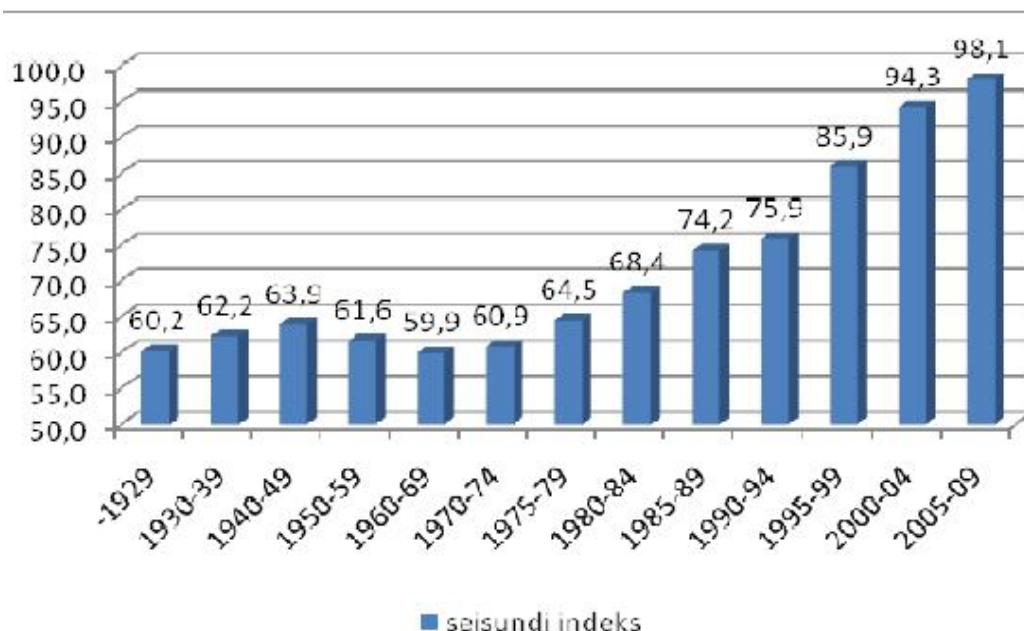


Joonis 6. Erinevatel aastakümnetel ehitatud sildade arv [13: 9]

1.3.2 Sildade pealesõitude seisundi indeks (SI)

Võrdlemaks omavahel erinevate sildade füüsilist seisundit, on kasutusel seisundi indeks, mis 0–100 % skaalal näitab antud silla füüsilist seisundit (indeks ei arvesta silla gabariitide ja kandevõime piiranguid). Seisundi Indeks on arvutatud silla ülevaatuselt kogutud elementide seisundiandmete põhjal. Antud indeksi järgi on võimalik jälgida kogu sillavõrgu seisundi muutust erinevatel aastatel, võrrelda omavahel erinevate regioonide sildade seisukorda jne. [13: 13]

Erinevatel aastakümnetel ehitatud sildade seisundi indeksid on esitatud joonisel 7. Analüüsides joonist 6 ja joonist 7, saab järeldada, et praeguseks on halvimas olukorras just 60-ndatel aastatel ehitatud sillad, mis moodustavad, nagu eelpool juba märgitud, ligi veerandi Eestimaa sildade üldarvust.



Joonis 7. Erinevatel aastakümnetel ehitatud remontimata sildade SI-d [13: 16]

Järgnevalt on toodud joonised erinevatel aastakümnetel ehitatud kaldasammaste (joonis 8), koonusekindlustuste (joonis 9), deformatsioonivuukide (joonis 10) ja pealesõiduplaaside (joonis 11) seisundi indeksite kohta. Võrreldes neid joonisega 5 saab järeldada, et suur osa sildadest vajab kaldasammaste, koonusekindlustuste, deformatsioonivuukide ja pealesõiduplaaside remonti või väljavahetamist.

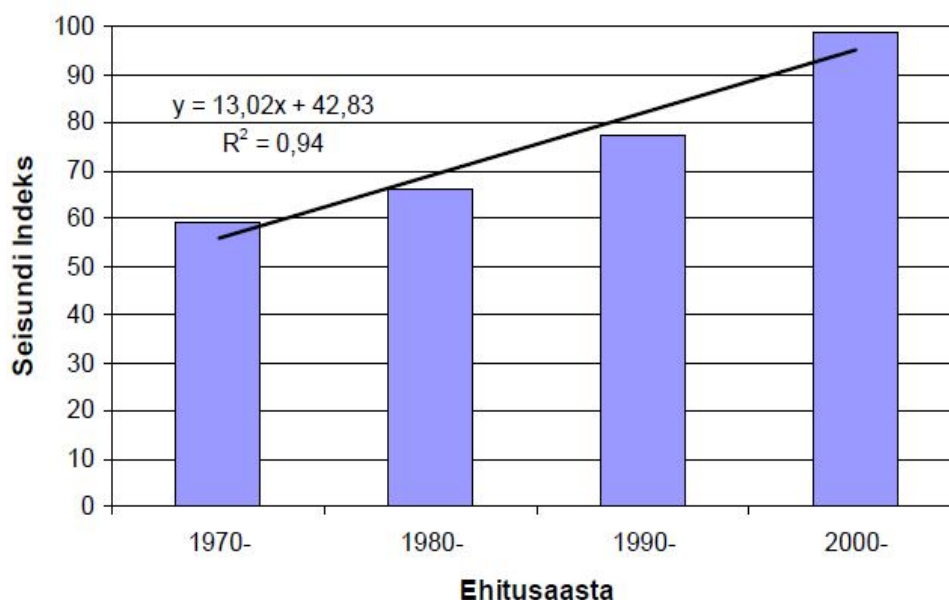
Analüüsides viimastel aastakümnetel ehitatud kaldasammaste seisundi indekseid, võib järeldada, et ehitusajaga 1980 ja uuematel sildadel on kaldasammaste olukord hea, enamjaolt on defektid pindmised ega avalda mõju ehitiste tugevusele. Nende sildade kaldasammastel piisab pisiremondist,

et ennetada ulatuslikumaid kahjustusi. Kuid sildadel, mis on ehitatud enne 1980. aastat (suurem osa sildade üldarvust), esineb kaldasammastel kahjustusi, mis vajavad lähiajal suuremat remonti.

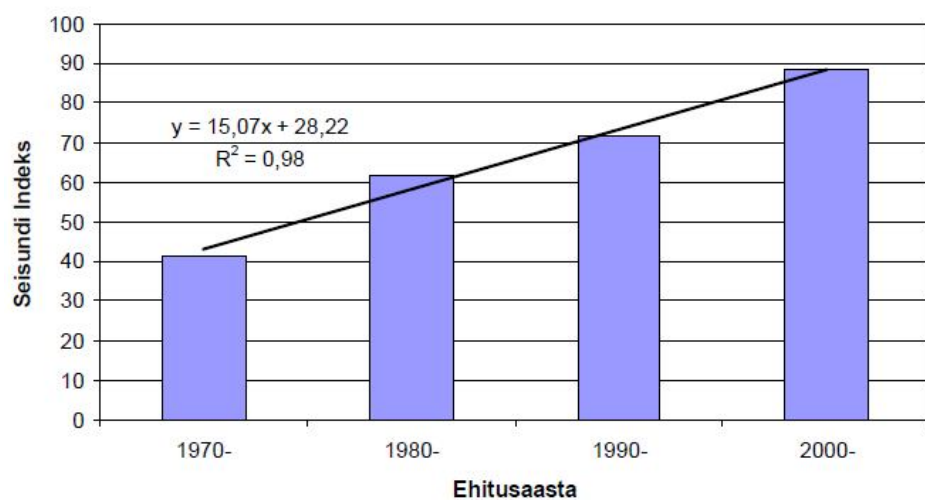
Tunduvalt halvem on sildade koonusekindlustuste olukord. Lihtsalt pisiremondi või hooldega pääsevad 1990. aastal ja hiljem ehitatud sillad, vanematel on kahjustused ulatuslikumad (suuremad vajumised ja uhted). Need sildade koonusekindlustused vajavad samuti põhjalikumat remonti.

Kõige halvem olukord on sildade vuukidel. Normaalses seisukorras on vaid viimasel kümnendil ehitatud deformatsioonivuugid. Vanematel sildadel on olukord valdavalt mitterahuldav ning deformatsioonivuukide (sealhulgas kaldasamba vuukide) remont või väljaveetamine lähiaastatel on hädavajalik. Vuukide seisukorda sildadel peaks just eriti tähelepanelikult jälgima, kuna just vuukide lagunemine on suurimaks eelduseks edasiste defektide arenemisele.

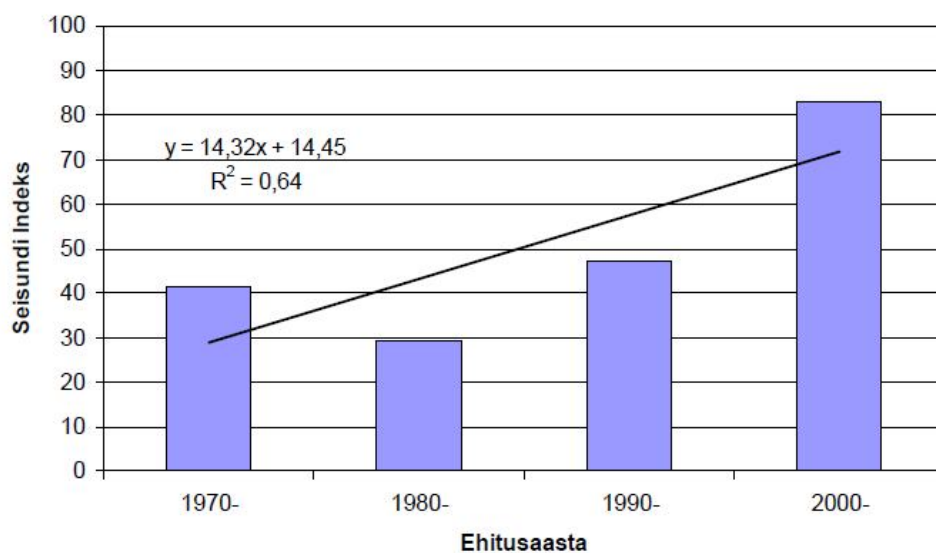
Enamjaolt heas olukorras on sildade pealesõiduplaatide olukord. Üldjuhul esineb vaid vähest plaadi vajumist, mille tulemusena ei teki sõidukitelt märkimisväärset dünaamilist koormust sillale. Sõidumugavust see oluliselt ei mõjuta. Kuid kindlasti tuleb olla valmis järgnevatel aastatel ka pealesõiduplaatide ulatuslikumaks väljavahetamiseks või remontimiseks, eriti veel siis, kui liikluskooormus teedel suureneb.



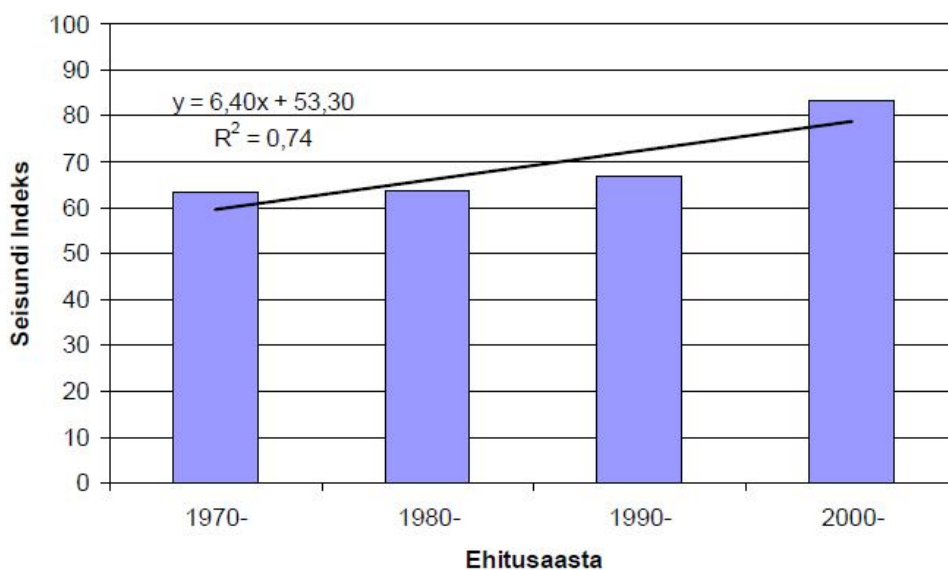
Joonis 8. Erinevatel aastakümnetel ehitatud kaldasammaste SI-d [13: Lisa 2]



Joonis 9. Erinevatel aastakümnetel ehitatud koonusekindlustuste SI-d [13: Lisa 2]



Joonis 10. Erinevatel aastakümnetel ehitatud deformatsioonivuukide SI-d [13: Lisa 2]



Joonis 11. Erinevatel aastakümnetel ehitatud pealesõiduplaatide SI-d [13: Lisa 2]

Siinkohal tuleb täpsustada, et eelnevalt tehtud järeldused on üldistavad, kindlasti on olukord igal sillal erinev, mida ei kajasta eelnevad graafikud. Graafikud ja nende põhjal tehtud järeldused annavad üldise ettekujutuse eelnevatel aastakümnetel ehitatud sildade seisukorrast. Sildade remondi planeerimisel tuleb siiski lähtuda igast rajatisest eraldi.

Miks on sildade olukord just selline, nagu ta täna on, iseloomustab suurepäraselt 1998. aastal tollase Maanteeameti peaspetsialisti Jaan Linno kokkuvõte 1997. aastal teostatud sildade korralisele ülevaatusel. 1998. aasta Teelehes ütles Jaan Linno: „Aasta-aastalt on sildade remont hoogustunud. 1997. aastal kulutati maanteefondist sildade tarbeks juba 4,5 %, mis on võrdne sama näitajaga Soomes ja Rootsis. Protsent on küll normaalne, raha sildade taastamiseks aga napib, nagu napib seda ka maanteede lagunemise pidurdamiseks. Siiski halveneb sildade keskmine tehniline seisukord, hoolimata tehtavatest remonditöödest. 1993. aasta sildade ülevaatusel tunnistati avariiliseks 41 silda. 1995. aastal 80 silda. On karta, et käesoleva korralise sildade üldülevaatuse tulemusel avariiliste sildade arv ei vähene, pigem vastupidi. Ülirasked metsa- ja muud veod, mille hulk on meie teedel viimasel ajal oluliselt tõusnud, lõhuvad rohkem kui maanteelased parandada suudavad.“ [14: 6]

2 SILDADE PEALESÕITUDEL ESINEVATE DEFEKTIDE REMONTIMINE

Silla pealesõidul tekkinud kahjustuste remondimeetodi valikupõhimõtted on soovituslikud saavutamaks optimaalne tulemus ning hoidmaks silla ja pealesõidu olukorra tervena. Remondimeetodite rakendamisega on võimalik pealesõidu kapitaalremondi edasilükkamine hilisemale ajale. Remondimeetodite rakendamise ulatusele seab piiri kulude ja saavutatava kasu vahekord. Juhul kui pealesõidu seisukord ei võimalda pisiremondiga vajalikku seisukorda säilitada või on see liiga kulukas, tuleb planeerida ulatuslikemate tööde teostamist. [4: 4]

Silla ja selle pealesõitude seisundi regulaarne kontrollimine on tähtis osa remondi ettevalmistamises. Vajadusel kasutatakse eriseadmeid, näiteks pealesõidu ebatasasuse mõõtmine laserseadmete abil, betooni survetugevuse hindamine pörkevasaraga (Schmidt'i vasar) jms.

2.1 Teostusaja ja meetodi valimine

Remondiks valitud aeg (kiireloomulisus, aastaaeg) on seotud kahjustuse tüübi ja meetoditega, mida on võimalik kasutada. Üldpõhimõtteks on see, et kahjustusi tasub parandada aegsasti, kui need on veel väiksed ja ohutud. Ennetav remontimine annab sageli kvaliteedilt ja majanduslikult parema lõpptulemuse, kui laiaulatuslik ajutine kehvades tingimustes remontimine. [4: 4]

Remontimise kvaliteedile ning kvaliteedi edasiarendamisele tuleb ja tasub keskenduda. Ennetamine, õige remondimeetodi valimine ja kvaliteetne ning õigeaegne remontimine tagab silla pealesõidu kestvuse. [4: 8]

2.1.1 Püsiv remontimine

Püsiv remontimine kavandatakse ajaliselt tavapärasele remonditööde perioodile või teostatakse ennetava remontimisena, millega välditakse kahjustuste arenemist väga halva seisundini. Ennetava

remontimise all mõistetakse tegevust, millega parandatakse tekkima hakkavad defektid ja lagunenu kohad, teostades remonttöid heades tingimustes. [4: 8]

Ennetava remondiobjekti valimine eeldab pealesõidu seisukorra jälgimist ja selle tundmist. Tekkivatele kahjustustele tuleb tähelepanu pöörata eriti siis, kui valmistatakse ette ennetavat remonditegevust. Väikesed vigastused, mille kaudu tungib vesi pealesõidu katendisse või selle alla, laienevad märgades ja külmades tingimustes kiiresti. Need võivad viia remondini, mis teostatakse laialulatuslikult või ebasoodsal ajal, nõrga kvaliteedi ja suurte aastakulutustega. [4: 8]

Eriti vähese liiklusega teedevõrgustikus tasub tekkivat kahjustumist remontida juba varakult ja lükata ennetavate remondimeetmete abil laialulatuslikumate remonttööde ajahetke edasi. See on otstarbekas eriti nendel objektidel, kus kahjustumine ei toimu kiiresti. [4: 8]

2.1.2 Ajutine remontimine

Ajutine remontimine tähendab meetet, millega kahjustunud pealesõidu piirkond remonditakse nii, et parandatud koht püsib rahuldavas seisukorras seni, kuni seda saab soodsates tingimustes remontida püsivalt. Ajutist remontimist kasutatakse, kui tuvastatud kahjustused on liiklusele või pealesõidu konstruktsioonidele ohtlikud, mõjutavad oluliselt sõidumugavust või laienevad kiiresti ning püsiva meetodiga remontimine pole kohekselt võimalik. [4: 9]

Ajutist remontimist püütakse vähendada ennetavate remonditööde abil. Avarii ja ajutise remondi korral võib soovitatavatest tingimustest kõrvale kalduda, kuid sellisel juhul ei täida remontimine alati kõiki samu kvaliteedikriteeriume, kui heades tingimustes tehtud töö. Ajutiseks remontimiseks ei ole üldjuhul soodsaid remontimise meetmeid, kui võrrelda nende tööde kulusid ennetava remontimise kuludega. Ajutine remontimine tuleb samuti teostada hoolikalt ja remontimise aja tingimuste suhtes võimalikult sobivate meetoditega. [4: 9]

2.2 Defektide remondimeetodid

Remonditööde ulatus võib olla väga erinev. Tegemist võib olla üksikute pragude või vajumiste parandamise või ulatuslike, mitmeid elemente hõlmavate, remonttöödega. Remontimise võib juba algselt planeerida ja teostada nii, et remonditud koht peab vastu mitmeid aastaid. Seda võib teostada ennetava remontimisena, millega püütakse takistada algava kahjustuse laienemist ning töö teostamist ebasoodsal aastaajal, või võib läbi viia (talvel) ajutise remondina, mille saab hiljem

asendada püsiva meetodiga. Nende lähtepunktide tõttu järgitakse erinevatel remonditöödel erinevaid nõudeid. [4: 31]

Remondimeetod valitakse põhimõtteliselt nii, et piisavalt hea lõpptulemuse saaks saavutada võimalikult väikeste kulutustega. Piisavalt hea tulemus tähendab remonditavatel elementidel peaaegu sama kvaliteeti nagu algselt ning rahuldavat välimust. Tihtipeale on võimalus valida mitme meetodi vahel. Lõplik meetod valitakse majanduslike võrdluste alusel, arvestades muuhulgas järgmiste asjaoludega [4: 11]:

- käsutuses olevad ressursid;
- eeldatav maksumus;
- muud aspektid (kestvus, liiklusohutus, meetodi sobivus remonditööks antud objektil jms).

2.2.1 Katendi defektide remont

Katendi defektid on otseselt seotud kogu maantee defektidega, kuid sildade pealesõitudel tuleks neid ühtlasi vaadelda kui osa silla defektidest. Tihtipeale võivad katendil defektid esineda vaid silla läheduses (pealesõitudel ja sillal) ning ülejäänud ümbruskonna maantee katend on defektideta. Sellisel juhul ei ole alati mõistlik rakendada traditsioonilisi defektide parandamise meetodeid vaid tuleb kaaluda alternatiivseid, olemuselt mobiilsemaid lahendusi.

