



MAANTEEAMET

# Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs

## Uuring



## Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs



**TÖÖVÕTULEPING nr 16-00118/001**



MAANTEEAMET

Tallinn 2016

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

Sisukord

|                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.SISSEJUHATUS .....                                                                        | 4  |
| 1.1 SILDADE OLEMI KOOSTAMINE.....                                                           | 4  |
| 1.2 ANDMETÖÖTLUSE TULEMUSED .....                                                           | 5  |
| 1.3 SILLAVÕRGU ANALÜÜS BMS JA TEEREGISTRI ALUSEL .....                                      | 6  |
| 2. SILDADE KATEGORISEERIMINE.....                                                           | 10 |
| 2.1 ÜLDOSA .....                                                                            | 10 |
| 2.2 UURITAVATE SILDADE VALIM .....                                                          | 11 |
| 2.3 1958. A. SILDADE TÜÜPPROJEKTIDE KATALOOG NR. 56.....                                    | 12 |
| 2.3.1 Raudbetoonkonstruktsioonide arvutus kandvõime järgi.....                              | 12 |
| 2.4 1962. A. SILDADE TÜÜPPROJEKTIDE KATALOOG NR. 56 LISA.....                               | 15 |
| 2.4.1 Raudbetoonkonstruktsioonide arvutus kandvõime järgi.....                              | 16 |
| 3.TUGEVARVUTUSED .....                                                                      | 19 |
| 3.1 TÜÜPTALADEGA SILDADE LAIENDUSED .....                                                   | 19 |
| 3.2 RAUDBETOONKONSTRUKTSIOONIDE PAINDEKANDVÕIME JÄRGI<br>(EUROKOODEKS) .....                | 20 |
| 3.3 RAUDBETOONKONSTRUKTSIOONIDE PAINDEKANDVÕIME JÄRGI<br>(SNIP) .....                       | 21 |
| 3.4 TÜÜPKATALOOGIDE 56 JA 56 LISA TÜÜPTALADE<br>PÕIKJÕUKANDEVÕIME .....                     | 23 |
| 4. BETOONI OMADUSTE VÕRDLUS.....                                                            | 24 |
| 4.1 KAASAEGNE RAUDBETOON.....                                                               | 24 |
| 4.2 RAUDBETOON ENNE 1990 a.....                                                             | 26 |
| 5. LIIKLUSKOORMUSED .....                                                                   | 28 |
| 5.1. EUROKOODEKSI LIIKLUSKOORMUS .....                                                      | 28 |
| 5.2 SN 200-62 PROJEKTEERIMISNORMID .....                                                    | 29 |
| 5.3 SNIP 2.05.03-84 PROJEKTEERIMISNORMID .....                                              | 29 |
| 5.4 RASKEVEOKID .....                                                                       | 30 |
| 5.4.1 Varasemad uuringud ja teema käsitletused .....                                        | 30 |
| 5.4.2 Direktiivi 96/53/EC raskesõidukite kaalu – ja pikkuspiirangute rakendamise mõju ..... | 32 |
| 5.4.3 Veokite konfiguratsioon .....                                                         | 36 |
| 5.4.4 Koormuste modelleerimine.....                                                         | 37 |
| 5.4.5 Väsimus.....                                                                          | 37 |
| 5.4.6 Üldine koormatus .....                                                                | 38 |

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

|         |                                                                                                                   |    |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.5     | METSAVEOMASINATE KOORMUSED SILDADELE .....                                                                        | 39 |
| 5.5.1   | Autoettevõtete Liidu poolt esitatud metsaveokite teljekoormused ja täismassid .....                               | 39 |
| 5.5.2   | Raskeveokite modelleerimine sillal .....                                                                          | 41 |
| 6.      | RASKE- JA ERIVEOKITEST PÕHJUSTATUD SISEJÕUD JA TALADE KANDEVÕIME.....                                             | 44 |
| 6.1     | RASKEVEOKID .....                                                                                                 | 44 |
| 6.1.1   | Tüüpkataloogi 56 raudbetoontalade alusel modelleeritud sildade suurimad sisejõud raskeveokite korral.....         | 44 |
| 6.1.2   | Tüüpkataloogi 56 Lisa raudbetoontalade alusel modelleeritud sildade suurimad sisejõud raskeveokite korral.....    | 45 |
| 6.1.3   | Tüüpkataloogi nr. 56 raudbetoontalade alusel modelleeritud sildade suurimad sisejõud (Eurokoodeks).....           | 45 |
| 6.1.4   | Tüüpkataloogi nr. 56 Lisa raudbetoontalade alusel modelleeritud sildade suurimad sisejõud (Eurokoodeks) .....     | 47 |
| 6.2     | ERIVEOKITE KOORMUS SILDADEL .....                                                                                 | 49 |
| 6.2.1   | Kataloog 56 tüüptalade sisejõud - teljekoormus 240 kN .....                                                       | 49 |
| 6.2.2   | Kataloog 56 tüüptalade sisejõud - teljekoormus 200 kN .....                                                       | 49 |
| 6.2.3   | Kataloog 56 Lisa tüüptalade sisejõud - teljekoormus 240 kN .....                                                  | 50 |
| 6.2.4   | Kataloog 56 Lisa tüüptalade sisejõud - teljekoormus 200 kN .....                                                  | 50 |
| 6.2.4   | Eurokoodeksi ja NL-aegsete projekteerimismuutnormide koormusmuutdelite võrdlus.....                               | 50 |
| 7.      | TUGEVDAMINE .....                                                                                                 | 52 |
| 7.1     | TUGEVDAMISE MEETODITE ÜLEVADE .....                                                                               | 52 |
| 7.2     | VÕRDLUS JA TASUVUS.....                                                                                           | 57 |
| 7.3     | TUGEVDAMISE MEETODID: CFRP RIBAD.....                                                                             | 57 |
| 8.      | KOKKUVÕTE .....                                                                                                   | 63 |
|         | Kasutatud kirjandus.....                                                                                          | 64 |
| LISA 1: | TÜÜPKATALOOGI LIHTTALA SILDADE RISTLÕIKED .....                                                                   | 66 |
| LISA 2: | EUROKOODEKSI JA RASKEVEOKITE KOORMUSMUDELITE PAINDEMOMENTIDE VÕRDLUS TÜÜPKATALOOGI TALADE PAINDEKANDEVÕIMEGA..... | 72 |
| LISA 3: | EUROKOODEKSI JA RASKEVEOKITE KOORMUSMUDELITE PÕIKJÕUDUDE VÕRDLUS TÜÜPKATALOOGI TALADE PÕIKJÕUKANDEVÕIMEGA .....   | 76 |
| LISA 4: | LAIENDAMISELE KUULUVAD MONTEERITAVAST RAUSBETOONIST LIHTTALA SILLAD .....                                         | 80 |
| LISA 5: | PROJEKTIJÄRGSET KANDEVÕIMET MITTE OMAVAD MONTEERITAVAST RAUSBETOONIST LIHTTALA SILLAD.....                        | 81 |

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

## 1.SISSEJUHATUS

Eesti riigimaanteede sillavõrk koosneb 2016. a. seisuga 971-st sillast. Vastavalt *Riigimaanteede teehoiukava 2014 – 2020* kohaselt on investeringute eesmärgiks saavutada sildade optimaalne seisukord aastaks 2030 [7].

AS Ramboll Eesti poolt 2011 a. teostatud uuringus vajab hinnanguliselt 140 silda ümberehitamist, et tagada kandevõime vastavalt 52 t veokite nõutele [22]. 2010. a. Tallinna Tehnikakõrgkooli, Tartu Ülikooli ja Eesti Maaülikooli koostatud „Puidutranspordi makromajanduslikus uuringu“ aruandes tehtud üldistuse alusel loetakse NL-aegse koormusmudeli NK - 80 järgi projekteeritud sillad praeguste 44 t veokite lubamiseks sobivaks. Sellest võib järeldada, et leidub ligikaudu 400 probleemset silda, mille kandevõimet ei vasta 44 teokite nõutele [5].

Uurimistöö on kavandatud Tõnis Liigmanni magistritöö „Eestis ehitatud nõukogudeaegsete raudbetoontaladest tüüpsildade laiendamise ja kandevõime analüüsi“ edasiarenguks.

Tehtud uurimistöös toodi esile, et Eesti riigimaanteedel olevatest sildadest ca 44% ei vasta minimaalsele sõidutee laiusnõudele [17].

Uurimata jäid võimalused nende sildade kandevõime tõstmiseks euronormide kohastele koormustele, ühtlasi hinnata 44 t, 50 t, 54 t ja 60 t metsaveokite (haagis – ja poolhaagis) lubamist NL-aegsetele sildadele ja vajadusel võimalikud tugevdamise meetodid.

Antud töös on võetud käsitlusele NL-aegsete *tüüpkataloogi nr. 56* ja *tüüpkataloogi nr. 56 Lisa* vastavad raudbetoon T-taladest lihttala sillad, mille põhjal on projekteeritud enamuse 1959 – 1970 a. monteeritavast raudbetoonist lihttala sillad – tegemist on levinuma silla tüübiga Eesti sillavõrgus. Töö eesmärk on saada ülevaade laienduse vajadusega sildadest, hinnata praegusel kujul tüüpkataloogi alusel ehitatud sildade kandevõimet ja millega tuleb sildade kandevõime osas arvestada ristlõike muutmisega täiendava laienduse korral. Käesolevas töös esitatud analüüsid on tehtud kanepiiriseisundi alusel, ja kasutuspiiriseisundi (läbipaine, pragude avanemine) analüüsi see töö ei sisalda. Siin on eeldatud, et kui tegemist on erakordsete koormustega, nagu metsaveoautod või ka eriveokid silla servas, siis võib koormuste lühiajalise mõju tõttu lugeda läbipained ja pragude avanemised taastuvateks.

Võimaliku tugevdusmeetodina uuritakse süsinikkiududega tugevdatud polümeeride (orig. *Carbon Fiber Reinforced Polymer – CFRP*) kasutamist paindekandevõime tõstmiseks. Antud tehnoloogia on järjest arenev ja tootjate poolsed lahendused üha parema kvaliteedi-hinna suhtega.

### 1.1 SILDADE OLEMI KOOSTAMINE

Sildade raporti koostamiseks on kasutatud Teeregistri [1] andmebaasi punktandmete aruande vormi. Tee liigiks on valitud kõik riigimaanteed ja andmeliigiks sillad. Lisaparametrina on kasutatud maanteede keskmist ööpäevast liiklussagedust, mille alusel saab määrata tee klassi ja ühtlasi silla vajaliku laius gabariidi lähtuvalt klassist. Registrist saadavatest andmetest on raporti koostamisel kasutatud järgmisi andmeid: silla, viadukti, estakaadi või tunneli number, nimi, laius, pikkus, ületatav takistus, ehitusaasta, ümberehituse aasta, tüübi nimetus,

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

normatiivne kandevõime, sõidutee laius, avade tüüp ja arv, avaehituse materjal, üksikute avade arvutuslikud pikkused, konstruktsioon ja ehitusmaterjal, seisundi kontrollimise aasta, seisundi hinne [2].

Nendele tuginedes on igale sillale juurde arvatud maantee klass, silla nõutav gabariidi laius ja laienduse vajaduse korral silla sõidutee laiuse puudujääk.

Puidutranspordi makromajanduslikus uuringus [5] on välja toodud lubatava koormuse tõstmise korral ebapiisavat kandevõimet omavad sillad. Peamisteks kriteeriumiteks on ebapiisav projekteeritud kandevõime või madal BMS-järgne [4] Seisukorraindeks, mille tulemusena projektikohane kandevõime ei ole tagatud. Praeguseks hetkeks on enamus nimekirjas väljatoodud sildadest läbinud remondi ja antud nimekirja on autor sellest lähtuvalt kaasaajastanud. Lubatava koormuse tõstmise korral tuleks massipiirangu rakendamist kaaluda sildadele, mida on juba remondi käigus laiendatud või millel on pikalt väljaulatuvad konsoolsed osad.

## 1.2 ANDMETÖÖTLUSE TULEMUSED

Sillad on jaotatud aasta keskmise ööpäevase liiklussageduse alusel maanteeklassidesse (I-VI), vastavalt maanteeklassile on võetud silla vajalikuks sõidutee laiusgabariidiks antud maanteeklassil nõutud minimaalne sõidutee laius. Maanteeklassidesse jagunemine AKÖL'i põhjal on näidatud peatükis tabelis 1.1 ning vastavad sõidutee gabariidid on toodud tabelis 1.2. Sildade andmete analüüsi põhjal selgitati välja sillad, mille puhul esines puudusi laiusgabariidi, kandevõime või seisukorraindeksi alusel. Laiusgabariidi puudujäägi määramisel võrreldi sillal sõidutee laiust maantee sõidutee laiusega. Kandevõimele hinnangu andmisele on antud töös tuginetud puidutranspordi makromajanduslikus uuringus välja toodud projektijärgset kandevõime puudujääki omavate sildade nimekirjale [5].

Seisukorraindeksi SI väärtused on võetud Teeregistri [1] aruannete alusel;  $SI < 60$  korral on mõistlik kaaluda silla uuesti ehitamist,  $60 < SI < 70$  korral tuleb teha kindlaks projektikohase kandevõime säilivus ja leida võimalusi taastusremondi ja vajadusel tugevdamise teostamiseks. [5]

**Tabel 1.1** Maanteede jaotus klassidesse.

*Väljavõte Maanteede projekteerimisnormidest[4], tabel 1.5*

| Maantee klass | Eeldatav aasta keskmine ööpäevane liiklussagedus |                       |
|---------------|--------------------------------------------------|-----------------------|
|               | Füüsiline                                        | Taandatud sõiduautole |
|               | Liiklussagedus a/ööp                             | Liiklussagedus a/ööp  |
| Kiirtee       | > 40 000                                         | > 45 000              |
| I             | > 14 500                                         | > 18 500              |
| II            | 6000-14500                                       | 7200-18 500           |
| III           | 3000-6000                                        | 3500-7200             |
| IV            | 500-3000                                         | 1000-3500             |
| V             | 50-500                                           | 100-1000              |
| VI            | < 50                                             | <100                  |

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

**Tabel 1.2** Ristprofili laiused sillal, viaduktil ja estakaadil.

Väljavõte Maanteede projekteerimismõistetest[4], tabel 2.3

| Maantee klass | Laius (m)        |                  |             |                      |                      | Gabariit G    |
|---------------|------------------|------------------|-------------|----------------------|----------------------|---------------|
|               | Sõidutee<br>S=nb | Eraldusriba<br>E | Ohutusribad |                      |                      |               |
|               |                  |                  | O           | vasak O <sub>1</sub> | parem O <sub>2</sub> |               |
| Kiirtee       | 2x(2x3,75)       | 13,50            | -           | 2,00                 | 3,50                 | 13,0+9,5+13,0 |
| I             | 2x(2x3,75)       | ≥ 6,00           | -           | 1,50                 | 3,00                 | 12,0+2,0+12,0 |
| II            | 2x3,75           | -                | 2,25        | -                    | -                    | 12,0          |
| III           | 2x3,50           | -                | 1,50        | -                    | -                    | 10,0          |
| IV            | 2x3,00           | -                | 1,50        | -                    | -                    | 9,0           |
| V             | 2x3,00           | -                | 1,00        | -                    | -                    | 8,0           |
| VI            | 2x3,00           | -                | 0,50        | -                    | -                    | 7,0           |
|               | 1x3,00           |                  | 0,50        |                      |                      | 4,0           |

**Tabel 1.3** Uuringu lähteandmete maht

|                      |            |
|----------------------|------------|
| Kokku                | 971        |
| Jalakäijate sillad   | 20         |
| Kasutusest väljas    | 2          |
| Lammutatud           | 2          |
| <b>Kokku uuritud</b> | <b>947</b> |

### 1.3 SILLAVÕRGU ANALÜÜS BMS JA TEEREGISTRI ALUSEL

Sillavõrgu BMS analüüs ja register on koostatud kasutades tarkvara Pontis<sup>1</sup> ja sinna on kantud inspekteeritud sildade registriandmed, sillaelementide kahjustuste mahud ja fotod aastatel 2004-2013. Edaspidi on lähtud Eesti sillavõrgu ülevaatlike ja analüüsivate aruannete koostamisel Riikliku Teeregistri andmebaasist.

Käesolevas töös on ilmsiks tulnud BMSi ja Teeregistri poolt pakutavate sildade registriandmete uurimistöö tulemust mõjutav ebakõla, mis nõudis lähemat uurimist ja võrdlemist.

Võrdlev analüüs on teostatud silmas pidades erinevate andmebaaside tulemusi silla laiendusvajadust enim mõjutava sõidutee laius sillal ja kandevõimet ning remondiotstarbekust iseloomustava seisundiindeksi tulemusi.

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

Tabel 1.4 Laienduse vajadus vastavalt maanteeklassile (Teeregister)

| Maanteeklass vastavalt AKÖL-le | Kokku | Vajab laiendamist | Osakaal osahulgast, % | Keskmine laiendus, m | Osakaal laiendamise kogumahust, % | Osakaal sillavõrgu kogumahust, % |
|--------------------------------|-------|-------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| 1                              | 8     | 1                 | 13%                   | 3.8                  | 0.3%                              | 0.1%                             |
| 2                              | 76    | 41                | 54%                   | 3.11                 | 12%                               | 4.3%                             |
| 3                              | 76    | 28                | 37%                   | 1.92                 | 8%                                | 3.0%                             |
| 4                              | 193   | 64                | 33%                   | 1.8                  | 18%                               | 6.8%                             |
| 5                              | 411   | 174               | 42%                   | 1.22                 | 50%                               | 18.4%                            |
| 6                              | 183   | 42                | 23%                   | 1.48                 | 12%                               | 4.4%                             |
| Kokku                          | 947   | 350               |                       | 1.75                 | 100%                              | 37%                              |

Tabel 1.5 Laienduse vajadus vastavalt maanteeklassile (BMS)

| Maanteeklass vastavalt AKÖL-le | Kokku | Vajab laiendamist | Osakaal osahulgast, % | Keskmine laiendus, m | Osakaal laiendamise kogumahust, % | Osakaal sillavõrgu kogumahust, % |
|--------------------------------|-------|-------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| 1                              | 8     | 2                 | 25%                   | 4.2                  | 0.6%                              | 0.2%                             |
| 2                              | 76    | 38                | 50%                   | 2.34                 | 10.9%                             | 4.0%                             |
| 3                              | 76    | 27                | 36%                   | 1.75                 | 7.8%                              | 2.9%                             |
| 4                              | 193   | 61                | 32%                   | 1.35                 | 17.5%                             | 6.4%                             |
| 5                              | 411   | 181               | 44%                   | 1.11                 | 52.0%                             | 19.1%                            |
| 6                              | 183   | 39                | 21%                   | 1.49                 | 11.2%                             | 4.1%                             |
| Kokku                          | 947   | 348               |                       | 1.3                  | 100%                              | 37%                              |

<sup>1</sup> – Sildade ja viaduktide seisukorra hindamise tarkavara

Tabel 1.6 Projekteeritud kandevõime tagatus vastavalt maanteeklassile (Teeregister)

| Maanteeklass vastavalt AKÖL-le | Kokku | Kandevõime puudujääk | Osakaal osahulgast, % | Osakaal kogumahust, % | Osakaal sillavõrgu kogumahust, % |
|--------------------------------|-------|----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|
| 1                              | 8     | 0                    | 0.00%                 | 0.0%                  | 0.0%                             |
| 2                              | 76    | 3                    | 3.95%                 | 3.2%                  | 0.3%                             |
| 3                              | 76    | 2                    | 2.63%                 | 2.1%                  | 0.2%                             |
| 4                              | 193   | 10                   | 5.18%                 | 10.6%                 | 1.1%                             |
| 5                              | 411   | 52                   | 12.65%                | 55.3%                 | 5.5%                             |
| 6                              | 183   | 27                   | 14.75%                | 28.7%                 | 2.9%                             |
| Kokku                          | 947   | 94                   |                       | 100%                  | 10%                              |

Teeregistri ja BMS andmebaasi põhjal eristatakse järgmisi vaadeldud sildade enamlevinud avaehituse konstruktsiooni tüüpe.

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“



Foto 1.1 Kaar (sõidutee all)

Allikas: <http://bms.teed.ee>



Foto 1.2 Teraskaar



Foto 1.3 Karptala

Allikas: <http://bms.teed.ee>



Foto 1.4 Terastoru

Allikas: <http://bms.teed.ee>



Foto 1.5 Völv

Allikas: <http://bms.teed.ee>



Foto 1.6 Sõrestiksild

Allikas: <http://bms.teed.ee>

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“



Foto 1.7 Rippsild

Allikas: <http://bms.teed.ee>

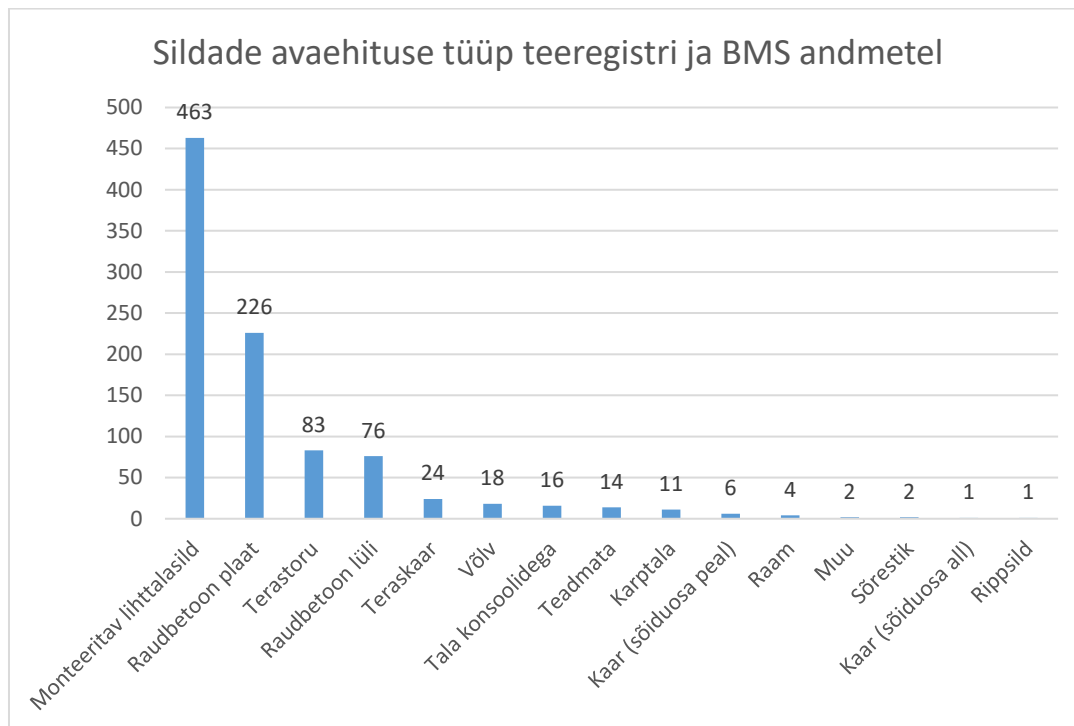
Tabel 1.7 Sildade tüüpilised avaehitused

| Tüüp                     | Kogus | Kandevõime ei vasta | Keskmine SI | Vajab laiendust | Keskmine laiendus, m |
|--------------------------|-------|---------------------|-------------|-----------------|----------------------|
| Monteeritav lihttalasild | 463   | 47                  | 85          | 160             | 1,32                 |
| Raudbetoon plaat         | 226   | 38                  | 73          | 118             | 1,25                 |
| Terastoru                | 83    | -                   | 97          | 15              | 0,93                 |
| Raudbetoon lüli          | 76    | 3                   | 78          | 7               | 0,57                 |
| Teraskaar                | 24    | -                   | 99          | 7               | 1,47                 |
| Võlv                     | 18    | 3                   | 86          | 12              | 2,22                 |
| Tala konsoolidega        | 16    | 2                   | 81          | 9               | 1,75                 |
| Teadmata                 | 14    | -                   | 100         | 10              | -                    |
| Karptala                 | 11    | -                   | 98          | -               | -                    |
| Kaar (sõiduosa peal)     | 6     | -                   | 94          | 4               | 2,25                 |
| Raam                     | 4     | -                   | 100         | 1               | 5                    |
| Muu                      | 2     | -                   | 92          | 2               | 1,75                 |
| Sõrestik                 | 2     | 2                   | 96          | 2               | 3,73                 |
| Kaar (sõiduosa all)      | 1     | -                   | 100         | -               | -                    |
| Rippsild                 | 1     | -                   | 98          | 1               | 1,9                  |

Avaehituse kõige levinumaks konstruktsiooni tüübiks on monteeritavast raudbetoonist lihttalasillad, mida on kokku 463 ehk kolmandik sildade koguarvust.

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

Graafik 1.1 Sildade avaehituse tüübid



## 2. SILDADE KATEGORISEERIMINE

### 2.1 ÜLDOSA

Ümberehitust vajavate sildade hindamiseks on sillad jaotatud alljärgnevalt:

1. Sildade vanuseline jaotus vastavalt BMS ja Teeregistri andmetele:
  - a. Arhitektuurset väärtust ja muinsuskaitse all olevad sillad, millele on kehtestatud ehituspiirangud (ei saa kandevõimet suurendada ega laiendada). Sellesse gruppi loetakse sillad mille ehitusaasta on 1929 või varasem. Riigimaanteede sildade seast **23** silda.
  - b. Teise grupi moodustavad sillad ehitusaastaga 1930 – 1958, mille projekteerimisel kasutati normkoormusi N8, N24 või N30. Kokku **120** silda mis vajavad rekonstrueerimist.
  - c. Kolmanda grupi sillad on ehitusaastaga 1959 – 1970 ja mille projekteerimisel kasutati normkoormusi A11, N10, N13, N18, NG-60, NK-80 määramaks tüüpkataloogide nr. 56 ja nr 56 Lisa kohaseid võimalikke sillatalasid. Kokku **173** silda, millest **60** vajavad laiendamist ja **13** tugevdamist.

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

- d. Neljanda grupi moodustavad sillad ehitusaastaga 1971-2000. Nende puhul ei saa olemasoleva registri põhjal teha kindlaks kasutatud raudbetoontalade tüüpi, kuigi endiselt projekteeri sildu SNiP - koormusmodelitele.
- e. Viienda grupi moodustavad sillad, mis on ehitatud peale 2000-ndat aastat ja projekteeritud tänapäevaseid koormuseid silmas pidades. Laiendamist vajavaid sildu on **71**, millest **1** sild vajab ümberehitust halva seisundi tõttu (SI-indeks alla 60 punkti).

Antud töös on võetud uurimise alla tüüpkataloogi nr. 56 ja nr. 56 Lisa-s toodud raudbetoontaladest ehitatud sillad, mis vastavad kolmanda grupi sildadele ehitusaastaga 1959 – 1970 ja mille projekteerimisel on lähtutud NG-60 ja NK-80 eriveokist.

## 2.2 UURITAVATE SILDADE VALIM

Antud töös on keskendutud raudbetoonist monteeritavate lihttala avaehitusega sildadele. Kindlaks on tehtud antud sillatüübi enamlevinud ristlõike tüüp ja talastik. Ristlõigete geomeetriliste mõõtmete määramiseks on kasutatud tüüpsete talade katalooge [10] [11]. Eestis levinud kaks silla tüüpprojektide kataloogi, varasem neist kannab pealkirja „Типовые проекты сооружений на автомобильных дорогах. Выпуск 56“ [10] (*tõlk.* Autoteede rajatiste tüüpprojektid. Väljaanne 56), mis on koostatud aastal 1958. Hilisem kataloog on välja antud neli aastat hiljem ehk 1962. aastal ning on sisuliselt 58. aasta väljaande muudetud versioon ja kannab nimetust „Типовые проекты сооружений на автомобильных дорогах. Выпуск 56 – дополнения“ [11] (*tõlk.* Autoteede rajatiste tüüpprojektid. Väljaanne 56 - lisa).