Enamlevinumaks defektiks sildade pealesõitude kattel on praod, kas siis üksikud praod või võrkpraod. Kui pragunemine on arenenud kaugele selliselt, et kattesse on tekkinud augud, on mõistlik teostada augulappimine. Asfaltbetoonkatteid võib lappida järgmiste meetoditega [4: 11]:

- asfaltbetoonpaikamine (käsitsi või laoturiga) – kasutatakse enamike kahjustustüüpide paikamiseks;
- valuasfaltpaikamine (käsitsi või laoturiga) – sobib ennekõike tiheda liiklusega teedel ja sildadel esinevate aukude, väiksema pindalaga lagunemiste ja lohkude ning väiksemate ebatasasuste parandamiseks;
- MT-valuasfaltpaikamine (mehaaniliselt tihendatud) – sobib kõikide katete üle 30 mm laiuste lõhede, aukude, roobaste ja vajumite paikamiseks;
- ajutine MSE-paikamine (külm asfalt) – kasutatakse juhul, kui paikamistööga on kiire või kui kuumsegu pole saadaval (talvel), samuti ajutise remondi korral asendades hiljem kuumsegust paikadega;

Juhul kui praod ei ole laiaulatslikud ning augulappimine ei ole vajalik, on remondiviisiks vuukimine. Vuukimine on katte pragude remontismeetod, millega praod joodetakse kinni bituumensideainega (jootevuukimine) või peeneteralise asfaltseguga (seguvuukimine). Jootevuukimisel kasutatakse kahte erinevat töömeetodit: laiendamisega vuukimine ja valuvuukimine. [4: 27]

Prao laius on kõige suurem talvisel ajal madalatel temperatuuridel, kui tee konstruktsioon on jääs. Asfaldi servad praod kõrval võivad olla vajunud või kerkinud. Prao maksimaalset laiust ja kuju mõjutavad muuhulgas pragude esinemistihedus, aluskonstruktsioon ja kandva kihi materjalide omadused, peamiselt peenmaterjalide sisaldus. [4: 27]

Laiendamisega vuukimismeetod on meetod pragude remontimiseks, millega püütakse katendi uuendamise aega mitme aasta võrra edasi lükata. Väikseid kapillaarpragusid pole tingimata vaja laiendada - neid võib töödelda ainult kuumutuspuhuriga. [4: 27]

Valuvuukimismeetodil korrektselt teostatud praod remont vähendab pinnavee pääsemist prakku vähemalt järgmise poole aasta jooksul. Selle meetodi kohaselt viiakse sideaine prakku käsitsi kannuga valades või düüsi kaudu pritsides. Sageli avaneb vuuk juba järgmisel talvel, mistõttu tuleb seda tööd peaaegu igal aastal korrata. [4: 27-28]

Seguvuukimismeetod sobib 20-50 mm laiuste pragude, väikeste aukude ja lagunenenud kohtade remontimiseks. [4: 28]

Võrkprao esinemise korral võib olla süüdi nõrk killustikaluse materjal pealesõiduplaadi ja katte vahel. Defektide taastekkimisel pärast parandustöid tuleks kaaluda silla pealesõidul pealesõiduplaadi ulatuses killustikalus välja vahetada tugevama tardkivikillustiku vastu.

Silla kaldasamba vuukide defektide ilmnemisel (suuremad lekked) ainult remontöödest tavaliselt ei piisa. Üldjuhul tuleb vuugikonstruktsioon välja vahetada. Et seda ei juhtuks, on oluline pidev vuukide hooldamine, mis tõstab nende eluiga. Vuukidest tuleb eemaldada sinna sattunud prügi, et see ei takistaks vuugil korralikult töötamist (deformatsioonid ning vee äravool). Vuugi läheduses kattes esinevad praod remonditakse eelnevalt kirjeldatud pragude vuukimise teel.

2.2.2 Konstruktsioonidega seotud defektide remont

Pealesõitude kahjustused, mis on tingitud kaldasamba konstruktsioonide (tugisein, külgtiivad) purunemisest või nihkumisest, on üldjuhul põhjustatud pinnasesurvest kaldasamba

konstruktsioonidele. Nii kaldasamba tugiseina kui ka külgtiibade kahjustuste korral on ainsaks remontimise lahenduseks kaldasamba taguse täitepinnase eemaldamine, seejärel võimalusel kaldasamba ankurdamine pealesõidu pinnasesse ja külgtiibade omavaheline ühendamine spetsiaalsete tõmbidega, et edasine konstruktsioonide liikumine oleks takistatud ning lõpuks uue, tagasitäite koos pealesõiduplaadiga ehitamine. Uus tagasitäide võiks olla kergem kui eelmine või siis kihiti tugevdatud geotekstiiliga. Täpsemad lahendusvariandid on kirjeldatud käesoleva töö kolmandas peatükis. Kui tekkinud kahjustused konstruktsioonidele on tõsisemad, tuleb konstruktsioonid asendada uutega.

Pealesõiduplaati, mis on vajunud, ei pea aga tingimata välja vahetama. On meetodeid, kuidas vajumine likvideerida. Võimalik on vajunud pealesõiduplaati kergitada oma esialgsesse asendisse plaadi alla täitematerjali pumpamise teel (*slab jacking*). See tehnoloogia kujutab ennast vajunud plaadi sisse puuritud avade kaudu plaadi alla täitematerjali pumpamist (injekteerimist). Avad puuritakse läbi katendi ja pealesõiduplaadi kohtadesse, kus on toimunud vajumine või kus arvatakse olevad tühimik plaadi all. Seejärel pumbatakse plaadi alla täitematerjal (tsemendimört, tihe polüuretaanplastik), mis kergitab plaadi oma esialgsesse asendisse tagasi täites kõik tühimikud pealesõiduplaadi all ning samas tihendades aluspinnast. Kui aga pealesõiduplaadi vajumine on liiga suur, või ei saa seda täitematerjali pumpamise teel kergitada, tuleb pealesõiduplaat siiski asendada uuega. Sama kehtib ka purunenud pealesõiduplaadi puhul, mis ei tööta enam terviklikuna. [1: 47]

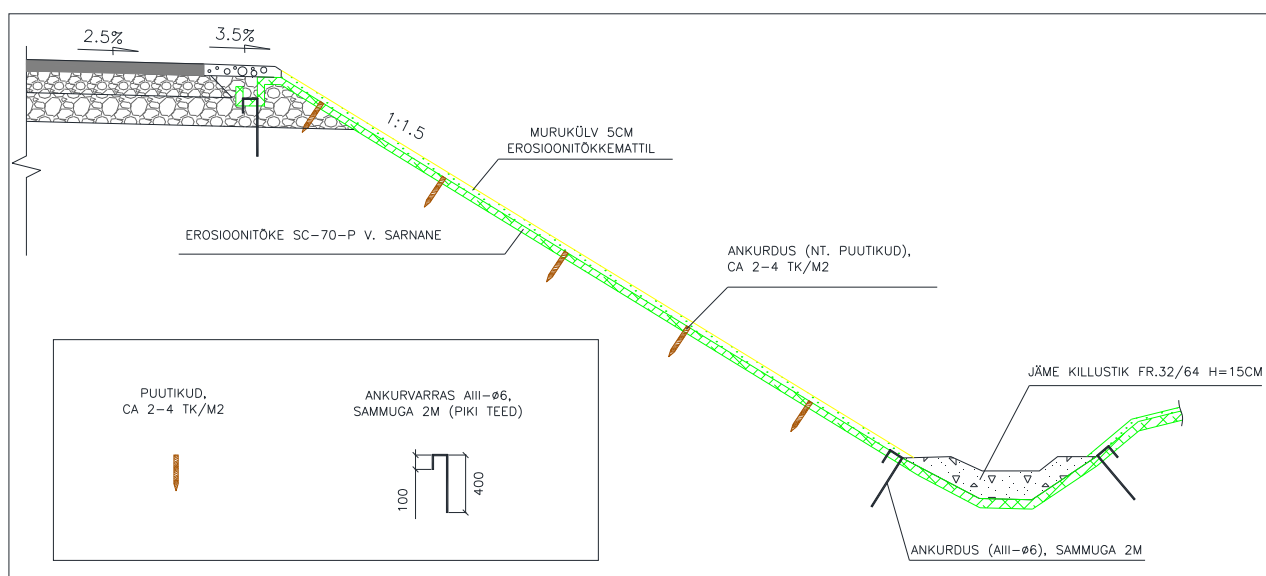
2.2.3 Hüdrololoogiliste defektide remont

Tihti peale on pealesõidu vajumise põhjuseks drenaaži ummistumine, purunemine või sootuks drenaaži puudumine. Tekkinud defektid, mis on seotud drenaažiga, saab parandada vastavalt drenaaži läbipesuga või uue drenaaži paigaldamisega (nii lahtisel meetodil kevamisega kui kinnisel meetodil puurimisega). Uue drenaaži paigaldamisel tuleb aga veenduda, et saaks valitud sobilik drenaažioru, selline, mis peab vastu pinnase ja liikluse koormusele. [15: 6/1]

Drenaažiga seotud probleemid võivad omakorda põhjustada pinnase erosiooni pinnase sees, mis tekitab tühimikke pealesõiduplaadi all. Tekkinud tühimikud on samuti võimalik täita täitematerjali pumpamisega läbi puuritud avade, kuid nii suure surve rakendamine, nagu pealesõiduplaadi tõstmisel, ei ole vajalik. Samasugust lahendust saab kasutada ka juhul, kui erosioon on toimunud koonusekindlustuse all. Remondimeetod on efektiivne just juhul, kui koonused on kindlustatud jäiga kindlustusega (suured betoonplaadid, munakivikindlustus seotud betooniga jms) ning pinnase uhtumine ei ole alati isegi esmapilgul tuvastatav. Koonusekindlustus on sellisel juhul oma esilagses

asendis, kuid tal puudub toetav aluspinnas. Pumbates läbi koonusekindlustuse puuritud avade kaudu tühimikesse täitematerjali, saab koonusekindlustus endale uue toetava aluspinna. Teiseks variandiks on koonusekindlustuse lammutamine, uue aluse ehitamine ning koonusekindlustuse taastamine.

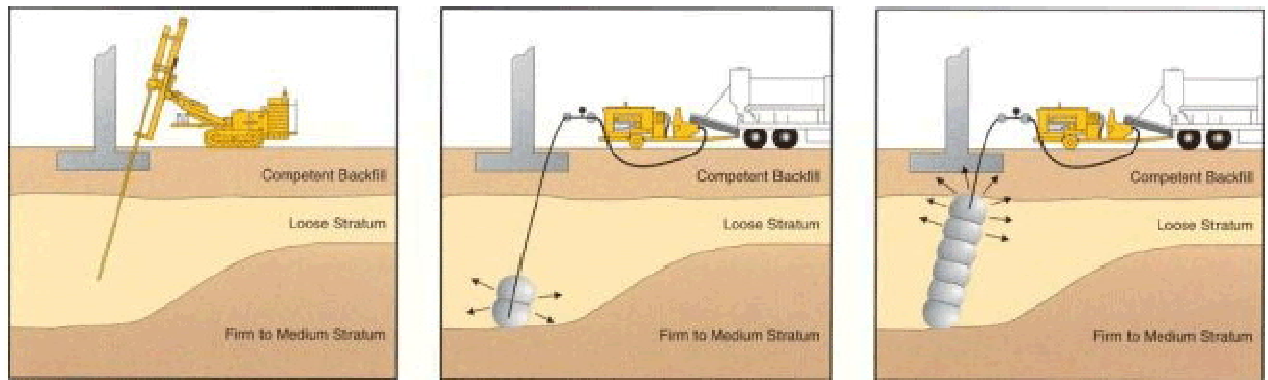
Erosiooni tekitatud defektid silla pealesõidu muldkeha nõlvadel remonditakse ärauhutud materjali lisamisega, kasvukihi paigaldamisega (koos seemnekülviga) ning erosiooni takistavate nõlvakindlustuste (õlgmatt, kookosmatt, geokärg jms) paigaldamisega. Õlg- ja kookosmatid ajapikku kõdunevad, kuid selleks ajaks on külvatud muru juba piisavalt tugeva juurestikuga, et nõlva omal jõul koos hoida ja sademevete eest kaitsta. Geokärg (täidetud mullaga või kilustikuga) on aga püsiv, samas kulukam lahendus.



Joonis 12. Nõlva kindlustamine erosioonitökkematiga [31]

2.2.4 Pinnase vajumisest tulenevate defektide remont

Kaldasamba vajumisel on vaja parandada kaldasamba aluse pinnase omadusi, suurendades erinevate meetmetega aluspinnase kandevõimet. Üheks selliseks meetmeks on jällegi aluspinnase stabiliseerimine pumbates sinna injekteerimise teel pinnast tugevndavat täitematerjali. Mõrdisegu pumbatakse puuraugu kaudu kaldasamba alusesse pinnasesse, kus see surub enda lähiümberuses aluspinnase osakesi kokku andes sedasi kaldasamba aluspinnasele parema kandevõime. Soovi korral võib see tehnoloogia mingil määral töötada ka radiaalselt töötava hüdraulilise „tungrauana“ kergitades kaldasammast. [16]



Joonis 13. Pinnase omaduste parandamine injekteeerimise teel [16]

Kui aluspinnas vajub liigselt raske täitepinnase tõttu on lahenduseks täitepinnase asendamine kergemaga (EPS plokid, vahtbetoon, kergkruus) või siis aluspinnase stabiliseerimine. Kergemate täitematerjalide põhjalikum analüüs on käesoleva töö kolmandas peatükis. Aluspinnase stabiliseerimine võib toimuda lubja või tsemendiga või siis aluspinnase tugevdamine tsemendi või kemikaalide injekteeerimise abil.

3 SILDADE PEALESÕITUDE LAHENDUSED

Silla pealesõidu muldkeha kõige vajumisohtlikumaks piirkonnaks on muldkeha osa, mis asetseb vahetult silla läheduses. Esiteks seetõttu, et silla läheduses on muldkeha tihendamine raskendatud, kuna tihendamine masinatega, mida kasutatakse ülejäänud pealesõidu muldkeha tihendamisel, ei ole võimalik. Teiseks on loodusliku aluspinnase vajumise oht silla läheduses suurem, kui ülejäänud muldkeha all, kuna lisaks rajatavale muldkeha pinnase raskusele mõjub aluspinnasele ka sillakonstruktsioonide raskus. Kolmandaks ohuks on sillalt tulevate sademevete ning silla all oleva veekogu põhjustatud erosioon, millele lisandub pealesõidu pinnasesse sattuvate vete poolt põhjustatud erosioon tätepinnases. Lisades nendele ohtudele sillal ja pealesõitudel aset leidva liikluse koormuse, on olemas kõik eeldused defektide tekkele silla pealesõitudel.

Sildade pealesõitude defektide ennetamiseks on oluline konstrueerida sild koos pealesõitudega arvestades liikluskoormustega sillal, geoloogiliste tingimustega silla ja pealesõidu all, ületatava veekogu voolukiirusega, niiskuspakkonnaga kuid ka majanduslike võimalustega. Tihtipeale on kõige efektiivsemad lahendused liiga kulukad ning seetõttu loobutakse nende kasutamisest. Pikemas perspektiivis on selline käitumine vale, kuna tulevikus kulutatavad summad defektide remontimiseks võivad olla kordades suuremad.

Aga mitte alati! Kõik, mis on ebatraditsiooniline ja innovatiivne, ei pruugi olla kulukas. Töö autor on nõus sellega, et esmalt tuleb arvestada olemasolevate ressurssidega, kasutades võimalusel materjale, mis on läheduses olemas. Kuid lahendusi, mida seni ei ole nii laialdaselt kasutatud, aga juba aastaid kasutavad teised, ei tohiks karta. Järgnevalt on toodud lahendusi sildade pealesõitude ehitamiseks. Mõned neist on traditsioonilised ja enamik juhtudel ka kõige mõistlikumad, mõned aga sellised, mida Eestis ei ole rakendatud või siis ei ole tahetud omaks võtta.

3.1 Pealesõitude muldkeha

Sildade pealesõitude muldkeha kujutab endast algsest maapinnast ülespoole jäävat mullet, mis nende rajatistega (nt silla kaldasammastega, sillasammastega, tugiseintega jne) külgneb. Kui

projektis ei ole näidatud teisiti või kui insener teisiti ei nõua, tuleb pealesõitude mulle ehitada sobivast pinnasest või juurdeveetud pinnasest. [9]

Silla pealesõidu täitematerjalidele ei ole Eestis otseselt piiranguid seatud, on vaid öeldud, et kasutatav täitematerjal ei tohi olla külmakerkeohtlik ning peab omama filtratsiooni vähemalt 2,0 m/ööpäevas [9]. Seega tuleks sildade pealesõitude muldkeha ehitamisel kasutada hästidreenivaid jämeteralisi pinnaseid (kruus ja liiv), mis sisaldavad vähem kui 10 % peenosist. Kindlasti ei tohiks täitematerjal sisaldada mittesidusaid pinnaseid, mis võivad vajuda liiklusest tuleneva vibratsiooni tõttu või siis väga plastseid pinnaseid, mida on keeruline tihendada.

Sildade läheduses tuleb mullet ehitada nii, et ehitustööd tehtaks mõlemal pool silda üheaegselt. Mulle tuleb ehitada kihtide kaupa, kusjuures iga kiht tuleb tihendada. Silla kaldasamba taha tuleb ehitada liiv- või drenpinnasest mulded filtratsioonimooduliga vähemalt 2 m/ööpäevas. Rajatistega vahetult külgnev täitepinnas tuleb paigaldada ja tihendada erinõudeid jälgides, kasutades vibro- või tampseadmeid. Sildade pealesõitudele võib teostada tagasitäite paigaldamist alles siis, kui on tagatud rajatiste (konstruktsioonide) vastavus tugevusnormidele. [9]

Pinnase niiskusesisaldus peab olema lähedane tihendamiseks vajalikule optimaalsele niiskusele. Tihendamise alguses võib niiskusesisaldus olla optimaalsest niiskusest madalam. Kui pinnas on liiga kuiv, tuleb seda niisutada veega. Selleks segatakse vesi ühtlaselt ja hoolikalt pinnasesse. Saadud pinnas peab olema ühtlane ja nõuetekohase niiskustasemega. Kui pinnas on liiga märg, tuleb seda õhutada seni, kuni pinnas omandab vajaliku niiskustaseme. [9]

Kaldasammaste ja tugiseinte esikülje poole jääv mulde osa tuleb joonistel näidatud kujul ja joonistel ära toodud kõrguseni valmis ehitada enne seda, kui alustatakse tagaküljepoolse muldeosa ehitamist. Raamkonstruktsioonide olemasolu korral tuleb kummagi kaldasamba taga oleva muldeosa ehitamist alustada ühekorraga, vältimaks horisontaalkoormuste tasakaalu rikkumist konstruktsioonile tervikuna. [9]

Lisaks traditsioonilistele silla pealesõidu muldkeha ehitamiseks kasutatavatele hästidreenivatele pinnastele on järgnevalt loetletud lahendusi, mida on edukalt rakendatud mujal maailmas:

- taaskasutatavate materjalide kasutamine täitematerjalina;
- täitepinnase omaduste parendamine geosüntetidega;
- vahtbatoon täitepinnase kasutamine;
- kergete täitematerjalide kasutamine.

3.1.1 Taaskasutatavad täitematerjalid

Sillal, mis asetseb piirkonnas, kus geoloogilised tingimused on soodsad (tugev aluspinnas, head pinnase materjalid), on mõistlik kasutada pealesõidu täitematerjalina kohalikku või juurdeveetavat hästidreenivat jämeteralist pinnast. Üldjuhul nii ka tehakse, kuid sellised tingimused on igati sobilikud ka materjalide taaskasutamiseks. Kui laboratoorsete katsetega on tõestatud, et taaskasutatav materjali (purustatud betoon, aheraine vms) omadused ajas ei muutu, on töö autori arvates mõistlik kasutada sildade pealesõitude täitematerjalina purustatud taaskasutatavat materjali segatuna hästidreeniva pinnasega. Selline täitepinnas on üldjuhul odavam ning omab kindlasti paremat kandevõimet, kui tavaline täitepinnas.

Purustatud materjali tükid ei tohiks aga olla suuremad $1/3$ tihendatava kihi paksusest ning nende osakaal pinnases peaks olema selline, et pärast tihendamist ei jääks täitepinnasesse tühimikke [24]. Ehitamisel tuleks järgida üldiseid nõudeid, mis on esitatud muldkeha ehitamisele sildade pealesõitudele.

3.1.2 Geosünteedidega tugevdatud täitepinnas

Põhiliselt kasutatakse geosünteede pinnaste tugevdamise otstarbel juhul, kui pinnas oma nõrkade tugevusomaduste tõttu ise ei suuda vastu võtta konstruktsiooni enda koormusest tingitud või ekspluateerimisel tekkivaid tõmbe- ja nihkepingeid. Need kantakse pinnastelt geosünteedile üle tekkivate nakke- (haardumine) ja hõõrdejõudude toimetel. [17: 14]

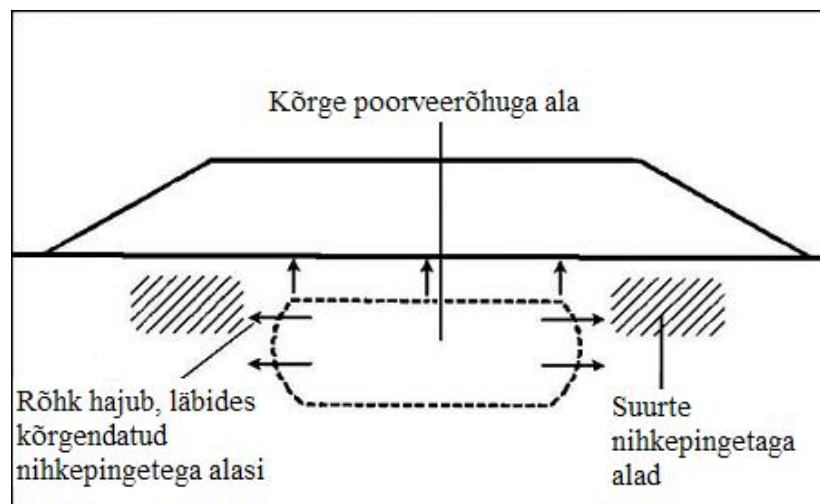
Kasutades silla pealesõidu muldkeha ehitamisel geosünteedidega armeerimist on võimalik vähendada täitepinnase edasist vajumist. Uuringud on näidanud, et armeerimata täitepinnas vajub armeeritud pinnasest 57 % rohkem [1: 37]. Ühtlasi omab armeeritud täitepinnas paremat kandevõimet ning silla kaldasambale mõjuv pinnase surve on korrektse armeerimise – geosünteed on paigaldatud iga tihendatava pinnasekihi alla ning otstest pööratud tihendatud kihi peale (vt joonis 22) - puhul kordades väiksem [1: 36].

Pinnaste tugevdamise funktsiooni täitva sobiva geosünteedi valimisel ei lähtuta ainult tema vastupidamisest paigalduspingetele ning veejuhtimisomadustest, vaid tuleb teha põhjalikud aluspinnase uuringud ning valida konkreetsele situatsiooni sobiv geosünteed. Projekteerimise algstaadiumis tuleb uurida aluspinnaste omadusi ja järeldada, kas ehitatav muldkeha [17: 14]:

- vajab permanentset tugevdamist, kuna nõrgad aluspinnased ei suuda kunagi hakata vastu võtma koormustest tingitud pingeid;

- geosünteediga tugevdamine on ajutine, kuni aluspinnased saavutavad mulde koormusest tingitud tihenemisel ise piisava tugevuse tagamaks muldkeha stabiilsuse.

Enamlevinud on olukord, kus pinnased vajavad lisatugevdamist, kuna muldkeha rajamisel aluspinnase ülekoormamise tulemusena kasvanud poorivee rõhu tõttu on aluspinnase kandevõime märkimisväärselt vähenenud. Sellises olukorras on geosünteedi ülesandeks vastu võtta tekkivaid pingeid senikaua, kuni poorivee rõhk normaliseerub ja pinnas saab tagasi oma tugevusomadused. Projekteerimisel tuleb arvestada asjaoluga, et poorivee rõhk väljub muldkeha all olevatest pinnastest külgede kaudu ning seega läbib ta mulde servade all olevaid väga suurte nihkepingetega alasid (joonis 14), mille tulemusel liiga nõrkade geosünteedide kasutamine võib viia kogu mulde (ebaühtlase) vajumiseni. [17: 15]



Joonis 14. Muldkeha tekitatud koormusest tingitud vee kõrge poorirõhu väljumine aluspinnasest [17: 15]

Armeerimisfunktsiooni täitval geosünteedil peab olema suur tõmbetugevus suhteliselt väikese venivuse juures vältimaks konstruktsiooni hilisemat kujumuutust, aga ka head roomavus- ning vastupidavusnäitajad seoses kasutatava geosünteedi pikaajalise tööega. Eeltoodud omaduste loetelu ja praktiliste näidete põhjal võib järeldada, et armeerimiseks ei sobi mittekoatud geotekstiilid oma suurte venivusomaduste tõttu. Antud funktsiooni juures leiavad kasutust kootud geotekstiilid, sest neil on väikesed roomavus- ja venivusnäitajad. Üldjuhul aga kasutatakse kootud geotekstiilide kalli hinna tõttu geovõrke eraldi või koos mittekoatud geotekstiilidega (joonis 15). Sellises liitkonstruktsioonis täidavad geosünteedid lisaks armeerimisele ka filtreerimise ja eraldamise funktsioone. [17: 16]



Joonis 15. Geovõrk ja geokomposiit (võrk + tekstiil) [17: 16]

3.1.3 Vahtbetoon täitepinnasena

Teiseks võimaluseks silla pealesõidu(plaadi) vajumise vältimiseks on vahtbetooni kasutamine pealesõidu täitematerjalina. Vahtbetoon on poorne kergbetoon, mis valmistatakse spetsiaalsete lisainete, tsemendi, liiva ja vee segamisel. Vahtbetooni valmistatakse mahumassiga 800-1600 kg/m³. Madalate mahumasside puhul on segu peaaegu isetasanduv ja kõrgematel veidi jäigem, võimaldades anda pindadele vajalikku taset ja kaldeid. [18]

kuivtihedus	kg/m ³	400	600	800	1000	1200	1400	1600
kuubiline survetugevus	MPa	1	2	3	4	8	12	18
soojusjuhtivus	W/mK	0,10	0,18	0,21	0,32	0,41	0,45	0,55

Joonis 16. Vahtbetooni tehnilised näitajad [18]



Joonis 17. Vahtbetooni tükk [19]

Vahtbetooni omadused ja eelised sildade pealesõitude täitematerjalina [7: 8]:

- hea töödeldavus, kerge paigaldada;
- kergesti pumbatav üldkasutatavate betoonipumpadega;
- teostatav ühe korraga ilma vibratsiooni ja mürata (tihendamiseta);
- ei toimu täitematerjali edasist vajumist (mahupüsivus);

- jääb ära hilisem kandevõime testimise vajadus;
- pealesõiduplaadi võib ehitada peale ilma killustikaluseta;
- täidab kõik tühimikud kaldasamba taga;
- pärast tahenemist ei avalda survet sillakonstruktsioonidele;
- on kerge kaaluga (kasutatav nõrkade aluspinnaste puhul);
- on hiljem kaevatav;
- on tänu tühimikele hästidreeniv.

Vahtbetooni miinuseks võrreldes tavalise täitepinnasega on tema kallis hind, kuid sellegipoolest oleks mõningatel erijuhtudel mõistlik kaaluda pealesõidu täitepinnasena vahtbetooni kasutamist.

Veel tuleks vahtbetooni kasutamisel arvestada sellega, et madal tugevus eeldab enne kasutuselevõttu suhteliselt pikka kivinemisaega. Survetugevus peaks olema ca 0,2 Mpa, see saavutatakse sõltuvalt kivinemistingimustest 18-24 tunniga. Välistingimustes ei ole soovitatav vahtbetooni paigaldada, kui esineb sademeid. [18]

Oluline on alumise drenaaži eelnev korrektne rajamine, eraldades see vahtbetoonist geotekstiiliga. Drenaažina kasutada drenaažitoru rõngasjäikusega SN8 ümbritsetuna killustiku ja geotekstiiliga. Kaldasamba seina ja valatava vahtbetooni vahele tuleb paigaldada polüstüreenplaadid paksusega 5 cm või drenaažimatid kaitstuna täiendavalt geotekstiiliga. Vahtbetooni paigaldamist illustreerib joonis 18. [7: 11]



Joonis 18. Kaldasamba tagune tagasitäide vahtbetooniga [14: 13]

Olgugi, et pärast vahtbetooni tahenemist on tagasitõite horisontaalsed koormused silla kaldasambale tühised, tuleb see dimensioneerida selliselt, et suudaks võtta vastu vahtbetooni paigaldamisaegset survet, kui vahtbetoon on veel vedel. Paigaldatud materjali keskosas kestab surve konstruktsioonidele kauem, kuna vesi ei haju ega aurustu selles piirkonnas nii kiiresti, kui ümbritseva pinnase läheduses ja ülaosas. [8: 40]

3.1.4 Kerged täitematerjalid

Sildade pealesõitude vajumine pealesõidu täitematerjali järeltihnemise või siis aluspinnase vajumise tõttu on laialtlevinud probleem. Lahenduseks on olemasoleva täitematerjali eemaldamine ning asendamine uue kergema täitematerjaliga nagu näiteks, lisaks eelnevalt kirjeldatud vahtbetoonile, vahtpolüstüreen (EPS) ning kergkruus. [19: 2]

EPS - laiendatud vahtpolüstüreen (*expanded polystyrene*) - on väikese tihedusega poorne soojusisolatsioonimaterjal, mis koosneb paisutatud polüstüreeni graanulitest, mis on veeauru toimel omavahel tihedalt kokku ühendatud. EPSi graanulitel on osaliselt avatud mikropoorid, kuhu vesi ei tungi, kuid veeauru liikumine neis toimub. Taoline mikroporne homogeenne materjal tagab konstruktsioonile suurepärase ehitusfüüsikalised ja mehaanilised omadused. [20]

Eestis kasutatakse EPS-i peamiselt üldehituses soojusisolatsioonimaterjalina, kui mujal maailmas (näiteks USA, Kanada, Austraalia) on viimasel aastakümnel järjest rohkem hakatud kasutama kerge täitematerjalina sildade pealesõitude ja mujalgi teedel muldkehana, kus on aluspinnas, mis ei pea vastu tavalise täitematerjali raskusele (vt joonis 19). Senimaani on EPS-i kasutamine kerge täitematerjalina ennast igati õigustanud. [7: 6]

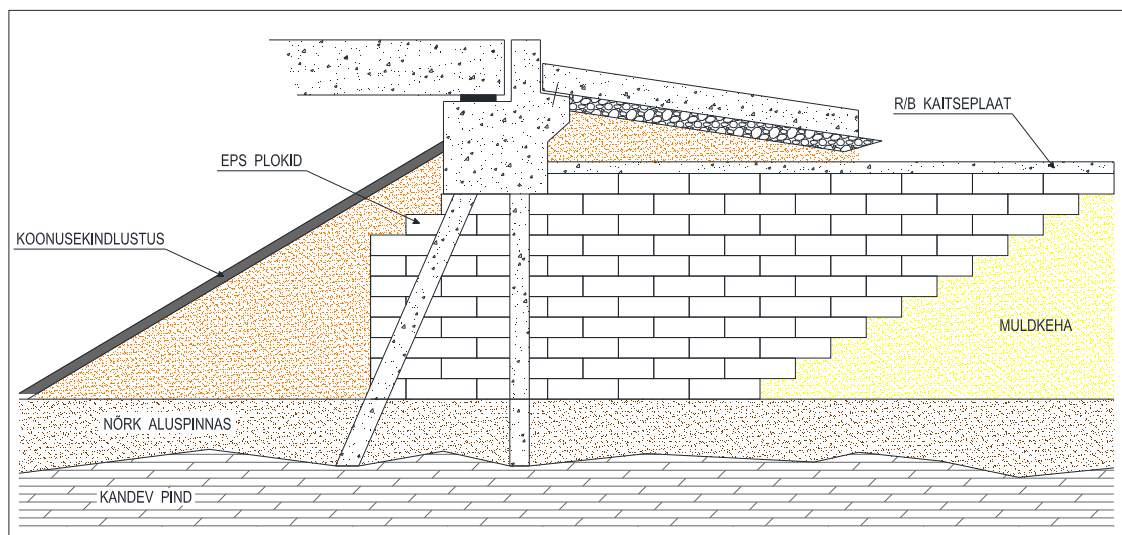


Joonis 19. Silla pealesõidu muldkeha ehitamine EPS-plokkidest [32]

Mitmete uuringute ja laboratoorsete katsetuste põhjal, mis on tehtud EPS-i sobivuse selgitamiseks kergtäitematerjalina, on jõutud järgmiste järeldusteni [19: 20, 21]:

- võrreldes tavalise tihendatud liivpinnasega on liikluskoormuse rakendamisel EPS-i plastilised omadused samasugused, kui mitte paremad;
- rataskoormuse tõttu tekivad juba väikeste koormuste juures jäädavad plastsed deformatsioonid, seega on elastsete katete puhul vajalik täiendava koormust hajutava kaitsekihi (betoonist plaat EPS-plokkide peal) rajamine, betoonkatete puhul plastseid deformatsioone ei teki;
- kasutatavate plokkide mõõtmete erinevused ei ole toonud kaasa erinevusi katsetulemustes, seega on EPS-plokkide kasutamine paindlik.

Joonisel 20 on kujutatud silla pealesõidu muldkeha ehitamist EPS-plokkidega. Plokid tuleb paigaldada siledale (tihendatud) aluspinnasele külg-külje kõrvale sedasi, et vuukide liinid omavahel ei kattuks. Plokkidevahelised tühimikud täidetakse liivaga. Plokid seotakse omavahel spetsiaalsete klambritega. Kuna EPS on tundlik mitmetele kemikaalidele (nt lekkiv kütus), tuleb plokkide peale rajada kaitsev raudbetoonist kiht paksusega 15 cm. Rajatud raudbetoonkiht omab ühtlasi ka plokkidele mõjuva liikluskoormuse hajutavat funktsiooni (elastsete katete puhul). Betoonplaadi peale rajatakse ca 0,6 kuni 1,0 m paksune hästidreenivast materjalist pinnasekiht, mille peale rajatakse omakorda silla raudbetoonist pealesõiduplaat. [7: 8]



Joonis 20. Pealesõidu muldkeha EPS-plokkidest [7: 9]

Teiseks sama efektiivseks kergeks täitepinnaseks on kergkruus. Kergkruus (tuntud ka keramsiidina) on üldnimetuseks ehitus- ja täitematerjalile, mis on looduslikuga võrreldes 4-6 korda kergem. Kergkruus on sõmer materjal, mis saadakse savi paisumisel 1150 °C pöördahjus. Kergkruusa toodetakse EVS - EN 13055 standardi järgi ja see omab CE märgistust. [21: 2]

Vaatamata oma kergusele on kergkruus tugev, külmakindel, hea soojusisolaator, ei karda niiskust ega kemikaale. Keraamilise tootena on kergkruus vastupidav enamike hapete, soolade, leeliste, õlide (ka bensiini) mõjudele ning korduvatele jäätumis-sulamisprotsessidele. Kergkruusas võib olla vett graanulite pinnal ning neisse imendunult. Kergkruusas oleva vee sisaldus sõltub keskkonnast, drenitud pinnases on see 30-40 % massist. [21: 2-3]

Teedehituses kasutatakse kergkruusa külmaisolatsioonina ning kerge täitematerjalina. Kergkruus vastab oma kandeomadustelt enim peenliivale. Tihendatud kergkruusa kiht talub koormust 0,2 MPa. Vajadusel tihendatakse kergkruus 0,5–0,6 m paksuste kihtidena vibroplaadiga. Kergkruustäide vajab tihendamist juhul, kui kihi paksus on üle 20 cm ja lubatud järelvajumine on väiksem kui 6-9 mm ning kui kihi paksus ei ole ühtlane ja järelvajumine põhjustab lubamatuid vajumiserinevusi. Tihendamisega välditakse järelvajumist või vähendatakse sellest tingitud vajumiserinevust. Tihendamiseks kasutada 0,5-1,0 kN vibroplaati. Kestus on üks minut 1m² pinna kohta. Käsitsi paigaldatuna on kergkruusa tihenemine kuni 10 %, puhuriga paigaldades kuni 5 %. Tihendada võib läbi kergkruusakihi paigaldatud (vineer)plaadi, et vältida vibraatori kaevumist kruusa. Nõuetekohaselt tihendatud kruusakihil on võimalik käia sellesse vajumata. [21: 6]

Nõrgale pinnasele ehitades väldib kergkruusa kasutamine vajumised, muldkeha murdumise ning seoses sellega parandatakse konstruktsiooni püsivust. Kergkruusakihi lisakandevõime saavutatakse stabiliseerides seda tsemendi või bituumenibaasiliste ainetega või siis armeeritakse geotekstiiliga. Kergkruusa abil saab vähendada külgsuunalist ja vertikaalset pinnasesurvet silla kaldasambale ja külgtiibadele. Vaivundamentide puhul võib kergkruusa abil vähendada täitepinnase kaasaviimise vaiade poolt ja pinnasele tekkivat lisakoormust. [21: 6]

Teedehituses kasutatakse kergkruusa fraktsiooniga 10/20 mm. Kasutatava kergkruusa omadused [21: 6]:

- tihendatud kergkruusakihi vajum 3% pideva 200 kN/m² koormuse puhul;
- E-väärtus 30-75 MN/m² sõltuvalt kergkruusa kihi tihedusest;
- sisehõõrdenurk 33-37°;
- soojaerijuhtivus $\lambda = 0,16 \dots 0,19$ W/mK (niiskus 10%);
- mahukaal konstruktsioonis 400-600 kg/m³;
 - kuiv kergkruusast mulle (W=10 mahu%) 500 kg/m³;
 - ajutiselt vee all 600 kg/m³;
 - püsivalt vee all 700-1000 kg/m³

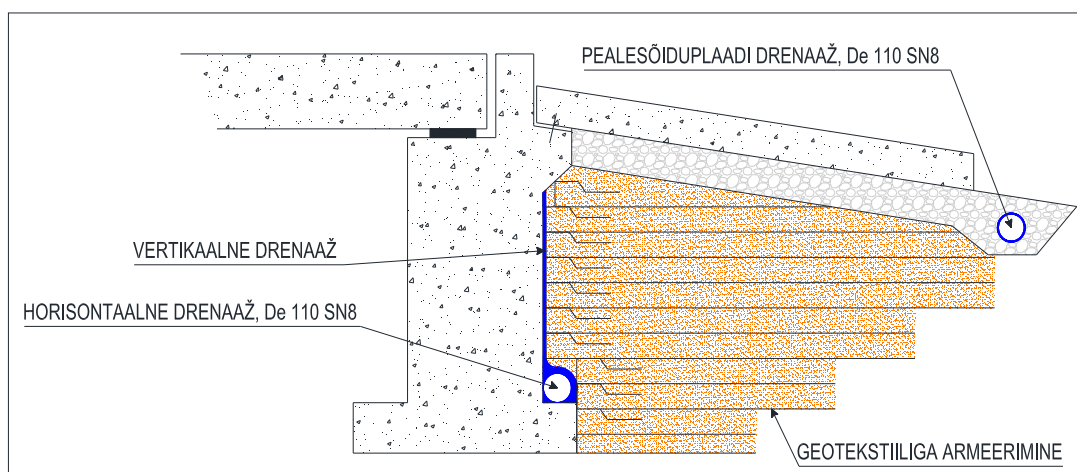
Kergkruusa heade omaduste ja võrdlemisi odava hinna tõttu eelistatakse sageli sildade pealesõitude kergekaalulise tagasitäite ehitamisel kergkruusa EPS-plokkidele.



Joonis 21. Kergkruusa kasutamine pealesõidu tagasitäitematerjalina [21]

3.2 Drenaaž

Korralik drenaažisüsteem silla pealesõidu muldkehas, eriti just kaldasamba taga ja pealesõiduplaadi otsa all, aitab vältida erosiooni pinnases ning vähendab hüdrostaatilist survet kaldasamba konstruktsioonidele. Efektiivne drenaažisüsteem kaldasamba taguses täitepinnases koosneb pealesõiduplaadi drenaažist ja kaldasamba tagusest drenaažist, mis omakorda koosneb vertikaalsest ja horisontaalsest drenaažist (joonis 22).



Joonis 22. Silla pealesõidu drenaažisüsteem

Kindlasti võib vastavalt olukorrale kasutada veel täiendavaid dreene, kuid vajaliku tulemuse saavutamiseks piisab üldjuhul ka antud lahendusest. Pigem kasutatakse Eesti sillaehituses tunduvalt

tagasihoidlikumaid drenaažisüsteeme. Praktika näitab, et enamjaolt on ainsaks silla pealesõidu muldkeha drenaažiks drenitoru pealesõiduplaadi otsa all, kui sedagi. Töö autori arvates ei ole drenaaži pealt kokkuhoidmine just kõige mõistlikum, kuna drenaažisüsteemide rajamine on võrdlemisi odav ettevõtmine, kui seda teha koheselt ehitustööde käigus.

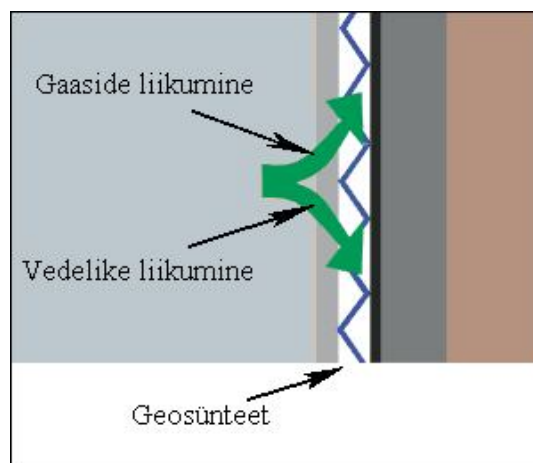
3.2.1 Pealesõiduplaadi drenaaž

Silla dekiplaadilt mööda hüdroisolatsiooni pinda ning läbi katendi pealesõiduplaadile sattunud vesi liigub mööda pealesõiduplaati selle madalama otsa suunas. Takistamaks vete liikumist pealesõiduplaadi alla silla kaldasamba tagusesse pinnasesse tuleb rajada pealesõiduplaadi otsa alla horisontaalne PE või PVC torust drenaaž läbimõõduga De 110 mm, minimaalse rõngasjäikusega SN8.

Toru peab olema ümbritsetud killustiku ja geotekstiiliga või siis mähitud (nt kookosega), et takistada pinnaseosakeste või juurte sattumist drenitorusse. Drenaaži otstesse ehitatakse kindlustatud väljaviigud pealesõidu muldkeha nõlvadest. Väljaviigud peavad olema suletud võredega, et takistada võõrkehade (nt väikeloomade) sissepääs drenitorusse. Võred peavad olema hõlpsasti eemaldatavad, lihtsustamaks drenaaži regulaarset kontrollimist ja puhastamist.