Tüüpkataloogis nr. 56 ja nr. 56 Lisa on välja toodud 3 silla laiusgabariiti Г-6, Г-7 ja Г-8, kus Г on gabariidi tähis ja number sillateki laius meetrites. Joonisel 5.1 on näidud talade paigutus kahes olukorras: ainult sõidutee ja sõidutee koos kõnniteega.

Kokku on laiendust vajavaid raudbetoon lihttalasildu **144**, millest hinnanguliselt pooled - **60** silda vastavad eelpool mainitud tüüpkataloogidele.

Laiendamist vajavate tüüpprojektile vastavate monteeritavate raudbetoon lihttalasildade nimekiri on esitatud antud töö lisas [Lisa 4]

Kokku on tugevdamist vajavaid raudbetoon lihttalasildu **41**, millest **13** silda vastab eelpool mainitud tüüpkataloogidele.

Tugevdamist vajavate tüüpprojektile vastavate monteeritavate raudbetoon lihttalasildade nimekiri on esitatud antud töö lisas [Lisa 5].

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

## 2.3 1958. A. SILDADE TÜÜPPROJEKTIDE KATALOOG NR. 56

Kataloogis nr. 56 on toodud välja monteeritavad T-talad, mis on omavahel ühendatud diafragmadega, ent vööde omavahelist monolitiseerimist tüüpprojektis ettenähtud ei ole. Pikitalade vahekaugus 1,4m ja põiktalade samm 2,7m. Kataloogis esitatud talade pikkused on toodud tabelis 2.1.

Kataloogi koormudelile N-13 NG-60 projekteeritud T-talade valmistamisel on kasutatud on betooni margiga M250, armatuuri terase mark Ct-3, mille arvutuslikuks voolupiiriks 210MPa [10][13]

Kataloogi koormudelile N-18 NK-80 projekteeritud T-talade valmistamisel on kasutatud on betooni margiga M300, armatuuri terase mark Ct-3, mille arvutuslikuks voolupiiriks 210MPa [10][13].

Tabel 2.1 Tüüpkataloogis nr 56 talade pikkused [10]

| Ava pikkus, m | Arvutuslik pikkus, m | Tala kogupikkus, m |
|---------------|----------------------|--------------------|
| 7,5           | 8,40                 | 8,66               |
| 10,0          | 11,10                | 11,36              |
| 12,5          | 13,70                | 14,06              |
| 15,0          | 16,30                | 16,76              |
| 20,0          | 21,60                | 22,16              |

Kataloogis eristatakse sisemisi ja äärmisi talasid, kus äärmistel taladel puuduvad välimised diafragmad. Joonisel 2.1 on vasakul tulbas koormusudelile NG-60 projekteeritud tüüptalad ja paremal tulbas koormusudelile NK-80 projekteeritud tüüptalad.

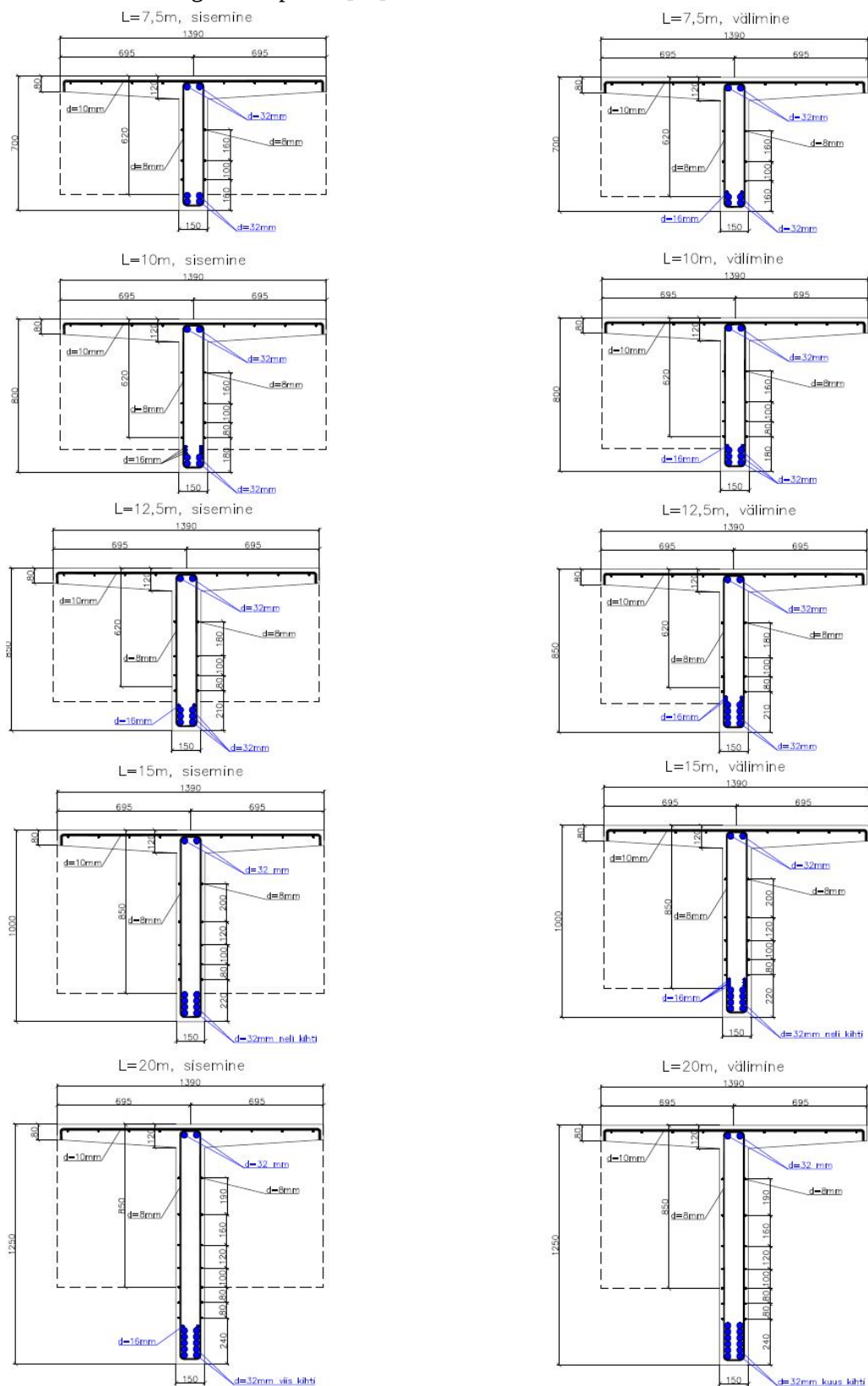
Järgnevates paindekandevõime tabelites tähistab  $M_{Ed}$  tüüpkataloogides sätestatud suurimat arvutuslikku avamomenti (ühtlasi suurim moment talas). Mõlema kataloogi puhul tekib suurim paindemoment eriveoki NG-60 või NK-80 rakendamisel. Ristlõike arvutuslik paindekandevõime on tähistatud  $M_{Rd}$ , mille arvutuskäik on toodud punktis 5.2

### 2.3.1 Raudbetoonkonstruktsioonide arvutus kandvõime järgi.

Järgnevalt esitatakse tüüpkataloogis nr 56 toodud talade kandevõime arvutused. Kuna erikoormutsele NG-60 ja NK-80 valmistatud talad olid erineva betooni margiga, siis seetõttu ka nende talade kandevõimed on erinevad. Talade skeemid on toodud joonistel 2.1-2.2 ja talade kandevõimed tabelis 2.2-2.3.

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

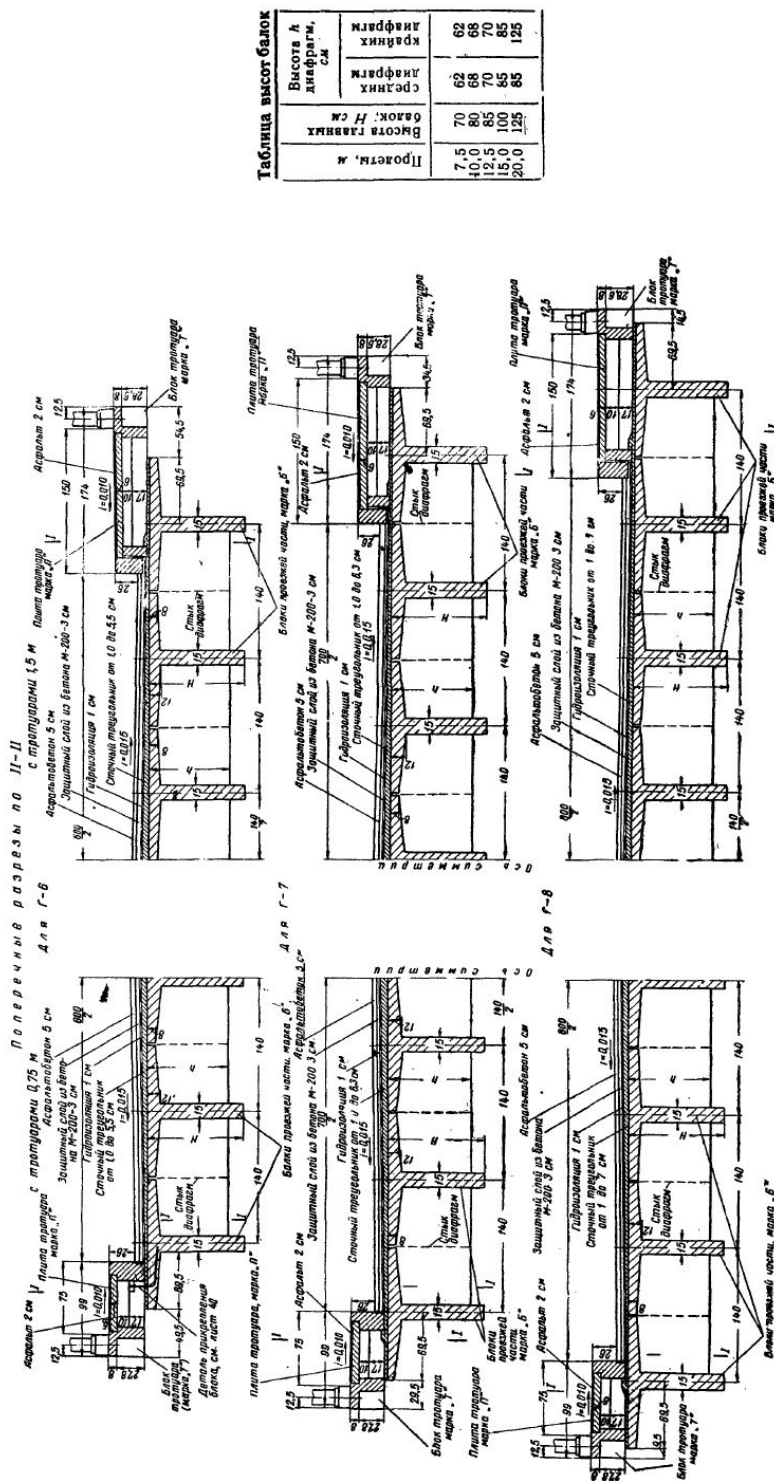
Joonis 2.1 Kataloogi 56 tüüptalad [10]



„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

Joonis 2.2 Väljavõte 1958. a. tüüpkataloogist realkirja „Типовые проекты сооружений на автомобильных дорогах. Выпуск 56“ [10]

Нагрузки: Н-13 и НГ-60; Н-18 и НК-80



„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

Tabel 2.2 Piirkandevõime  $M_{Rd}$  sõltuvus ristlõike parameetritest N-13 NG-60 koormusmudeli korral

| L=7,5           |      | L=10 | L=12,5 | L=15 | L=20 |
|-----------------|------|------|--------|------|------|
| H               | 700  | 800  | 850    | 1000 | 1250 |
| b <sub>f</sub>  | 1390 | 1390 | 1390   | 1390 | 1390 |
| t <sub>f</sub>  | 150  | 150  | 150    | 150  | 150  |
| f <sub>ck</sub> | 22   | 22   | 22     | 22   | 22   |
| M <sub>ed</sub> | 388  | 596  | 820    | 1086 | 1428 |
| M <sub>Rd</sub> | 410  | 644  | 810    | 1180 | 1942 |

Tabel 2.3 Piirkandevõime  $M_{Rd}$  sõltuvus ristlõike parameetritest N-18 NK-80 koormusmudeli korral

| L=7,5           |      | L=10 | L=12,5 | L=15 | L=20 |
|-----------------|------|------|--------|------|------|
| H               | 700  | 800  | 850    | 1000 | 1250 |
| b <sub>f</sub>  | 1390 | 1390 | 1390   | 1390 | 1390 |
| t <sub>f</sub>  | 150  | 150  | 150    | 150  | 150  |
| f <sub>ck</sub> | 26   | 26   | 26     | 26   | 26   |
| M <sub>ed</sub> | 431  | 705  | 992    | 1292 | 1993 |
| M <sub>Rd</sub> | 460  | 757  | 1087   | 1378 | 2197 |

H – tala kõrgus

$b_f$  – vöö laius

$t_f$  – seina paksus

$f_{ck}$  – betooni normsurvetugevus (MPa)

$M_{Ed}$  – suurim moment talas (kNm)  $M_{Rd}$  – paindekandevõime (kNm)

## 2.4 1962. A. SILDADE TÜÜPPROJEKTIDE KATALOOG NR. 56 LISA

Analoogilised arvutused on sooritatud kataloogis nr 56 Lisa [11] esitatud talade kohta, mis on massiivsema seinaga ja paksema vööga. Peakandurite vahel ei ole kasutatud põiksidemeid. Tüüpprojekti kohaselt on talad omavahel monolitiseeritud tavaarmatuuriga. Kataloogis esitatud talade pikkused on toodud tabelis 2.4.

Kataloogi koormudelile N-13 NG-60 projekteeritud T-talade valmistamisel on kasutatud on **betooni margiga M250**, armatuuri terase mark Cm-3, mille arvutuslikuks voolupiiriks 210MPa [11][13]

Kataloogi koormudelile N-18 NKt-80 projekteeritud T-talade valmistamisel on kasutatud on **betooni margiga M300**, armatuuri terase mark Cm-5, mille arvutuslikuks voolupiiriks 270MPa [11][13]

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

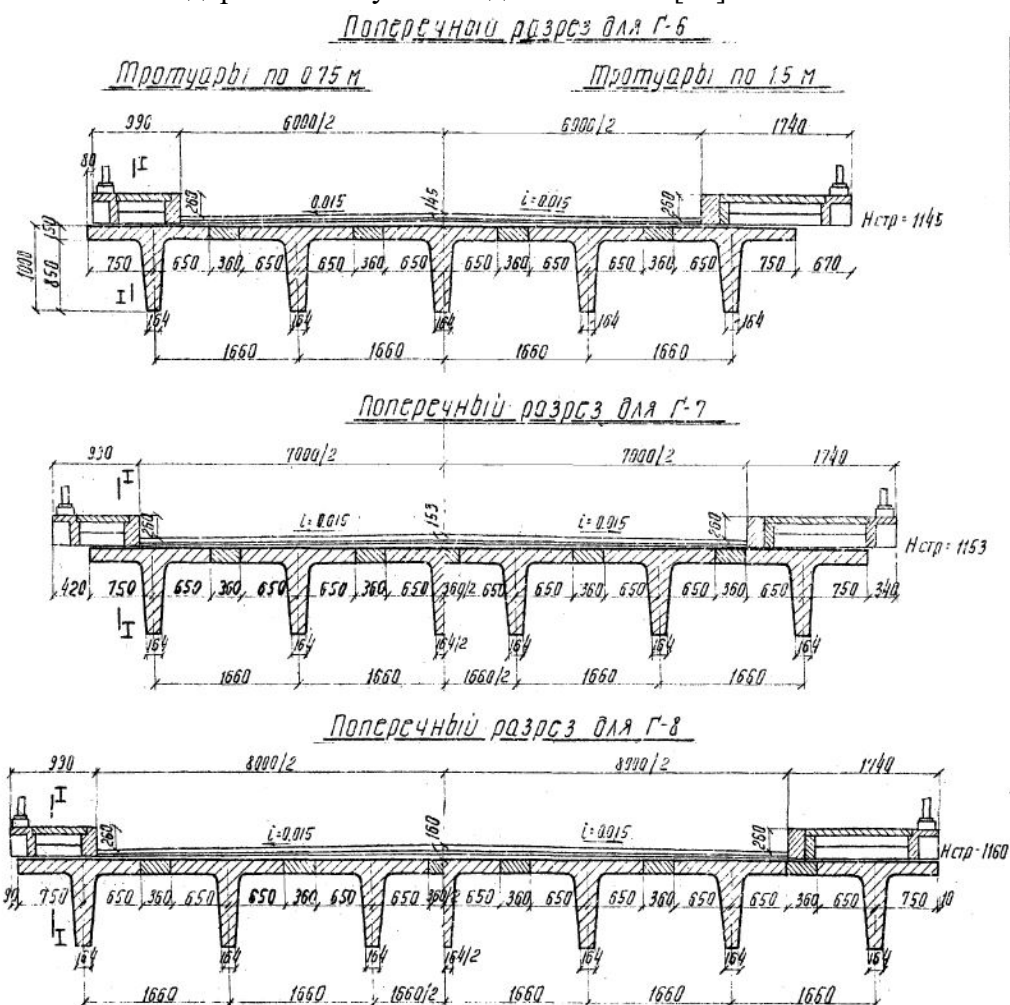
Tabel 2.4 Tüüpkataloogis nr 56 Lisa talade pikkused [11]

| Ava pikkus, m | Arvutuslik pikkus, m | Tala kogupikkus, m |
|---------------|----------------------|--------------------|
| 7,5           | 8,40                 | 8,66               |
| 10,0          | 11,10                | 11,36              |
| 12,5          | 13,70                | 14,06              |
| 15,0          | 16,30                | 16,76              |

## 2.4.1 Raudbetoonkonstruktsioonide arvutus kandvõime järgi.

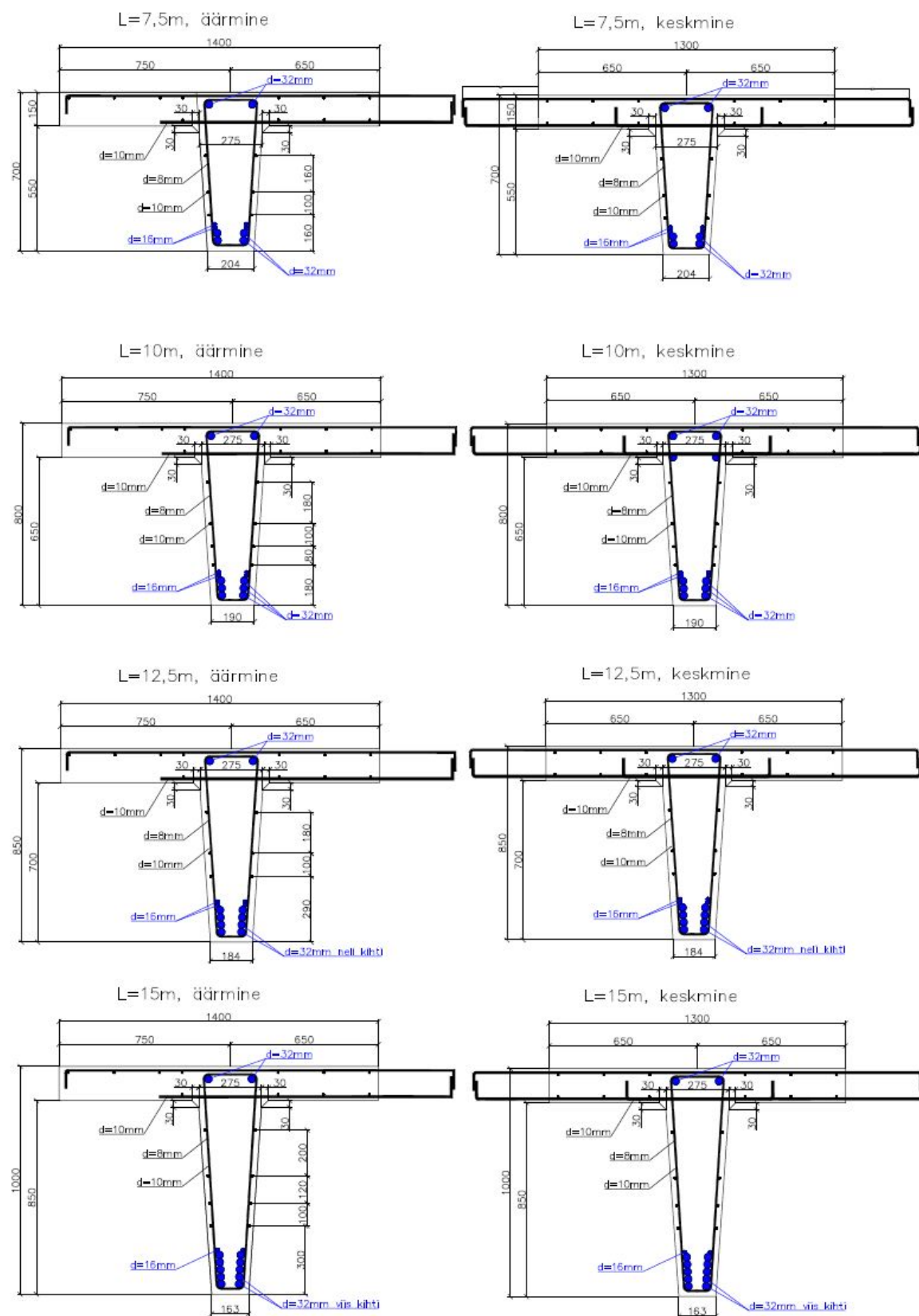
Järgnevalt esitatakse tüüpkataloogi nr 56 Lisa toodud talade kandevõime arvutused. Kuna erikoormutsele NG-60 ja NK-80 valmistatud talad olid erineva betooni margiga, siis seetõttu ka nende talade kandevõimed on erinevad. Talade skeemid on toodud joonistel 2.3-2.4 ja talade kandevõimed tabelites 2.5-2.6.

Joonis 2.3 Väljavõte 1962. a. tüüpkataloogist „Типовые проекты сооружений на автомобильных дорогах. Выпуск 56 – дополнения“ [11]



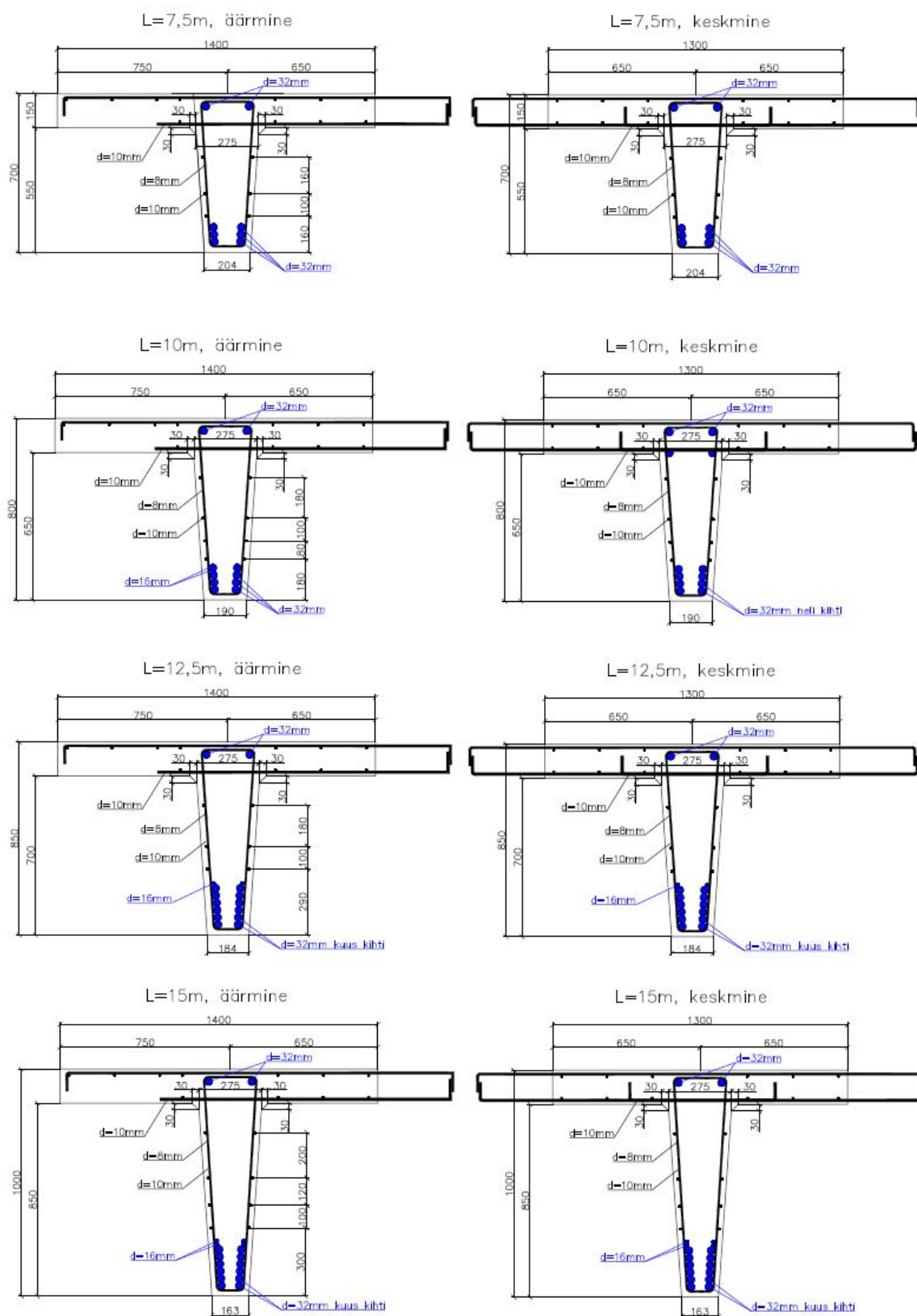
„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

Joonis 2.4 Kataloogi 56 Lisa tüüptalad N-13 NG-60 koormusmudeli korral [11]



„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

Joonis 2.5 Kataloogi 56 Lisa tüüptalad N-18 NK-80 koormusmodeli korral [11]



„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

Tabel 2.5 Piirkandevõime  $M_{Rd}$  sõltuvus ristlõike parameetritest N-13 NG-60 koormusmudeli korral

| L=7,5           |      | L=10 | L=12,5 | L=15 |
|-----------------|------|------|--------|------|
| H               | 700  | 800  | 850    | 1000 |
| b <sub>f</sub>  | 1300 | 1300 | 1300   | 1300 |
| t <sub>f</sub>  | 204  | 190  | 184    | 163  |
| f <sub>ck</sub> | 22   | 22   | 22     | 22   |
| M <sub>ed</sub> | 444  | 653  | 1206   | 1552 |
| M <sub>Rd</sub> | 648  | 1030 | 1377   | 1908 |

Tabel 2.6 Piirkandevõime  $M_{Rd}$  sõltuvus ristlõike parameetritest N-18 NK-80 koormusmudeli korral

| L=7,5           |      | L=10 | L=12,5 | L=15 |
|-----------------|------|------|--------|------|
| H               | 700  | 800  | 850    | 1000 |
| b <sub>f</sub>  | 1300 | 1300 | 1300   | 1300 |
| t <sub>f</sub>  | 204  | 190  | 184    | 163  |
| f <sub>ck</sub> | 26   | 26   | 26     | 26   |
| M <sub>ed</sub> | 458  | 719  | 996    | 1364 |
| M <sub>Rd</sub> | 771  | 1166 | 1817   | 2294 |

H – tala kõrgus

$b_f$  – vöö laius

$t_f$  – seina paksus

$f_{ck}$  – betooni normsurvetugevus (MPa)

$M_{ed}$  – suurim moment talas (kNm)

$M_{Rd}$  – paindekandevõime (kNm)

### 3.TUGEVSARVUTUSED

#### 3.1 TÜÜPTALADEGA SILDADE LAIENDUSED

Monteeritavate taladega tüüpsildadel on keskmine laiendamise vajadus 1,3 m. Arvestatud on tekiehituse konsoolse laiendusega võrdselt mõlemale poole. Väikese laiendusvajaduse korral (alla 0,4m) tuleks juurdeehituse asemel kaaluda ka alternatiivseid lahendusi. Ühe võimalusena nähakse pörkepiirde vahetamist kõrgema klassi ehk väiksema töölaiusega piirde vastu, mille järel saab vähendada vajaliku servaprussi laiust ja suurendada sõidutee pinda. Suurema laienduse vajaduse kuni 2m korral tuleb hinnata laiendamise majanduslikku otstarbekust. [17] Olemasolevate sildade arvutusmudeli koostamisel on kasutatud tüüpkataloogide kohaselt järgmisi eeldusi:

- Sõidutee radade laius (enne ja pärast laiendust) 3m\*

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

- Silla arvutuslik pikkus tuleneb tüüpkataloogi tala pikkusest
- Servaprussi laius 0,75 m + 0,24 m piirdealust betoonserva
- Raudbetoonist tasanduskihi paksus 1 – 7 cm (põikkalle 1,5%)
- Hüdroisolatsioonikiht 1 cm
- Kaitsekiht 3 cm
- Asfaltbetoonkate 5 cm

\*Sõidutee radade laius sõltub markeeringust ega ole rangelt seotud ristlõikega.