3.2.2 Kaldasamba tagune drenaaž

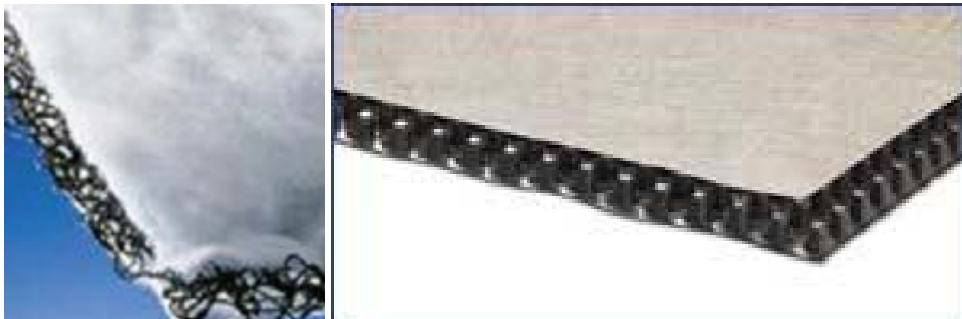
Geosünteedi omadust juhtida vett ja gaase mööda oma tasapinda nimetatakse tasapinnaliseks vooluks ehk drenimiseks mööda oma tasapinda. Erinevates situatsioonides peab kasutatav materjal koguma risti oma tasapinnaga endasse sademe- ja pinnaseveed ning juhtima need mööda oma tasapinda vastavatesse kogumiskohtadesse või, vastavalt ette nähtud funktsioonile, olema ka suuteline oma tasapinnas koguma ja juhtima gaase pinnastest välja (joonis 23) [17: 18].



Joonis 23. Vedelike ja gaaside liikumine pinnastes [17: 18]

Tasapinnalise voolu funktsiooni omavate geosünteedide üheks kasutusala on vertikaaldreenid tihenemis- või vajumisprotsessi kiirendamiseks. Selleks paigaldatakse vastava seadmega pikad tahikujulised drenid pinnasesse ning seejärel koormatakse pinnas üle. Vertikaaldreenid aitavad vähendada kokkusurutud pinnastes tekkivat poorirõhku ning kiirendavad konsolidatsiooniprotsessi [17: 18].

Kasutades geotekstiile drenidenä, tuleks valida suhteliselt paks mittekoatud materjal, millel on head drenivad omadused mööda oma tasapinda. Parema tasapinnalise voolu tagamiseks on välja töötatud spetsiaalsed geokomposiitmaterjalid, mis koosnevad heade tasapinnaliste veejuhtimisomadustega monokiudsest südamikust ja vähemalt ühest separeerimis- ja/või filtreerimisfunktsiooni täitavast geotekstiili kihist (joonis 24). [17: 19]



Joonis 24. Hea tasapinnalise voolu omadustega geokomposiitmaterjalid [17: 19]

Projekteerides drenaažisüsteemi, mis põhineb geosünteedi tasapinnalisel voolul, on oluline pärast tasapinnalise veevooluhulga näitaja jälgida ka selle materjali filtreerimis- ja eraldusfunktsioonideks vajalikke omadusi. Peamiseks riskiks on geosünteedi pikemaajalise eksploatatsiooni käigus ilmnedä võiv tekstiili pooride ummistumine. Seetõttu kasutatakse geosünteedide tasapinnalist voolu enamasti lühiajaliste rakenduste korral [17: 19].

Kasutatav geokomposiit tuleb paigaldada kaldasamba ja pealesõidu muldkeha vahele fikseerides see enne tagasitäitematerjali paigaldamist seinä külge liimiga või muude sobilike kinnitusvahenditega. Katta tuleb kogu kaldasamba tagune sein – pealesõiduplaadi toest kuni taldmikuni. Laboratoorsetest uuringutest on järeldatud, et vertikaalse drenaaži kasutamine aitab vähendada pealesõiduplaadi vajumist ja tühimike teket kuni kolm korda enam võrreldes ilma vertikaalse drenaažita poorse pinnasega [8: 3].

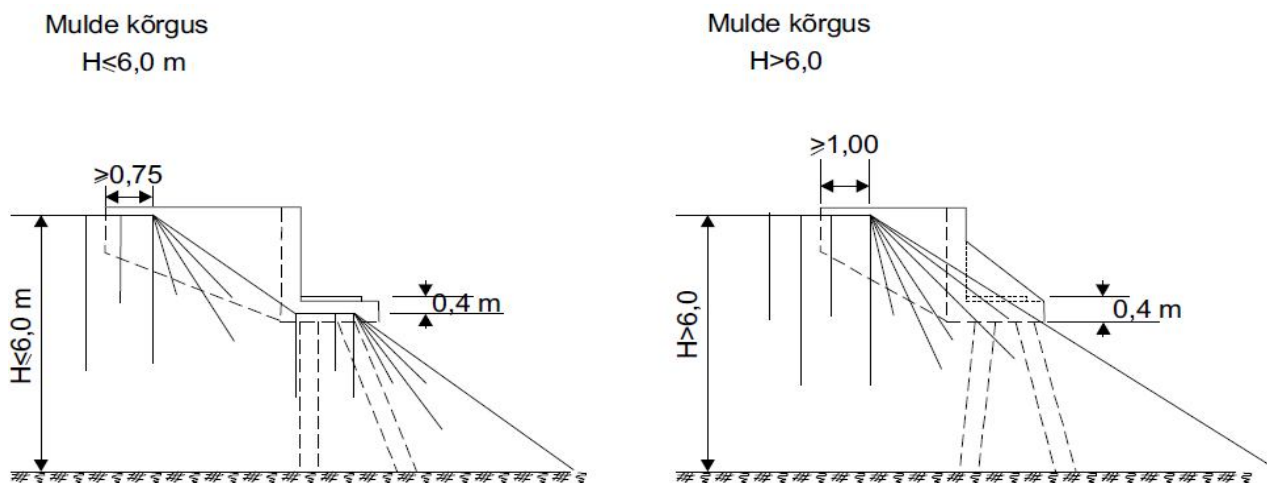
Koos vertikaalse drenaažiga tuleb kasutada vete kokkukogumiseks ja eemalejuhtimiseks ka horisontaalset drenaaži, mis tuleb paigaldada silla kaldasamba taldmiku juurde. Nõuded drenaažitorule on samad, mis pealesõiduplaadi drenaažil, efektiivsema tulemuse annab dreni

ümbristsemine killustiku ja geotekstiiliga või siis vertikaalse dreneerimisega kasutatud geokomposiidiga (vt joonis 22).

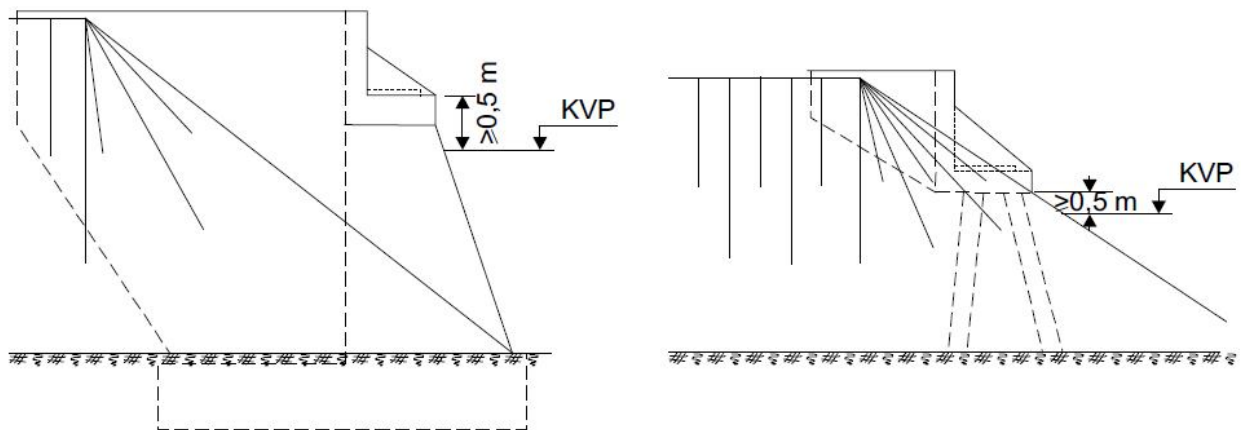
3.3 Nõlvade ja koonuste kindlustamine

Silla pealesõidu teepinna ning teetammi kõrval oleva maapinna kõrguste vahe sujuvaks üleminekuks rajatakse sillale koonus, mis rajatakse teetammi ning silla kaldasamba ühinemispunkti lähedusse. Silla koonuste rajamisel tuleb täita järgmisi nõudeid [22: 156]:

- kaldasambas peab jääma silla koonuse sisse vähemalt 0,75 m ulatuses kuni 6 m kõrguse mulde korral ja vähemalt 1,0 m ulatuses üle 6 m kõrguse mulde korral;
- silla koonuse nõlv peab jääma 0,4 m madalamale kui tugiosade alusplaat või külgserv; esiserv;
- silla koonusest väljaulatuval kaldasambal ei tohi koonuse aluse lõikejoon ulatuda samba servast ettepoole;
- silla koonuse sees oleva kaldaasmba esiserva ja koonuse lõikejoon peab jääma arvutuslikust kõrgeveepinnast 0,5 m võra kõrgemale;
- silla koonusest väljaulatuval kaldasambal peab koonus olema esimese 6 m ulatuses (arvestades ülalt alla) mitte järsema nõlvusega kui 1:1,25 ning järgmise 6 m ulatuses mitte järsema nõlvusega kui 1:1,5 kogu koonuse ulatuses;
- silla koonuse osal, mis jääb üleujutuse alla, ei tohi nõlvus olla järsem kui 1:1,5, sama nõlvus peab olema ka koonusel, kui kaldasambas on koonuse sees; üle 12 m kõrguse mulde silla koonuse nõlvus tuleb määrata nõlva püsivuse arvutusega;
- silla koonus ja kaldasamba tagune mulle peavad olema pikkuses, mis võrdub mulde kõrgusega pluss 2 m.



Joonis 25. Kaldasamba paiknemine sillakoonuses [22: 157]



Joonis 26. Silla koonusest väljaulatuv kaldasammas ja kaldasamba paiknemine kõrgveepinna suhtes [22: 157]

Silla koonused peavad olema hooldatud – puhtad taimedest ja prahist, defektideta. Koonused peavad olema kindlustatud. Koonusekindlustuse toetamiseks ja püsivuse tagamiseks tuleb rajada kogu ulatuses koonusekindlustuse alaosasse tugipruss ning külgedele toestav raudbetoonist renn või trepp. Silla koonus peab olema selliselt kindlustatud, et kindlustuse ülemine serv oleks kõrgemal arvutuslikust kõrgveepinnast (koos paisutuse ja lainetusega) [23]:

- keskmisel sillal mitte vähem kui 0,5 m;
- väikesel sillal ja truubil mitte vähem kui 0,25 m.

Sillakoonuse nõlvad kujundatakse selliselt, et saavutatakse ettenähtud nõlva kaitse ning vajadusel aluse või filterkruusa täielik paksus. Projekt võib seada täiendava nõude filterkruusa või filtertarindi kihi rajamiseks nõlvkatte alla. Enne nõlvkatte rajamist tuleb aluspinnas korralikult tihendada ja siluda, et tagada nõlva tasetus ja ühtlus. [23]

Sõltuvalt sillakoonuse kindlustuse liigist on soovitatav nõlva kalle [23]:

- mätastega kindlustamine – 1:2;
- ühekihiline kivisillutis – 1:2;
- kahekihiline kivisillutis – 1:1,5;
- kivipuiste – 1:2;
- killustik geokärjel – 1:1,5;
- betoonplaadid (raudbetoonplaadid) – 1:2;
- gabion kividest – 1:1,5.

Sillakoonuse kindlustamisel mätastega tuleb kasutada mättaid mõõtmetega vähemalt 20x20 cm ja paksusega vähemalt 5 cm. Mätaste muru peab olema terve. Mätaste äraliikumise vältimiseks tuleb mättad vajadusel kinnitada puutikkudega aluspinnasesse. Mättad peavad säilima stabiilsete ja defektivabadena, vähemalt 80 % alast peab olema kaetud muruga. [23]

Kivipuiste ja kivisillutise rajamisel paigaldatakse kivid käsitsi otse pinnasele või kruusalusele. Kivide paigaldamisel tuleb kõigepealt paigaldada tihedalt üksteise kõrvale suuemad kivid ja hiljem nende vahele sobitada väiksemad kivid ja kivikillud nii, et nõlva pind oleks võimalikult ühtlaselt kaetud. Kivide minimaalne paksus on 150 mm. [23]

Tsemendiga täidetud kivipuiste rajamisel paigaldatakse kivid eelpool kirjeldatud viisil käsitsi. Kividevahelised tühimikud täidetakse liiva-tsemendi seguga. Tsementmördiga kivipuistes kasutatavad kivid tuleb pärast paigaldamist koralikult veega niisutada. Mört tuleb paigaldada märgadele kividele ja see peab kividevahelised vahed täielikult täitma. Mörti tohib paigaldada ainult sobiva ilmaga ning seda tuleb kaitsta külmumise eest vähemalt 4 päeva. Betoonplaatidest nõlvakindlustus tuleb rajada ühetaolistest betoonplaatidest niimoodi, et see lebab kindlalt ja ühtlaselt kaldel. Betoonplaadid tuleb paigaldada horisontaalselt ja paralleelsete kihtidena ja selliselt, et järjestikuste kihtide vuugid on kivide nihkega katkestatud. [23]

Nõlva kindlustamisel geokärje ja killustikupuistega kasutatakse keokärge kõrgusega 75 – 100 mm. Geokärjed on meekärjekujulised tarindid, mis valmistatakse pressitud polüetüleenist ja need on ilma keevisliideteta. Paigaldamisel avaneb geokärg järk-järgult. Avatult kujutab geokärg endast 100 – 300 mm läbimõõduga korrapäraselt paiknevate ja omavahel ühendatud kärjepesadega pinda. Geokärjed kinnitatakse piki nõlva vaiadega. Vaiade vahekaugus määratakse projektiga. Vaia läbimõõt peab vastama tootjapoolsetele juhiste või projektile. Niipea kui geokärjed on lahti tõmmatud ja kärjepesad killustikuga täidetud, muutub tarind monoliitseks. Monoliitsus välistab geokärgede libisemise isegi järskudel nõlvadel. Kuna geokärje ja killustiku komposiittarind on hea veeläbilaskvusega, siis imendub sademetevesi sealt kergesti läbi. [9]

Raudbetoonist koonusekindlustus ehitatakse 10 cm paksusest kohapealvalatavatest raudbetoonplaatidest. Aluseks on killustikalus, millele paigaldatakse enne betoonivalu ehituskile, et betooni vedelam osa ei imbuks alusesse. Vältimaks temperatuuripragude teket betoonist koonusekindlustuses rajatakse koonusele puidust vaheraketised. Puidust raketist pärast betooni valamist ei eemaldata, raketis peab olema immutatud puidust. Puidu immutusklass A: EN 351 P8/HC4 või parem. Kasutatakse betooni C 30/37 XF4 KK4. [24: 17]

Gabioon on traadist võrku või korvi asetatud kivipuiste. Enne gabioonkonstruktsiooni rajamist tuleb rajada projektile vastav vundament. Gabioonid tuleb valmistada nii, et nende küljed, otsad, kaas ja membraanid saab objektile monteerida nõutava suurusega nelinurkseteks korvideks. Kõik servad tuleb kokku siduda või klammerdada nii, et ühenduskohad on vähemalt sama tugevad, kui võrk ise. Sidumiseks kasutatava traadi otsad tuleb kinnitada, keerates need ümber servades oleva traadi. Korvide servas olevad traadiotsad tuleb omavahel kokku siduda, samuti ülemise ja alumise korvi traadiotsad. Sama tootja korvid peavad olema ühelaiused ja nende lubatav hälve on 5% tootja andmetest. Kivid tuleb asetada korvidesse ja tihendada nii, et gabioonkorvi ühiku mass oleks vähemalt 1600 kg/m³. Täide tuleb tihendada maksimaalselt 350 mm kihtide kaupa. Kui traate tuleb jätkata, siis jätkukohad peavad jääma tihendatud kihtide vahele. Korvid ja kiht peavad olema mõistlikuse piires sirged ja vastama joondusele ning kaldele. [23]

3.4 Pealesõiduplaadid

Kohas, kus silladekk läheb üle silla pealesõiduks, tuleb ette näha silla pealesõiduplaad. Pealesõiduplaadi ülesandeks on vähendada liikuvast koormusest tekkivat horisontaalset reaktsiooni kaldasambale, samuti dünaamilise ehk löökoormuse mõjusid tee muldkeha ning kaldasamba ühenduspiirkonnas [23].

Pealesõiduplaad rajatakse kaldasamba taguse tihendatud täitepinnasele ehitatud killustikaluse peale. Pealesõiduplaad valmistatakse raudbetoonist C 35/45 XF4 KK4 ja võib olla valatud kohapeal või monteeritav. Killustikaluse ehitamiseks kasutatakse killustikku fraktsiionga 16/32 mm, aluse paksuseks on 15–20 cm. Enne kohapeal valatava pealesõiduplaadi ehitamist paigaldatakse killustikalusele ehituskile, et takistada betooni vedelama osa imbumist alusesse. Kaldasamba konstruktsiooniga kokkupuutepiirkonnas eraldaatkse pealesõiduplaad enne plaadi valamist paigaldatud ehituskilega või õhukese vahtplastiga. [24: 15-16]

Üldjuhul rajatakse pealesõiduplaad kalde all sedasi, et üks plaadi ots toetub ankurdatult kaldasamba seinale astmele ning teine (madalam) ots sõltuvalt geoloogilistest tingimustest killustikalusele, vundamendile või siis vaialusele. Pealesõiduplaadi soovituslik kalle on 10 %, kuid oluline on, et madalam ots asuks allpool külmumissügavust vältimaks pealesõiduplaadi otsa alla rajatava drenaaži külmumist. Pealesõiduplaadile antakse kalle peamiselt kahel põhjusel: tagada pealesõiduplaadile sattunud vete äravool ning muuta üleminek pealesõidult dekiplaadile sujuvamaks. Pealesõiduplaadi pind peab olema kaitseks vete eest hüdroisoleeritud.

3.4.1 Pealesõiduplaatide liigid

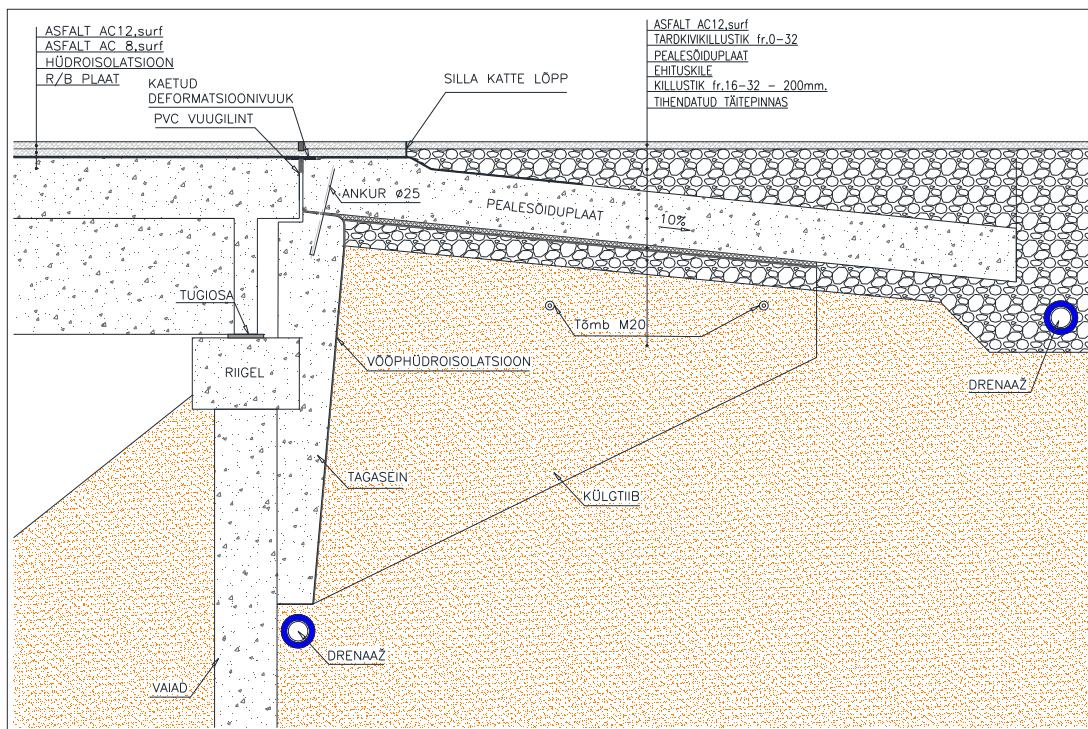
Pealesõiduplaadi kaldasamba poolse otsa sügavus on projektiti erinev. Samuti pealesõiduplaadi kuju ja kokkupuute lahendused külgtiibadega ning pealesõiduplaadi madalama otsa toetamise lahendused. Uurides erinevaid sildade ehitus- ja remondiprojekte ning arvestades omi tähelepanekuid praktikas, on töö autor liigitanud pealesõiduplaadid alljärgnevalt:

- kõrgelasetsev pealesõiduplaat;
- sügavalasetsev pealesõiduplaat;
- kõrgendatud servadega pealesõiduplaat.

Kõrgelasetsev pealesõiduplaat võib olla konstrueeritud selliselt, et pealesõiduplaat asetseb kogu ulatuses vahetult teekatte all või siis selliselt, et pealesõiduplaadi algus (kaldasamba poolne ots) asetseb vahetult teekatte all ning lõpp sügavamal teekatte killustikaluse all.

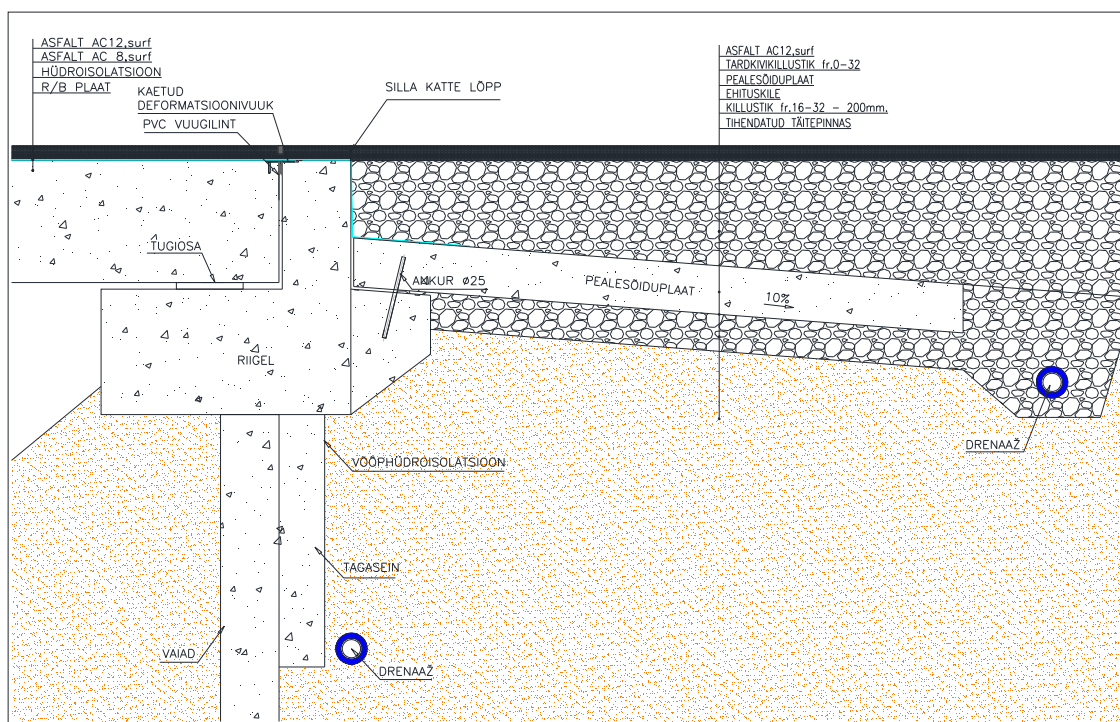
Esimene variant neist on laialtlevinud riikides, kus ehitatakse rohkelt jäiksid katteid (USA, Kanada, Austraalia). Kuna jäikade katete kasutamist Eestis praktiliselt ei esine, siis pikemalt sel teemal töös ei peatuta, olgugi et jäikade betoonkatete kasutamine sildade pealesõitudel võib olla pealesõitude pikemaalisemat vastupidamist silmas pidades väga mõistlik lahendus.

Erinevalt eelmisest variandist on kõrgelasetsevat pealesõiduplaati, mis on ehitatud kaldega, kasutatud Eesti sillaehituses päris sagedasti. Eriti just eelmistel aastakümnetel. Selle lahenduse suurimaks plussiks on sujuv üleminek silla dekiplaadilt pealesõidule. Kuna silla konstruktsiooni ja pealesõidu materjalide tugevuse erinevust on muudetud sujuvalt, siis silla ja pealesõidu ühinemiskohal vajumiste tekitatud kõrguste vahe tekkimise tõenäosus on väga väike. Puuduseks on aga veokite ratastelt tuleva koormuse peaaegu vahetu mõju pealesõiduplaadile, mis tekitab plaadi purunemise ohtu. Teiseks tuleks plaadi kaldasambapoolne ots konstrueerida selliselt, et esimene meeter plaadi pinnast oleks teekattega paralleelne ning siis jätkuks astmega edasine plaadi ettenähtud langus (vt joonis 27). Sedasi lukustub teekatte killustikalus tekitatud astme taha.



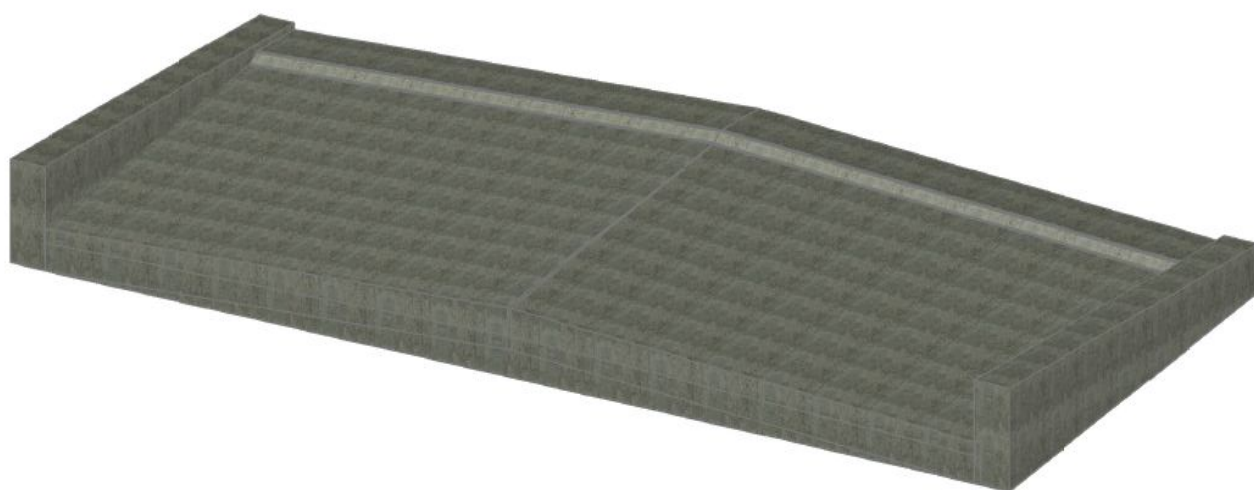
Sügavalasetsev pealesõiduplaat on konstrueeritud selliselt, et plaadi kaldasambapoolse otsa pealmine pind on kuni 50 cm allpool dekiplaadi tasapinda (sügavam plaad kaotaks oma mõttekuse). Sellise lahenduse plussiks on pealesõiduplaadi peal kasutatava teekatte killustikaluse parem lukustumine ning katte ja killustikaluse poolt liikluskoormuse hajutamine, mille tulemusena plaadi purumenise oht on oluliselt väiksem. Miinuseks on aga killustikaluses kasutatava materjali purunemine tugeva pealesõiduplaadi ja teekatte vahel. Selle vältimiseks tuleks kasutada erinevalt ülejäänud maanteest katte killustikaluses tugevamat tardkivikillustikku (LA25).

Probleem on nimelt selles, et nõrgem ja kloriide karterv paekivikillustik ei pea tahkel raudbetoonist pealesõiduplaadil läbi katte tulevale liikluskooormusele ajapikku vastu. Killustik puruneb ning tekkinud peenem fraktsioon kaob killustikaluse tühimikesse, mis omakorda viib katte vajumiseni ja (võrk)pragude tekkimiseni (vt joonis 2). Siinkohal on kindlasti oluline kasutatava killustiku korrektne tihendamine ning soovitatav on kasutada pealesõiduplaadi peal killustikku fraktsiooniga 0/32 või 8/32 mm. Õnneks näitab viimaste aastate praktika Eesti sillaehituses, et pealesõiduplaatide peal kasutatakse katte killsutikalusena aina rohkem tardkivikillustikku paekillustiku asemel.



Joonis 28. Sügavalasetsev pealesõiduplaat

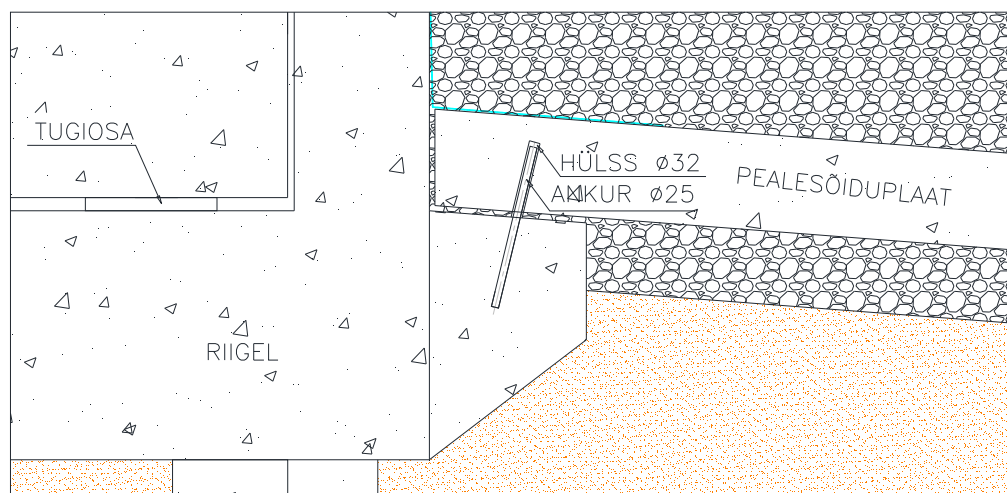
Kõrgendatud servadega pealesõiduplaat sobib kasutamiseks sildadel, mille pealesõitude muldkeha kõrgus on madal ega vaja otseselt kaldasamba külgtiibasid. Kõrgendused plaadi külgedel on aga vajalikud, et takistada killustikaluse liikumist külgsuunas, mis tavaliselt on külgtiibade üheks ülesandeks. Kõrgendatud servadega pealesõiduplaat võib asetseda nii kõrgel kui ka sügaval. Asetsemise sügavusest sõltub külgmiste kõrgenduste kõrgus. Külgmiste kõrgenduste ülaosa on kujult ühesugune silla servaprussiga olles sellele pikenduseks.



Joonis 29. Kõrgendatud servadega pealesõiduplaat

3.4.2 Pealesõiduplaatide ankurdamine ja toestamine

Pealesõiduplaadi kaldasambapoolne kõrgem ots toestatakse kaldasamba seinal olevale astmele. Pealesõiduplaat ankurdatakse astmele metellvarraste ($\varnothing 25$ mm) abil selliselt, et kaldasamba seina astmes olev varda osa on valatud betooni ning plaadis olev varda osa on enne pealesõiduplaadi valamist ümbritsetud ülaosast suletud PVC toruga ($\varnothing 32$ mm). Vardad betoneeritakse astmesse sammuga 1 m. Sellise ankurduse eesmärgiks on pealesõiduplaadi fikseerimine oma kohale ilma plaadi monolitiseerimiseta kaldasambaga ning väiksemate liikumiste võimaldamine ühenduskohas. Näiteks, kui kaldasammas peaks mingil määral vajuma, ei teki pingeid pealesõiduplaadi ja kaldasamba ühenduskohas.



Joonis 30. Pealesõiduplaadi ankurdus

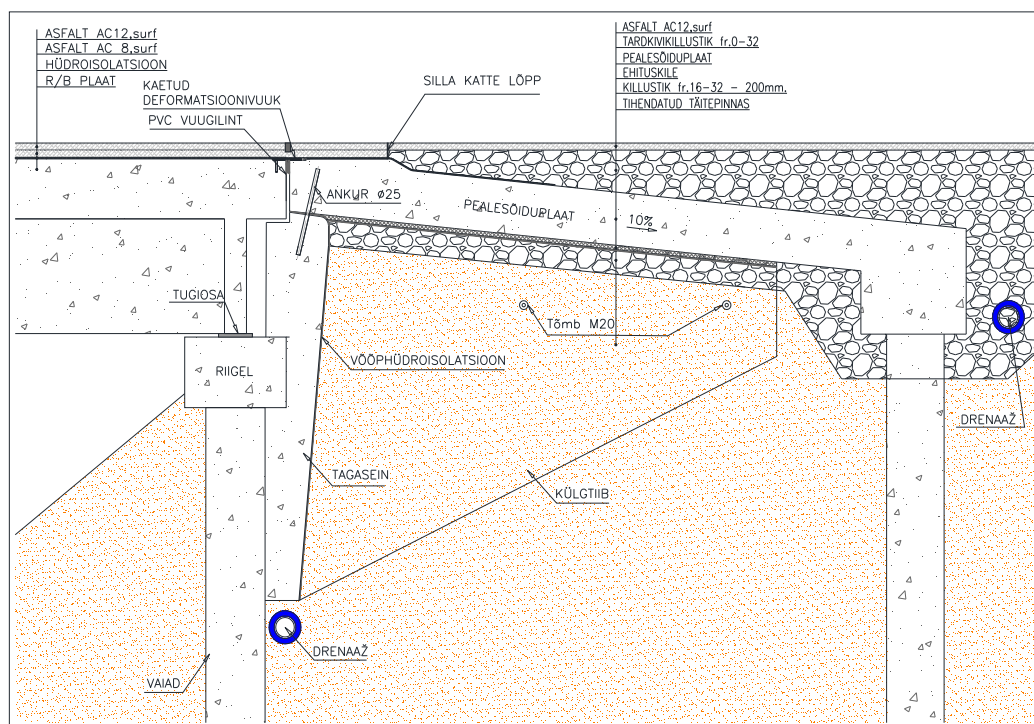
Pealesõiduplaadi toestamise viisist tulenevalt on töö autor jaganud pealesõiduplaadid omakorda alljärgnevalt:

- pealesõiduplaat killustikalusel;
- pealesõiduplaat jaotusvundamendil;
- pealesõiduplaat vaivundamendil.

Pealesõiduplaat, mis on rajatud ilma lisanduva toestamiseta, ehitatakse kogu ulatuses killustikalusele paksusega 20 – 25 cm. Kasutamiseks sobib paekivikillustik (LA 30) fraktsiooniga 16/32 mm. Elastsusmoodul tihendatud alusel peab olema vähemalt 150 MPa. Soovitav on kasutada killustikaluse all geovõrku koos geotekstiiliga. Geosünteedide selline kooskasutamine esiteks eraldab (geotekstiil) killustikaluse selle all olevast tätepinnasest ning lukustab (geovõrk) killuskiraluses kasutatava killustiku andes sedasi alusele parema kandevõime ning vähendades edasise pealesõiduplaadi vajumise ohtu. Enne pealesõiduplaadi betoonivalu kaetakse killustikalus ehituskilega. [24: 15-16]

Kui killustikalusest üksinda ei piisa (suur liikluskoormus, kõrge mulle või halvad geoloogilised tingimused), rajatakse pealesõiduplaadi otsa alla raudbetoonist jaotusvundament (lintvundament). Vundamendi alla rajatakse omakorda killustikalus ja drenaaž sarnaselt pealesõiduplaadile. Eriti nõrkade aluspinnaste korral (nt turbapinnased ja nõrgad veega küllastunud savid) rajatakse pealesõiduplaadi otsa alla vaivundament, mis koosneb vaiadest ja koormust endale jaotavast rostvargist, millele toetub pealesõiduplaadi ots.

Vaiadena kasutatakse raudbetoonist valmisvaiu, mis süvistatakse rammimise teel kuni kandva aluskihini. Vaiad on ruudukujulise ristlõikega mõõtmetega 200x200 mm kuni 450x450 mm ja pikkusega kuni 16 m. Pikemate vaiade vajadusel kasutatakse liitvaiu. Enamlevinumad on vaiad ristlõikega 300x300 mm. Eriliigina kasutatakse ka kiilvaiu, millede pikkus on 2, 2,5 ja 3 m, laius 300 mm ja kaldküljed vertikaalis 14,6° nurga all. Kiilvaiad rajatakse pehmele moreenile, kohevale liivale või ebaühtlase tihedusega mineraalsele täitepinnasele. [25: 240]



Joonis 31. Vaiadega toetatud pealesõiduplaat

3.4.3 Pealesõiduplaadi mõõtmed

Silla, viadukti ja estakaadi ühendamiseks pealesõiduga tuleb rajada pealesõiduplaat, mille pikkus tuleb valida lähtudes kaldasamba tüübist ja aluspinnasest. Pealesõiduplaadi vähim pikkus on 3 m ning suurim 8 m, paksus 250–300 mm. [22: 156] Pealesõiduplaadi laius on võrdne pealesõidu laiusega ehk siis kaldasamba külgtiibade vahelise ulatusega. Külgtiibade puudumisel peab pealesõiduplaat olema sama lai kui on rajatis või siis sõidutee laius pluss 1 m kummalegi poole.

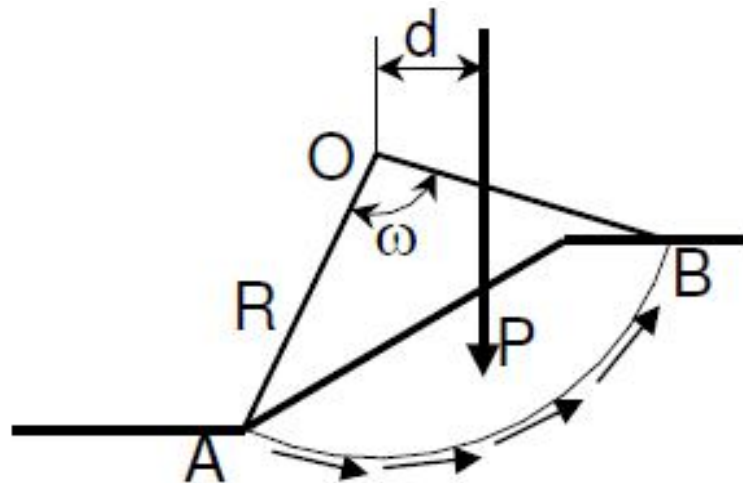
Milline on aga see sobilik pealesõiduplaadi pikkus? Eelnevalt märgitud pealesõiduplaadi vahemik 3-8 m on üsna suur. Senimaani on levinud praktika selline, et töö tellija või siis projekteerija pakub konstruktiivselt välja pealesõiduplaadi pikkuseks üldjuhul 5 m, mis jääb ettenähtud vahemiku keskele. Enamjaolt sellest piisab, kuid on olukordi, kus pealesõiduplaad peaks olema pikem või siis võiks olla hoopiski lühem.

Töö autor on lähenenud pealesõiduplaadi pikkuse väljaselgitamisele natukene teise nurga alt. Erinevalt Maanteede projekteerimismistandist ei lähtu töö autor pealesõiduplaadi pikkuse väljaselgitamisel ainult kaldasamba tüübist ja aluspinnasest, vaid muldkeha kõrgusest, nõlvusest ning aluspinnasest, jättes esilagu kõrvale kaldasamba tüübi. Sisuliselt saab töö autori arvates pealesõiduplaadi pikkuse välja selgitada nõlva püsivuse kontrolliga ringsilindrilise lihepinna meetodil, vaadeldes silla pealesõidu muldkeha kui tavalist nõlva erinevate kõrgustega maapindade vahel.

Maapinna kõrguste erinevuse puhul tekivad pinnases täiendavad nihkepinged. Kui kõrguste erinevusest tingitud nõlva kalle on liiga järsk, võib nihkepinge mingil pinnal saavutada nihketugevuse ja põhjustada pinnase purunemise ning nõlva (silla koonuse) varisemise. Nõlva varisemist võib pinnase tugevuse ja maapinna kalde kõrval mõjutada pinnasevee liikumine ning staatiline ja dünaamiline lisakoormus. Nõlva purunemisega võib kaasneda rajatise purunemine ja seega oluline oht nii inimestele kui ka materiaalsetele väärtustele. [26: 88]

Pinnasevee liikumist saab kontrolli alla võtta drenaaži rajamisega, kuid liiklusest tulenev staatiline ja dünaamiline koormus ongi just vaja pealesõiduplaadi abil kontrolli alla saada, et see ei aitaks kaasa nõlva (kaldasamba koonuse) varisemisele. Seega peaks olema pealesõiduplaad just nii pikk, et ta ulatuks väljaspoole ringsilindrilise lihepinna joonest. Joonisel 30 on kujutatud lihejoone tsentri ja ligikaudse lihejoone asukoha määramist ning antud meetodiga pealesõiduplaadi pikkuse sobilikuse väljaselgitamist, kasutades alusena silla vaate joonist Võuküla silla ehitusprojektist.