Laiendatud sillakonstruktsiooni arvutusmudelil on muudetud servaprussi laiuse tingimust varasema 0,99 m pealt 0,60 m peale, mis tuleneb Maanteeameti nõudest võimaldada pörkepiirde terminali paigaldamist. Laiendust teostatakse paralleelselt mõlemale poole, tagamaks äärmiste talade võrdse koormatuse. Olemasolevad ja laiendatud ristlõike joonised on toodud Lisa 1 all.

Kaasaegne ja NL-aegne raudbetoonelementide kandevõime arvutus toimub erinevate meetodikate kohaselt ja seetõttu on ka sama tala nii painde- kui ka põikjõu kandevõime suurused erinevad. Alljärgnevalt esitatakse mõlemate arvutusmeetodikate valemid.

### 3.2 RAUDBETOONKONSTRUKTSIOONIDE PAINDEKANDVÕIME JÄRGI (EUROKOODEKS)

Survetsooni kõrgus surve-ja tõmbejõudude tasakaalust:

$$S = \frac{(A_s - A'_s) f_{yk} \gamma_c}{\alpha_c f_{ck} b_f \gamma_s} \quad (\text{valem 3.1}) [14]$$

\*Eesti standardi [rahvusliku lisa järgi  $\alpha_c=1$ ]

Survetsooni arvutuskõrgus:

$$x = \frac{s}{0,8} \quad (\text{valem 3.2}) [14]$$

Tõmbearmatuuri voolavustingimuse kontroll:

$$x \leq x_c = \frac{0,0035d}{0,0035 + \frac{f_{yk}}{E_s \gamma_s}} \quad (\text{valem 3.3}) [14]$$

Survearmatuuri voolavuse kontroll:

$$\frac{d_r}{d} \leq \xi_{bal} \left( 1 - \frac{f_{yk}}{\gamma_s E_s 0,0035} \right) \quad (\text{valem 3.4}) [14]$$

Piirkandevõime (survetsoon asub vöös)

$$M_{Rd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \{ A_s (d - 0,5s) + A'_s (0,5s - d') \} \quad (\text{valem 3.5}) [14]$$

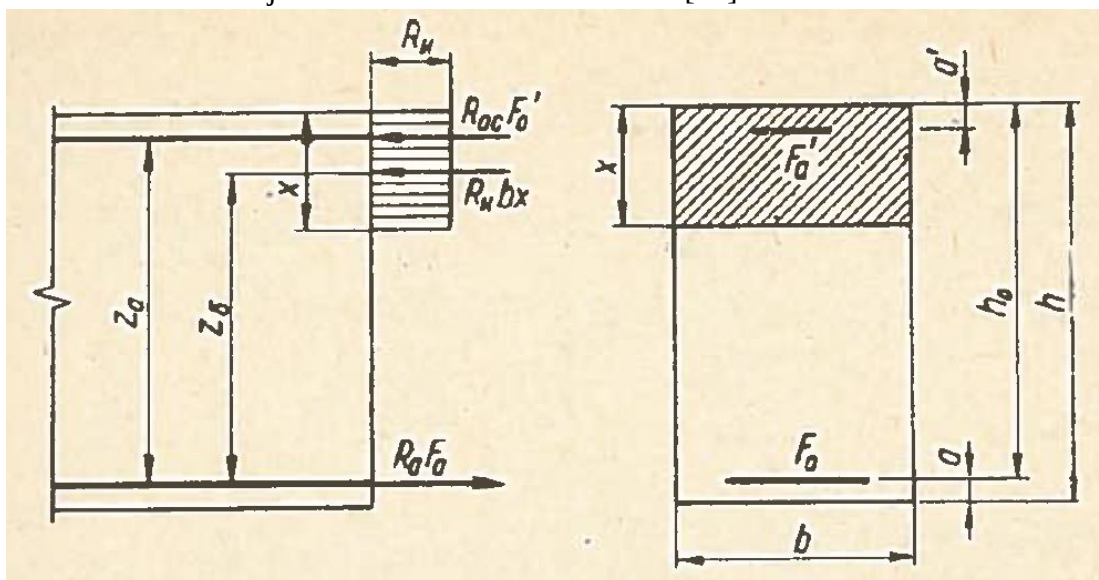
„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

|             |                                  |
|-------------|----------------------------------|
| $\gamma_c$  | betooni osavarutegur             |
| $\gamma_s$  | terase osavarutegur              |
| $f_{ck}$    | betooni normatiivne survetugevus |
| $f_{yk}$    | terase normatiivne voolupiir     |
| $E_s$       | terase elastsusmoodul            |
| $d'$        | survearmatuuri kasuskõrgus       |
| $d$         | tõmbearmatuuri kasuskõrgus       |
| $A_s$       | tõmbearmatuuri ristlõikepindala  |
| $A'_s$      | survearmatuuri ristlõikepindala  |
| $\xi_{bal}$ | suhteline piirdeformatsioon      |

EC näeb ette betooni osavaruteguri  $\gamma_c=1,5$  ja armatuurterase osavaruteguri  $\gamma_s=1,15$  kasutamise. Antud töös on lähtutud SNiP kohasest betooni osavarutegurist 1,625. Armatuurterase voolupiiri karakteristikuna on kasutatud sarruse arvutustugevusi vastavalt klassile A-I ja A-II [13].

### 3.3 RAUDBETOONKONSTRUKTSIOONIDE PAINDEKANDVÕIME JÄRGI (SNIP)

Joonis 3.1 Tõmbe – ja survearmatuuri arvutus skeem [13]



SNiP arvutusmetoodikas toodud valemities on esitatud arvutuslikud suurused ja väärtused. Kandevõime arvutus on analoogne EC arvutuskäigule, esineb vaid teatud erinevusi ristlõike empiiriliseks hindamiseks. Normaalarmeeritud ristlõike korral on arvutusvalemid ja seega ka tulemused samad.

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

Momendi tasakaalu tingimus tõmbesarruse pinna  $F_a$  raskuskeskme suhtes:

$$M \leq R_H b x \left( h_0 - \frac{x}{2} \right) + R_{ac} F'_a (h_0 - a') \quad (\text{valem 3.6}) [13]$$

Valemis 5.8 leiduv arvutuslik survetsooni kõrgus leitakse jõudude tasakaalu tingimusest:

$$R_a F_a - R_{ac} F'_a = R_H b x \quad (\text{valem 3.7}) [13]$$

,kust

$$x = \frac{R_a F_a - R_{ac} F'_a}{R_H b} \quad (\text{valem 3.8}) [13]$$

Mitmekihilise tõmbearmatuuri korral tuleb varrastel mis asuvad ristlõike tõmmatud äärest kaugemal kui  $\frac{1}{2}(h - x)$  vähendada arvutustugevust teguriga 0,8. (erinevus Eurokoodiga)

Lisaks tasakaalutingimustele peavad vastavalt normidele (SNIIP II-B.1-62) olema rahuldatud veel kaks tingimust:

$$\frac{S_6}{S_0} \leq \xi \quad (\text{Tingimus 3.1}) [13]$$

ja

$$z_6 \leq z_a \quad (\text{Tingimus 3.2}) [13]$$

kus  $S_6$  ja  $S_0$  – survetsooni pinna ja kogu töötava ristlõikepinna staatiline moment tõmbearmatuuri ristlõikepinna  $F_a$  raskuskeskme suhtes;

$z_6$  ja  $z_a$  – survetsooni pinna ja survearmatuuri pinna  $F'_a$  raskuskeskme kaugus tõmbearmatuuri ristlõikepinna  $F_a$  raskuskeskmest.

Tingimus 3.1 on empiiriline ja tagab ristlõike normaalse purunemise, s.t purunemine algab tõmbearmatuuri voolupiiri saavutamise. Tingimusele 3.1 mitte vastavus viitab ristlõike ülearmeerimisele, mille korral tõmbetsoonis voolupiiri ei saavutata ja purunemine võib alguse saada survetsoonis. [13]

- Monteeritavate elementide puhul, mis valmistatud tehases kus toimub pidev kontroll sarruse vastavusele ГОСТ – standardile võib armatuurterase arvutustugevust korrutada teguriga  $m_a=1,1$ . Antud töös seda tehtud ei ole, kuna puudub kindel ülevaade olemasolevate sillatalade sarruse paigutusest ja kvaliteedist.

Tabel 3.1 Teguri  $\xi$  väärtused [13]

| Tegur         | Betooni mark                 |                         |                         |
|---------------|------------------------------|-------------------------|-------------------------|
|               | $\leq 400$                   | 500                     | 600                     |
|               | $\leq f_{ck}=35 \text{ MPa}$ | $f_{ck}=44 \text{ MPa}$ | $f_{ck}=52 \text{ MPa}$ |
| $\xi$         | 0,8                          | 0,7                     | 0,65                    |
| $\max \alpha$ | 0,55                         | 0,45                    | 0,41                    |
| $\max A_0$    | 0,4                          | 0,35                    | 0,325                   |

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

Kui tingimus 3.2 on täidetud, võib eeldada, et survearmatuur saavutab oma arvutustugevuse  $R_{ac}$ . Kui tingimus 3.2 ei ole täidetud, siis määratakse sisejõudude moment survearmatuuri suhtes järgmiselt:

$$M \leq R_a F_a (h_0 - a') , \quad (\text{valem 3.9}) [13]$$

tingimusel, et

$$\alpha < 2a'/h_0 \quad (\text{tingimus 3.3}) [13]$$

$R_H$  – arvutuslik survetugevus

$R_a$  – tõmbearmatuuri arvutuslik voolupiir

$R_{ac}$  – survearmatuuri arvutuslik voolupiir

$F_a$  – tõmbearmatuuri pindala

$F'_a$  – survearmatuuri pindala

$a'$  – survearmatuuri kasuskõrgus

$h_0$  – tõmbearmatuuri kasuskõrgus

$h$  – tala kõrgus

$b$  – survetsooni laius

$x$  – arvutuslik survetsooni kõrgus

$\alpha$  – kahekordne survearmatuuri kasuskõrguse ja tõmbearmatuuri kasuskõrguse suhtetegur

### 3.4 TÜÜPKATALOOGIDE 56 JA 56 LISA TÜÜPTALADE PÕIKJÕUKANDEVÕIME

Käesolevas töös on lähtutud peamise kriteeriumina paindekandevõimest hindamaks sildade/talade vastupidavust kaasaegsele liikluskoormusele ja raskeveestele. Nii 1958. a. kui ka 1962. a. tüüpkataloogis on talad armeeritud põikjõudu vastu võtma toe kohal pikiarmatuuri ülespööretega ja vertikaalsete rangidega. Pikiarmatuuri ülespöörded moodustuvad 45° nurga all ning aramtuuri lõpp on keevisühendusega kinnitastud, mis suurendab oluliselt ankurdustugevust. Tabelites 3.2 ja 3.3 toodud maksimaalsed lubatud põikjõu suurused on saadud tüüpkataloogis deklareeritud maksimaalse lubatud nihkepinge väärtuste konventeerimisel SI-ühikute süsteemi.

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

Tabel 3.2 1958. a. tüüpprojektide kataloog: suurim lubatud põikjõud enimkoormatud ristlõikes.  
*Koormusmudel N-13, NG-60*

|                        |     |     |      |     |     |
|------------------------|-----|-----|------|-----|-----|
| Ava, m                 | 7,5 | 10  | 12,5 | 15  | 20  |
| Max. lub. põikjõud, kN | 629 | 670 | 544  | 591 | 673 |

*Koormusmudel N-18, NK-80*

|                        |     |     |      |     |     |
|------------------------|-----|-----|------|-----|-----|
| Ava                    | 7,5 | 10  | 12,5 | 15  | 20  |
| Max. lub. põikjõud, kN | 696 | 742 | 766  | 833 | 735 |

Tabel 5.3 1962. a. tüüpprojektide kataloog: suurim lubatud põikjõud enimkoormatud ristlõikes.  
*Koormusmudel N-13, NG-60*

|                        |     |     |      |      |
|------------------------|-----|-----|------|------|
| Ava                    | 7,5 | 10  | 12,5 | 15   |
| Max. lub. põikjõud, kN | 673 | 712 | 951  | 1015 |

*Koormusmudel N-18, NK-80*

|                        |     |     |      |      |
|------------------------|-----|-----|------|------|
| Ava                    | 7,5 | 10  | 12,5 | 15   |
| Max. lub. põikjõud, kN | 740 | 783 | 1025 | 1093 |

## 4. BETOONI OMADUSTE VÕRDLUS

### 4.1 KAASAEGNE RAUDBETOON

Kaasajal kasutatakse betooni tugevuse iseloomustamiseks betooni klassi mõistet, mis tagab märgitud survetugevuse 95% tõenäosusega. NL-normides kasutati mõistet betooni mark, mis iseloomustas betooni keskmist survetugevust. Need on kaks erinevat lähenemist betooni tugevusomaduste kirjeldamiseks ja põhimõtteliselt ei luba esitada täpset üleminekut betooni margilt betooni klassile. Aruandes tehtud arvutustes on kasutatud võrdlemiseks samasugust betooni arvutustugevust.

Kuubikuline survetugevus  $f_{c,cube}$  on põhiliseks betooni tugevusnäitajaks enamuses Euroopa maades. Määratakse tavaliselt kuupidega, mille küljepikkus  $a = 150$  mm (Soomes, Rootsis, Venemaal jne.), Saksamaal näiteks  $a = 200$  mm. Katsel saadud tugevus sõltub küljepikkusest. Võttes aluseks kuupidega  $a = 150$  mm määratud tugevuse, saame erinevate küljepikkusega  $a$

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

kuupide korral teisendusteguri  $\alpha$  ligikaudse suuruse järgnevast tabelist:

Tabel 4.1 Teisendusteguri  $\alpha$  väärtused [6]

|          |      |      |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|------|
| a        | 70   | 100  | 150  | 200  | 300  |
| $\alpha$ | 0,85 | 0,95 | 1,00 | 1,05 | 1,11 |

Silindriline survetugevus  $f_c$ , põhiline betooni tugevusnäitaja USA-s, Inglismaal, ka Eurokoodeksis

EVS 1992). Määratakse silindritega, mille mõõdud on  $D = 150 \text{ mm}$  (6") ja  $H = 300 \text{ mm}$  (12"). Vastab ligikaudu betooni tugevusele surutud konstruktsioonis.  $f_{c,cube} = 1,2 \dots 1,25 \times f_c$ .

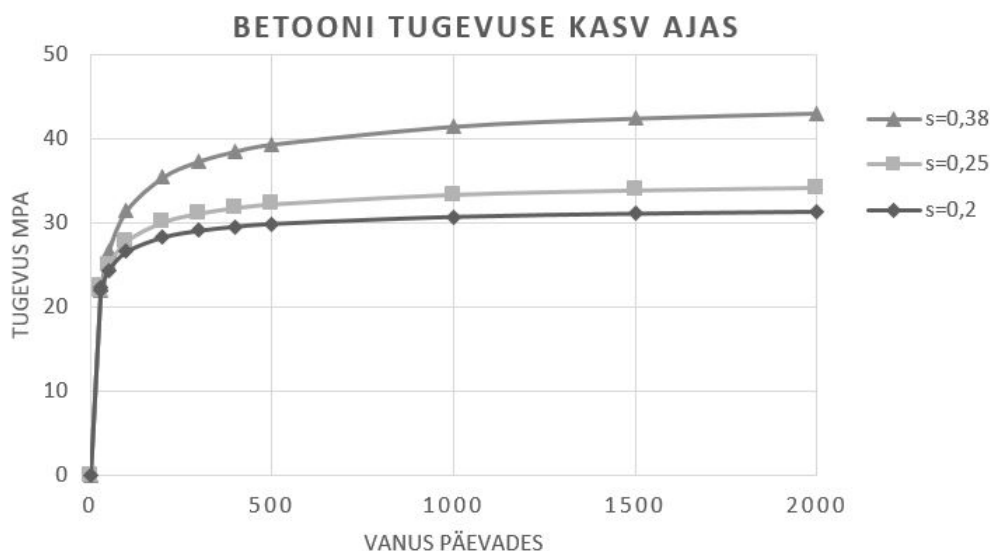
Prismaline survetugevus ( $R_b$ ) oli kasutusel SNiP-is, määrati ruudukujulise ristlõikega prismadega, mille kõrgus ületas vähemalt neljakordselt ristlõike küljepikkust ( $150 \times 150 \times 600$ ). Praktiliselt võrdne silindrilise tugevusega.

Betooni tugevuse muutus ajas ja tugevust mõjutavad tegurid

Betooni tugevuse  $f_c$  all mõistetakse normaaltingimustel kivistunud betooni proovikeha tugevust 28 päeva vanuselt. Betooni edasist tugevnemist võib ligikaudu hinnata valemiga:

$$f_c(t) = f_c \cdot e^{s(1 - \sqrt{\frac{28}{t}})}$$

$s$  – tsemendi aktiivsusest sõltuv tegur ( $s=0,2; 0,25; 0,38$ )



Valides konservatiivse lähenemise ehk lähtudes aktiivsus tegurist  $s=0,2$  võime eeldada betooni survetugevuse kasvu ligikaudu 50%. Betooni säilimist soosivas keskkonnas suurendab survetugevuse kasv arvutuslikku kandevõimet 1% ulatuses. Seega siinkohale ei saa rääkida tala kandevõime suurendamisest betooni survetugevuse tõstmise kaudu. Oluline on aga betooni survetugevuse ja keskkonnaklassi korrelatsioon, kus kõrgema survetugevuse/kvaliteediga

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

betoon on vähem mõjutatav ümbritseva keskkonna lagundavale toimele, tagades projektijärgsete omaduste pikemaajalise säilivuse.

#### 4.2 RAUDBETOON ENNE 1990 a

Järgnevalt käsitletakse tsementsideainest valmistatud raskebetooni (mahukaaluga  $\gamma=18...25$  kN/m<sup>3</sup>). Raudbetoon konstruktsioonides kasutatakse betooni, mille mark survel on: M100, M150, M200, M300, M400, M500 ja M600 kG/cm<sup>2</sup>). Olenevalt betoonelemendi tööolukorrast on kasutatavale betooni margile toodud järgmised nõuded:

- Tsentriliselt ja ekstsentriliselt surutud raudbetoonelemendid, mille mõõtmed määratakse tugevusarvutustega – vähemalt M200 betoon.
- Raskelt koormatud surveelementides (näiteks mitmekorruselise hoone alumiste korruste postid) – vähemalt M300 betoon
- Õhukeseseinalised, samuti liikuva raketisega betoneeritavad konstruktsioonid – vähemalt M200 betoon.
- Suure sildega pingbetoonkonstruktsioonides, mille omakaal moodustab olulise osa arvutuslikust koormusest – vähemalt M400 betoon.

Tabel 4.2 Betooni normtugevused [13]

Ehituskonstruktsioonide projekteerimise alused: Tabel 2.1

| Pingus (MPa)                    | Tähis      | Betooni mark |      |      |      |      |      |       |
|---------------------------------|------------|--------------|------|------|------|------|------|-------|
|                                 |            | 100          | 150  | 200  | 300  | 400  | 500  | 600   |
| Teljeline surve (prismatugevus) | $R_{HP}^H$ | 8            | 11,5 | 14,5 | 21,0 | 28,0 | 35,0 | 42,,0 |
| Surve paindel                   | $R_H^H$    | 110          | 140  | 180  | 260  | 350  | 440  | 520   |
| Tõmme                           | $R_P^H$    | 1,0          | 1,3  | 1,6  | 2,1  | 2,5  | 2,8  | 3,0   |

Prismaatilise proovikeha survetugevuse võib lugeda võrdseks\* silindrilise survetugevusega, mille normväärtust kasutatakse ka Eurokoodeksi betoonkonstruktsioonide arvutamisel. Erinevalt Eurokoodeksi raudbetooni arvutusest eristatakse GOST betooniarvutuses survetugevuse määramisel teljelist survet ja survet paindel. Talade kandevõime määramisel on lähtutud Tabelis 4.2 toodud *Surve paindel* normtugevuse väärtustest. Ühikult kG/cm<sup>2</sup> üleminekul Eurokoodeksis kasutatavale N/mm<sup>2</sup>, teisiseõnu MPa ( $10^6 \cdot 1$ Pa - megapaskal) saame koostada analoogse tabeli:

\*Täpset vastavust on võimatu määrata kuna tegemist on sisult erinevate mõistetega. Võrrelda saaks arvutustes kasutatavate pinge suuruste kohaselt.

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

Tabel 4.3 Betooni normtugevused [13]

| Pingus(MPa)                       | Tähis   | Betooni mark |        |        |        |        |        |        |
|-----------------------------------|---------|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                   |         | 100          | 150    | 200    | 300    | 400    | 500    | 600    |
|                                   |         | C8/10        | C12/15 | C16/20 | C25/30 | C35/45 | C40/50 | C50/56 |
| Teljeline surve (silindertugevus) | $f_c$   | 8            | 11,5   | 14,5   | 21     | 28     | 35     | 42     |
| Surve paindel                     | $f_c^M$ | 11           | 14     | 18     | 26     | 35     | 44     | 52     |
| Tõmme                             | $f_c^N$ | 1            | 1,3    | 1,6    | 2,1    | 2,5    | 2,8    | 3,0    |

\*Arvutuslikule survetugevusele üleminekul tuleb normtugevuse väärtust jagada varuteguriga 1,625.

Tabel 4.4 Betooni algelastsusmoodul surve ja tõmbel

Ehituskonstruksioonide projekteerimise alused: Tabel 2.17

| Betooni mark   | 100 | 150 | 200  | 300  | 400  | 500  | 600  |
|----------------|-----|-----|------|------|------|------|------|
| $E_\delta$ GPa | 19  | 23  | 26,5 | 31,5 | 35,0 | 38,0 | 40,0 |
| $E_c$ GPa      | 19  | 22  | 26   | 31   | 34   | 37   | 39   |

Arvutustes tuleb vaadelda järgmisi piirolukordi:

- 1) Kandevõime järgi
- 2) Deformatsioonide ja paigutiste järgi
- 3) Pragude ja muude kohalike defektide järgi

Arvutustest teise ja kolmanda piirolukorra järgi võib loobuda, kui konstruktsiooni kasutamise kogemuste või proovimisega on kindlaks tehtud, et konstruktsiooni jäikus on küllaldane. Sellest johtuvalt teostame ka antud töös esimese piirolukorra ehk kandevõime kontrolliga.

Materjalide põhilisteks tugevusnäitajateks on normtugevused, mis määratud vastavalt SNiP – eeskirjale. Materjalide tugevusnäitajate ja teiste karakteristikute võimalikke hälbeid ebasoodsamas suunas võetakse arvesse materjali ühtlusteguriga  $k$ .

- Siiski tegelikes arvutustes ei korrutata normtugevusi ühtlusteguriga – arvutuslike tugevuste väärtused on antud normides juba arvutuslike väärtustena olenevalt betooni margist.

Tabel 4.5 Betooni arvutustugevused [13]

Ehituskonstruksioonide projekteerimise alused: Tabel 2.8

| Pingus MPa                          | Tähis    | Betooni mark |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------------------|----------|--------------|------|------|------|------|------|------|
|                                     |          | 100          | 150  | 200  | 300  | 400  | 500  | 600  |
| Teljeline surve (prismatugevus)     | $R_{IP}$ | 4,4          | 6,5  | 8,0  | 13,0 | 17,0 | 20,0 | 23,0 |
| Surve paindel                       | $R_H$    | 5,5          | 8,0  | 10,0 | 16,0 | 21,0 | 25,0 | 28,0 |
| Teljeline tõmme                     | $R_P$    | 0,45         | 0,58 | 0,72 | 1,05 | 1,25 | 1,4  | 1,5  |
| Tõmme pragude tekkimise arvutamisel | $R_T$    | 0,63         | 0,8  | 1,0  | 1,45 | 1,75 | 1,95 | 2,1  |

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

Tabel 4.6 Betooni arvutustugevused [13]

| Pingus MPa                          | Tähis      | Betooni mark |        |        |        |        |        |        |
|-------------------------------------|------------|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                     |            | 100          | 150    | 200    | 300    | 400    | 500    | 600    |
|                                     |            | C8/10        | C12/15 | C16/20 | C25/30 | C35/45 | C40/50 | C50/56 |
| Teljeline surve (silindertugevus)   | $f_{cd}$   | 4,4          | 6,5    | 8      | 13     | 17     | 200    | 23     |
| Surve paindel                       | $f_{cd}^M$ | 5,5          | 8      | 10     | 16     | 21     | 25     | 28     |
| Teljeline tõmme                     | $f_{cd}^N$ | 0,5          | 0,6    | 0,7    | 1,1    | 1,3    | 1,4    | 1,5    |
| Tõmme pragude tekkimise arvutamisel | $f_{rd}^N$ | 0,6          | 0,8    | 1      | 1,5    | 1,8    | 2      | 2,1    |

Tabel 4.7 Betooni ühtlustegurid [13]

Ehituskonstruksioonide projekteerimise alused Tabel 2.2

| Pingeolukord                 | Tähis          | Betooni mark |           |
|------------------------------|----------------|--------------|-----------|
|                              |                | 100...200    | 300...600 |
| Surve (tsentriline ja paine) | $k_{\delta c}$ | 0,55         | 0,6       |
| Tõmme                        | $k_{\delta p}$ | 0,45         | 0,5       |

Omakaalu koormuste võimalikke hälbeid ebasoodsamas suunas võetakse arvesse ülekoormusteguriga  $n$ , mille väärtus betoon – ja raudbetoonkonstruktsiooni puhul on 1,1 [13]. Arvutuskooormuse moodustab normatiivse koormuse ja ülekoormusteguri omavahelike korrutis.

## 5. LIIKLUSKOORMUSED

### 5.1. EUROKOODEKSI LIIKLUSKOORMUS

Silda ületav sõidutee on jaotatud lepperadadeks vastavalt *Sildade liikluskoormused* standardi peatükile 4.2 Koormuste esitus, alapeatükk 4.2.3 Sõidutee jaotus lepperadadeks. Punktis 4.2.4 on toodud lepperadade asetus ja numeratsioon, ning koormusmodelite kohaldamise põhimõtted punktis 4.2.5 [9].

Sildadele on rakendatud eurokoodeksi kohane LM1 liikluskoormus ja lisaks 3600kN täismassiga eriveoki koormus. LM2 koormusmodelit, mis kujutab 400kN üheteljelist koormusmodeli tulemusi ei ole esitatud.

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

Tabel 5.1. Koormusmudelil LM1 (liikluskoormus) kasutatud tandemsüsteemi ja hajukoormuse lepperajapõhised väärtused [9]

| Asukoht              | Tandem $TS$                  | $UDL$ süsteem                                 |
|----------------------|------------------------------|-----------------------------------------------|
|                      | Teljekoormused $Q_{ik}$ (kN) | $q_{ik}$ (või $q_{ik}$ ) (kN/m <sup>2</sup> ) |
| Esimene rada         | 300                          | 9                                             |
| Teine rada           | 200                          | 2,5                                           |
| Kolmas rada          | 100                          | 2,5                                           |
| Teised rajad         | 0                            | 2,5                                           |
| Jääkala ( $q_{ik}$ ) | 0                            | 2,5                                           |

Maanteeameti peadirektori käskkirjas 29.02.2008 nr 55 [8] on märgitud, et sildade kandekonstruktsioonide projekteerimisel tuleb rakendada ülevõetud Eesti standardeid (Eurokoodekseid) ning keelab teiste riikide rahvuslikke standardite kasutamise.

Kuna vanade sildade rekonstrueerimise korral on lubatud nimetatud käskkirja punktist kõrvale kalduda, siis järgnevalt on lühidalt kirjeldatud NL-aegsete sildade projekteerimisel kasutatud liikluskoormuseid.

## 5.2 SN 200-62 PROJEKTEERIMISNORMID

Projekteerimisjuhendi „Технические условия проектирования железнодорожных автодорожных и городских мостов и труб. СН 200-62“ [24] (Tõlkes „Raudtee-, maantee- ja linnasildade ning truupide projekteerimise tehniline juhend. SN 200-62“) alusel projekteeriti raudbetoontala sildu aastani 1986. Peamiseks liikluskoormuseks on sillal liikuvad autokolonnid N-8, N-10, N-18 ja N-30 (number tähistab kolonni raskema sõiduki täismassi tonnides). Lisaks tavapärasele autokolonni koosseisule kasutati sillakormusena eriveokit NG-60 (60 t roomik eriveok) ja NK-80 (80 t, 4-teljeline eriveok), millised võisid ületada silda eraldi tava autokolonnidest..

## 5.3 SNIP 2.05.03-84 PROJEKTEERIMISNORMID

1986. aastal SN 200-62 asemel kasutusele võetud „СНиП 2.05.03-84 Мосты и трубы“ [25] (tõlk. „SNiP 2.05.03-84 Sillad ja truubid“) alusel projekteeriti sildu järgneva dekaadi jooksul, mil Eesti taasiseseisvumise järel alustatud EPN koostamisega algas järkjärguline SNiP normidest loobumine.

SNiP-is käsitletakse eraldi alaliskoormused, liikluskoormused ja muud koormused. Sildadel rakendatakse koormusmudeleid A8 ja A11 (2-teljeline sõiduk) koos ühtlase hajukoormusega. A8 koormusmudelile projekteeritud sildu kontrollitakse lisaks 108kN üksikule teljele ja roomikeriveokile NG-60. A11 koormusmudelile projekteeritud sildu tuleb kontrollida 4-teljelisele eriveokile NK-80.

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

Eelpool mainitud projekteerimisnormid ja sildade koormusmudelid on saanud põhjaliku käsitlemise varasemas uurimistöös *Eestis ehitatud nõukogudeaegsete raudbetoontaladest tüüpsildade laiendamise ja kandevõime analüüs* [17], mille on koostanud Tõnis Liigmann 2015. aastal.

## 5.4 RASKEVEOKID

### 5.4.1 Varasemad uuringud ja teema käsitleused

Maanteeveokite suurusi ja koormusi käsitlevad uuringutest esitatakse siin järgmised olulisemad allikad, mille alusel on tehtud maanteetranspordi puudutavaid seadusemuudatuste ettepanekuid ja koostatud arengukavasid. Esimesed kaks uuringut käsitlevad USA maanteetranspordi analüüsi raskeveokeid puudutavates küsimustes ja kolmas Euroopas kehtivate seaduste ja direktiivide rakendusjuhend.

1. „*Regulations of weights, lenghts and widths of commercial motor vehicles*“. [18]  
USA kongressi tellitud 2002.a uurimistöö USA Teaduste Akadeemialt, mille eesmärgiks oli soovitude ja ettepanekute saamine maanteeveokite suurust ja koormusi puudutavates seadusemuudatustes.
2. „*Comprehensive truck size and weight study*“. [19]  
2015. a USA transpordiministeeriumi koostatud maanteeveokite suuruste ja koormuste mõju analüüs infrastruktuurile.
3. „*Effects of adapting the rules on weights and dimensions of heavy commercial vecicles with Directive 96/53/EC*“. [20]  
Euroopa Komisjoni poolt välja antud eesmärgiga välja selgitada infrastruktuurile kaasnevad mõjud kui direktiivis 96/53/EC muuta veokite pikkused ja/või täismassi limiite.
4. „*Puidutranspordi makromajanduslik uuring*“. [5]  
Eesti Metsatööstuse Liidu tellimisel Tallinna Tehnikakõrgkooli, Tartu Ülikooli ja Eesti Maaülikooli poolt 2010. a. läbiviidud uuring raskeveokite sotsiaalmajandusliku mõju hindamiseks.

Põhjamaade maanteetranspordi nõuded ja lubatud piirmäärad on ühtlustunud Euroopas laiemalt kasutatavate lubatud veokite gabariitide ja koormustega. Seega punktis 3 mainitud uuring kirjeldab kõige täpsemini ka meie seadusandlust ja arengukavasid. Omavahel on võrreldavad 4 peamist stsenaariumi:

1. Nõudeid ja piirmäärasid ei muudeta
2. Üleeuroopaliselt 20,75 m pikkuste ja 44 t täismassiga veokite lubamine
3. Üleeuroopaliselt 25,25 m pikkuste ja 60 t täismassiga veokite lubamine
4. Valitud Euroopa riikides lubada 25,25 m ja 60 t veokeid, üldiselt säilitada 18,75 m ja 40 t piirang.

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

Eestis kehtestatud nõuded autorongidele: [21]

|          |                                                |
|----------|------------------------------------------------|
| Pikkus   | m 2,55                                         |
| Laius    | m 4,0                                          |
| Kõrgus   | t 40                                           |
| Täismass | t 44* – 6-teljeline autorong riigisisesel veol |

Telgedele langev mass:

|                      |        |
|----------------------|--------|
| Vedav üksiktelg      | t 11,5 |
| Mittevedav üksiktelg | t 10,0 |
| m 18,75              |        |

|                                      |             |
|--------------------------------------|-------------|
| 2-telik: $d < 1,0$ m (sõiduk/haagis) | t 10,0/11,5 |
| $1,0 \leq d < 1,3$                   | t 16,0      |
| $1,3 \leq d < 1,8$                   | t 18,0      |
| $1,8 \leq d$ (haagis)                | t 20,0      |

|                                |        |
|--------------------------------|--------|
| 3-telik (haagis): $d \leq 1,3$ | t 21,0 |
| $1,3 < d \leq 1,4$             | t 24,0 |

\*Märkus: Lubatud on 2- või 3-teljeline poolhaagisega 3-teljeline mootorsõiduki täismass 44 t, kui sellega veetakse kombineeritud veo käigus 40-jalalist ISO konteinerit.

Võrdlusena teiste Euroopa riikidega (mõned EU välised) on tabelis 3.2 toodud kehtestatud piirmäärad ja täismassid.

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

Tabel 5.2. Euroopa riikide siseriiklikuks kasutamiseks kehtestatud piirmõõtmed ja täismassid [5]

| Riik         | Pikkus (m) | Laius (m) | Kõrgus (m) | Täismass (t) |
|--------------|------------|-----------|------------|--------------|
| ASERBAIDŽAAN | 20,00      |           |            | 38           |
| AUSTRIA      |            |           |            | 38           |
| BELGIA       |            |           |            | 44           |
| GRUUSIA      | 20,00      |           |            |              |
| HOLLAND      |            |           |            | 50           |
| IIRIMAA      |            |           | 4,65       |              |
| ISLAND       | 22,00      |           | 4,20       |              |
| ITAALIA      |            |           |            | 44           |
| LUKSEMBURG   |            |           |            | 44           |
| MOLDOVA      | 20,00      | 2,50      |            |              |
| MONTENEGRO   | 18,00      | 2,50      |            |              |
| NORRA        | 19,50      |           | Ei määrata | 50           |
| PRANTSUSMAA  |            |           | Ei määrata |              |
| ROOTSI       | 24,00      |           | Ei määrata | 60           |
| SOOME        | 25,25      | 2,60      | 4,20       | 60           |
| ŠVEITS       |            |           |            | 34           |
| TAANI        |            |           |            | 44           |
| TŠEHHIMAA    |            | 2,50      |            | 42           |
| UKRAINA      |            |           |            |              |
| UK           | 22,00      | 2,60      | Ei määrata |              |
| VENEMAA      | 20,00      |           |            | 38           |

Märkus: Rasvase kirjaga on tähistatud ELi nõuetest liberaalsemad nõuded. Nii täismassi kui ka piirmõõtude kohta kehtib tabelis loetletud maades veel tosinajagu täpsustavat tingimust, mida siin pole näidatud.

*Teljekoormus* – on osa sõiduki massist, mis telje kaudu koormab teed (Axelweight)

*Täismass* – on sõiduki maksimaalne lubatud mass koos juhi, sõitjate ja veosega

#### 5.4.2 Direktiivi 96/53/EC raskesõidukite kaalu – ja pikkuspiirangute rakendamise mõju

Järgnevad tabelid kirjeldavad 44 t, 46 t, 48 t, 50 t ja 60 t täismassiga veokite mõju erineva pikkustega sildadel, mis on ehitatud aastal 1960 ja hiljem.

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

**Caption:**

**C** = Reinforced and prestressed concrete bridges

**S** = Steel and steel-concrete composite bridges

 = No effect

 = Moderate effect

 = Important effect, need of studies on this topic

**Table 29: Impact on bridges of 44 tonnes – 5 axles vehicles (16.50 m or 18.75 m)**



| Spans  |   | Extreme loads |                 | Fatigue       |                 |
|--------|---|---------------|-----------------|---------------|-----------------|
|        |   | Local effects | General effects | Local effects | General effects |
| Short  | C |               |                 |               |                 |
|        | S |               |                 |               |                 |
| Medium | C |               |                 |               |                 |
|        | S |               |                 |               |                 |
| Long   | C |               |                 |               |                 |
|        | S |               |                 |               |                 |

**Table 30: Impact on bridges of 48 tonnes – 5 axles vehicles (16.50 m or 18.75 m)**



| Spans  |   | Extreme loads |                 | Fatigue       |                 |
|--------|---|---------------|-----------------|---------------|-----------------|
|        |   | Local effects | General effects | Local effects | General effects |
| Short  | C |               |                 |               |                 |
|        | S |               |                 |               |                 |
| Medium | C |               |                 |               |                 |
|        | S |               |                 |               |                 |
| Long   | C |               |                 |               |                 |
|        | S |               |                 |               |                 |

- Configuration to avoid as very aggressive and causing significant additional costs of monitoring, of maintenance and preventive strengthening specific to each country.
- Requires increasing axle load limits.

**Table 31: Impact on bridges of 44 tonnes – 6 axles vehicles (16.50 m)**



| Spans  |   | Extreme loads |                 | Fatigue       |                 |
|--------|---|---------------|-----------------|---------------|-----------------|
|        |   | Local effects | General effects | Local effects | General effects |
| Short  | C |               |                 |               |                 |
|        | S |               |                 |               |                 |
| Medium | C |               |                 |               |                 |
|        | S |               |                 |               |                 |
| Long   | C |               |                 |               |                 |
|        | S |               |                 |               |                 |

- Configuration possible, but more aggressive than the current configurations and can cause additional costs of monitoring, of maintenance and preventive strengthening specific to each country.
- Time necessary to identify bridges with problems and take appropriate measures (tonnage limitations, strengthening, etc.).

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

**Table 32: Impact on bridges of 48 tonnes – 6 axles vehicles (16.50 m)**



| Spans  |   | Extreme loads |                 | Fatigue       |                 |
|--------|---|---------------|-----------------|---------------|-----------------|
|        |   | Local effects | General effects | Local effects | General effects |
| Short  | C |               |                 |               |                 |
|        | S |               |                 |               |                 |
| Medium | C |               |                 |               |                 |
|        | S |               |                 |               |                 |
| Long   | C |               |                 |               |                 |
|        | S |               |                 |               |                 |

- Configuration very aggressive and thus causing additional costs of monitoring, of maintenance and preventive strengthening specific to each country.
- Important preliminary studies are indispensable before considering an authorization.

**Table 33: Impact on bridges of 46 tonnes – 25.25 m vehicles (2-axle tractor)**



| Spans  |   | Extreme loads |                 | Fatigue       |                 |
|--------|---|---------------|-----------------|---------------|-----------------|
|        |   | Local effects | General effects | Local effects | General effects |
| Short  | C |               |                 |               |                 |
|        | S |               |                 |               |                 |
| Medium | C |               |                 |               |                 |
|        | S |               |                 |               |                 |
| Long   | C |               |                 |               |                 |
|        | S |               |                 |               |                 |

- Configuration bit aggressive and not causing additional costs of monitoring, of maintenance and preventive strengthening.
- Compliance with the requirement of Article 4.1 of Annex I to Directive 96/53/EC.

**Table 34: Impact on bridges of 50 tonnes – (24 m ≤ L ≤ 25.25 m) vehicles – without counter measures**



| Spans  |   | Extreme loads |                 | Fatigue       |                 |
|--------|---|---------------|-----------------|---------------|-----------------|
|        |   | Local effects | General effects | Local effects | General effects |
| Short  | C |               |                 |               |                 |
|        | S |               |                 |               |                 |
| Medium | C |               |                 |               |                 |
|        | S |               |                 |               |                 |
| Long   | C |               |                 |               |                 |
|        | S |               |                 |               |                 |

- Configuration bit aggressive and causing few additional costs of monitoring, of maintenance and preventive strengthening specific to each country.
- Compliance with the requirement of Article 4.1 of Annex I to Directive 96/53/EC
- Minimal spacing between 2 LHV
- Minimal length to impose about 24 meters overall, or minimal wheelbase of about 20 meters

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

Table 35: Impact on bridges of 60 tonnes – ( $24 \leq L \leq 25.25$  m) vehicles – without counter measures



| Spans  |   | Extreme loads |                 | Fatigue       |                 |
|--------|---|---------------|-----------------|---------------|-----------------|
|        |   | Local effects | General effects | Local effects | General effects |
| Short  | C |               |                 |               |                 |
|        | S |               |                 |               |                 |
| Medium | C |               |                 |               |                 |
|        | S |               |                 |               |                 |
| Long   | C |               |                 |               |                 |
|        | S |               |                 |               |                 |

- Aggressive Configuration and causing additional costs of monitoring, of maintenance and preventive strengthening specific to each country.
- Authorizations limited to specific routes
- Compliance with the requirement of Article 4.1 of Annex I to Directive 96/53/EC
- Minimal length to impose about 24 meters overall, or minimal wheelbase of about 20 meters
- Time necessary to define the routes, to identify the bridges with problems and take appropriate measures (tonnage limitations, strengthening, etc.)
- Respect of the limits on the constituent elements



Table 36: Impact on bridges of 60 tonnes – ( $24 \leq L \leq 25.25$  m) vehicles – with counter measures



| Spans  |   | Extreme loads |                 | Fatigue       |                 |
|--------|---|---------------|-----------------|---------------|-----------------|
|        |   | Local effects | General effects | Local effects | General effects |
| Short  | C |               |                 |               |                 |
|        | S |               |                 |               |                 |
| Medium | C |               |                 |               |                 |
|        | S |               |                 |               |                 |
| Long   | C |               |                 |               |                 |
|        | S |               |                 |               |                 |

- Configuration moderately aggressive and can cause additional costs of monitoring, of maintenance and preventive strengthening specific to each country
- Accompanying measures effective in limiting the aggressiveness of vehicles (minimal spacing between 2 LHV, no overtaking, on-board load measuring systems, authorizations limited to specific routes, etc.)
- Compliance with the requirement of Article 4.1 of Annex I to Directive 96/53/EC
- Minimal length to impose about 24 meters overall, or minimal wheelbase of about 20 meters
- Respect of limits on the constituent elements
- Time necessary to define the routes, to identify bridges with problems and take appropriate measures (tonnage limitations, strengthening, etc.).

Raport sisaldab endas võrdlust direktiivi 96/53/EC kohase liikluse mõju ja selle direktiivi modifitseeringu vahel. Hindamaks liiklus arengut/muutumist konkreetsel sillal, tuleb eelkõige arvestada järgnevalt:

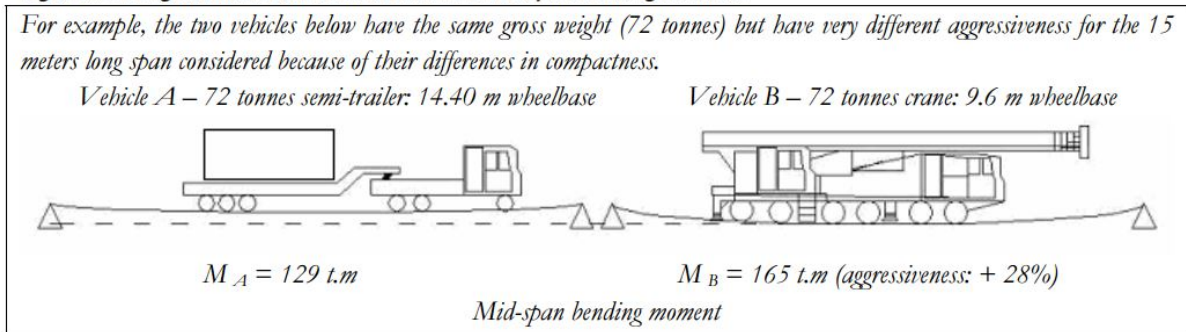
- Silla kandevõime maksimaalse liikluskoormuse all
- Vastupidavus korduva koormamisega eluaea jooksul – väsimus
- Suurenenud liiklusega kaasnev hoolduskulude kasv ja vajadusel silla tugevdamine

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

Veoki poolt tekitud paindemoment sõltub nii kogumassist kui ka selle paigutusest. Joonisel 5.1 toodud võrdse massi ja telgede arvu korral võib telgede asetuse erinevusest tingitud paindemomendi väärtus varieeruda kolmandiku ulatuses. Olenemata täismassist, lubatud maksimaalne teljekoormus ei tohi ületada 11,5 t piiri.

Joonis 5.1. Telgede asetusest tingitud avamomendi erinevus.

**Figure 25: Longitudinal distribution of load and mid-span bending moment**



Olukorras kus veoki pikkus ületab lihttala sillal tugevate vahelise kaugust, ei ole asjakohane seostada täismassi sildes tekkiva suurima paindemomendiga, vaid määravaks saab sillale ulatuvate telgede poolt ülekantav koormus ja paiknemine.

Tüüpikataloogi nr. 56 ja nr. 56 Lisa poolt pakutud tüüptalad kuuluvad vastavalt käesolevale raportile lühikeste sildade kategooriasse (pikkus kuni 20 m).

Sildadel pikkusega kuni 20 m saab määravaks nende tundlikkus telje ja tandemi koormusele. Veoki kogukaal on väheoluline karakteristik pikemate veokite puhul, mis ületavad sillaava.

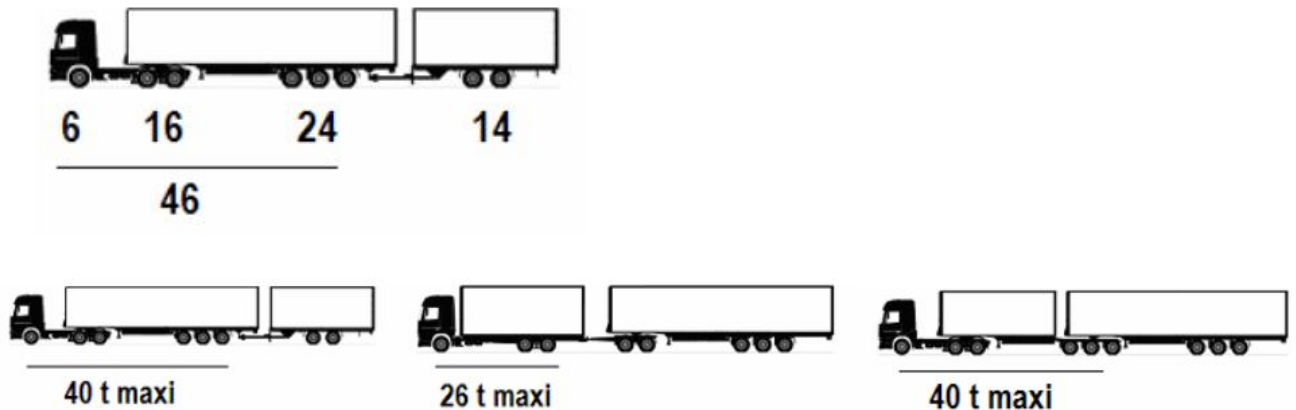
#### 5.4.3 Veokite konfiguratsioon

- Sama täispikkusega, suurendatud massiga  
Eelkõige mõeldakse 5 või 6 teljelisi ja 44 t või 48 t täismassiga veokeid. Tihti esineb 5 teljelisi 40 t täismassiga veokeid, mis on ülelaadimise tõttu juba saavutanud 44 t piiri.
- Erineva täispikkusega ja/või raskemad kui hetkel lubatud  
Arvestatud on peamiselt 25,25 m pikkuseid täishaagiseid, mille täismass varieerub 46 t, 50 t, ja 60 t vahel.

Arvestades telje/telgede asetust ja teljekoormusi on 60 t täismassi kombinatsioonid toodud joonisel 3.2. Enamus Euroopas (erandina Prantsusmaal ja Hispaanias, kus on lubatud 13 t teljekoormus) on teljekoormus piiratud 11,5 t peale.

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

Joonis 5.2. Direktiivis 96/53/EC käsitletud 60 t täismassi veokite variatsioonid



Direktiivi 96/53/EC lisa 1 artikkel 4.1 kohaselt ei tohi vedav telg või teljed olla vähem koormatud kui 25% kogumassist.

#### 5.4.4 Koormuste modelleerimine

Koormuste modelleerimine on sisuliselt liikluse modelleerimine kus tuleb arvestada:

- Raskeliikluse % liikluses
- Ülekoormatud veokite sagedus ja ülekoormuse määr
- Kahe vastassuunas liikuva täislastis veoki samaaegne ületamine
- Liiklusummikute iseloom ja sagedus
- Ohutusfaktorid

#### 5.4.5 Väsimus

- a. Sama täispikkusega, suurendatud massiga  
5-teljelise 40 t täismassiga veoki ülekoormamisel 44 t-ni on täheldatud terassildade ja eelkõige ortotroopse sillateki (Hollandi uuring<sup>1</sup>) eluea lühenemist. Tingitud lokaalse koormuse suurenemisest ülekoormatud teljest.  
6-teljelise 40 t ja 48 t täismassi tõstmisel 60 t-le pikemaajalist mõju uuritud ei ole ja hinnangut tuleks anda konkreetse juhtumi põhjal koormusmudeli variatsioonide põhjal.
- b. Erineva täispikkusega ja /või raskemad kui hetkel lubatud  
Teljekoormuse muutumatuse korral ei kaasne pikkuse või täismassi suurenemisega väsimust kiirendavaid koormusi.

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

#### 5.4.6 Üldine koormatus

a. Lühikesed ja keskmised sillad

Üheavalised sillad pikkusega kuni 12 m ei ole arvestatavalt mõjutatud 5 ja 6-teljeliste 44 ja 48 tonniste veokite koormustest kui lubatud maksimaalset teljekoormust ei ületata.

Sama pikkusega, ent suurenenud täismassiga veok mõjub koormusena järgmiselt:

- 44 t täismass on 10% suuremat paindemomenti tekitav kui 40 t sama pikkusega
- 48 t täismass on 20% suuremat paindemomenti tekitav kui 40 t sama pikkusega

Kui eeldada, et liikluskoormus moodustab circa 50% alalisest koormusest (teine 50% on omakaal), siis vastavalt oleks 44 t puhul 5% tõus ja 48 t korral 10% tõus. Tasub ära märkida, et käesolevalt on juba direktiivi 96/53/EC alusel lubatud ISO standardile vastavate 12 m (40 ft) kombineeritud transport.

Lühikeste sildade puhul täheldati, et sillale mõjuvad koormused on võrdväärised 44 t täismassi (ülekoormatud 40 t) pikkusega 16,5 m ja 60 t täismassi ja pikkusega 25,25 m korral. Mis endiselt kinnitab, et kandevõime määramisel on oluline telje/telgede koormus.

Tabel 5.2. Raskesti koormatud veokite agressiivsus teede ja sildade konstruktsioonile

*Figure 33: Summary of the consequences on infrastructures, without countermeasures*

|      |                                                                                     |  | <div> <div>No consequences</div> <div>Moderate consequences</div> <div>Important consequences</div> </div> |               |         |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------|
| Code | Shape                                                                               |  | Pavement                                                                                                   | Bridges       |         |
|      |                                                                                     |  |                                                                                                            | Extreme loads | Fatigue |
| A44  |  |  | 2.39                                                                                                       |               |         |
| A48  |  |  | >2.39                                                                                                      |               |         |
| B40  |  |  | 1.22                                                                                                       |               |         |
| B44  |  |  | 1.92                                                                                                       |               |         |
| B48  |  |  | >1.92                                                                                                      |               |         |
| C40  |  |  | 1.02                                                                                                       |               |         |
| C44  |  |  | 1.42                                                                                                       |               |         |
| C48  |  |  | 1.85                                                                                                       |               |         |

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

| Code | Shape                                                                             | Pavement | Bridges       |         |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------|---------|
|      |                                                                                   |          | Extreme loads | Fatigue |
| D46  |  | 1.04     |               |         |
| E50  |  | 0.55     |               |         |
| F50  |  | 0.53     |               |         |
| G50  |  | 0.42     |               |         |
| E60  |  | 2.05     |               |         |
| F60  |  | 2.07     |               |         |
| G60  |  | 1.46     |               |         |

<sup>2</sup> Interaction of effect of likely traffic loads and bridge details to fatigue – Leendertz de Boer 2008.