Kasutades lihtsustatud meetodit (Tayloriga meetod), võib eeldada, et nõlva purunemisel eraldub lihejoonega AB piiratud massiivi osa. Kui lihejoon on ringjoon, saab eeldada, et liheosa kuju ei muutu (vt joonis 32). Dreenimata tingimuste korral takistavad nihet joonel AB tekkivad niidusest tingitud jõud. Kui lihejoone raadius on R , siis joone pikkus on $R \cdot \omega$ ja vastuvõetav jõud $c_u \cdot R \cdot \omega$. Niidusest tingitud jõudude moment ringi tsentri (pöördetsentri) suhtes on $c_u \cdot R^2 \cdot \omega$. See moment peab tasakaalustama liheosa pinnasemassiivi omakaalust tingitud momendi $P \cdot d$. [26: 94]



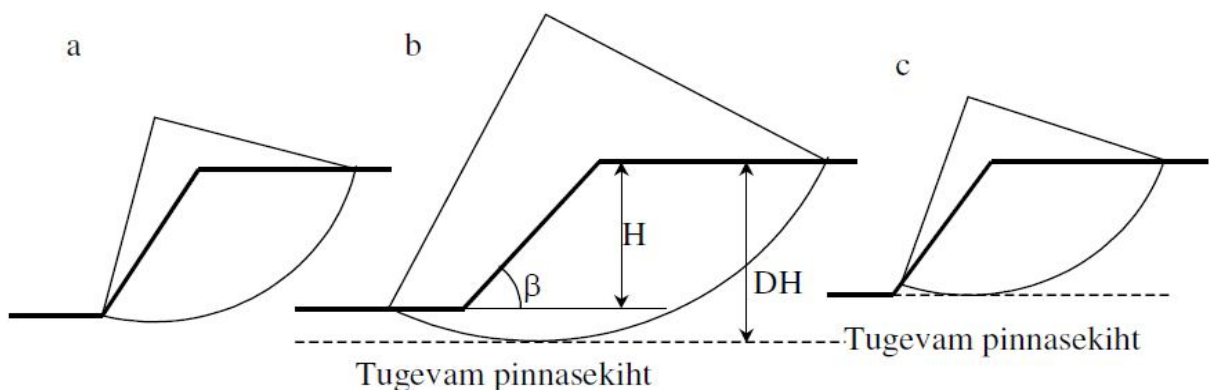
Joonis 32. Taylori meetodi arvutusskeem [26: 93]

Varuteguri võib järelikult väljendada kujul [26: 94]:

$$F = \frac{c_u * R^2 * \omega}{P * d} \quad (1)$$

Lihkejoont, mille puhul F on minimaalne, nimetatakse kriitiliseks. Selle tsentri asukoha ja raadiuse saab leida järkjärgulise lähenemise teel. Interatsiooniprotsess on seda kiirem, mida lähedasem on algselt valitav lihkejoone tsenter ja raadius. [26: 94]

Lihketsentri tõenäoline asukoht on vertikaalsuunas nõlva jalamist ligikaudu kahe nõlva kõrguse H võrra ülalpool. Väga lamedate nõlvade korral ($\beta < 20^\circ$) asub kriitilise lihkejoone tsenter kõrgemal. Horisontaalsuunas asub kriitilise joone tsenter jalamist nõlva poole jäädes ligikaudu nõlva kaldosa keskele. Lihkejoon väljub nõlva jalamilt (joonis 33a) juhul kui nõlva kaldenurk on üle 53° või kui pinnase tugevust määrab ka sisehõõrdenurk ($\varphi > 3^\circ$). Teistel juhtudel väljub lihkejoon jalamist eespool (joonis 33b) või kui nõlva aluse moodustab tunduvalt tugevam pinnasekiht, võib lihkejoon väljuda nõlva jalamist kõrgemal (joonis 33c). [26: 94]

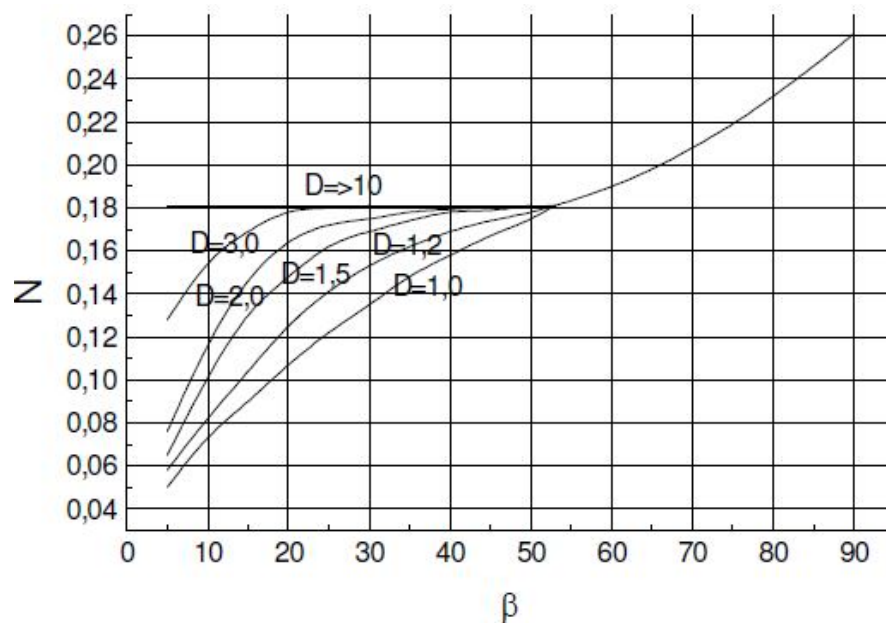


Joonis 33. Lihkejoone võimalikud asukohad [26: 94]

Arvutuste alusel on Taylor selgitanud, et püsivustingimuse võib esitada kujul [26: 94]:

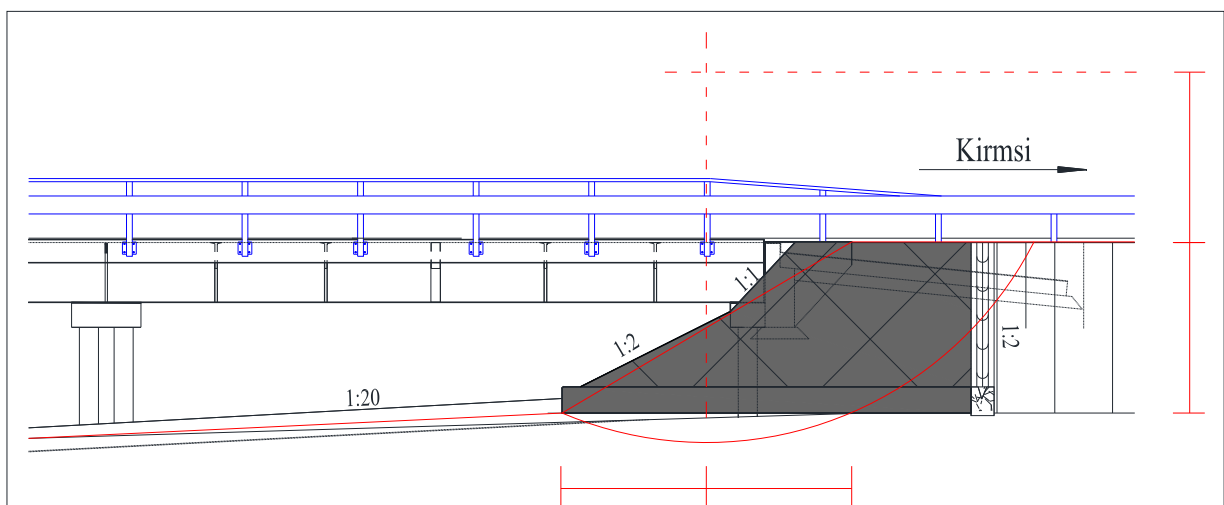
$$F = \frac{c_u}{N * \gamma * H}, \quad (2)$$

kus N on stabiilsustegur, mis sõltub nõlva kaldenurgast β ja sügavustegurist D (tugeva pinnasekihi sügavuse ja nõlva kõrguse suhe). N väärtused saab leida graafikult joonisel 34.



Joonis 34. Graafik püsivusteguri määramiseks [26: 95]

Avaldus 2 võimaldab kontrollida nõlva püsivust suhteliselt lihtsalt ilma vajaduseta määrata lihketsentri asukohta ja arvutamata lihkuva pinnasemassiivi kaalu ning sellest tingitud jõu rakendusk kohta [26: 95]. Ning kui lihkejoon on lõplikult paigas, ongi võimalik määrata vajalik pealesõiduplaadi pikkus.



Joonis 35. Ringsilindrilise lihkepinna meetodi kasutamine pealesõiduplaadi pikkuse kontrollimisel

Eelnevalt on aga kirjeldatud olukorda, kus ei ole arvestatud kaldasamba tugiseina sügavusega ega nõlva püsivust parandavate meetmetega. Seega, määraes pealesõiduplaadi pikkus ringsilindrilise lihkepinna meetodiga ning rakendades ühtlasi ka abimeetmeid nõlva püsimiseks (nõlva kaldenurga vähendamine, koonusekindlustuse ehitamine, vastukaalu rajamine nõlva jalamile, vaiade kasutamine nõlvas, pinnase tugevuse suurendamine sobivate kemikaalide injekeerimise teel jms), võib olla kindel, et on valitud piisavalt pikk pealesõiduplaat. Lühema pikkusega (3-4 m) pealesõiduplaati võib seega konstruktiivselt kasutada, juhul kui kaldasammas või tugisein ja külgtiivad ulatuvad sügavale muldkeha pinnasesse, ilma ringsilindrilise lihkepinna meetodit rakendamata.

3.5 Kaldasamba deformatsioonivuugid

Sildadele on omased välistegurite põhjustatud siirded, mis on omakorda põhjustatud sillaava mahumuutustest. Raudbetoonist peakandjate puhul on mahumuutused tingitud temperatuuri kõikumistest, niiskussisalduse muutusest jms.

Iga raudbetooni vaba mahumuutuse piiramine tekitab materjalisisesid pingeid. Üsna tihti on märgata raudbetoonkonstruktsioonides pragusid, mis on tingitud pingete kuhjumisest. Enneaegsed praod kipuvad kiirendama konstruktsiooni seisundi edasist halvenemist ja lõpuks vähendavad raudbetooni tegelikku töövõimet. Seetõttu on äärmiselt oluline kontrollida sisepingete taset ning edasist pragunemist. Selleks rajatakse konstruktsiooni deformatsioonivuugid.

Tänapäeval osatakse arvutada ning hinnata veel enne konstruktsiooni ehitamist tekkida võivate pragude suurust, seetõttu jäetakse sillakonstruktsiooni sisse deformatsioonivuugid, mis arvutatakse vastavalt temperatuuri muutustele ning materjali soojuspaisumistegurist lähtuvalt.

Jätkuvtala silla puhul on vuugid vaid kaldasammastel, lihttala silla puhul peaksid olema iga riigli kohal, kaldasammastel ei pruugi. Deformatsioonivuuk peab võimaldama sillal piki-, põik-, vertikaal- ja pöördedeformatsioone. Vuugid tulevad asetada selliselt, et oleks tagatud tasane liikluspind ja veetihe ühendus.

Deformatsioonivuuk peab ühest küljest olema võimeline vastu võtma piirneva pinna termilist paisumist ning samal ajal tagama piisava toetuse piirneva pinnaga. Deformatsioonivuugid on problemaatilised suure liikluskoozmusega pindadel ning seetõttu ei soovitata neid seal kasutada. Deformatsioonivuugi korral kasutatava materjali rebenemistugevus või nakkumistugevus peab olema väiksem kui külgnevatel vuugitäidetel. [27]

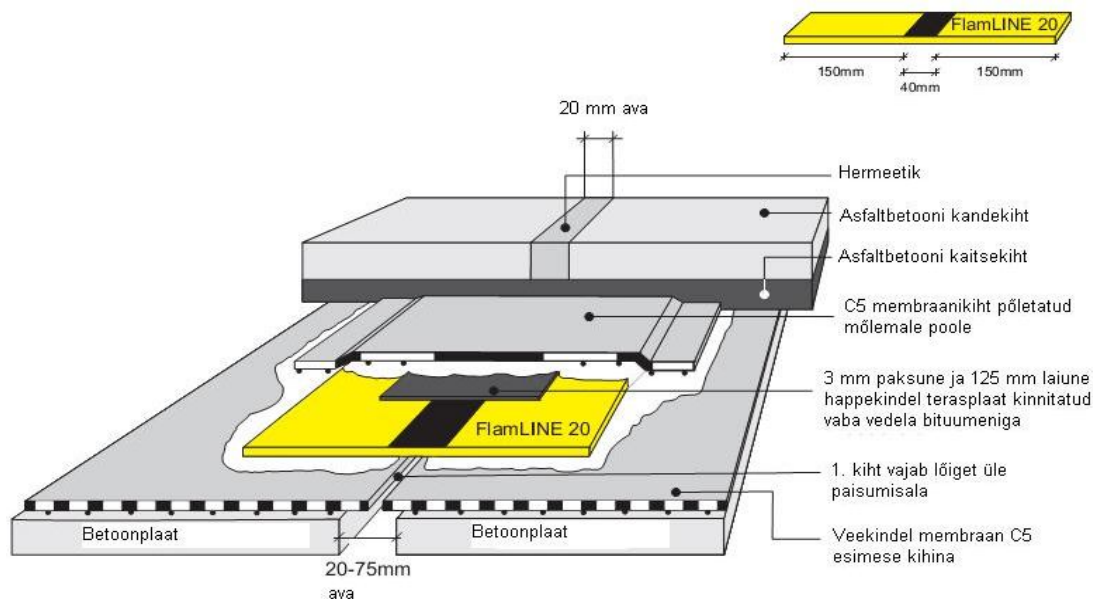
3.5.1 Deformatsioonivuukide tüübid

Sildadel, kus kaldasammastel esinevad deformatsioonivuugid, kasutatakse kahte peamist tüüpi vuuke [28]:

- kaetud deformatsioonivuugid;
- kattepealsed deformatsioonivuugid, mis omakorda jagunevad täidetud vuugiks ja ülekatvaks vuugiks (*sliding plate expansion joint*).

Kaetud deformatsioonivuuke kasutatakse väiksematel sildadel, mille joonpaisumine on väike (kuni 30 mm). Kaetud deformatsioonivuuk kujutab endast vuugi katmist veekindla vuugisüsteemiga, mis kaetakse kaitseplekiga. Kaitsepleki peale paigaldatakse hüdroisolatsiooniriba, mille peale ehitatakse silla asfaltbetoonkate. Vuugi kohale asfaltbetoonkattesse lõigatakse soon (vältimaks deformatsioonidest tekkivat pragu asfaltbetoonkattes vuugi kohale), mis täidetakse elastse kummimastiksiga.

Joonisel 36 on kujutatud kaetud deformatsioonivuugi näitena veekindel vuugisüsteem FlexJoint FlamLINE, mis sobib vuukidele 20-75 mm. Veekindlaks muudab süsteemi membraan. Samuti on konstruktsioon happekindel, seega sobib ka soolatavatele sildadele.



Joonis 36. Kaetud deformatsioonivuuk FlexJoint FlamLINE [29]

Järgnevalt on kirjeldatud FlexJoint FlamLINE paigaldust tööde teostamise järjekorras:

- krunditud kaldasamba vuugi (50 mm) servadesse paigaldatakse hüdroisolatsiooniribad;
- hüdroisolatsiooniribadele paigaldatakse FlexJoint FlamLINE deformatsioonivuugi lint (lindi keskel on elastne veekindel kummiriba, mis talub erinevaid liikumisi);
- FlexJoint FlamLINE kaitseks paigaldatakse sellele kaitseplekk;

- kaitseplekile paigaldatakse kogu silda kattev hüdroisolatsioon, mille peale paigaldatakse hüdroisolatsiooni kaitsekiht ja asfaltbetoonist ülemine kiht. Ülemisse kihti lõigatakse soon, mis täidetakse bituumenmastiksiga, et vältida katte ülemises kihis ristipragude teket vuukide kohal.

Suurema liiklussagedusega ja suuremate deformatsioonidega sildadel (deformatsiooniava laiem kui 50 mm) kasutatakse **kattepealseid deformatsioonivuuke**. Kattepealsete deformatsioonivuukide vuugikonstruktsioon asub teekatte ülemises osas ja olenevalt lahendustest jaguneb kaheks [28]:

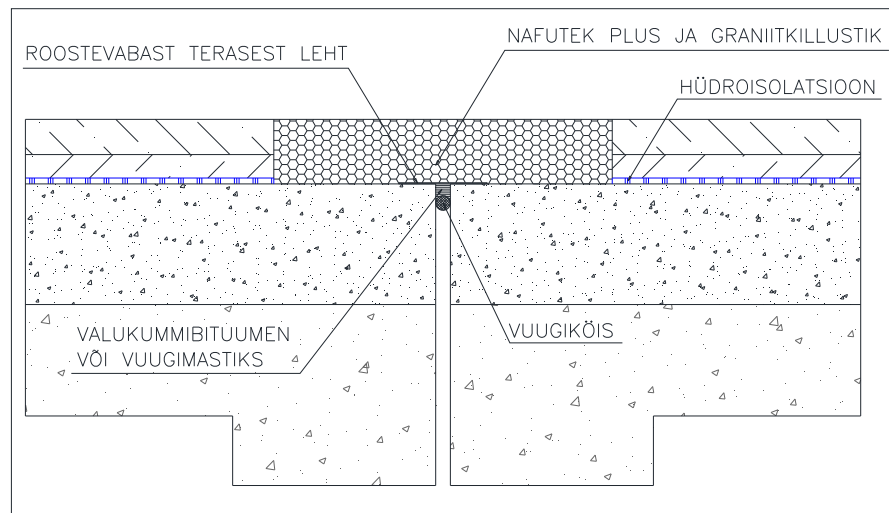
- täidetud deformatsioonivuuk;
- ülekattev vuuk.

Täidetud deformatsioonivuukide näiteks on toodud bituumeni baasil vuugisüsteem Nafutek Plus. Antud lahendus on mõeldud kuni 30 m avadega sildadele. Süsteemi paigaldus on lihtne ja kattepealsetest vuukidest üks odavamaid, teostatav ka poole silla kaupa. Vuugi eluiga ca 15-20 aastat. Miinuseks võib tuua vuugi täitesegu kulumise suure liiklussagedusega kohtades. [30]

Antud vuugisüsteemi ehitus eeldab, et eelnevalt on teostatud sillal asfalteerimistööd ja jäetud vuukide juures asfalteerimata ca 25 cm mõlemale poole vuuki, kusjuures kummalgi pool vuugiava peab olema ca 35 cm rõhtset betoontasapinda. Võimalik on ka asfaltkattesse vajaliku laiusga riba freesimine (kui teostatakse ainult vuukide ehitustöid). Enne Nafutekt Plus'i paigaldamist tuleb ettevalmistatud vuugid puhastada suruõhuga. Vältida tuleks puhastus- ja täitmistööde samaaegset teostamist lähedastel aladel. Vajalik on sundkuivatamine ja -soojendamine kuuma suruõhuga. Eeltöödeldud vuuke tohib täita vaid kuivades ilmastikuoludes ja temperatuuril üle +5 °C. Vuugi avasse tuleb paigaldada kompressioonikumm sedasi, et kummi ülemine äär jääks silladeki pinnast 2-3 cm allapoole, tekkinud soonde valatakse valukummibituumen või vuugimastiks. Seejärel paigaldatakse roostevabast terasest happekindel kaitseplekk laiusga 150 mm. [30]

Vuugi peale ehitatakse Nafutek Plus vuugisüsteem. Polümeeridega modifitseeritud bituumensidevaik Nafutekt Plus tuleb aeglaselt kuumutada kuni 180 °C, kasutades selleks sulatuskatelt, mis on varustatud segaja ja termomeetriga. Temperatuur peab olema kontrollitav. Nafutekt Plus'i ülekuumendamine kahjustab koheselt polümeere, mis on vajalikud toote stabiliseerimiseks ja sulamispunkti alandamiseks. Lisaks ei tohi materjali üles sulatada üle kahe korra. Vuuki paigaldatakse graniitkillustik fraktsiooniga 11/16 mm või 16/22 mm 2,5–3,0 cm kihtidena. Enne paigaldust killustik soojendatakse temperatuurini 150 °C kuni 180 °C, seejärel tihendatakse. Pärast seda valatakse koheselt vuuki 180 °C-ni soojendatud bituumenmass, kuni

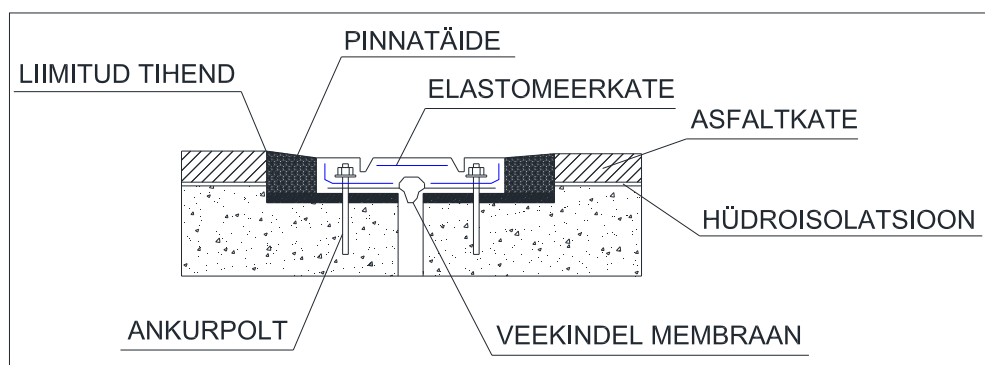
materjali enam ei valgu osakeste vahele. Viimase kihi valamisel tuleb tagada, et tihendatud teepinna ja paigaldatava vuugitäite vahel oleks umbes 5 mm. Veel tuleb jälgida, et jääks sideaine liig 1-2 mm. Vahetult peale seda puistatakse pinnale kõrgemargilist bituumeniga kaetud killustikku fraktsiooniga 2/5 mm, vältides materjali liigset paigaldamist. Pärast 5-10 minutit puistatakse ala uuesti üle sama materjaliga kuni saavutatakse sama kõrgus teepinnaga. Lisanuvalt rullitakse pind üle, et vuuk jääks igalt poolt tee kõrgusele. [30]



Joonis 37. Täidetud deformatsioonivuuk Nafutek Plus [30]

Ülekattev deformatsioonivuuk on mõeldud kasutamiseks suuremate deformatsioonide ja liiklusseduste korral. Näiteks on toodud vuugisüsteem Transflex.