## 5.5 METSAVEOMASINATE KOORMUSED SILDADELE

### 5.5.1 Autoettevõtete Liidu poolt esitatud metsaveokite teljekoormused ja täismassid

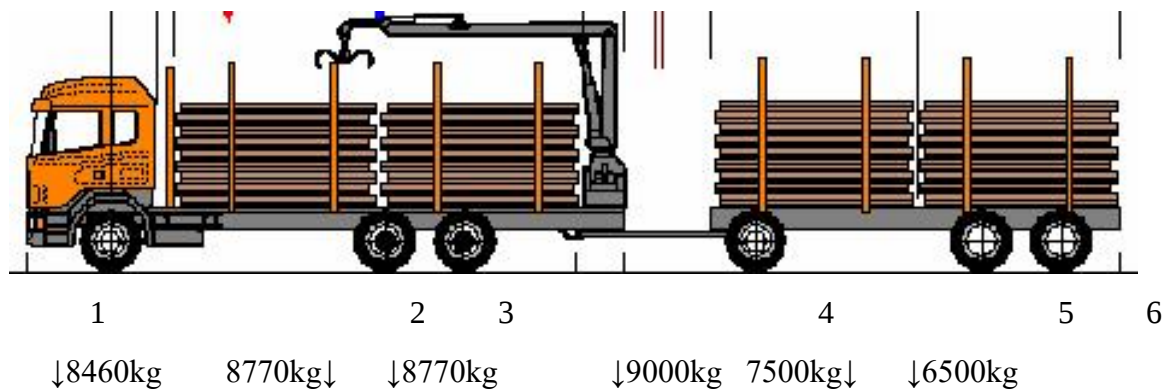
2010. aastal koostatud *Puidutranspordi makromajandusliku uuringu* [5] aruandest selgub, et metsa- veomasinate sage üle koormamine lubatud 40 t piiri (MKM määruse alusel rahvusvaheliste vedude korral) on tingitud tihedast konkurentsiolekorrast puidusektoris ja arvestada tuleks juba praegu meie teedel ja sildadel liikuvate 44 t täismassiga 5-teljeliste veokitega. Kui 40 t täismassiga veokit võrdsustakse nõukogudeaegse NK-80 eriveoki koormusega, siis täiendav analüüs tuleb läbi viia 44 t 5-teljelise, 52 t ja 60 t 6-teljeliste veokite lubamiseks.

6-ja/või 7-teljeliste veokite korral (pikkus > 20,25 m) arvestada, et tüüpkataloogi nr. 56 ja nr. 56 Lisa toodud sildadele mahub tekipladile üheaegselt kas veduk või haagis st. koormusmudelit tuleb koostada enim koormatud telgede koormust lähtuvalt. Eelmises peatükis tõime välja kuidas 44 t 16,5 m ja 60 t 25,25m mõjuvad lühikestele sildadele (kuni 20 m) võrdväärset paindemomenti tekitavalt. Sellele seisukohale otsime kinnitust ka käesolevas peatükis.

Autoettevõtete Liidule esitatud päringuga saadi metsavedu teostavate haagis- ja poolhaagis veokite telgede asetuse ja teljekoormuste ülevaade, mis on aluseks 44 t, 54 t ja 60 t metsaveokite koormusmudelite koostamisel.

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

Joonis. 5.3. Raskesti koormatud veok 49 t



Autorongi pikkus 18,75 m, täismass 49 000 kg

Telgede vahekaugused;

1-2 = 4750 mm

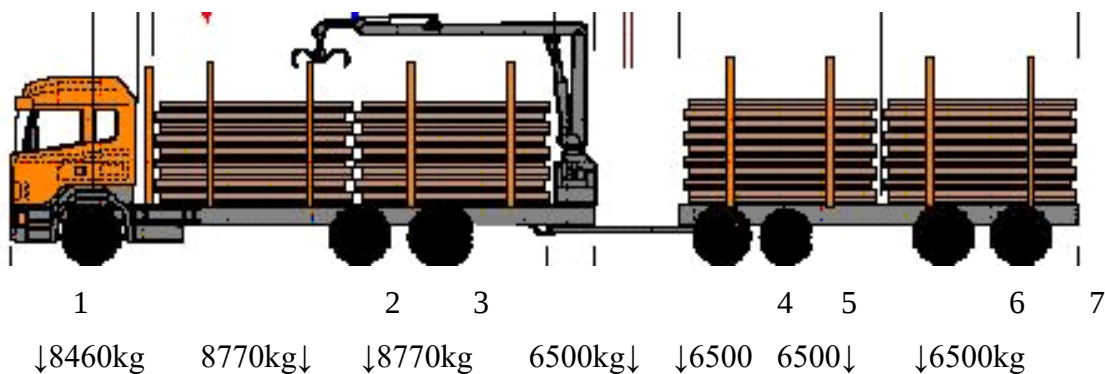
2-3 = 1350mm

3-4 = 5300 mm

4-5 = 3900mm

5-6 = 1350mm

Joonis 5.4. Raskesti koormatud veok 52 t



Autorongi pikkus 18,75, täismass 52 000 kg

Telgede vahekaugused

1-2 = 4700mm

2-3 = 1400mm

3-4 = 4900mm

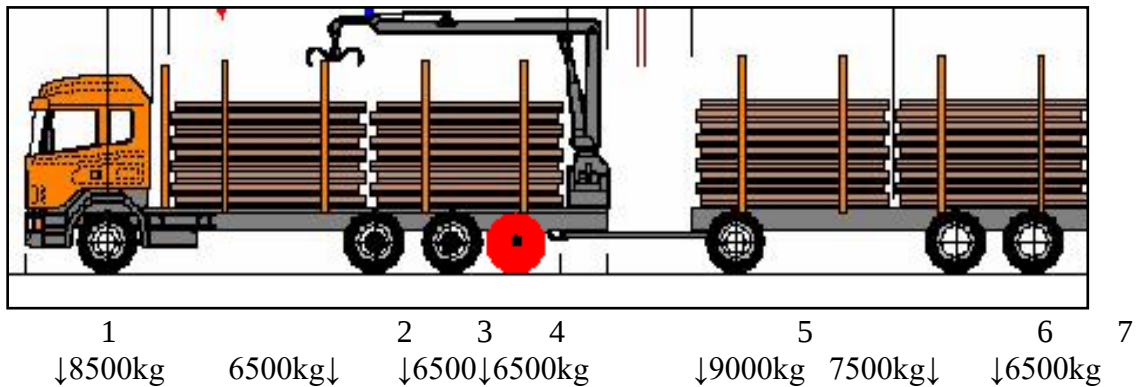
4-5 = 1400mm

5-6 = 2550mm

6-7 = 1440mm

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

Joonis 5.5. Raskesti koormatud veok 52 t



Autorongi pikkus 18,75 veduki pikkus ( esistangest kui tõstuki kaugema osani ) 10,6 m, täismass 52 000 kg

Telgede vahekaugused

- 1-2 = 4320mm
- 2-3 = 1370mm
- 3-4 = 1380 mm
- 4-5 = 4120 mm
- 5-6 = 3470 mm
- 6-7 = 1360 mm

#### 5.5.2 Raskeveokite modelleerimine sillal

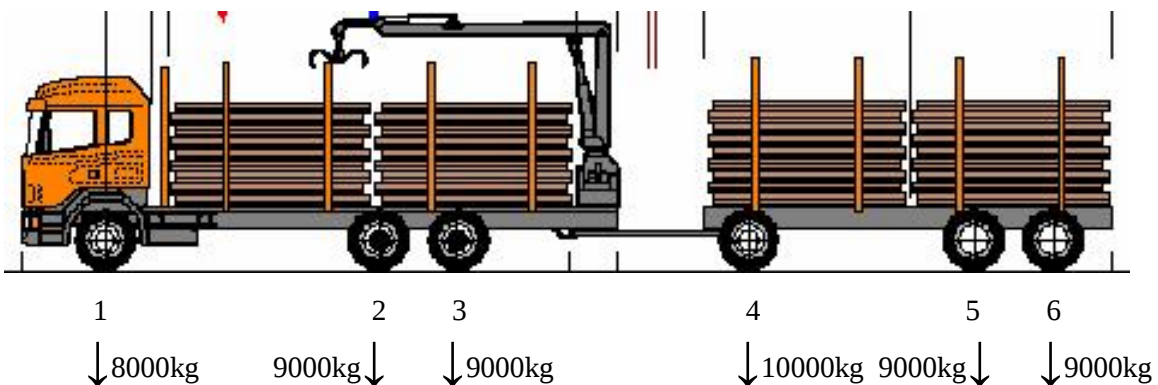
Arvutuslike raskeveokite konstrueerimisel on Autoettevõtjate Liidu poolt edastatud veokite telgedele rakendatud Eestis kehtivale mootorsõidukite nõuetele [21] kohaseid maksimaalseid telje/telgede koormusi.

Koormusmodelite koostamisel on tehtud järgmised lihtsustused:

- Teljekoormused on LEM - mudelis kujutatud *koondatud koormusena (punktkoormus)*
- Paarisrattaste massikeskmete vahekauguseks on võetud 1800 mm

Joonis 5.6. Raskesti koormatud veok 54 t

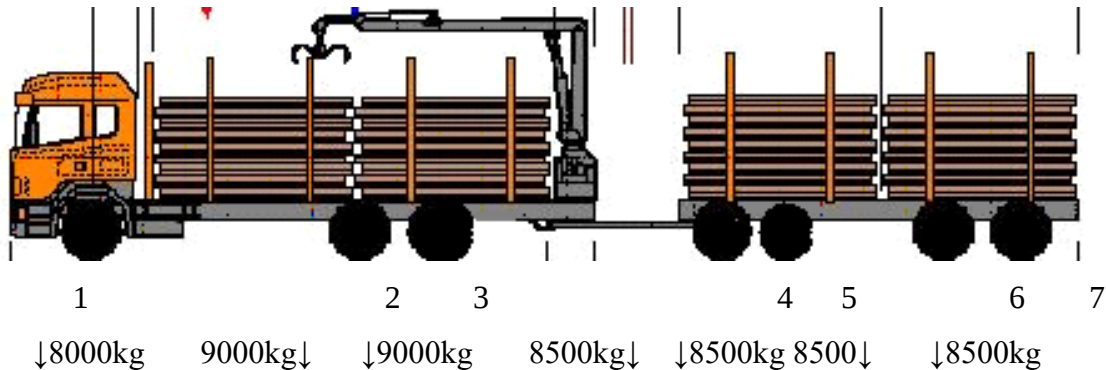
Autorongi pikkus 18,75 m, 3-teljeline veduk + 3-teljeline haagis, täismass 54 000 kg



„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

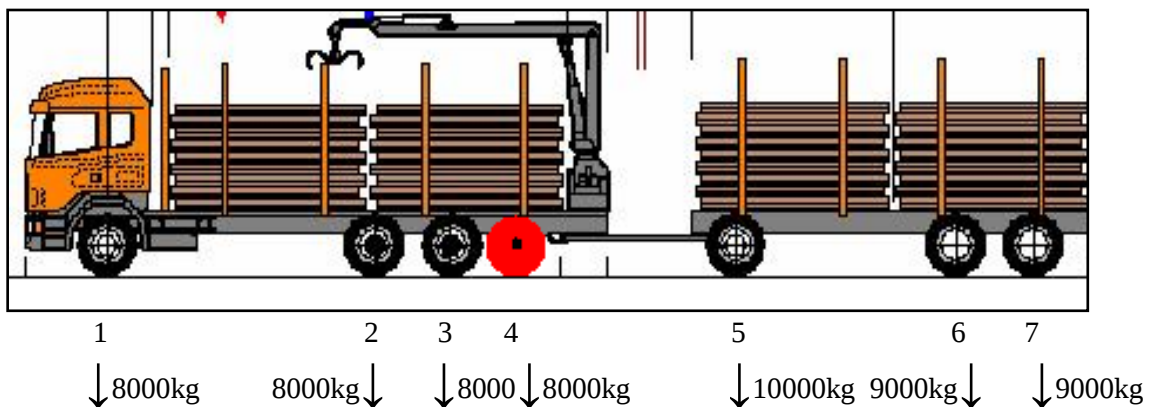
Joonis 5.7. Raskesti koormatud veok 60 t

Autorongi pikkus 18,75 m, 3-teljeline veduk + 4-teljeline haagis, täismass 60 000 kg

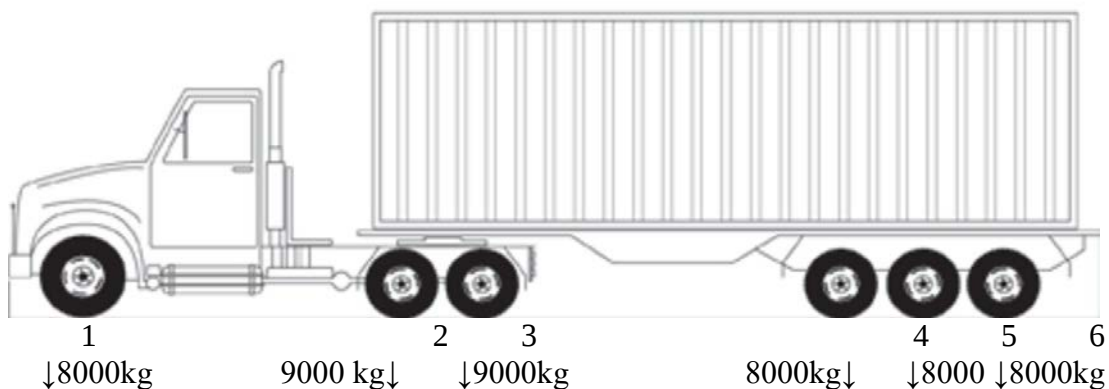


Joonis 5.8. Raskesti koormatud veok 60 t

Autorongi pikkus 18,75 m, 4-teljeline veduk + 3-teljeline haagis, täismass 60 000 kg



Joonis 5.9. Raskesti koormatud veok 50 t.



Autorongi koosseis 3-teljeline veduk + 3-teljeline poolhaagis

Pikkus 16,5 m, täismass 50 000kg

Telgede vahekaugused

1-2 = 3100 mm

2-3 = 1350 mm

3-4 = 5600 mm

4-5 = 1300 mm

5-6 = 1300 mm

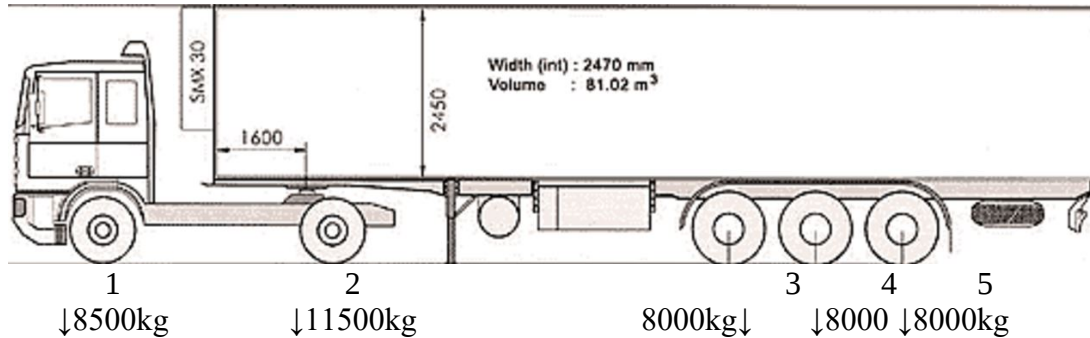
TTÜ teedeinstituut

22.08.2016 Teostas: Erki Reinsalu

Juhendasid: Siim Idnurm, Juhan Idnurm

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

Joonis 5.10. Raskesti koormatud veok 44 t



Autorongi koosseis 2-teljeline veduk + 3-teljeline poolhaagis

Pikkus 16,5 m, täismass 44 000kg

Telgede vahekaugused

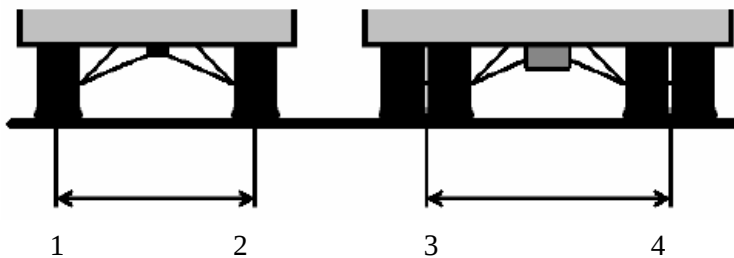
1-2 = 4350 mm

2-3 = 5600 mm

3-4 = 1310 mm

4-5 = 1310 mm

*Raskeveokite rataste vahekaugused üksik ja paarisrataste korral.*



Vahekaugused

1-2 = 2050 mm

3-4 = 1800 mm

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

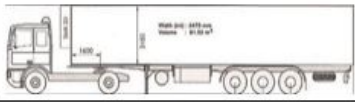
## 6.RASKE- JA ERIVEOKITEST PÕHJUSTATUD SISEJÕUD JA TALADE KANDEVÕIME

Eelpool esitatud koormustega sooritati kontrollarvutused lõplike elementide meetodi (LEM) abil.

### 6.1 RASKEVEOKID

6.1.1 Tüüpikataloogi 56 raudbetoontalade alusel modelleeritud sildade suurimad sisejõud raskeveokite korral.

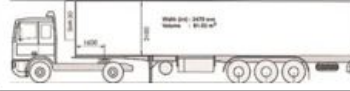
Tabel 6.1. Suurimad arvutuslikud sisejõud koormatud talades.

| Raskeveoki mudel                                                                                          | Paindemoment kNm |          | Põikjõud kN |          | Ava, m | NG-60           |                 | NK-80           |                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------|-------------|----------|--------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                                                                                                           | G-6              | Laiendus | G-6         | Laiendus |        | M <sub>Rd</sub> | V <sub>Rd</sub> | M <sub>Rd</sub> | V <sub>Rd</sub> |
| 44 t; 16,5 m; 2+3<br>    | 333              | 411      | 170         | 238      | 7,5    | 410             | 629             | 460             | 696             |
|                                                                                                           | 498              | 636      | 208         | 306      | 10     | 644             | 670             | 757             | 742             |
|                                                                                                           | 699              | 907      | 244         | 360      | 12,5   | 810             | 544             | 1087            | 766             |
|                                                                                                           | 984              | 1287     | 285         | 483      | 15     | 1180            | 591             | 1378            | 833             |
|                                                                                                           | 1690             | 2236     | 354         | 504      | 20     | 1942            | 673             | 2197            | 735             |
| 50 t; 16,5 m; 3+3<br>  | 333              | 411      | 170         | 238      | 7,5    | 410             | 629             | 460             | 696             |
|                                                                                                           | 498              | 636      | 212         | 311      | 10     | 644             | 670             | 757             | 742             |
|                                                                                                           | 702              | 910      | 255         | 373      | 12,5   | 810             | 544             | 1087            | 766             |
|                                                                                                           | 994              | 1298     | 298         | 498      | 15     | 1180            | 591             | 1378            | 833             |
|                                                                                                           | 1770             | 2323     | 373         | 526      | 20     | 1942            | 673             | 2197            | 735             |
| 54 t; 18,75 m; 3+3<br> | 289              | 362      | 169         | 237      | 7,5    | 410             | 629             | 460             | 696             |
|                                                                                                           | 478              | 614      | 198         | 295      | 10     | 644             | 670             | 757             | 742             |
|                                                                                                           | 684              | 891      | 242         | 357      | 12,5   | 810             | 544             | 1087            | 766             |
|                                                                                                           | 952              | 1252     | 284         | 481      | 15     | 1180            | 591             | 1378            | 833             |
|                                                                                                           | 1702             | 2249     | 367         | 520      | 20     | 1942            | 673             | 2197            | 735             |
| 60 t; 18,75 m; 3+4<br> | 329              | 406      | 185         | 255      | 7,5    | 410             | 629             | 460             | 696             |
|                                                                                                           | 525              | 666      | 221         | 322      | 10     | 644             | 670             | 757             | 742             |
|                                                                                                           | 761              | 976      | 267         | 387      | 12,5   | 810             | 544             | 1087            | 766             |
|                                                                                                           | 1088             | 1402     | 312         | 514      | 15     | 1180            | 591             | 1378            | 833             |
|                                                                                                           | 1862             | 2424     | 397         | 554      | 20     | 1942            | 673             | 2197            | 735             |
| 60 t; 18,75 m; 4+3<br> | 331              | 408      | 171         | 240      | 7,5    | 410             | 629             | 460             | 696             |
|                                                                                                           | 506              | 645      | 209         | 308      | 10     | 644             | 670             | 757             | 742             |
|                                                                                                           | 744              | 956      | 244         | 360      | 12,5   | 810             | 544             | 1087            | 766             |
|                                                                                                           | 1046             | 1356     | 300         | 500      | 15     | 1180            | 591             | 1378            | 833             |
|                                                                                                           | 1874             | 2438     | 393         | 550      | 20     | 1942            | 673             | 2197            | 735             |

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

6.1.2 Tüüpkataloogi 56 Lisa raudbetoontalade alusel modelleeritud sildade suurimad sisejõud raskeveokite korral.

Tabel 6.2. Suurimad arvutuslikud sisejõud koormatud talades.

| Raskeveoki mudel                                                                                          | Paindemoment kNm |          | Põikjõud kN |          | Ava, m | NG-60           |                 | NK-80           |                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------|-------------|----------|--------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                                                                                                           | G-7              | Laiendus | G-7         | Laiendus |        | M <sub>Rd</sub> | V <sub>Rd</sub> | M <sub>Rd</sub> | V <sub>Rd</sub> |
| 44 t; 16,5 m; 2+3<br>    | 403              | 467      | 208         | 302      | 7,5    | 648             | 673             | 771             | 740             |
|                                                                                                           | 622              | 727      | 249         | 375      | 10     | 1030            | 712             | 1166            | 783             |
|                                                                                                           | 892              | 1044     | 300         | 449      | 12,5   | 1377            | 951             | 1818            | 1025            |
|                                                                                                           | 1235             | 1489     | 350         | 518      | 15     | 1908            | 1015            | 2294            | 1093            |
| 50 t; 16,5 m; 3+3<br>    | 403              | 467      | 208         | 302      | 7,5    | 648             | 673             | 771             | 740             |
|                                                                                                           | 622              | 727      | 249         | 379      | 10     | 1030            | 712             | 1166            | 783             |
|                                                                                                           | 896              | 1045     | 308         | 462      | 12,5   | 1377            | 951             | 1818            | 1025            |
|                                                                                                           | 1257             | 1510     | 362         | 537      | 15     | 1908            | 1015            | 2294            | 1093            |
| 54 t; 18,75 m; 3+3<br>   | 362              | 421      | 195         | 300      | 7,5    | 648             | 673             | 771             | 740             |
|                                                                                                           | 603              | 700      | 245         | 363      | 10     | 1030            | 712             | 1166            | 783             |
|                                                                                                           | 874              | 1023     | 297         | 444      | 12,5   | 1377            | 951             | 1818            | 1025            |
|                                                                                                           | 1204             | 1454     | 347         | 518      | 15     | 1908            | 1015            | 2294            | 1093            |
| 60 t; 18,75 m; 3+4<br> | 399              | 463      | 223         | 323      | 7,5    | 648             | 673             | 771             | 740             |
|                                                                                                           | 652              | 757      | 266         | 392      | 10     | 1030            | 712             | 1166            | 783             |
|                                                                                                           | 945              | 1104     | 320         | 480      | 12,5   | 1377            | 951             | 1818            | 1025            |
|                                                                                                           | 1344             | 1606     | 374         | 555      | 15     | 1908            | 1015            | 2294            | 1093            |
| 60 t; 18,75 m; 4+3<br> | 400              | 464      | 210         | 303      | 7,5    | 648             | 673             | 771             | 740             |
|                                                                                                           | 622              | 730      | 256         | 379      | 10     | 1030            | 712             | 1166            | 783             |
|                                                                                                           | 924              | 1090     | 293         | 470      | 12,5   | 1377            | 951             | 1818            | 1025            |
|                                                                                                           | 1305             | 1556     | 368         | 547      | 15     | 1908            | 1015            | 2294            | 1093            |

6.1.3 Tüüpkataloogi nr. 56 raudbetoontalade alusel modelleeritud sildade suurimad sisejõud (Eurokoodeks)

Mudelid (tarkvaral STAAD pro) on koostatud tala arvutuslikke pikkusi arvestades, kasutades ristlõiget G-6 ehk sõidutee laius sillal 6 m ja talade arv 5. Laiendatud ristlõike korral on sõiduteed laiendatud kummalegi poole 0,5 m, millele lisandub servaprussi laius 0,65 m. Antud valik on tingitud suurima/ebasoodsaima sisejõu tekkimisest äärmisel talal. Suurimad sisejõud on fikseeritud koormusolukordades OMAKAAL ja OMAKAAL+LM1. Koormusolukorras OMAKAAL saadakse silla pealisehituse koormusest tekkiv suurim põikjõud toe kohal ja suurim paindemoment avas (ühtlasi suurim paindemoment talas). Koormusmudeli LM2 (400kN telg) korral on tekkivad sisejõud väiksemad kui LM1 600kN (480kN) tandemi korral ja seega tulemusi eraldi välja pole toodud. Eurokoodeks [9] annab LM1 koormusmudeli täpsustavad tegurid  $\alpha_Q$  ja  $\alpha_q$  väärtused vastavalt maanteeklassile ja sellest tulenevalt on antud töös tüüpsildade sisejõud arvutatud eristades põhimaanteed, tugimaanteed ja kõrvalmaanteed.

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

Märkus 1. Koormusmodelite täpsustavad tegurid vastavalt maanteeklassile [8]

Märkus 1.

- Eestis kasutatakse järgmisi täpsustavate tegurite väärtusi:

a) põhimaanteedel ja limatänavatel  $\alpha_{Qi} = \alpha_{qi} = \alpha_{qr} = 1,0$ ;

b) tugimaanteedel  $\alpha_{Q1} = 0,8$ ,  $\alpha_{Q2} = \alpha_{Q3} = \alpha_{qi} = \alpha_{qr} = 1,0$ ;

c) kõrvamaanteedel  $\alpha_{Q1} = 0,8$ ,  $\alpha_{q1} = 0,8$ ,  $\alpha_{q1} = 1,0$  ja  $\alpha_{Qi} = \alpha_{qi} = \alpha_{qr} = 1,0$

kui  $i \geq 2$ .

- Eriveokite sh metsaveomasinate mõju sildadele on toodud järgnevas peatükis.

Tabel 6.3. Tüüpikataloogi nr 56 talade pikkused [10]

| Ava pikkus, m | Arvutuslik pikkus, m | Tala kogupikkus, m |
|---------------|----------------------|--------------------|
| 7,5           | 8,40                 | 8,66               |
| 10,0          | 11,10                | 11,36              |
| 12,5          | 13,70                | 14,06              |
| 15,0          | 16,30                | 16,76              |
| 20,0          | 21,60                | 22,16              |

#### OMAKAAL

Tabel 6.4. Suurimad avamomendid omakaalukoormusest (kNm)

| Tüüp\Ava | 7,5m | 10m | 12,5m | 15m | 20m  |
|----------|------|-----|-------|-----|------|
| G-6      | 113  | 197 | 305   | 463 | 879  |
| laiendus | 169  | 305 | 474   | 714 | 1343 |

Tabel 6.5. Suurim põikjõud omakaalukoormusest (kN)

| Tüüp\Ava | 7,5m | 10m | 12,5m | 15m | 20m |
|----------|------|-----|-------|-----|-----|
| G-6      | 57   | 74  | 93    | 117 | 167 |
| laiendus | 108  | 153 | 186   | 217 | 290 |

#### PÕHIMAANTEE

Tabel 6.6. Suurimad avamomendid OMAKAAL+LM1 (kNm)

| Tüüp\Ava | 7.5 | 10   | 12.5 | 15   | 20   |
|----------|-----|------|------|------|------|
| G-6      | 802 | 1186 | 1698 | 2190 | 3392 |
| Laiendus | 915 | 1348 | 1866 | 2598 | 4140 |

Tabel 6.7. Suurim põikjõud OMAKAAL+LM1 (kNm)

| Tüüp\Ava | 7.5 | 10  | 12.5 | 15  | 20  |
|----------|-----|-----|------|-----|-----|
| G-6      | 390 | 433 | 479  | 528 | 624 |

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

|          |     |     |     |     |     |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|
| laiendus | 560 | 658 | 728 | 785 | 914 |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|

#### TUGIMAANTEE

Tabel 6.8. Suurimad avamomendid OMAKAAL+LM1 (kNm)

| Tüüp\Ava | 7.5 | 10   | 12.5 | 15   | 20   |
|----------|-----|------|------|------|------|
| G-6      | 687 | 1031 | 1489 | 1941 | 3061 |
| laiendus | 800 | 1197 | 1679 | 2350 | 3800 |

Tabel 6.9. Suurim pöikjõud OMAKAAL+LM1 (kNm)

| Tüüp\Ava | 7.5 | 10  | 12.5 | 15  | 20  |
|----------|-----|-----|------|-----|-----|
| G-6      | 354 | 394 | 432  | 471 | 563 |
| laiendus | 484 | 578 | 646  | 703 | 831 |

#### KÕRVALMAANTEE

Tabel 6.10. Suurimad avamomendid OMAKAAL+LM1 (kNm)

| Tüüp\Ava | 7.5 | 10   | 12.5 | 15   | 20   |
|----------|-----|------|------|------|------|
| G-6      | 662 | 989  | 1423 | 1851 | 2897 |
| laiendus | 773 | 1156 | 1616 | 2258 | 3636 |

Tabel 6.11. Suurim pöikjõud OMAKAAL+LM1 (kNm)

| Tüüp\Ava | 7.5 | 10  | 12.5 | 15  | 20  |
|----------|-----|-----|------|-----|-----|
| G-6      | 347 | 385 | 421  | 444 | 531 |
| laiendus | 467 | 556 | 619  | 671 | 790 |

#### 6.1.4 Tüüpkataloogi nr. 56 Lisa raudbetoontalade alusel modelleeritud sildade suurimad sisejõud (Eurokoodeks)

Mudelid (tarkvaral STAAD pro) on koostatud tala arvutuslikke pikkusi arvestades, kasutades ristlõiget G-7 ehk sõidutee laius sillal 7 m ja talade arv 5. Laiendatud ristlõike korral on sõiduteed laiendatud kummalegi poole 0,5 m, millele lisandub servaprussi laius 0,65 m. Antud valik on tingitud suurima/ebasoodsaima sisejõu tekkimisest äärmisel talal laiendatud ristlõikel. Suurimad sisejõud on fikseeritud koormusolukordades OMAKAAL ja OMAKAAL+LM1. Koormusolukorras OMAKAAL saadakse silla pealisehituse koormusest tekkiv suurim pöikjõud toe kohal ja suurim paindemoment avas (ühtlasi suurim paindemoment talas). Laiendamata olukorras tekib suurim paindemoment keskmisele talale.

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

Tabel 6.12 Tüüpkataloogis nr 56 Lisa talade pikkused [11]

| Ava pikkus, m | Arvutuslik pikkus, m | Tala kogupikkus, m |
|---------------|----------------------|--------------------|
| 7,5           | 8,40                 | 8,66               |
| 10,0          | 11,10                | 11,36              |
| 12,5          | 13,70                | 14,06              |
| 15,0          | 16,30                | 16,76              |

**OMAKAAL**

Tabel 6.13. Suurimad avamomendid omakaalukoormusest (kNm)

| Tüüp\Ava | 7,5m | 10m | 12,5m | 15m |
|----------|------|-----|-------|-----|
| G-7      | 173  | 306 | 473   | 691 |
| laiendus | 235  | 393 | 603   | 898 |

Tabel 6.14. Suurim põikjõud omakaalukoormusest (kN)

| Tüüp\Ava | 7,5m | 10m | 12,5m | 15m |
|----------|------|-----|-------|-----|
| G-7      | 84   | 113 | 143   | 176 |
| laiendus | 146  | 189 | 238   | 286 |

**PÕHIMAANTEE**

Tabel 6.15. Suurimad avamomendid OMAKAAL+LM1 (kNm)

| Tüüp\Ava | 7.5  | 10   | 12.5 | 15   |
|----------|------|------|------|------|
| G-7      | 1127 | 1588 | 2188 | 2662 |
| laiendus | 1008 | 1560 | 2174 | 3000 |

Tabel 6.16. Suurim põikjõud OMAKAAL+LM1 (kNm)

| Tüüp\Ava | 7.5 | 10  | 12.5 | 15  |
|----------|-----|-----|------|-----|
| G-7      | 568 | 625 | 676  | 730 |
| laiendus | 624 | 712 | 801  | 881 |

**TUGIMAANTEE**

Tabel 6.17. Suurimad avamomendid OMAKAAL+LM1 (kNm)

| Tüüp\Ava | 7.5 | 10   | 12.5 | 15   |
|----------|-----|------|------|------|
| G-7      | 994 | 1418 | 1966 | 2419 |
| laiendus | 884 | 1388 | 1958 | 2716 |

Tabel 6.18. Suurim põikjõud OMAKAAL+LM1 (kNm)

| Tüüp\Ava | 7.5 | 10  | 12.5 | 15  |
|----------|-----|-----|------|-----|
| G-7      | 537 | 554 | 604  | 656 |
| laiendus | 545 | 631 | 718  | 797 |

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

**KÕRVALMAANTEE**

Tabel 6.19. Suurimad avamomendid OMAKAAL+LM1 (kNm)

| Tüüp\Ava | 7.5 | 10   | 12.5 | 15   |
|----------|-----|------|------|------|
| G-7      | 970 | 1376 | 1904 | 2335 |
| laiendus | 856 | 1340 | 1883 | 2608 |

Tabel 6.20. Suurim põikjõud OMAKAAL+LM1 (kNm)

| Tüüp\Ava | 7.5 | 10  | 12.5 | 15  |
|----------|-----|-----|------|-----|
| G-7      | 525 | 538 | 584  | 633 |
| laiendus | 530 | 507 | 688  | 762 |

## 6.2 ERIVEOKITE KOORMUS SILDADEL

Eriveokite koormusmodelite all käsitletakse 4 ja enam teljega sõidukeid, mille teljekoormused on 3 m laia sõiduki puhul 150/200 kN ja 4,5 m laia sõiduki puhul 240 kN. Antud töös on sildadele rakendatud 3600kN eriveoki koormusmodelit telgedega 200 kN (3 m lai) ja 240 kN (4,5 m lai), teljevahed 1,5 m. Eriveok on mudelis sillale asetatud vastavalt EN 1991-2:2007+NA:2007 Lisa A „Erisõidukite mudelid maantesildadel“ toodud juhendile ja nõuetele. Lihtsustusena ei ole eriveokiga samaaegselt sillale paigutatud tavaväärtusega koormusmudeli 1 liikluskoormust, kuna lisa koormus ei mõju vaadeldava tala sisejõude suurendavalt. Tüüpkataloog nr. 56 talade puhul tekib suurim paindemoment äärmises talas. Tüüpkataloog nr. 56 Lisa tüüptalade korral on enim koormatud teine tala äärest.

### 6.2.1 Kataloog 56 tüüptalade sisejõud - teljekoormus 240 kN

**Suurim avamoment kNm**

|          | 7.5 | 10   | 12.5 | 15   | 20   |
|----------|-----|------|------|------|------|
| G-6      | 646 | 1110 | 1788 | 2546 | 4579 |
| laiendus | 755 | 1293 | 2078 | 2951 | 5295 |

**Suurim põikjõud kN**

|          | 7.5 | 10  | 12.5 | 15  | 20   |
|----------|-----|-----|------|-----|------|
| G-6      | 280 | 390 | 515  | 637 | 876  |
| laiendus | 416 | 569 | 742  | 905 | 1215 |

### 6.2.2 Kataloog 56 tüüptalade sisejõud - teljekoormus 200 kN

**Suurim avamoment kNm**

|          | 7.5 | 10   | 12.5 | 15   | 20   |  |
|----------|-----|------|------|------|------|--|
| G-6      | 742 | 1240 | 1952 | 2760 | 4942 |  |
| laiendus | 834 | 1384 | 2163 | 3036 | 5405 |  |

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

**Suurim põikjõud k**

|          | 7.5 | 10  | 12.5 | 15  | 20   |  |
|----------|-----|-----|------|-----|------|--|
| G-6      | 332 | 451 | 593  | 724 | 993  |  |
| laiendus | 484 | 645 | 830  | 992 | 1334 |  |

6.2.3 Kataloog 56 Lisa tüüptalade sisejõud - teljekoormus 240 kN

**Suurim avamoment kNm**

|          | 7.5 | 10   | 12.5 | 15   |
|----------|-----|------|------|------|
| G-7      | 825 | 1387 | 2140 | 3016 |
| laiendus | 784 | 1400 | 2208 | 3221 |

**Suurim põikjõud k**

|          | 7.5 | 10  | 12.5 | 15  |
|----------|-----|-----|------|-----|
| G-7      | 372 | 500 | 630  | 798 |
| laiendus | 440 | 596 | 777  | 968 |

6.2.4 Kataloog 56 Lisa tüüptalade sisejõud - teljekoormus 200 kN

**Suurim avamoment kNm**

|          | 7.5 | 10   | 12.5 | 15   |
|----------|-----|------|------|------|
| G-7      | 933 | 1395 | 2226 | 3089 |
| laiendus | 898 | 1562 | 2420 | 3495 |

**Suurim  
põikjõud kN**

|          | 7.5 | 10  | 12.5 | 15   |
|----------|-----|-----|------|------|
| G-7      | 428 | 580 | 720  | 866  |
| laiendus | 520 | 702 | 924  | 1154 |

6.2.4 Eurokoodeksi ja NL-aegsete projekteerimismäärade koormusmodelite võrdlus

Tabel 6.21 NL-aegsete koormusmodelite paindemomentide võrdlus 11,1 m arvutusliku tala (ava 10 m) puhul, kNm [17]

| Koormusmudel     | Vanema tüübi 5 talaga |          | Uuema tüübi 5 talaga |          |
|------------------|-----------------------|----------|----------------------|----------|
|                  | G-6                   | Laiendus | G-7                  | Laiendus |
| N-10, $\mu=1,25$ | 644                   | 762      | 667                  | 766      |
| N-13, $\mu=1,25$ | 755                   | 884      | 772                  | 878      |
| N-18, $\mu=1,25$ | 829                   | 1009     | 847                  | 964      |
| N-30, $\mu=1,25$ | 829                   | 1012     | 847                  | 966      |
| A-11, $\mu=1,30$ | 952                   | 1145     | 962                  | 1083     |
| NG-60            | 780                   | 776      | 783                  | 777      |
| NK-80            | 944                   | 890      | 937                  | 869      |

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

Tabel 6.22. Tänapäevaste koormusmodelite paindemomentide võrdlus 11,1 m arvutusliku tala puhul, kNm

| Koormusmodel                              | Vanema tüübi 5 talaga |          | Uuema tüübi 5 talaga |          |
|-------------------------------------------|-----------------------|----------|----------------------|----------|
|                                           | G-6                   | Laiendus | G-7                  | Laiendus |
| LM1, $\alpha_q = \alpha_Q = 1$            | 1186                  | 1348     | 1588                 | 1560     |
| LM1, $\alpha_q = 1$ ,<br>$\alpha_Q = 0,8$ | 1031                  | 1197     | 1418                 | 1388     |
| LM1, $\alpha_q = \alpha_Q = 0,8$          | 989                   | 1156     | 1376                 | 1340     |
| LM3, 3600/240                             | 1110                  | 1293     | 1387                 | 1400     |
| LM3, 3600/200                             | 1240                  | 1384     | 1395                 | 1562     |
| 44 t, 16,5 m, 2+3                         | 498                   | 636      | 622                  | 727      |
| 50 t; 16,5 m; 3+3                         | 498                   | 636      | 622                  | 727      |
| 54 t; 18,75 m;<br>3+3                     | 478                   | 614      | 603                  | 700      |
| 60 t; 18,75 m;<br>3+4                     | 525                   | 666      | 652                  | 757      |
| 60 t; 18,75 m;<br>4+3                     | 506                   | 645      | 622                  | 730      |

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

## 7. TUGEVDAMINE

### 7.1 TUGEVDAMISE MEETODITE ÜLEVAADE

Silla tugevdamise meetodite esitamiseks tuuakse alljärgnevalt Prantsusmaal Vierzoni maakonnas asuva lihttalasilla Chaillot näitel on koostatud tekiplaadi laiendamise ja talade tugevdamise meetodite analüüs ja võrdlus. [23].

Töö eesmärgiks oli uurida konkreetse raudbetoon lihttalasilla laiendamise ja tugevdamise võimalusi ja neid võrrelda. Lühidalt on kirjeldatud ja erinevaid meetodeid ja nende häid/halbu külgi.

#### Laiendamine:

Laiendamise puhul võimalikud olukorrad:

- Tekiplaadi laiendamine ilma lisatalade vajaduseta ja tugevdamiseta
- Tekiplaadi laiendamine olemasolevate talade tugevdamisega
- Tekiplaadi laiendamine olemasolevate talade ja sammaste tugevdamisega
- Tekiplaadi laiendamine olemasolevate talade, sammaste ja kaldasammast/vundamendi tugevdamisega

Sildu rekonstrueeritakse/laiendatakse kahel põhjusel:

- Konstruktsioon ei vasta enam kandevõime/ohutus nõuetele: on kas liialt lagunened või omab püsivaid deformatsioone
- Konstruktsioon ei vasta kasutuse vajadusele: muutunud on liikluskoosseis (suurenenud raskeliikluse osakaal) või kasvanud üldine läbiv liiklus ja sillagabariidid ei võimalda piisavat läbilaskvust.

Mõlemal juhul tuleb konstruktsiooni tugevdada ja vajadusel viia silla läbilaskevõime vastavusse muutunud liiklusega.

Tugevdamise meetodid on jagatud kahte gruppi:

- Aktiivne meetod: seisneb konstruktsiooni teadlikult ümber kujundamisel, mis võimaldab sisejõudude paremat ümberjaotumist. Saavutatakse kandevelementide lisamise või geomeetrilise muutmisega.
- Passiivne meetod: jõudude ümberjagunemist ei toimu, tugevdatakse konstruktsiooni enim koormatud elemente.

Tihti peale kaasneb sillateki laiendamisega/renoveerimisega uue betoonvalu vajadus, mille korral tuleb tagada uue ja vana betooni omavaheline nihkejäikus.

Tavapäraseks/soovituslikuks lähenemiseks siinkohal on järgnev lähenemine:

1. Vana betooni eemaldamine armatuuri pinnani
2. Olemasoleva armatuuri katmine korrosioonitõkkega
3. Vajadusel täiendava armatuuri lisamine uue ja vana betooni sidumiseks
4. Uue betooni valamine

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

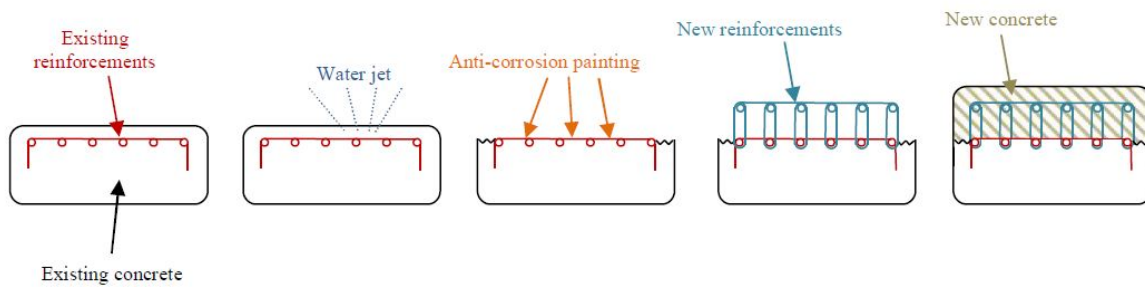


Figure 3.2: Sketch of a method to cast new concrete against existing one

Joonis 7.1. Betooni eemaldamine ja uue valamine koos täiendava armeeringuga

Tugevdamise meetodid

Aktiivne meetod, mis viib koormuste ümberjaotumiseni konstruktsioonis. Eesmärgina enim koormatud elemendilt koormuse jagamine vähem koormatud elemendile – ühtlustumine. Selline koormuste ümberjaotumine on võimalik lisades konstruktsiooni jäigastavad sidemed (põiksidemed, põiktalad), mis suurendavad ühtlasi väändejäikust.

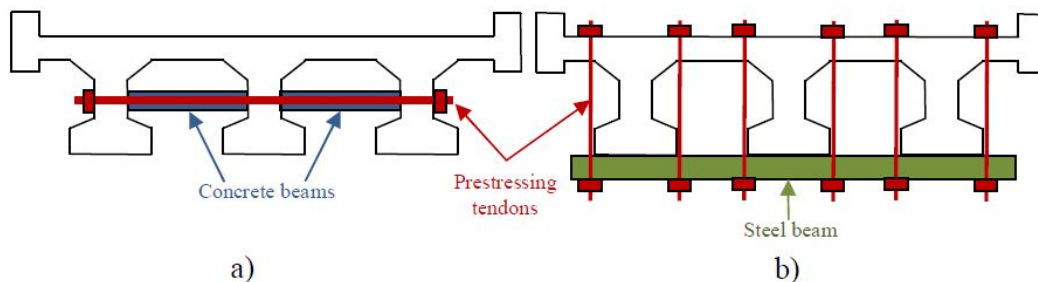
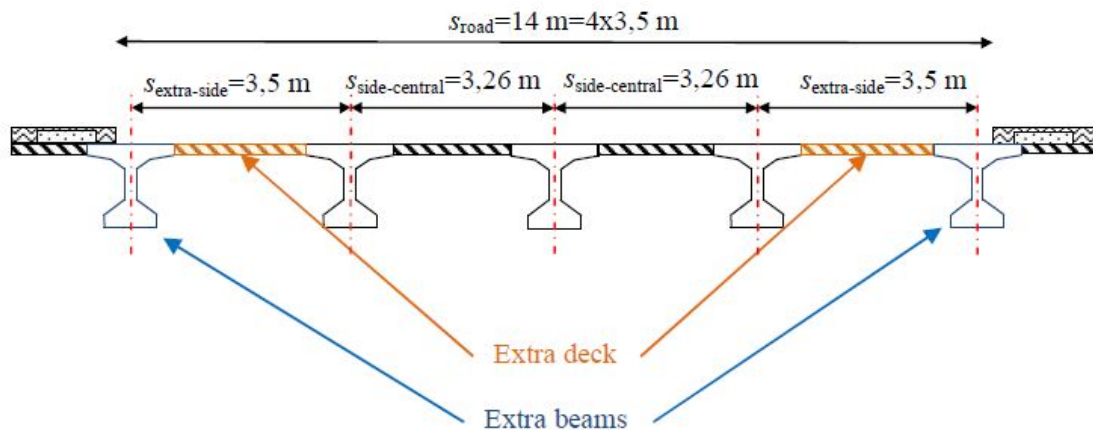


Figure 3.3: Sketch of a transversal reinforcement with a) concrete beams b) steel beams

Joonis 7.2. Kandevelemendi pikiteljega risti asetsevad jäigastavad sidemed

Lisa konstruktsiooni elemendi lisamine: Kasutatakse nii lisa tugisamba lisamist ava vähendamiseks kui ka talade arvu suurendamist (täiendav äärmine tala, kahe olemasoleva tala vahele). Lähenemine siiski aja ja tööjõud kulukas. Tagab suurima lisa kandevõime sillale.

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“



Joonis 7.3. Talade lisamise põhimõtted

Pealisehituse omakaalu vähendamine: Olenevalt sillast võib pealisehituse omakaal moodustada üle poole silla kandevõimest. Kaaluda saab nii betoonelementide väljavahetamist väiksemate või kergemate elementide vastu, teraselementide sisse toomisega. Meetodi eelduseks on kergesti monteeritavad elemendid.

Eelpingestamine lisa välimiste pingutitega (tendons): Eepingestatud pingestid paigaldatakse sümmeetriliselt betoontala väliskülje (harva ka alla). Meetodiga ei kaasne omakaalu kasvu ja töid saab teostada elava liiklus all. Paigaldatud pingestid tuleb väliskeskkonna mõjude eest kaitsta vastavate vahenditega või paigutada katva plastiktoru sisse.

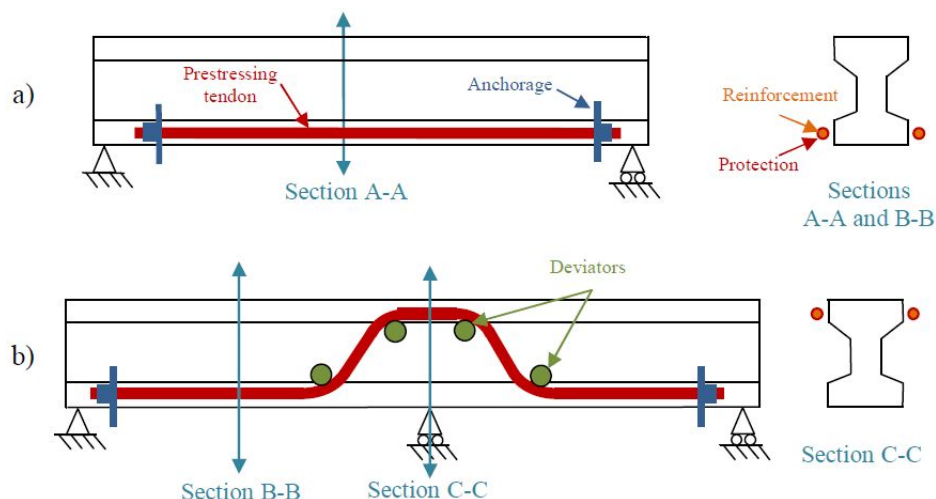


Figure 3.5: Sketch of the principle of external prestressing on a) simply supported beams b) continuous beams

Joonis 7.4. Välise eelpingestatud tugevduse lisamine lihttala ja jätkuvtala korral.

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

Kandevelemendi väljavahetamine: Puuduliku kandevõime element (enamasti äärmine tala) väljavahetamine uuema/tugevama elemendi vastu.

Mõned soovituslikud lähenemised (Radomski, 2002):

- Muuta lihttala konstruktsioon jätkuvtalana töötavaks
- Muuta lihttala süsteem liigendiga töötavaks jätkuvtalaks analoogselt Gerberi süsteemile.



Figure 3.4: Sketch of a Gerber system

Joonis 7.5. Gerberi jätkuvtala skeem

- Lihttalasilla modifitseerimine integraalsillaks – välimiste avade ja kaldasammaste ühendamise.

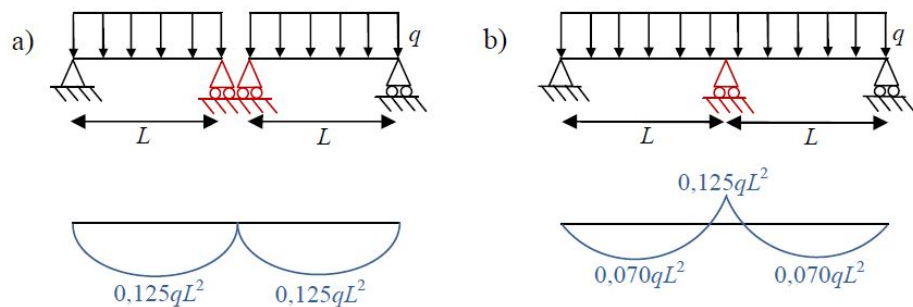


Figure 3.6: Example of a modification with the flexural moment in a) statically determinate b) statically indeterminate structure uniformly loaded

Joonis 7.6. Paindemomendi epüürid hajukoormusest lihttala ja jätkuvtala korral.

- Kaare või rippüsteemi rakendamine. Rippüsteemi rakendamisel tuleb tähelepanu pöörata silla põikisuunalisele stabiilsusele, kuna tavaliselt kasutatakse neid raamsildade puhul, kus teki väändejäikus on suurem. Rippurid tuleks kinnitada koormust vastuvõtma tekiplaadi äärtesse või talade omavahelise ühendamise kaudu luua raamile iseloomuk jõudude ülekandumine.

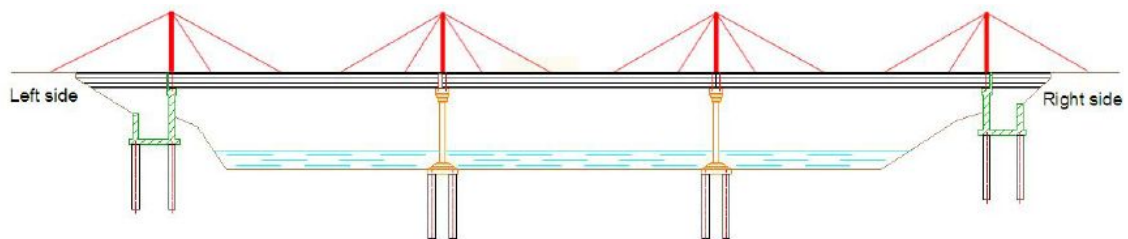


Figure 3.41: Sketch of pylons and cables (fan system) to increase the load carrying capacity

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

Joonis 7.7. Püloonide ja vantide abil silla avamomentide vähendamine, kandevõime suurendamine

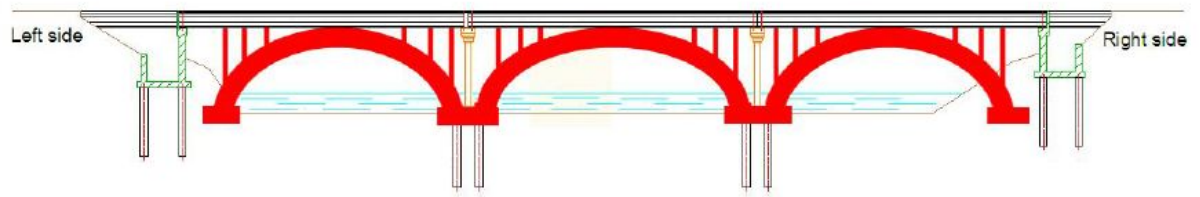


Figure 3.42: Sketch of three arches below the deck to increase the load carrying capacity

Joonis 7.8. Kaarelementide abil silla kandevõime suurendamine

Passiivne meetod

Põhineb betoontala jäikuse EI suurendamises, kus E – Youngi elastusmoodul, mis iseloomustab betooni kui materjali omadust ja I – tala ristlõike inertsimoment, mis on geomeetriliseks karakteristikuks.

Võimalikud viisid:

- Tugevdamine betooniga ristlõike pinna suurendamise läbi – peamiselt siis vööde suurendamisega taladele pealevalu lisamisega – suureneb survetsoon. Vajadusel lisada täiendavat armatuuri olenevalt pealevalu ulatusest. Meetodi puhul tuleb konstruktsioon talade pinnast ülespoole uuesti ehitada. Suureneb ka konstruktsiooni omakaal.
- Tugevdusplaatide lisamine – terasplaatide või terasribide lisamine betooni pinnale epoksiidliimi või analoogset adhesiooni omavada liimiga või ankrupoltidega, mis kinnituvad tala seina. Tugevdusi saab lisada tõmbepiirkonda paindekandevõime suurendamiseks ja tala seinale põikjõukandevõime suurendamiseks.