Silla deformatsioonivuugi süsteem Transflex on projekteeritud kuni 330 mm liikumismaa vastuvõtmiseks ainult deformatsiooni terasplaatide vahelise elastomeeri kaudu. Vuugisüsteem kinnitatakse poltidega silla konstruktsiooni külge (dekiplaat ja kalasamba tagasein). [5]



Joonis 38. TransFlex deformatsioonivuuk [5]

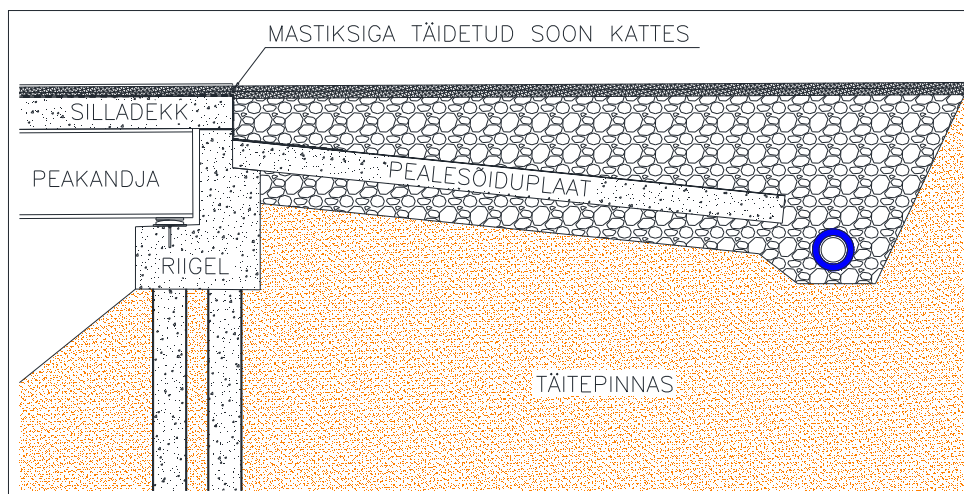
Korrosioonikindel elastomeerkate on suure vastupidavusega õlidele ja lahustitele ning ohutuse tagamiseks on mooduli pealispinnale moodustatud libisemisvastane muster. Iga mudel on

projekteeritud spetsiaalselt vastu võtma horisontaalset liikumist ja deformatsiooni väände, samuti võtma vastu vertikaalset liikumist ülespöördele kuni 6 mm. [5]

Transflex deformatsioonivuuk on lihtsasti paigaldatav ja ekspluateeritav, hinna kokkuhoidu võimaldav vuugisüsteem. Võimaldab töid teostada ka poole sõidutee ulatuses. Selle lahenduse juures on ääretult oluline, et süsteem tarnitakse komplekselt koos kõigi abimaterjalidega ja et see paigaldataks rangelt vastavalt tootja poolt ettenähtud paigaldustehnoloogiale. [5]

Sildadel, kus ei kasutata kaldasamba deformatsioonivooke (lihttalasillad), on dekiplaadi deformatsioonivuugid vahesammaste riiglite kohal. Samuti ei pea tingimata kasutatma vuuke lühema sillaavaga sildadel. Sellisel juhul piisab vaid soone tegemisest katte ülemisse kihti, mis täidetakse kummimastiksiga.

Töö autoril on olnud kogemus sarnase lahenduse ehitamisel. 2012. aastal soovis Maanteeameti lõuna regioon katsetada Leevaku sillal (ava pikkus 20,3 m) vuugita lahendust, mille kohaselt terasest peakandjatele ehitatud raudbetoonist silladekk ulatub (mõlemast otsast) otsaga kaldasamba välimise servani. Silladeki ja pealesõidu ühenduskohta lõigati kattesse ristiprao tekke vältimiseks soon, mis täideti kummibituumenmastiksiga. 2013. aasta kevade seisuga on täidetud soon defektideta, samas pärast esimest talve on järeltööde tegemine ennatlik. Siinkohal on töö autor aga arvamusel, et sarnaseid katsetusi on tarvis teha, et liikuda innovatiivsemate lahenduste kasutamise suunas. Sellise lahenduse suureks plussiks on deformatsioonivuukide edasise hoolde vajaduse puudumine. Tuleb vaid jälgida, kas täitematerjal soones oleks alles.



Joonis 39. Deformatsioonivuugita kaldasamba lahendus

3.5.2 Deformatsioonivuukide arvutusalused ja valik

Temperatuurideformatsioonid – paisumine soojenemisel ja kahanemine jahtumisel – on vältimatud kõigi jäikade anorgaaniliste ehitusmaterjalide puhul. Ehitise välispindade temperatuur võib kõikuda piires ca -40 kuni +40 °C. [28]

Mitte eriti suurtes temperatuurivahemikes on suhteline pikenemine võrdeline temperatuuri muuduga: [28]

$$\frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l} = \alpha (t - t_0) \quad (3)$$

kus l – keha pikkus temperatuuril t ;

l_0 – pikkus algtemperatuuril t_0 ;

α – joonpaisumistegur.

Joonpaisumistegur näitab, kui suure osa algpikkusest moodustab keha pikenemine keha soojenemisel 1 K võrra.

Avaldusest 3 tuleneb, et keha joonmõõtmised sõltuvad temperatuuri muudust järgmiselt:

$$l = l_0(1 + \alpha \Delta t) \quad (4)$$

Kehade joonpaisumistegur on väga väike. Enamikul ainetel on see vahemikus $10^{-5} - 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Terasel on see $1,2 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ ja betoonil $1,0 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$. [30]

Sõltuvalt deformatsiooni suurusest saab valida sobiliku deformatsioonivuugi arvestades veel valiku tegemisel liiklussagedust ja -koormust, keskkonna ilmastikuolusid, seismilisi olusid (maavärinate tõenäosus) jms.

1.1.1. Deformatsioonivuukide hooldamine

Deformatsioonivuugid ei ole hooldevabad, seega tuleb neid jooksvalt kontrollida (umbes paari aasta tagant). Kaetud vuukide puhul tuleb kontrollida, kas asfaltbetoonkatte ülemisse kihti lõigatud soone sees olev kummimastiks on alles ja terve ning kas silla all on näha jälgi vuugisüsteemi lekkimisest. Vajadusel tuleb kattes olevasse soonde lisada kummimastiks. Juhul kui on vaja kaetud vuuk välja vahetada, tuleb kogu konstruktsioon kuni kaldekolmnurgani vuugi läheduses üles võtta (nt freesida)

ja paigaldada uus vuugisüsteem. Tähelepanu peab pöörama asjaolule, et ka vuugi kõrval peab sillaplaadi isoleerima veekindlalt. [5]

Kattepealsetel vuukidel on küll pikem ekspluatatsiooniaeg, kasutusiga remonti vajamata üle 15 aasta, kuid jooksev kontroll ja pidev puhastamine on siiski vajalikud, kuna alati on võõrkehade sattumise oht vuugisüsteemi, mis võib süsteemi vigastada. Vuugisüsteemide vettpidavust kontrollitakse visuaalselt ja voolikuga kastes. Samuti on võimalik avastada kahjustusi silla all vaadeldes, kas kuskilt paistab vuugisüsteemi lekkejalgi. Kontrollitakse veel vuugisüsteemi pealispinna kulumist, kinnitust jne. Suurem hooldus või isegi vuugisüsteemi väljavahetamine on mõistlik ette võtta koos asfaltbetoonkatte renoveerimisega. [5]

4 SILDADE ÜLEVAATUS

Käesoleva töö raames on autor teostanud vaatlusi Lõuna-Eesti maantee-sildadel. Vaatluseid teostati 2013. aasta aprilli viimasel nädalal. Eesmärgiks oli üle vaadata 50 maantee-silda. Esimesel vaatluspäeval teostati vaatlused sildadel, mis jäid marsruudile Tartu – Alatskivi – Mustvee – Tartu või siis selle lähedusse (13 silda). Teisel päeval oli töö autori marsruudiks Tartu – Räpina – Võru – Tõrva – Tartu. Sel korral sai üle vaadatud 25 silda. Viimasel vaatluspäeval kuulusid vaatlemisele 12 silda, mis jäid marsruudile Tartu – Põltsamaa – Jõgeva – Tartu. Vaatluse all olnud sildade nimekiri on toodud töö lisas.

Sildade vaatlemise eesmärgiks oli pealesõitudel esinevate defektide otsimine erineva vanusega sildadel erinevates piirkondades ning erineva liiklussagedusega maanteedel. Ühtlasi oli eesmärgiks saadud vaatlustulemusi (avastatud defekte) võrrelda käesolev töö esimeses osas toodud teoreetiliste defektidega ning teha vastavaid järeldusi. Samas oli aga vaatluse üheks eesmärgiks leida häid ehitamise lahendusi.

Vaatlustulemise käigus on ära märgitud järgmised näitajad:

- silla number;
- silla nimetus;
- ületatav takistus;
- silla asukoht (maantee);
- silla vanus;
- renoveerimise aeg (olemasolul);
- esinevad defektid.

Eesmärgiks oli tuvastada kõiki defekte, mis käesolevas töös on leidnud käsitlemist. Peamiselt sai täheldatud katendi defekte. Enamajolt kaldasamba deformatsioonivuukidega seotud defekte kuid mõningatel juhtudel ka defekte kattes pealesõiduplaadi kohal.

Kõige rohkem esines kattes ristipragusid deformatsioonivuukide kohal, vähemal määral pragusid kattepealsete vuukide ja asfaltkatte ühenduskohas. Kaetud vuugi kohale kattesse lõigatud soone pragunemist või täite kadumist ning kahel sillal lumesahkade poolt lõhutud vuugielemente. Kadendi defekte esines 28 sillal, mis on 56 % vaatluse all olnud sildadest.



Joonis 40. Deformatsioonivuugi kohal kattesse lõigatud soone täite nakke kadumine kattega ning vuugi täitematerjali osaline kadumine soonest [erakogu]

Joonise 40 vasakpoolne foto on tehtud Võuküla sillal. Fotolt on näha, et kattesse lõigatud soone täitematerjal on kaotanud nakke kattega. Vältimaks olukorda, mis on kujutatud parempoolsel fotol (Lääniste sild), tuleks täitematerjali kuumutuspuhuri või põletiga kergelt kuumutada ning vajadusel lisada täitematerjali. Parempoolsel fotol kujutatud olukorras tuleb esimesel võimalusel soonde tekkinud tühimikud täita ning praod soone kõrval remontida. Vastasel juhul areneb defekt edasi sarnaseks joonisel 41 kujutatuga.



Joonis 41. Kaldasamba deformatsioonivuugi pragu kattес [erakogu]

Joonisel 41 on kaks näidet suurema deformatsioonivuugi prao kohta kattес. Vasakpoolne foto on tehtud Painküla sillal. Sellelt on näha, et vuuki on aeg-ajalt üritatud remontida valuvuukimise

meetodil. Ilmselt oleks remontimisest rohkem kasu, kui valuvuukimise asemel kasutataks laiendamisega vuukimise meetodit. Parempoolsel fotol (Liitva sild), on aga vuugipraad arenenud liiga kaugele, et neid efektiivselt remontida. Sellises seisukorras vuuk tuleb kindlasti välja vahetada.

Kattepealsetel deformatsioonivuukidel esinevad defektid on sarnased kaetud vuukide omadega. Defektide areng saab samuti alguse vuugi ja katte nakke kadumisest nagu on näha joonisel 42 kujutatud vasakpoolsel fotol, mis on tehtud Pindi sillal. Nakke puudumine soodustab suuremate pragude teket vuugikonstruktsiooni ja katte ühenduskohta nagu on see Reo sillal (parempoolne foto). Kõige efektiivsemaks lahenduseks joonisel 42 kujutatud defektide remontimiseks oleks jällegi laiendamisega vuukimine.



Joonis 42. Täidetud deformatsioonivuukide defektide arenemine [erakogu]



Joonis 43. Ülekatva vuugi defektide arenemine [erakogu]

Sama kehtib ka ülekatva vuugi kohta. Joonisel 43 on kujutatud kaks defektset vuuki, millest vasakpoolne on tehtud Põltsamaa sillal ning parempoolne Jõgeva viaduktil. Olgugi, et

vuukonstruktsioon on igati heas seisukorras, tekivad defektid kattesse vahetus vuugikonstruktsiooni läheduses. Ilmselt tuleks sellise vuugi ehitamisel kasutada hästi kvaliteetset asfaltkatte materjali ning vuugi ja asfaltkatte vahel täiendavalt kummimastiks, eriti just suure liiklussagedusega maanteedel.

Samas täiesti korrektselt ehitatud deformatsioonivuugi võib rikkuda hooletu sahkamine. Üheks selliseks näiteks on Puurmani silla kaldasamba deformatsioonivuuk (vt joonis 44). Kahjustuste edasiarenedes tuleks kahjustunud vuugielemendid välja vahetada.



Joonis 44. Lumesahkade poolt lõhutud vuuk [erakogu]

Silla pealesõidu kattesse tekivad praod ka pealesõiduplaadi vajumise ja purunemise tõttu. Joonisel 45 on kujutatud Kulbilohu viadukti ühte pealesõitu. Lisaks suuresti lagunenenud vuugile esines seal ka pealesõiduplaadi vajumise, või isegi purunemise, jälgi. Kuna muldkeha viadukti pealesõidul on üsna kõrge, võib eeldada, et tegu on siiski vajumisega. Lahenduseks oleks pealesõiduplaadi alune pinnas koos pealesõiduplaadiga välja vahetada, et takistada defektide edasist arenemist.



Joonis 45. Katte purunemine pealesõiduplaadi kohal [erakogu]

Teiseks enamlevinumaks defekti kategooriaks sildade vaatlemisel olid erosiooni tagajärjel tekkinud defektid (hüdroloogilised defektid). Erosiooni jälgi esines silla koonustel, koonusekindlustuste all ning kaldasammaste riiglite all ja taga. Erosioon oli põhjustanud mitmetel sildadel nii koonusekindlustuse vajumist kui ka pealesõidu(plaadi) vajumist. Hüdroloogilisi defekte tuvastati 25 sillal, mis moodustab 50 % kõikidest vaadeldud sildadest.

Teatavasti liigub vesi alati sinna, kuhu tal on kõige mugavam liikuda. Kui sillalt ja pealesõitudel ei ole tagatud korralik vete äravool, on suure tõenäosusega tagajärjeks pinnase erosioon. Nagu jooniselt 46 on näha, võivad pinnase erosiooni jäljed esialgu märkamatuks jääda (vasakpoolne foto), nagu on seda Kärkna silla mõlemal trepil. Tekkinud defektide remontimiseta võib silla hilisem olukord olla sarnane Jõemõisa sillaga (parempoolne foto), kus praktiliselt kogu koonusekindlustus on ära lagunenu.



Joonis 46. Pinnase erosioon silla pealesõidul[erakogu]

Erosioon kaldasamba riigli alt on hästi tuvastatav tekkivate täitematerjali „kuhjade“ tekkimisel. Joonise 47 vasakpoolsel fotol on kujutatud pinnase erosioon Kirumpää silla kaldasamba nurgast ning parempoolsel fotol Ausi silla kaldasamba riigli alt ja tagant.



Joonis 47. Pinnase erosioon kaldasamba riigli alt ja tagant [erakogu]

Seega veelkord, väga oluline on korrektne vete ärajuhtimine sillalt ja pealesõitudelt. Järgnevalt on joonisel 48 kujutatud Uus-Mustvee ja Kääpa sildade vete äravoolu lahendused, mis ei ole heaks näiteks. Mõlemal fotol on küll näha sajuvee rennidest olemasolu, kuid ilmselgelt leiab vesi endale voolamiseks sobilikuma teekonna tekitades siis väiksemaid või suuremaid kahjustusi. Veeviimari tuleks ehitada selliselt, et nad ka toimiksid, vastasel juhul ei ole neid mõtet ehitadagi.



Joonis 48. Halvad näited sajuveerennidest [erakogu]

Järgnevalt on toodu vaatlustulemused täite- ja aluspinnase vajumise kohta. Täite- ja aluspinnase vajumisega seotud defektidest tuvastati enamjaolt koonusekindlustuse vajumist ning pealesõiduplaadi vajumist. Enamjaolt on vajumiste põhjustajaks pinnase erosioon koonustelt või siis pealesõiduplaadi alt. Vaid viiel sillal võis pealesõidu(plaadi) vajumisel oletada mõnda muud põhjust, kuna nendel sildadel erosiooni jälgi ei tuvastatud. Näiteks eelpool mainitud Kulbilohu viaduktil või siis Luunja sillal, kus koonusekindlustus oli väga heas korras ning koonuste külgedelt ei olnud samuti näha erosiooni jälgi, kuid esinesid pealesõiduplaadi vajumise tunnused. Ilmselt on põhjuseks täitepinnase järelvajumine. Sama võib olla ka ülejäänud kolmel sillal (Painküla, Kärša, Roobe). Samas võib Kärša silla puhul olla põhjuseks hoopiski nõrk aluspinnas (turvas), kuna vaadeldes Kärša silla pealesõitu ca 100 m Tartu suunas, oli näha väga suuri ebatasasusi katte pinnal. Pinnase vajumisega seotud defekte esines kokku 17 sillal (34 %).

joonisel 49 on toodud näited Kikivere ja Kose silla koonusekindlustuste vajumisest. Vajumine on nendel sildade koonusekindlustustel tekkinud arvatavasti koonusekindlustuse tugiprussi puudumise tõttu. Võimalikuks põhjuseks võib aga olla ka täitepinnase järelvajumine või aluspinnase vajumine. Või siis kõik kolm põhjust korraga.



Joonis 49. Koonusekindlustuse vajumine [erakogu]

Konstruksioonidega seotud defekte vaatluse käigus ei tuvastatud. Võimalik, et nende tuvastamiseks oluaks vaja kasutada põhjalikumaid sillakonstruktsioonide uurimismeetodeid.

Enamus eelnimetatud tuvastatud defektid esinesid vanematel sildadel, millel ei ole veel teostatud renoveerimistöid, kuid ka mitmetel remonditud sildadel. Vähemal määral esines defekte uuematel sildadel. Ilmselt on uuemad sillad paremas seisukorras seetõttu, et aeg ei ole veel jõudnud oma jälge jätta aga kindlasti on põhjuseks ka uuemate lahenduste kasutuselevõtt. Erilist tähelepanu on viimastel aastatel pööratud koonusekindlustustele ning deformatsioonivuukidele. Samas on uuematel sildadel teadaolevalt kaldasamba konstruktsiooni üheks kohustuslikuks osaks sügav tugisein ja külgtiivad ning erinevalt mitmetest vanadest sildadest on uutel kõigil olemas pealesõiduplaadid. Suuremat tähelepanu on ka hakatud juhtima vete äravoolule sillalt ja pealesõitudelt.

Heaks näiteks võib siinkohal tuua koonusekindlustuse Lääniste sillal, kus lisaks korrektsele raudbetoonist koonusekindlustusele on sellele rajatud ka trepp silla hoolde- ja vaatlustööde teostamiseks.



Joonis 50. Koonusekindlustus Lääniste sillal [erakogu]

Kokkuvõtteks võib öelda, et liiklejale, kes kasutab liiklemiseks põhi- ja tugimaanteid, võib jääda mulje, et Eesti maanteede sillad on täitsa heas seisukorras. Pöörates aga kõrvalmaanteedele, eriti just kohtadesse, kus liiklussagedus on väike, on olukord väga halb. Kahjuks on need kõrvalisemad sillad suured ohuallikad, kuna neid kasutavad tihti peale metsavedusid teostavad raskeveokid. Oma vaatlusmarsruutide valikul on töö autor hoidnud isegi suhteliselt põhi ja tugimaanteede lähedusse, seega võib siit ainult järeldada, et kõige hullemas olukorras sillad jäid isegi vaatluse alt välja.

Olukorda annaks parandada remonttööde planeeringute muutmise, võttes esmajärjekorras kavva sillad, mille edasise lagunemise saaks peatada veel suhteliselt väikeste kulutustega. Näiteks vuugiremont. Positiivne on, et viimasel ajal on mitmes regioonis selline mõtlemine juurutamisel. Heaks näiteks on Liitva silla deformatsioonivuukide ehituse hange, mille raames vahetatakse edasiste kahjustuste tekkimise vältimiseks välja muus osas heas seisukorras silla kõik vuugid. Pikemas perspektiivis on selline prioriteetide seadmine sildade remontimisel kindlasti majanduslikult kõige mõistlikum.

KOKKUVÕTE

Sildade enamlevinumaks probleemiks olev „jõnks“ silla lõpus on põhjustatud sillakonstruktsioonide ja pealesõidu muldkeha erinevast vajumisest. Jõnks tekib enamasti just pealesõidu muldkeha ja silla kaldasamba ühenduskohta. Erineva vajumise peamiseks põhjuseks on konstruktsioonide toetumine erinevatele pinnastele. See tähendab, et tavaliselt on pealesõidu katendikonstruktsioon rajatud tihendatud tee muldkeha materjalile kuid silla kaldasammas toetub tunduvalt tugevamale pinnasele või kandvale aluskivimile süvavundamendina või vaiadega.

Silla pealesõidu vajumine võib põhjustada ohtlikke sõidutingimusi, juhile ebamugavusi, kahjustusi sõidukitele, kahjustusi silladekile lumesahkade poolt, silla konstruktsioonide kahjustusi, viivitusi liikluses või isegi silla sulgemist, pikaajalisi hoolduskulusid ning silla haldaja avaliku maine vähenemist.

Käesoleva töö eesmärgiks oli analüüsida peamisi silla pealesõidu vajumise põhjustajaid. Silla pealesõidukonstruktsioonide vajumisel võib olla mitut erinevat liiki põhjustajaid, nagu näiteks ebapiisav pealesõidu katend, suur liikluskoormus, silla kaldasamba ja aluspinnase tüüp (aastaringssed temperatuurikõikumised ning tagasitäitematerjali põhjustatud pinnasesurve tekitatud kaldasamba horisontaalne liikumine), ebapiisav drenaažisüsteem, pinnase erosioon ning aluspinnase ja täitematerjali vajumine. Ühtlasi võib olla põhjuseks ka ebapiisav ehitamise kogemus (valed täitematerjali tihendamise võtted või siis valestipaigaldatud ja –valitud deformatsioonivuugid ja drenaažisüsteemid).

Silla pealesõidu vajumise vähendamiseks on olemas erinevad projekteerimise ja ehitamise lahendused ning remondimeetodid. Käesolevas töös on välja selgitatud peamised silla pealesõidul esinevad probleemid ja nende põhjustajad ning neid arvesse võttes soovituslikud lahendused sildade pealesõitude ehitamiseks, remontimiseks ja haldamiseks. Töö viimaes osas on uuritud sildade pealesõitudel esinevaid probleeme olemasolevatel Lõuna-Eesti sildadel ning analüüsitud neid võrreldes töös käsitletud teoreetiliste probleemidega.

SUMMARY

The most common problem with bridges is the „bump“ at the end of the bridge caused by the different settlements of the bridge structure and the embankment of the access route. The main cause of uneven settlement is the use of dissimilar soils. In other words, while the approaching roadway structure is usually built on a compacted backfill soil, the bridge abutment is supported by a much stronger soil or bedrock by deep foundations or piles.

The settlement of bridge's approach may cause hazardous driving conditions, drivers' discomfort, damages to vehicles, damages to bridge deck from snowplows, structural deterioration of bridges, traffic delays or even the closure of the bridge, long-term maintenance costs and the degradation of transportation agency's public reputation.

The purpose of the current graduation thesis is to analyse the main contributors to the settlement of a bridge approaches. The latter can be caused by a number of factors, including poor performance of pavement, high traffic loads, the types of the sub-soil and the bridge abutment (seasonal temperature changes and the horizontal movement of the abutment due to the earth pressure caused by backfill), insufficient drainage, loss of backfill material by erosion and settlement of sub-soil and backfill materials. In addition to that, the reason may lie in poor construction practices (insufficient compaction of backfill materials or false choice and installation of joint and drainage system).

A variety of design and construction alternatives and repair methods exist to reduce the bridge approach settlement. The present thesis establishes the most common problems of bridge' approaches along with their causes and suggests ways to improve the construction, repair and maintenance of these approaches. The last part of the current research investigates the problems of approaches among the completed bridges in South-Estonia and analyses these via comparison with the theoretical problems covered earlier in the thesis.

VIIDATUD ALLIKAD

1. Helwany, S., Koutnik, T. E., Ghorbanpoor, A. (2007). Evaluation of Bridge Approach Settlement Mitigation Methods. Final Report. Milwaukee: The University of Wisconsin, 119 lk. [WWW] <http://wisdotresearch.wi.gov/wp-content/uploads/00-13bridgesettlement-f.pdf> (06.03.2013)
2. Sillamäe, S. Tallinna Tehnikakõrgkool. Defektide Tekkepõhjused loengukonspekt. [WWW] <http://ekool.ttk.ee/mod/book/print.php?id=17489> (26.03.2012)
3. Maanteeamet. (2007). Teekattel esinevate defektide inventeerimisjuhend. Tallinn: Maanteeamet, 24 lk. [WWW] http://www.mnt.ee/failid/juhised/Defektide_invent_juhend.pdf (11.03.2013)
4. Maanteeamet. (2012). Katete remondimeetodite valikupõhimõtted. Tallinn: Maanteeamet, 35 lk. [WWW] http://www.mnt.ee/public/Katete_remondimeetodite_valikupohimotted.pdf (11.03.2013)
5. Riveseal OÜ. DeckProof TransFlex toote infoleht.
6. White, D. J., Mekkawy, M. M., Sritharan, S., Suleiman, M. T. (2007). „Underlying“ Causes for Settlement of Bridge Approach Pavement Systems – Journal of Performance of Constructed Facilities. Washington State University, lk 237 – 282 [WWW] <http://srg.cce.iastate.edu/Journal%20Papers/Bridge%20Approach/White%20et%20al.%20A%20SCE-PBCF%202007.pdf> (21.03.2013)
7. Yeh, S.-T., Su, C. K. (1995). EPS, Flow Fill and Structure Fill for Bridge Abutment Backfill. Final Report. Denver: Colorado Department of Transportation, 38 lk. [WWW] <http://www.coloradodot.info/programs/research/pdfs/1995-research-reports/eps.pdf> (24.03.2013)

8. Iowa State University. (2005). Best Practices for Bridge Approaches. [WWW] http://www.intrans.iastate.edu/publications/_documents/t2summaries/bridge_approach.pdf (25.03.2013)
9. Teetööde tehnilised kirjeldused. [WWW] <https://www.eesti.ee/portaal/this.index> (03.04.2013)
10. Maanteeamet. (2006). Muldkeha pinnase tihendamise ja tiheduse kontrolli juhised. Tallinn: Maanteeamet, 35 lk. [WWW] http://www.mnt.ee/failid/juhised/pinnaste_tihendamise_ja_tiheduse_kontrolli_juhised.pdf (05.04.2013)
11. Hoppe, E. J. (1999). Guidelines for the Use, Design and Construction of Bridge Approach Slabs. Virginia: Charlottesville, 39 lk. [WWW] http://www.virginiadot.org/vtrc/main/online_reports/pdf/00-r4.pdf (11.04.2013)
12. Linno, J. (1996). Esmamuljeid sildade ülevaatuses – Teeleht nr 1 (5) 1996, lk 4-5.
13. AS Teede Tehnokeskus. Sildade ülevaatus väljatöötatud BMS alusel aastatel 2010-2013. 2010. aasta tööd. Tallinn: Maanteeamet, 28 lk. [WWW] http://www.mnt.ee/public/teedeala_uuringud/BMS_2010.pdf (13.04.2011)
14. Linno, J. (1998). Sildade ehitus ja remont 1997 - Teeleht nr 2 (14) 1998, kl 6-7.
15. Transit New Zealand. (2001). Bridge Inspection and Maintenance Manual. Wellington: Transit New Zealand. [WWW] <http://www.nzta.govt.nz/resources/bridge-inspection-maintenance-manual/bridge-inspection-maintenance-manual.html> (12.04.2013)
16. OZ Foundation Company koduleht. Compaction Grouting. [WWW] http://www.ozfoundationcompany.com/compaction_grouting.html (14.04.2013)
17. Maanteeamet. (2006). Teehoiutööde tehnoloogilised juhised. Geosünteedide kasutamise juhised. Tallinn: Maanteeamet, 50 lk. [WWW] http://www.mnt.ee/failid/juhised/geosynteedide_kasutamise_juhised.pdf (17.04.2013)
18. AS Rudus. Vahtbetooni tooteleht. [WWW] <http://www.rudus.ee/Failid%20betoon/Vahtbetoon.pdf> (19.04.2013)

19. Zou, Y., Small, J.C., Leo, C.J. (2000). Behavior of EPS Geofoam as Flexible Pavement Subgrade Material in Model Tests – Geosynthetics International Vol. 7, No. 1, pp 1-22. [WWW] <http://www.geosyntheticssociety.org/Resources/Archive/GI/src/V7I1/GI-v7n1-paper1.pdf> (19.04.2013)
20. Estplast Tootmine OÜ koduleht. Mis on EPS? [WWW] <http://www.estplast.ee/et/misoneps> (19.04.2013)
21. Saint-Gobain Weber Ehitustooted AS. Leca kergkruus tooteleht. [WWW] http://www.weber.ee/uploads/tx_weberproductpage/Fibo_kergkruus_2012_Weber_02.pdf (19.04.2013)
22. Tallinna Tehnikaülikool. (2005). Maanteede projekteerimismääruste ja sellega seotud määruste korrektuur. Köide II. Tln: Tallinna Tehnikaülikool, 201 lk.
23. Tallinna Tehnikakõrgkool. Teerajatised 2 loengukonspekt. [WWW] <http://tktk.cybemon.com/tr2-2/piirded/piirded.php> (10.04.2013)
24. Kolts, T. (2011). Riigimaantee nr 18218 Kirmsi-Kanasaare km 6,116 Võuküla silla ja pealesõitude remondi tehniline projekt. Tartu: Maanteeameti lõuna regioon.
25. Masso, T. (2010). Ehituskonstruktori käsiraamat. Tallinn: Ehitame kirjastus, 576 lk.
26. Jaanisoo, V. Pinnasemehaanika loengukonspekt. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool. [WWW] http://www.tud.ttu.ee/material/epi/Valdo_Jaaniso/ (22.04.2013)
27. Mageba SA koduleht. [WWW] <http://www.mageba.ch/> (12.04.2013)
28. Vilba, P. Tallinna Tehnikakõrgkool. (2010). Teerajatised I loengukonspekt. [WWW] <http://teerajatised.vilba.com/> (19.02.2013)
29. Riveseal OÜ. FlexJoint FlamLine paigaldusjuhend
30. Langeproon Insenerihitus OÜ. Nafutek Plus paigaldusjuhend. [WWW] www.langeproon.ee/doc/mc/Nafutekt%20Plus%20paigaldus.doc (08.03.2013)
31. Volkov, V. (2010). Riigimaantee nr 24136 Kuudeküla tee km 0,186 asuva Kuudeküla silla (nr 644) remondiprojekt. Pärnu: Lääne Regionaalne Maanteeamet.

32. Ontario Ministry of Transportation. (2010). Innovative Embankment Design Using Styrofoam Blocks on Hwy 69. Ontario's Transportation Technology Transfer Digest, vol.16. [WWW] <http://www.mto.gov.on.ca/english/transtek/roadtalk/rt16-4/index.shtml#a7> (24.04.2013)

LISAD

LISA 1

Lõuna-Eesti sildade vaatlustulemused

Silla nr	Silla nimetus	Ületatav takistus	Tee number ja nimetus	Ehitamise aasta	Renov. aasta	Pealesõitudel esinevad defektid
540	Kärkna	Amme jõgi	(39) Tartu - Jõgeva - Aravete	2000	-	Katte purunemine kaldasamba vuugi kohalt Koonusekindlustustel joatorude rennid lagunened Treppide alt pinnase ulatuslik erosioon
572	Vasula	Amme jõgi	(22210) Kõrveküla - Lähte	1981	-	Koonusekindlustus lagunemine ja vajumine Katte purunemine kaldasamba vuugi kohalt Pinnase erosioon kaldasamba riigli alt Pinnase erosioon koonusekindlustuse alt
574	Kikivere	Amme jõgi	(22232) Vedu - Kikivere	1971	-	Koonusekindlustus lagunemine ja vajumine Katte purunemine kaldasamba vuugi kohalt Pinnase erosioon kaldasamba riigli alt Pinnase erosioon koonusekindlustuse alt
575	Nigula	Amme jõgi	(22233) Nigula - Pataste	1971	-	Pinnase erosioon koonustelt Pinnase erosioon kaldasamba riigli alt Katte purunemine kaldasamba vuugi kohalt
555	Nõmme	Välgi jõgi	(14230) Pataste - Välgi - Alatskivi	1970	-	Koonusekindlustuste laiaulatuslik lagunemine Pinnase erosioon koonustelt Pinnase erosioon kaldasamba riigli alt Pinnase erosioon kaldasamba tagant Katte purunemine kaldasamba vuugi kohalt
576	Lahe	Kargoja	(22242) Alatskivi - Varnja	1972	2011	Pinnase erosioon koonuse tugiprussi alt Vähene katte purunemine kaldasamba vuugi kohalt
485	Omedu	Omedu jõgi	(43) Aovere - Kallaste - Omedu	1957	2009	Vähene pinnase erosioon koonusekindlustuse alt

471	Uus-Mustvee	Mustvee jõgi	(3) Jõhvi - Tartu - Valga	1978	2001	Pinnase ulatuslik erosioon koonusekindlustuse kõrvalt Koonusekindlustuste vajumine Koonusekindlustuste purunemine Koonusekindlustuse tugiprusside purunemine Katte purunemine kaldasamba vuukide kohalt
482	Luige	Mustvee jõgi	(36) Jõgeva - Mustvee	1947	1999	Koonusekindlustuste vähene purunemine Koonusekindlustuste vajumine Katte purunemine kaldasamba vuugi kohalt Pinnase erosioon pealesõiduplaadi nurga alt
472	Põrvetu	Kullavere jõgi	(3) Jõhvi - Tartu - Valga	2006	-	Sügavam auk kattes silla nurgas Pinnase erosioon pealesõiduplaadi nurga alt Pinnase erosioon koonusekindlustuse alt
495	Kose	Kääpa jõgi	(14107) Vanassaare - Ruskavere	1985	-	Ulatuslik koonusekindlustuste vajumine Ulatuslik koonusekindlustuste purunemine Ulatuslik pinnase erosioon koonusekindlustuste alt Pinnase erosioon kaldasamba riigli alt
494	Kääpa	Kääpa jõgi	(14107) Vanassaare - Ruskavere	1972	-	Koonusekindlustuste purunemine (külgedelt) Koonusekindlustuste vajumine Pinnase erosioon koonusekindlustuste alt
491	Jõemõisa	Kääpa jõgi	(14101) Saare - Pala - Kodavere	1970	-	Ulatuslik koonusekindlustuste vajumine Ulatuslik koonusekindlustuste purunemine Ulatuslik pinnase erosioon koonusekindlustuste alt
544	Luunja	Suur-Emajõgi	(45) Tartu - Räpina - Värskas	1953	1998	Ulatuslik katte purunemine kaldasamba vuukide kohalt Katte purunemine pealesõiduplaadide otste kohalt Pealesõiduplaadide vajumine
582	Lääniste	Ahja jõgi	(22280) Hammaste - Rasina	1968	2012	Kaldasamba vuugi katte soone mastikstäide lahtine Katte purunemine kaldasamba vuugi kohalt
851	Kadaja	Ahja jõgi	(18184) Ahja - Rasina	1991	2010	-

811	Kärsa	Ahja jõgi	(45) Tartu - Räpina - Värskas	1961	1998	Katte purunemine kaldasammaste vuukide kohalt Katte purunemine pealesõiduplaatile otste kohalt Pealesõiduplaatile vajumine (võimalik purumenine) Koonusekindlustuste vajumine Pinnase erosioon koonustelt ja koonusekindlustuste alt
863	Võuküla	Võhandu jõgi	(18218) Kirmsi - Kanassaare	1973	2011	Kaldasamba vuugi katte soone mastikstide lahtine
826	Pindi	Võhandu jõgi	(18109) Veriora - Soohara	1969	2010	Kaldasammaste vuukide ühendused kattega lahtised
858	Reo	Võhandu jõgi	(90) Põlva - Karisilla	1977	2000	Katte purunemine kaldasammaste vuukide kohalt
949	Paidra	Võhandu jõgi	(25241) Paidra - Tsoolgo - Joosu	1963	1993	Ulatuslik katte purunemine kaldasamba vuukide kohalt Katte purunemine pealesõiduplaatile otste kohalt Pealesõiduplaatile vajumine Koonusekindlustuste vajumine Pinnase erosioon koonustelt ja koonusekindlustuse alt Pinnase erosioon kaldasamba riigilt alt Pinnase erosioon kaldasammaste tagant Pinnase erosioon pealesõiduplaatile alt
891	Pindi	Võhandu jõgi	(65) Võru - Räpina	1960	2012	-
890	Kääpa	Võhandu jõgi	(65) Võru - Räpina	1959	2012	Kaldasamba vuugi katte soone mastikstide lahtine
888	Kirumpää	Võhandu jõgi	(64) Võru - Põlva	1957	1998	Katte purunemine kaldasammaste vuukide kohalt Katte purunemine pealesõiduplaatile otste kohalt Pealesõiduplaatile vajumine Koonusekindlustuste vajumine Pinnase erosioon koonustelt ja koonusekindlustuse alt Pinnase erosioon kaldasamba riigilt alt Pinnase erosioon kaldasammaste tagant Pinnase erosioon pealesõiduplaatile alt
881	Liitva	Võhandu jõgi	(2) Tallinn - Tartu - Võru - Luhamaa	1963	2002	Katte purunemine kaldasammaste vuukide kohalt Koonusekindlustuse tugiprussi purunemine
898	Sõmerpalu	Võhandu jõgi	(69) Võru - Kuigatsi - Tõrva	1958	1999	Katte purunemine kaldasammaste vuukide kohalt Ulatuslik pinnase erosioon kindlustamata koonustelt

923	Prassi	Võhandu jõgi	(25150) Raiste - Osula - Varese	1968	1993	Katte purunemine kaldasammaste vuukide kohalt Ulatuslik pinnase erosioon kindlustamata koonustelt
900	Hutita	Võhandu jõgi	(69) Võru - Kuigatsi - Tõrva	1960	2011	Kaldasamba vuugi katte soone mastikstäide lahtine Pinnase erosioon koonusekindlustuse alt
899	Muuga	Võhandu jõgi	(69) Võru - Kuigatsi - Tõrva	1962	2011	-
982	Sangaste	Väike- Emajõgi	(69) Võru - Kuigatsi - Tõrva	1962	-	Ulatuslik katte purunemine kaldasamba vuukide kohalt Katte purunemine pealesõiduplaatile otste kohalt Pealesõiduplaatile vajumine Pinnase erosioon koonustelt ja koonusekindlustuste alt
1023	Emajõe	Väike- Emajõgi	(23221) Tõlliste - Kaku	1966	2009	Kaldasammaste vuukide ühendused kattega lahtised
1001	Korva	Väike- Emajõgi	(23129) Laatre - Antsla	1968	1996	Katte purunemine kaldasammaste vuukide kohalt Koonusekindlustuse lagunemine Pinnase erosioon koonusekindlustuse alt
1004	Lotta	Laatre jõgi	(23131) Õru - Keeni - Sikstina	1948	-	Pinnase erosioon koonusekindlustuste alt Pinnase erosioon koonustelt
985	Roobe	Väike- Emajõgi	(69) Võru - Kuigatsi - Tõrva	1961	1999	Katte purunemine kaldasammaste vuukide kohalt Katte purunemine pealesõiduplaatile otste kohalt Pealesõiduplaatile vajumine
1017	Leebiku	Õhne jõgi	(23189) Põrga - Leebiku - Pikasilla	1965	2005	Katte purunemine kaldasammaste vuukide kohalt Koonusekindlustuste ulatuslik lagunemine Koonusekindlustuste tugiprusside purunemine
976	Pikasilla	Väike- Emajõgi	(52) Viljandi - Rõngu	1959	2010	Katte purunemine kaldasamba vuugi kohalt
564	Kulbilohu viadukt	Maantee nr 3	(22150) Elva - Puhja	1989	-	Katte purunemine kaldasammaste vuukide kohalt Katte purunemine pealesõiduplaatile otste kohalt Pealesõiduplaatile vajumine Pinnase erosioon koonusekindlustuse alt
536	Vapramäe	Elva jõgi	(3) Jõhvi - Tartu - Valga	1989	-	Katte purunemine kaldasamba vuugi kohalt
537	Kärevere 3	Suur-Emajõgi	(2) Tallinn - Tartu - Võru - Luhamaa	1999	-	-

532	Kärevere 2	Laeva jõgi	(2) Tallinn - Tartu - Võru - Luhamaa	1950	1996	Katte purunemine kaldasammaste vuukide kohalt Pinnase erosioon koonustelt ja koonusekindlustuse alt Pinnase erosioon kaldasammaste riigli alt
470	Puurmani	Pedja jõgi	(14246) Altnurga - Puurmani	1957	2008	Deformatsioonivuugi vigastused lumesahkade poolt
475	Puurmani 3	Pedja jõgi	(2) Tallinn - Tartu - Võru - Luhamaa	2007	-	-
476	Puurmani viadukt	Maantee nr 14179	(2) Tallinn - Tartu - Võru - Luhamaa	2007	-	Deformatsioonivuugi vigastused lumesahkade poolt
516	Puurmani 2	Kaave jõgi	(14180) Puurmani - Tabivere	1960	2000	Katte purunemine kaldasammaste vuukide kohalt Pinnase erosioon koonusekindlustuse alt Koonusekindlustuste vajumine Koonusekindlustuse tugiprussi purunemine
517	Ausi	Pedja jõgi	(14180) Puurmani - Tabivere	1973	-	Katte purunemine kaldasammaste vuukide kohalt Pealesõidu(plaadi) vajumine Koonusekindlustuste vajumine ja ulatuslik lagunemine Pinnase erosioon kaldasamba riigli alt Pinnase erosioon kaldasammaste tagant
469	Pikknurme	Pikknurme jõgi	(2) Tallinn - Tartu - Võru - Luhamaa	1956	1997	Katte purunemine kaldasammaste vuukide kohalt
467	Põltsamaa 2	Põltsamaa jõgi	(2) Tallinn - Tartu - Võru - Luhamaa	1993	2010	Kaldasammaste vuukide ühendused kattega lahtised
478	Jõgeva viadukt	Tapa - Tartu raudtee	(36) Jõgeva - Mustvee	1987	2010	Kaldasammaste vuukide ühendused kattega lahtised
479	Jõgeva	Pedja jõgi	(36) Jõgeva - Mustvee	1987	2011	-
484	Painküla	Pedja jõgi	(39) Tartu - Jõgeva - Aravete	1946	2002	Katte purunemine kaldasammaste vuukide kohalt Katte purunemine pealesõiduplaadi otsa kohalt Pealesõidu(plaadi) vajumine Koonusekindlustuste vajumine ja lagunemine