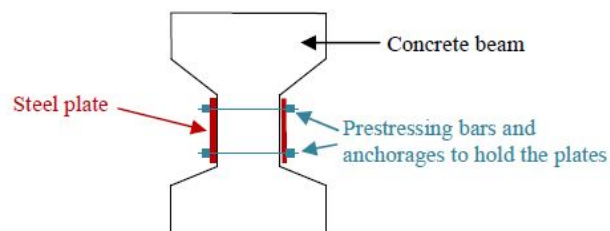


Figure 3.7: Example of shear strengthening by external plating

Joonis 7.9. Põikjõukandevõime suurendamine vööle kinnitatud tugevdusplaatide abil

- Tugevdamine süsinikkiuga armeeritud polümeer ribadega – analoogne terasplaat/ribiga tugevdamisele, ent polümeer ribad kannatavad kõrgemat tõmbepinget ja on väsimusele vastupidavamad kui teras. Ühtlasi on tegu korrosioonikindla materjaliga.

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

## 7.2 VÕRDLUS JA TASUVUS

Meetodite võrdlus on teostatud esialgsest investeeringust, hoolduskuludest ja püstitamise ajakulust lähtuvalt. Talade puhul võrreldi eelpingestatud raudbetoon lihttala terasest tala lisamisega (terastala puhul moodustuks komposiit). Laiendamise korral tuli arvestada ka lisa tuge paigaldamisega laienduste alla või olemasoleva samba laiendamist.

Nii investeeringu kui ka edaspidise hoolduse osas oli kõige odavam lahendus eelpingestatud raudbetoonitala lisamine, kombineerituna vajadusel olemasoleva samba laiendamisega. Kuigi terastala kasutamine tõstab investeeringu ja hoolduskulusid orienteeruvalt 4% ulatuses, võib olenevalt olukorrast osutuda terastala lisamine paremaks lahenduseks tänu paigaldamise kiirusele.

Tasuvuse hindamisel võetakse arvesse silla elutsükli pikkust, erinevate sõidukitüüpide sõidu – ja ajakulu, liikluse koosseisu ja üldist silla kasutatavust. Arvutusvalemid teekasutajate ajakulu ja ohutust silmas pidades on koostatud järgmiselt:

$$LCC_{\text{user,operation}} = \sum_{t=0}^T \left( \frac{L}{v_r} - \frac{L}{v_n} \right) ADT_t \cdot N_t \cdot [r_L(o_L + o_G) + (1 - r_L)o_D]$$

$$LCC_{\text{user,delay}} = \sum_{t=0}^T \left( \frac{L}{v_r} - \frac{L}{v_n} \right) ADT_t \cdot N_t \cdot [r_L w_L + (1 - r_L)w_D] \frac{1}{(1+r)^t}$$

with:

- $t$ : given year
- $T$ : intended life span of the bridge
- $L$ : length of the bridge with reduced speed, or extra distance in case of a deviation
- $v_r$ : traffic speed limit during the works on the bridge
- $v_n$ : traffic speed limit under normal conditions
- $ADT_t$ : Average Daily Traffic at the time  $t$
- $N_t$ : number of days of works reducing the traffic speed at time  $t$
- $r_L$ : amount of commercial traffic (trucks) related to the total amount of vehicles
- $w_L$ : hourly time value for commercial traffic
- $w_D$ : hourly time value for drivers (cars)
- $r$ : real interest rate, depending on the economy of each country
- $o_L$ : operating cost for trucks
- $o_G$ : operating cost for transported goods
- $o_D$ : operating cost for cars

## 7.3 TUGEVDAMISE MEETODID: CFRP RIBAD

CFRP - carbon fiber reinforced polymer. Tõlkes: süsinikkiududega tugevdatud polümeer.

Betooni välispinnale kinnitamiseks kasutatakse epoksiidliimi.

CFRP koosneb termoplastikusse asetatud süsinikkiududest. Tegemist on materjaliga, mis töötab hästi tõmbepingele ja säilitab tugevuse ka deformeerituna. Ühtlasi on CFRP eeliseks vastupidavus keskkonna mõjudele ehk välditud on terasele omane korrodeerumine.

CFRP on paigaldatav kahel kujul:

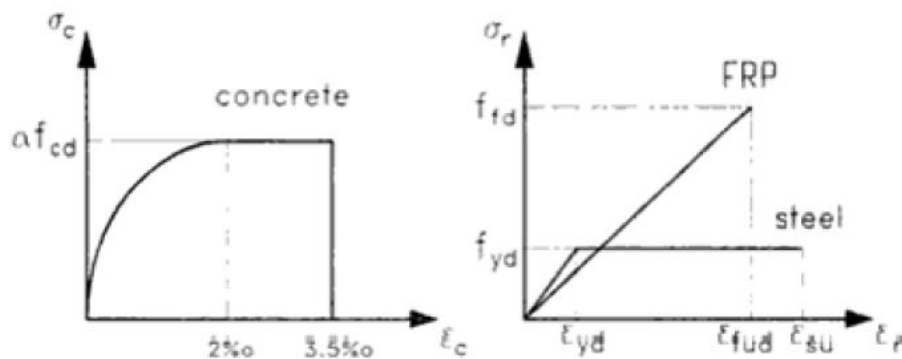
„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

- Tehases valmistatud kujul (ribad või plaadid). On saavutanud oma lõpliku tugevuse enne paigaldamist.
  - N.ö „märg paigaldus“ seisneb süsinik kiudude lehtede paigaldamisel viskoosse polümeeriga küllastunud betoonpinnale tagades seeläbi tugevama ühenduse. Maksimaalseks soovituslikuks kihtide arvaks loetakse 10, mille puhul on ühtlane kvaliteet tagatud.
  - Pinnale süvistatud tugevdus ribad – NSMR (near surface mounted reinforcing systems) on süsinik kiududest ribad/vardad, mis paigaldatakse betooni pinnale süvistatud (20-25mm) avadesse, kus nad kinnituvad betoonpinnale epoksiidliimiga ja võtavad vastu tõmbepingeid.
- Võrreldes eelnevate meetoditega on sisse süvistatud kujul tagatud parem ankurdus.

### Paigaldus

Tagamaks polümeeri ja betoonpinna parima ühenduse tuleks paigaldus teostada sobival temperatuuril (betoonpinna temperatuur  $>10^{\circ}\text{C}$ ), mitte väga niiskele pinnale ja samuti mitte ebaühtlasele pinnale. Vältida tuleks niiskuse pääsemist polümeeri ja betooni vahele kus külmumise korral vesi paisub ja samuti võib niiskus hakata tungima ka armatuurini.

Joonis 7.10 FCRP vastupidavus



Vajadus tugevdamise järele on tulnud talaelementide ekspluatatsioonilise kulumise/pragunemise järel või kui kandevõime ei vasta enam suurenenud liikluskoormusele. Tegemist on eelkõige siiski tala tugevdava meetmega ja esteetilise ilme säilitamine on teisejärguline.

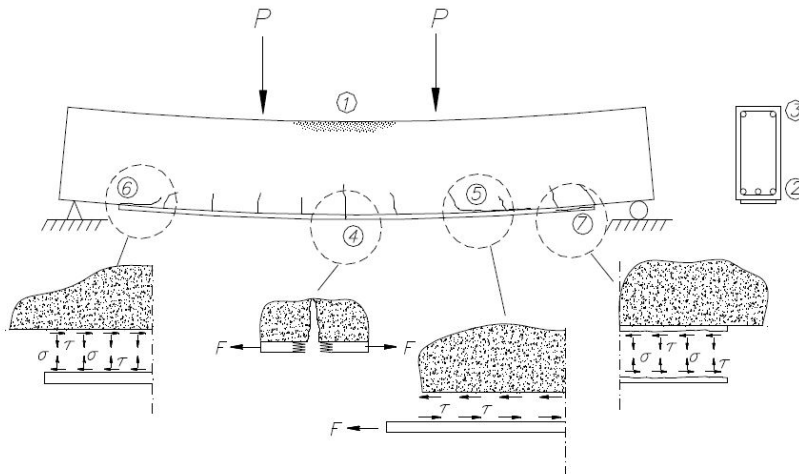
CFRP rakendamine on muutumas järjest levinumaks ja varasemate (endiselt kasutusel) meetmete nagu ristlõike suurendamine, välise pingevarraste/trosside lisamine, väline armeerimine/ tugevdamine terasribide või plaatidega võrreldes kiirem ja tulemuslikum paigaldada. Tegemist siiski kallima meetodiga kui terasplaadiga tugevdamine.

Graafikult näeme, et CFRP-d iseloomustab lineaarne pingede-deformatsiooni suhe, samas kui teras hakkab teatud piirist voolama. Seda on väga oluline silmas pidada mõistmaks konstruktsiooni käitumist purunemise/piir olukorras: terase liigse voolamise korra hakkab konstruktsioon deformeeruma ja annab aegsasti märku kandevõime kaost. Tugevdatuna

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

CFRPga on kandevõime ületamisel deformatsioonid vähe märgatavad ja purunemine toimub äkiliselt. Ühtlasi liigse CFRP kasutamise korral on tala üle armeeritud, mis viib survetsooni kõrguse kasvamiseni ja esineda võib betooni purunemine survele (äkiline purunemine).

Joonis 7.11 Raudbetoontala purunemise tüübid



1. Compressive failure in concrete
2. Yielding of steel reinforcement in tension
3. Yielding of steel reinforcement in compression
4. Tensile failure in CFRP
5. Anchorage failure in the bond zone (intermediate crack debonding)
6. Peeling failure at the end of CFRP
7. Delamination of CFRP

### Purunemise põhjused

Betooni purunemine survele või tõmbearmatuuri voolamine. Kui betooni alumisel (tõmmatud) pinnal esinevad praod, siis kandub kogu koormus üle CFRP-le ja pingete erinevus võib viia nakke kaotuseni. Otses betooni ja CFRP omavaheline nakke kadu on tingitud CFRP kandevõime ammendumisest. Halva ankurduse korral ei toimu koormuse ülekandumist betoonilt polümeerile ja betooni purunemine/pragunemine süvendab kandevõime kadu veelgi. Võimalik on mehaanilise ankurdamisega tagada betooni ja CFRP omavaheline püsivus ja jõudude ülekandumine.

### Paindekandevõime suurenemine CFRP ribade kasutamisel

SikaCarboDur tootesarja näitel on loodud tabel 7.1, kus lahtrites olevad numbrid tähistavad ristlõike paindekandevõime kasvu olenevalt kasutatava polümeerriba tüübist ja arvust. S-seeria polümeeride elastsusmoodul on 165GPa ja M-seeria omadel 205GPa. Tala seina alumisele pinnale saab paigaldada kõrvuti kuni 2 tugevdusriba ja kuigi CFRP maksimaalne kihtide arv ulatub kuni 10-ni, siis tabelisse on kantud paindekandevõime muutused 3 kihi paigalduse olukorras (kuni 6 riba kokku).

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

Tabel 7.1 CFRP poolt lisandub kandevõime kNm

| CFRP tugevdusribad | Lisanduv paindekandevõime sõltuvalt CFRP ribade arvust, kNm |         |         |         |         |         | Ava  |
|--------------------|-------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|------|
|                    | 1kiht_1                                                     | 1kiht_2 | 2kiht_1 | 2kiht_2 | 3kiht_1 | 3kiht_2 |      |
| SikaCarboDur S512  | 39                                                          | 84      | 128     | 172     | 216     | 260     | 7,5  |
| SikaCarboDur S613  | 53                                                          | 111     | 168     | 225     | 282     | 339     |      |
| SikaCarboDur S614  | 57                                                          | 119     | 181     | 243     | 304     | 365     |      |
| SikaCarboDur S626  | 110                                                         | 225     | 339     | 453     | 564     | 676     |      |
| SikaCarboDur S914  | 88                                                          | -       | 181     | -       | 273     | -       |      |
| SikaCarboDur M614  | 72                                                          | 149     | 226     | 302     | 378     | 454     |      |
| SikaCarboDur M914  | 111                                                         | -       | 226     | -       | 340     | -       |      |
| SikaCarboDur M1214 | 149                                                         | -       | 302     | -       | 454     | -       | 10   |
| SikaCarboDur S512  | 42                                                          | 93      | 144     | 194     | 244     | 295     |      |
| SikaCarboDur S613  | 57                                                          | 124     | 189     | 255     | 320     | 385     |      |
| SikaCarboDur S614  | 62                                                          | 134     | 204     | 275     | 345     | 415     |      |
| SikaCarboDur S626  | 124                                                         | 255     | 385     | 516     | 642     | 766     |      |
| SikaCarboDur S914  | 98                                                          | -       | 204     | -       | 310     | -       |      |
| SikaCarboDur M614  | 80                                                          | 168     | 256     | 343     | 430     | 516     |      |
| SikaCarboDur M914  | 124                                                         | -       | 256     | -       | 387     | -       |      |
| SikaCarboDur M1214 | 168                                                         | -       | 343     | -       | 517     | -       | 12,5 |
| SikaCarboDur S512  | 44                                                          | 98      | 152     | 206     | 260     | 313     |      |
| SikaCarboDur S613  | 61                                                          | 131     | 200     | 270     | 340     | 409     |      |
| SikaCarboDur S614  | 66                                                          | 142     | 214     | 292     | 366     | 441     |      |
| SikaCarboDur S626  | 131                                                         | 271     | 409     | 546     | 678     | 808     |      |
| SikaCarboDur S914  | 104                                                         | -       | 217     | -       | 329     | -       |      |
| SikaCarboDur M614  | 84                                                          | 178     | 271     | 364     | 456     | 548     |      |
| SikaCarboDur M914  | 131                                                         | -       | 271     | -       | 410     | -       | 15   |
| SikaCarboDur M1214 | 178                                                         | -       | 364     | -       | 548     | -       |      |
| SikaCarboDur S512  | 55                                                          | 119     | 182     | 246     | 309     | 371     |      |
| SikaCarboDur S613  | 74                                                          | 157     | 239     | 321     | 403     | 484     |      |
| SikaCarboDur S614  | 80                                                          | 169     | 258     | 347     | 430     | 520     |      |
| SikaCarboDur S626  | 157                                                         | 322     | 483     | 639     | 751     | 786     |      |
| SikaCarboDur S914  | 125                                                         | -       | 258     | -       | 390     | -       | 15   |
| SikaCarboDur M614  | 213                                                         | 431     | 641     | 761     | 804     | 839     |      |

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

|                    |     |     |     |     |     |     |    |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| SikaCarboDur M914  | 157 | -   | 323 | -   | 485 | -   | 20 |
| SikaCarboDur M1214 | 213 | -   | 431 | -   | 641 | -   |    |
| SikaCarboDur S512  | 70  | 149 | 227 | 303 | 377 | 448 |    |
| SikaCarboDur S613  | 94  | 196 | 295 | 392 | 482 | 568 |    |
| SikaCarboDur S614  | 102 | 211 | 318 | 420 | 515 | 587 |    |
| SikaCarboDur S626  | 196 | 392 | 568 | 637 | 692 | 737 |    |
| SikaCarboDur S914  | 157 | -   | 318 | -   | 469 | -   |    |
| SikaCarboDur M614  | 128 | 264 | 393 | 513 | 595 | 638 |    |
| SikaCarboDur M914  | 196 | -   | 393 | -   | 570 | -   |    |
| SikaCarboDur M1214 | 264 | -   | 513 | -   | 638 | -   |    |

\*tähistuse mõistmine: 2kiht\_1 tähendab teises kihis 1 riba

2kiht\_2 tähendab teises kihis 2 riba kõrvuti.

#### Tugevdamine terasplaadiga

Konstruksiooni elementide tugevdamine võetakse kasutusel kandepiirseisundi lähedasel koormamisel ja seega määratakse tugevdusplaatide vajadus plastse arvutusskeemi kohaselt. Elementidel, mille kandevõime puudulikkus tuleneb armeeringu vähesusest, ent betoonpinna kvaliteet on säilinud, soovitatakse tugevdada välispidise armeeringu ehk terasplaatidega (võivad olla ka nurkprofiilid).

Terasplaadi ja tugevdatava elemendi paremaks koostööks on parem kasutada madalama voolupiiriga teraslehti (S235, S275, S355), mis võimaldab ühtlasemat pingeaotust ja deformatsioone.

Sarnaselt CFRP tugevdamisele on ka terasplaatide puhul äärmiselt oluline tagada nõuetekohane ühendus terasplaadi ja betoonpinna vahel. Kinnitusel vaadeldakse kahte olukorda:

- Terasplaadi kinnitamine eksoksiidliimiga
- Terasplaadi kinnitamine kinnituspoltidega ja epoksiidliimiga

Kui ühendus on tagatud ainult epoksiidliimi abil, siis on soovitatav piirduda 5 mm paksuse ja 200 mm laiuse terasplaadi kasutamisega. Ühtlasi peab liimikiht jääma vahemikku 1 – 3 mm, tagamaks maksimaalne ühenduse tugevus.

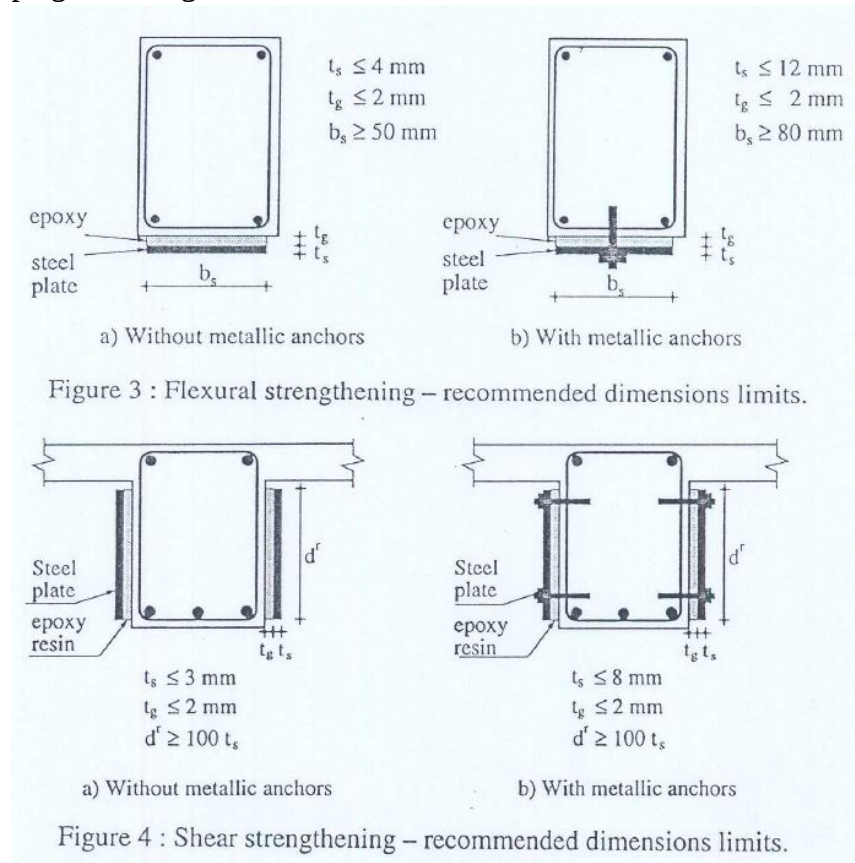
#### Paigaldus

Teraslehtede paigalduse ajal ei tohi sillal asetseda liikluskoormust - sellega välditakse kinnituskvaliteedi hälbeid ja tagatakse plaadi töötamine liikluskoormuse tõmbepingetele.

Betooni pind tuleb eelnevalt ettevalmistada: karestada, ühtlustada, augud täita, puhastada. Teraslehed on transpordi ajal kuni paigaldamiseni kaitsekilega kaetud, mis eemaldatakse vahetult paigaldamise eel. Epoksiidliimi injekteerimist ei ole soovitatav teostada temperatuuril alla 10°C.

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

Joonis 7.12 Raudbetoontala painde – ja põikjõukandevõime suurendamine terasplaadi paigaldamisega



Tugevdusplaatide paigalduse etapid:

- Peale pinna ettevalmistust kinnitatakse plaadid kinnituspoldide abil.
- Plaadi ääred ja poldipea ümbrus suletakse epoksiidimördiga – tekib suletud ruum betooni ja plaadi vahel.
- Epoksiidliimi injekteeeritakse betooni ja plaadi vahele kasutades väikeseavalisi torusid.
- Torud suletakse, võimaldades sellega epoksiidliimi tahkumisel tekitada lisa rõhku, mis aitab liimil täita väiksemaid pragusid ja õõnsusi.

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

## 8. KOKKUVÕTE

Sildade olem Eesti teedel on koostatud Teeregistri ja BMS andmebaasi põhjal. Kuigi alates 2013. aastast BMS andmebaas ametlikult kasutusel ei ole, siis tegemist on endiselt ainsa sildade seisukorda ja visuaalset ülevaadet (fotojäädvustused) pakkuva andmesüsteemiga. Antud töö mahtu arvestades ei oleks olnud mõeldav ligikaudu 950 silla tüübi, avaehituse materjali, avade pikkuse, silla laiuse jne. üle mõõtmine ja kontroll, mistõttu uurimistöös leitud laiendusvajadusega sildade nimekirja adekvaatsus sõltub suuresti Teeregistri ja BMS andmebaasi täpsusest. Käsitletud 947-st sillast sobisid meie kriteeriumitega – silla tüübiks monteeritavatest raudbetoonist lihttala sild – 435 silda. Laiendust vajavast 144-st sillast 60 vastasid tüüpkataloogi nr. 56 ja nr. 56 lisa kriteeriumitele. Tugevdamise vajadusega sildade all on välja toodud *Puidutranspordi makromajandusliku uuringu* käigus tuvastatud projekteerimisaegset kandevõimet mitte omavad sillad – 41 kokku, millest 12 vastab tüüpkataloogi taladele.

Paindekandevõime määramisel annab 99% tala kandevõimest armatuurterase voolupiir, hulk ja paigutus ning tala ristlõike geomeetria. Betooni enda 50% survetugevuse kasv mõjutab üldist tala paindekandevõimet vaid 1% ulatuses.

Eurokoodeksi ja SNiP standardi paindekandevõime arvutusmeetodid põhinevad mõlemad tasakaalumomendi kaudu survetsooni betooni ja tõmbetsooni armatuuri balansseerimisel, mille tõttu arvutuslikud tulemused normaalarmeeritud ristlõike korral kattuvad. Ülearmeeritud ristlõik korral rakendavad standardid erinevaid lähenemisi ja tegureid, millega antud töös arvestama ei ole pidanud.

Metsaveokite koormusmudelite koormustele, nii 44 t, 50 t, 54 t ja 60 t täismassiga poolhaagis – ja haagisveokite puhul, on tüüpkataloogi nr. 56 ja nr. 56 lisa alusel projekteeritud sillad nii paindekandevõime kui ka põikjõukandevõime poolest vastupidavad. Sellisele tulemusele jõudmine annab kinnitust ka varasemate antud teema käsitlustes tehtud järeldustele, et projekteerimisaegset kandevõimet säilitanud sillad on võimelised kandma juba praegu lubatust raskemaid veokeid. Kahjuks ei ole Eesti sillavõrgu seisukord aastatel 1959 – 1970 ehitatud sildedel nõnda hea, et tüüpkataloogi taladele võiks omistada projektikohast kandevõimet ja seega tuleb iga silda eraldi käsitleda ja kandevõime määramisel uurida esinevaid kahjustusi ja nende mõjusid põhjalikumalt. Eraldi kontroll tuleb samuti teostada sillapõhiselt laienduse olukorras, kus äärmisel talal suureneb koormus 20...30% ja olenevalt laienduse määrast ei pruugi kandevõime olla tagatud.

Eurokoodeksi LM1 koormusmudeli ja 3600kN eriveoki rakendamisel ilmneb painde – ja põikjõukandevõime puudujäägid nii olemasoleva kui ka laiendatud ristlõike korral. Siinkohal tuleks mõelda millist liiklust sildadele üldse oodata on ja kas talade tugevdamine võimaldamaks tänapäevaseid projektkoormuseid vastu võtma on üldse mõistlik lähenemine.

Peamise tugevduse meetodina on antud töös käsitletud süsinikkiududega tugevdatud polümeerribade e. CFRP kasutamine tala alumisel pinnal, kus olenevalt tugevdusriba tüübist, geomeetriast ja elastsusmoodulist võib ühe tugevduse lisamisega tõsta paindekandevõimet 40 – 130 kNm võrra. Antud meetodi kasutamise plussiks on esteetilisus, paigalduse kiirus (ei nõua rohkelt kinnituspoltide paigaldamist) ja vastupidavus eksploatatsioonile. Miinuseks on epoksiidliimi ja betooni hea nakke saavutamine, mis on ka kandevõime tõusu eelduseks ja korrektne paigaldus kas tootja või edasimüüja poolt soovitatud spetsialistide poolt tõstab tööjõukulutusi märgatavalt.

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

Kasutatud kirjandus

1. Riiklik Teeregister,  
<https://teeregister.riik.ee/mnt/index/report.do>, 10. juuni 2016
2. Riikliku teeregistri asutamine ja registri pidamise põhimäärus,  
<https://www.riigiteataja.ee/akt/928515>, 10. juuni 2015
3. Bridge Management System – sildade haldussüsteem,  
<http://bms.teed.ee/index.php>, 10. juuni 2016
4. Maanteede projekteerimismid,  
<https://www.riigiteataja.ee/akt/1230/7201/4005/projekteerimismid2.pdf>, 10. juuni 2016
5. Puidutranspordi makromajanduslik uuring,  
[http://www.energiatalgud.ee/img\\_auth.php/b/b8/Puidutranspordi\\_makromajandusliku\\_uuringu\\_lopparuanne.pdf](http://www.energiatalgud.ee/img_auth.php/b/b8/Puidutranspordi_makromajandusliku_uuringu_lopparuanne.pdf), 10. juuni 2016
6. Valgur J. (2014) Raudbetoonkonstruktsioonid I loengukonspekt, Tartu:  
<http://www.valgur.ee/loengud/Rbt-I/RBT-Loeng01.pdf>, 12. juuni 2016
7. Riigimaanteede teehoiukava aastateks 2014-2020,  
[https://www.mkm.ee/sites/default/files/riigimaanteede\\_teehoiukava\\_aastateks\\_2014-2020\\_muutmine.pdf](https://www.mkm.ee/sites/default/files/riigimaanteede_teehoiukava_aastateks_2014-2020_muutmine.pdf), 10. juuni 2016
8. Maanteeameti peadirektori käskkirj nr 55. Riigimaanteedel asuvate sildade, viaduktide, truupide ja tunnelite projekteerimisnõuete täiendamine. Tallinn 2008  
[http://www.mnt.ee/public/projektidplaneeringud/kaskkirjad/Loplik\\_versioon\\_koik\\_koos/2008.02.29.\\_NR\\_55\\_Riigimaanteedel\\_asuvate\\_sildade\\_viaduktide\\_truupide\\_ja\\_tunnelite\\_projekteerimisnoute\\_taiendamine.pdf](http://www.mnt.ee/public/projektidplaneeringud/kaskkirjad/Loplik_versioon_koik_koos/2008.02.29._NR_55_Riigimaanteedel_asuvate_sildade_viaduktide_truupide_ja_tunnelite_projekteerimisnoute_taiendamine.pdf)
9. Eurokoodeks 1: Ehituskonstruktsioonide koormused. Osa 2: Sildade liikluskormused. EVS-EN 1991-2:2007+NA:2007
10. Типовые проекты сооружений на автомобильных дорогах. Выпуск 56
11. Типовые проекты сооружений на автомобильных дорогах. Выпуск 56 – дополнения
12. Laul H., Mägi H. (1970). Raudbetoonsildade projekteerimise meetodilised juhendid. Tallinn: Tallinna Polütehniline Instituut
13. Laul H., Aare J., Allikas L., Kulbach V., Raidna V. (1969) Ehituskonstruktsioonide projekteerimise alused, Tallinn: Tallinna Polütehniline Instituut
14. EVS-EN 1992-2-2:2005+NA:2008. Eurokoodeks 2: Betoonkonstruktsioonide projekteerimine. Osa 2: Betoonsillad. Arvutus- ja konstrueerimisreeglid.
15. EVS-EN 1992-1-1:2005+NA:2007. Eurokoodeks 2: Betoonkonstruktsioonide projekteerimine. Osa 1-1: Üldreeglid ja reeglid hoonetele.
16. Otsmaa V., Pello J. (2016) Raudbetoonkonstruktsioonide üldkursus I, Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool
17. Liigmann T. (2015) Eestis ehitatud nõukogudeaegsete raudbetoonaladest tüüpsildade laiendamise ja kandevõime analüüs. Tallinn

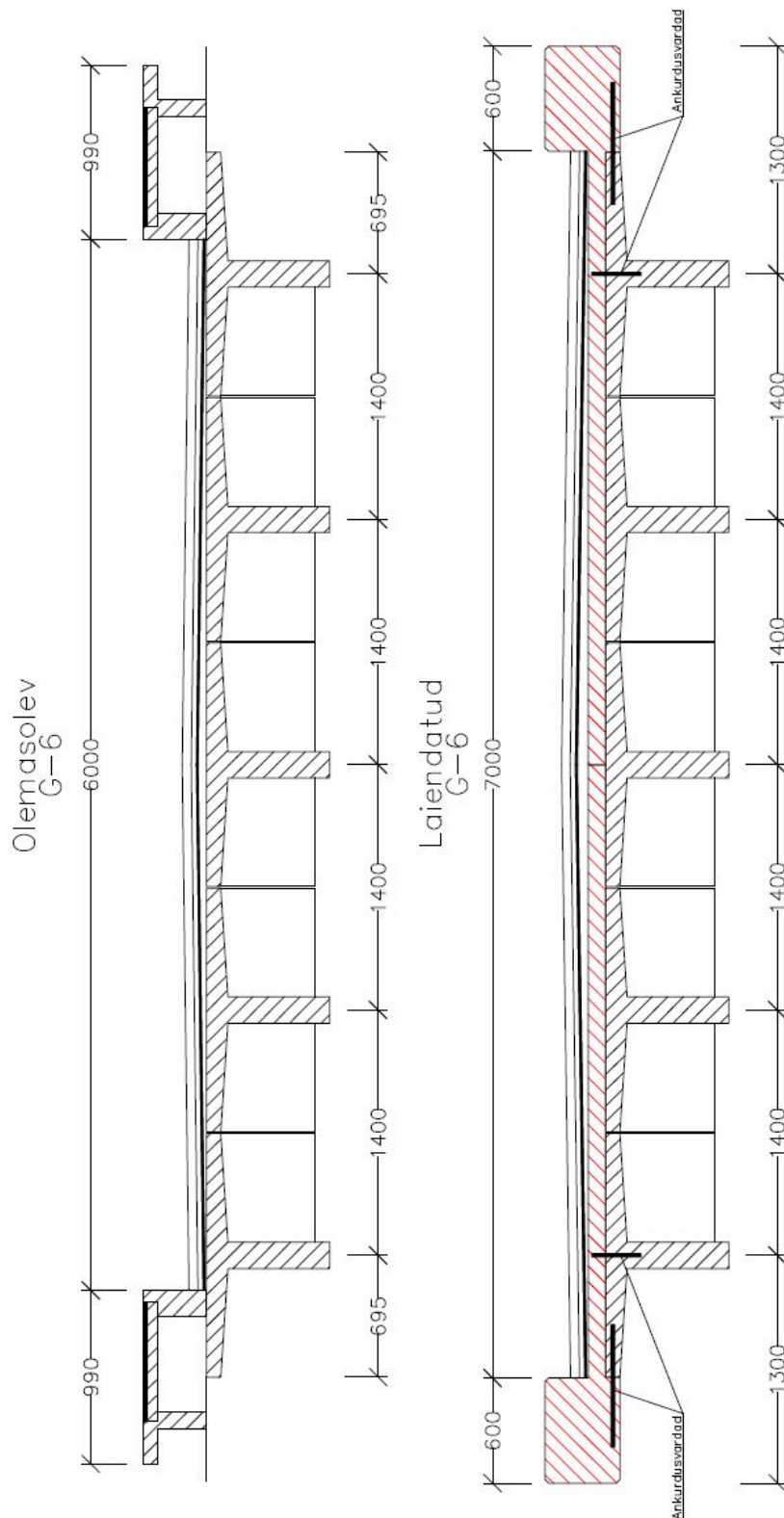
„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

18. „Regulations of weights, lengths and widths of commercial motor vehicles“. <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/sr/sr267.pdf>
19. „Comprehensive truck size and weight study“. [http://www.ops.fhwa.dot.gov/freight/sw/map21tswstudy/technical\\_rpts/vol1technicalsummary.pdf](http://www.ops.fhwa.dot.gov/freight/sw/map21tswstudy/technical_rpts/vol1technicalsummary.pdf)
20. „Effects of adapting the rules on weights and dimensions of heavy commercial vehicles with Directive 96/53/EC“. [http://ec.europa.eu/transport/themes/strategies/studies/doc/2009\\_01\\_weights\\_and\\_dimensions\\_vehicles.pdf](http://ec.europa.eu/transport/themes/strategies/studies/doc/2009_01_weights_and_dimensions_vehicles.pdf)
21. „Mootorsõidukile ja selle haagise tehnoeisundile ja varustusele esitatavad nõuded“. <https://www.riigiteataja.ee/akt/13117818>
22. Ramboll Eesti AS (2011) „Riigimaanteede ja sildade tugevdamise maksumuse hindamine tulenevalt 52 t veoste aastaringse liikumise võimalusest“.
23. Pierre Fline (2011) „Preliminary design and multi-criteria analysis of solutions for widening an existing concrete bridge“. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:441438/FULLTEXT01.pdf>
24. Строительные нормы и правила. Мосты и трубы. СНиП 2.05.03-84
25. Технические условия проектирования железнодорожных автодорожных и городских мостов и труб. СН 200-62

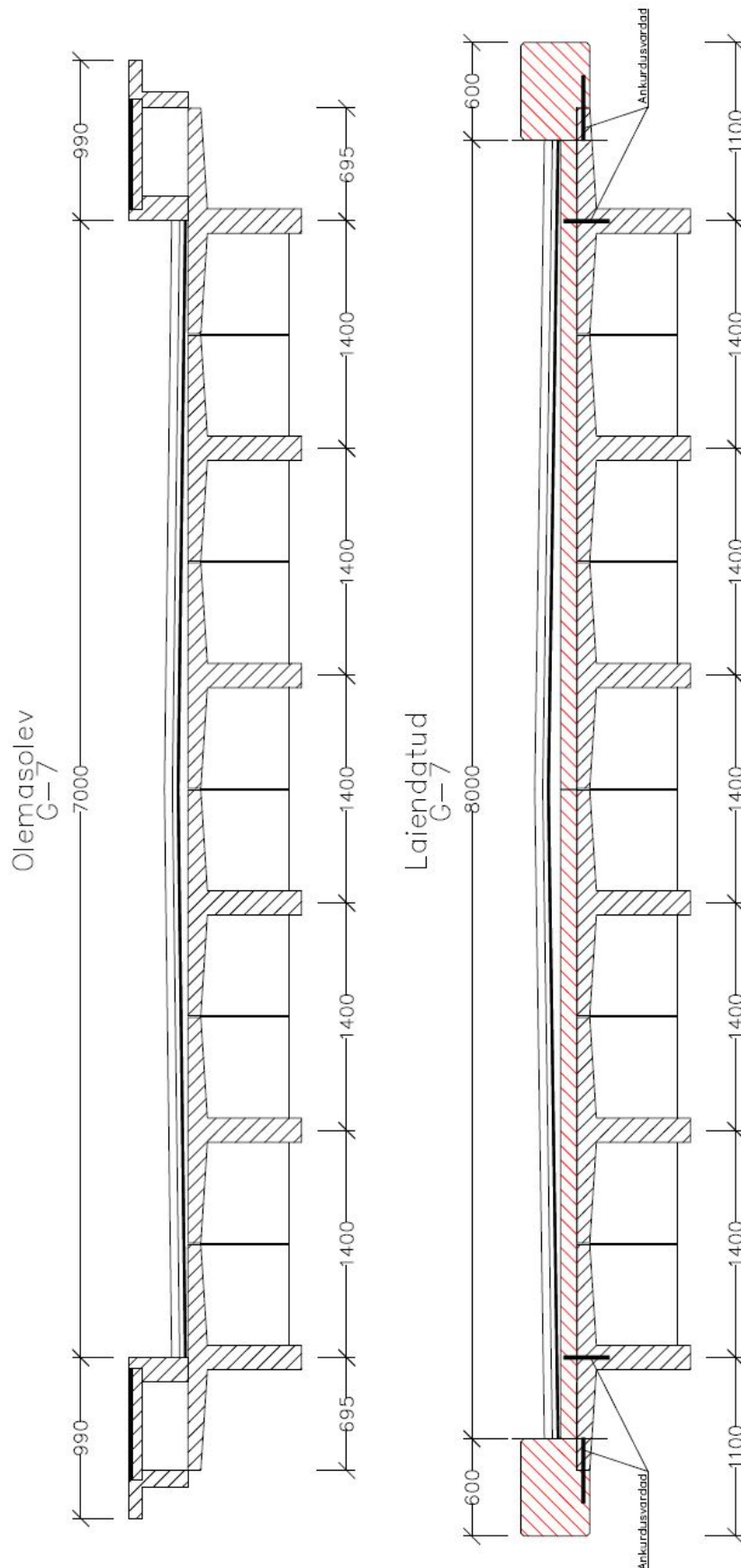
„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

LISA 1: TÜÜPKATALOOGI LIHTTALA SILDADE RISTLÕIKED

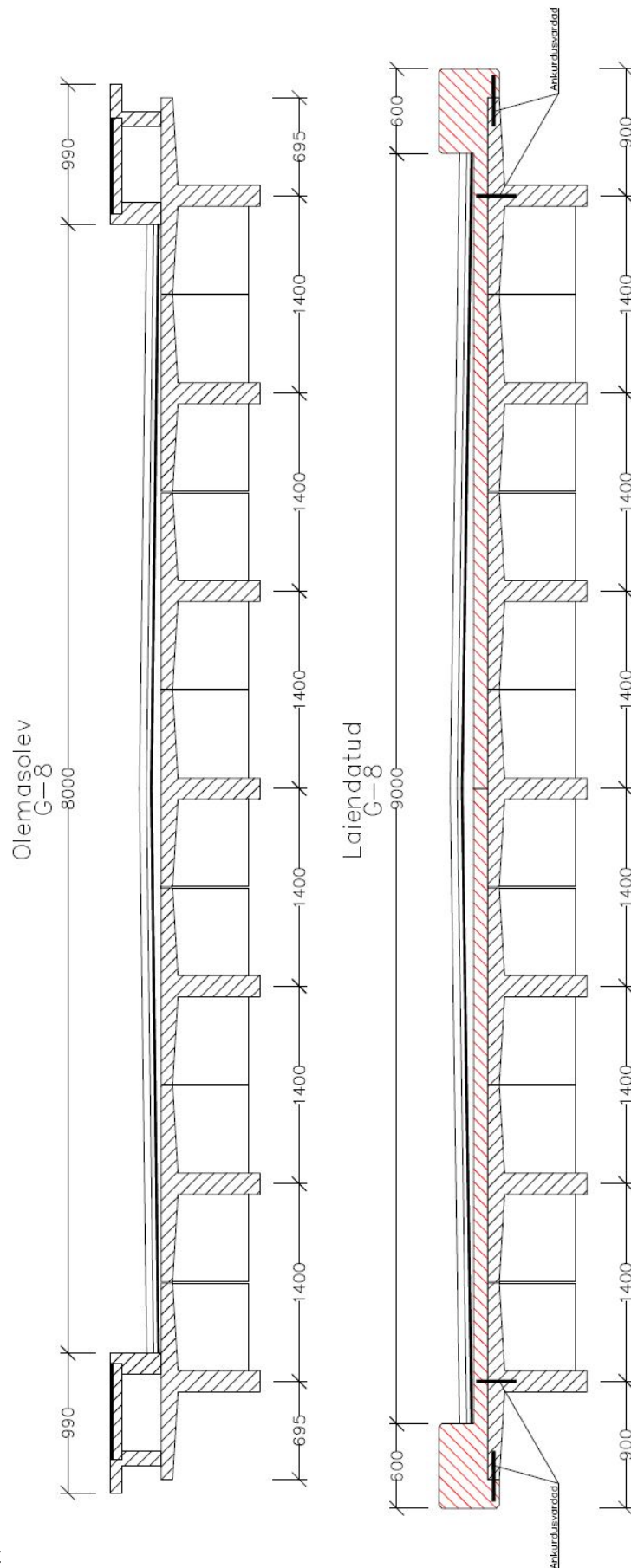
Tüüpkataloogi nr. 56 taladest ehitatud sildade ristlõiked



„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

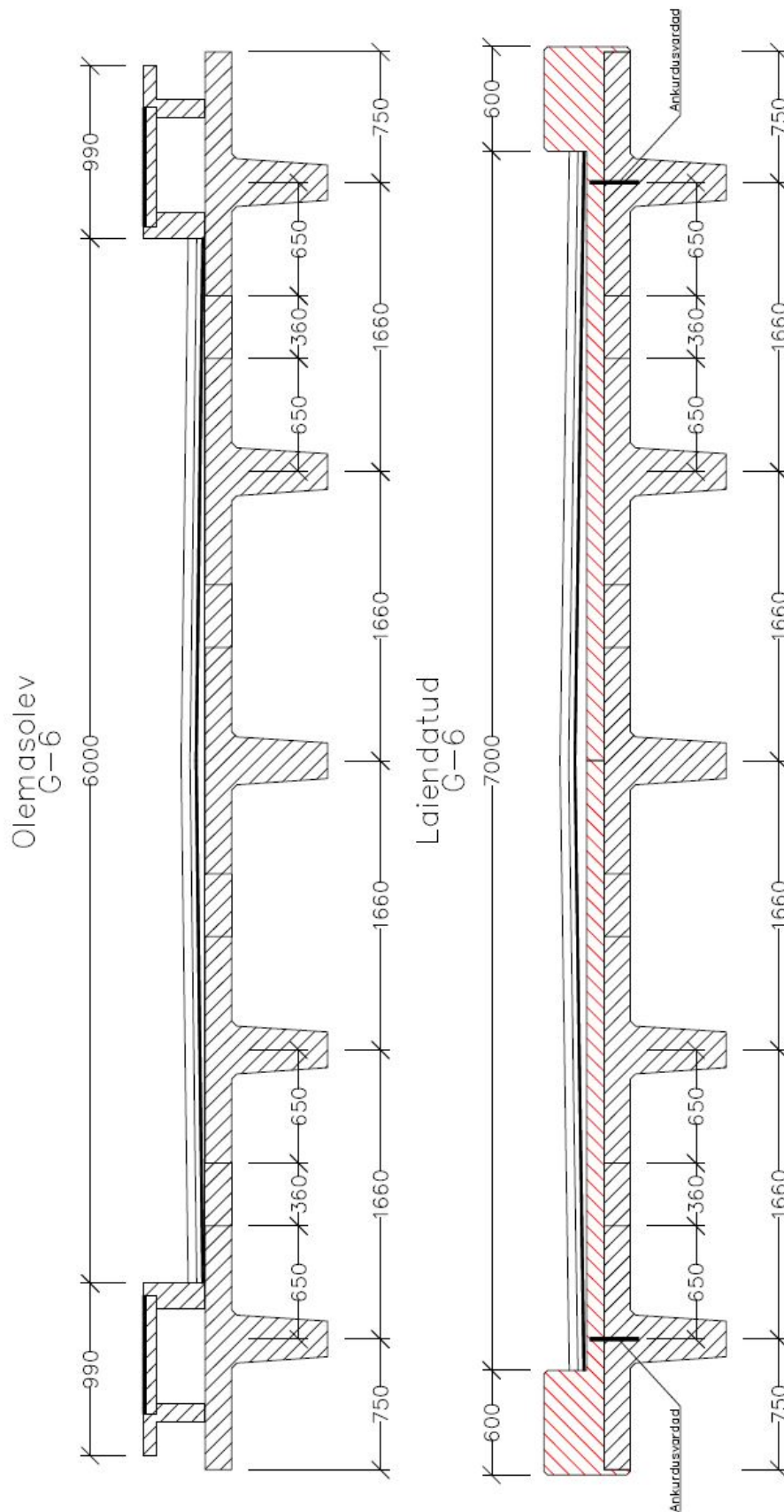


„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

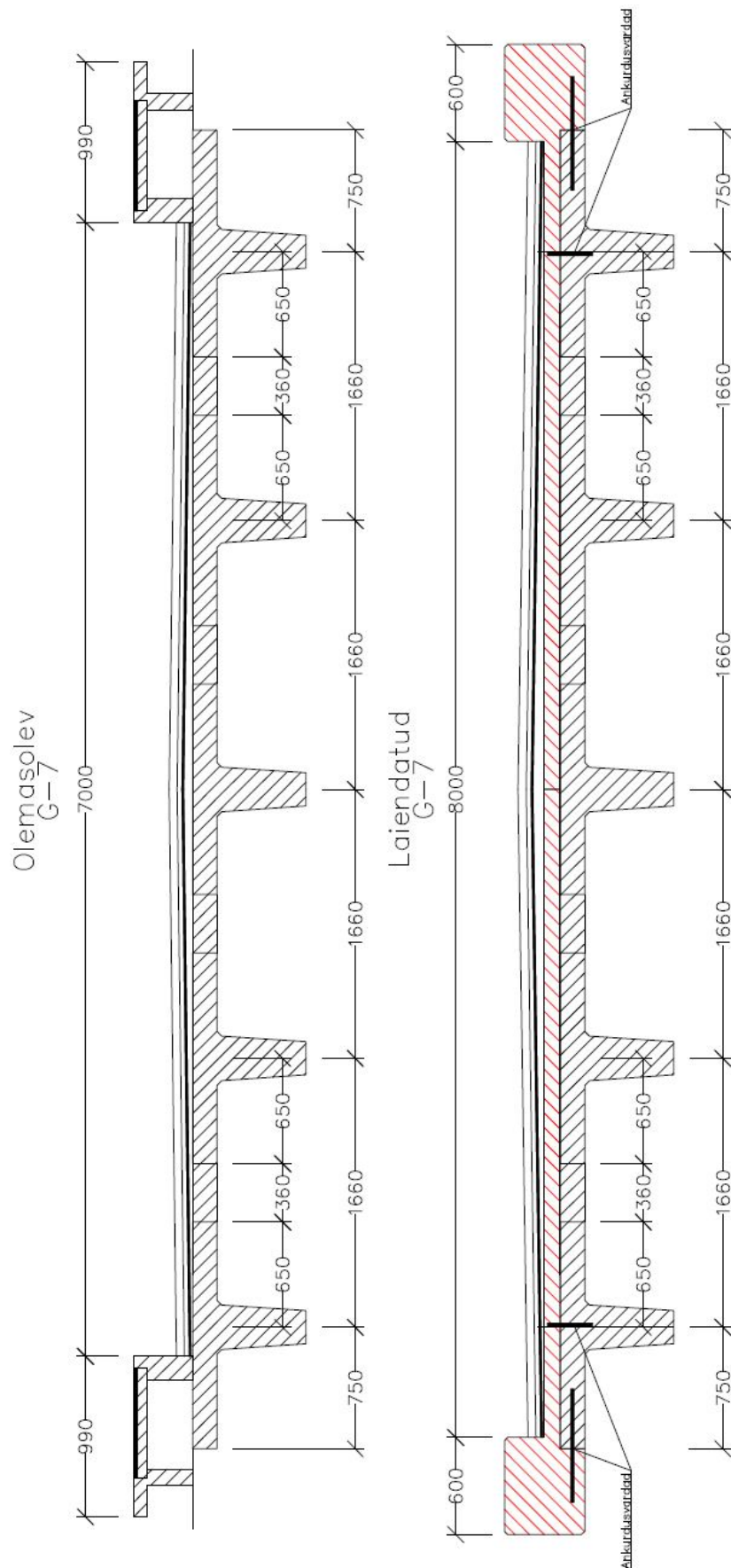


„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

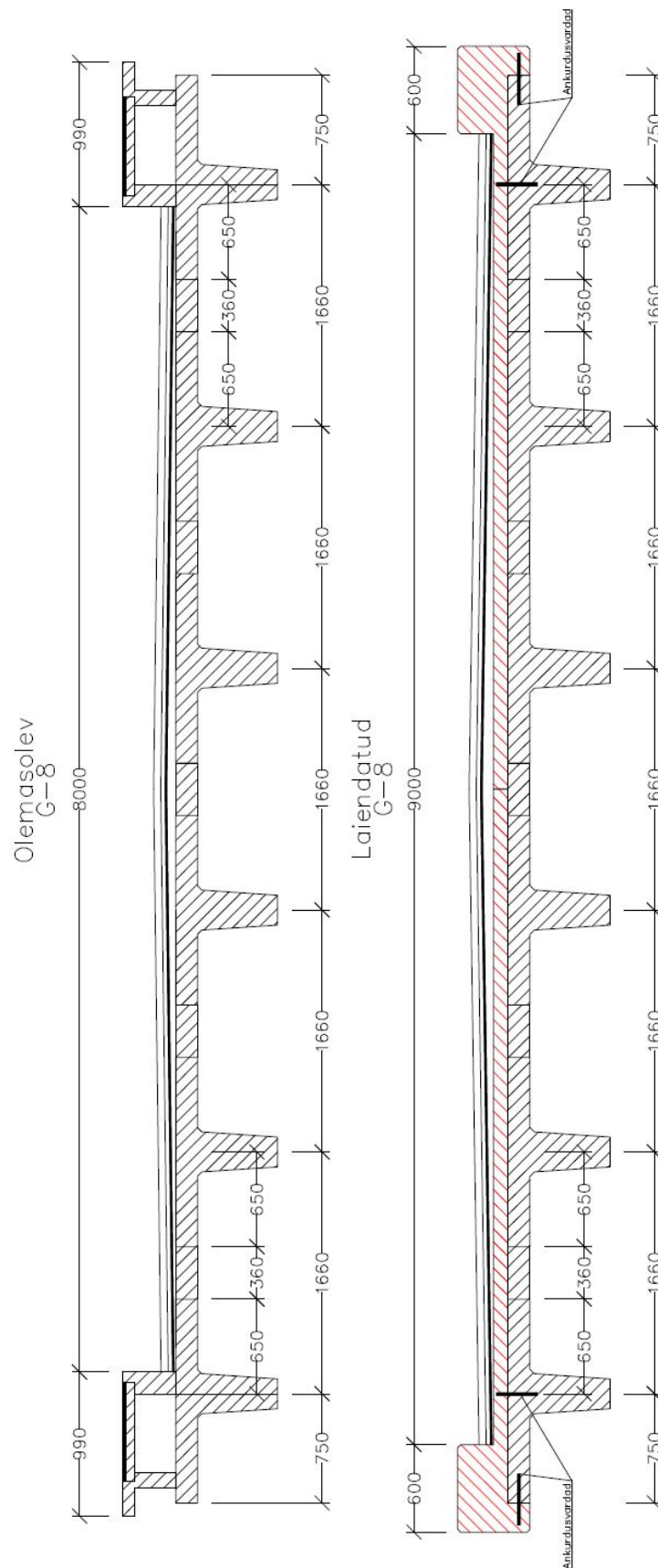
Tüüpkataloogi nr. 56 Lisa taladest ehitatud sildade ristlõiked



„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“



„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“



„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

## LISA 2: EUROKOODEKSI JA RASKEVEOKITE KOORMUSMUDELITE PAINDEMOMENTIDE VÕRDLUS TÜÜPKATALOOGI TALADE PAINDEKANDEVÕIMEGA.

Koormusmodel N-13 NG-60

| Erinevate arvutusmodelite tulemuste võrdlus. Arvutuslik paindemoment talas kNm |                                   |                       |      |          |      |                      |      |          |      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|------|----------|------|----------------------|------|----------|------|-----|
|                                                                                | Koormusmodel                      | Vanema tüübi 5 talaga |      |          |      | Uuema tüübi 5 talaga |      |          |      | Ava |
|                                                                                |                                   | G-6                   |      | Laiendus |      | G-7                  |      | Laiendus |      |     |
| EVS-EN 1991-2:2007                                                             | LM1, $\alpha_q=\alpha_Q=1$        | 802                   | -49% | 915      | -55% | 1127                 | -43% | 1008     | -36% | 7,5 |
|                                                                                | LM1, $\alpha_q=1, \alpha_Q=0,8$   | 687                   | -40% | 800      | -49% | 994                  | -35% | 884      | -27% |     |
|                                                                                | LM1, $\alpha_q=0,8, \alpha_Q=0,8$ | 662                   | -38% | 773      | -47% | 970                  | -33% | 856      | -24% |     |
|                                                                                | LM3, 3600/240                     | 646                   | -37% | 755      | -46% | 825                  | -21% | 784      | -17% |     |
|                                                                                | LM3, 3600/200                     | 742                   | -45% | 834      | -51% | 933                  | -31% | 898      | -28% |     |
| Metsaveokid                                                                    | 44 t, 16,5 m, 2+3                 | 333                   | 23%  | 411      | 0%   | 403                  | 61%  | 467      | 39%  |     |
|                                                                                | 50 t; 16,5 m; 3+3                 | 333                   | 23%  | 411      | 0%   | 403                  | 61%  | 467      | 39%  |     |
|                                                                                | 54 t; 18,75 m; 3+3                | 289                   | 42%  | 362      | 13%  | 362                  | 79%  | 421      | 54%  |     |
|                                                                                | 60 t; 18,75 m; 3+4                | 329                   | 24%  | 406      | 1%   | 399                  | 62%  | 463      | 40%  |     |
|                                                                                | 60 t; 18,75 m; 4+3                | 331                   | 24%  | 408      | 1%   | 400                  | 62%  | 464      | 40%  |     |

| Erinevate arvutusmodelite tulemuste võrdlus. Arvutuslik paindemoment talas kNm |                                   |                       |      |          |      |                      |      |          |      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|------|----------|------|----------------------|------|----------|------|-----|
|                                                                                | Koormusmodel                      | Vanema tüübi 5 talaga |      |          |      | Uuema tüübi 5 talaga |      |          |      | Ava |
|                                                                                |                                   | G-6                   |      | Laiendus |      | G-7                  |      | Laiendus |      |     |
| EVS-EN 1991-2:2007                                                             | LM1, $\alpha_q=\alpha_Q=1$        | 1186                  | -46% | 1348     | -52% | 1588                 | -35% | 1560     | -34% | 10  |
|                                                                                | LM1, $\alpha_q=1, \alpha_Q=0,8$   | 1031                  | -38% | 1197     | -46% | 1418                 | -27% | 1388     | -26% |     |
|                                                                                | LM1, $\alpha_q=0,8, \alpha_Q=0,8$ | 989                   | -35% | 1156     | -44% | 1376                 | -25% | 1340     | -23% |     |
|                                                                                | LM3, 3600/240                     | 1110                  | -42% | 1293     | -50% | 1387                 | -26% | 1400     | -26% |     |
|                                                                                | LM3, 3600/200                     | 1240                  | -48% | 1384     | -53% | 1395                 | -26% | 1562     | -34% |     |
| Metsaveokid                                                                    | 44 t, 16,5 m, 2+3                 | 498                   | 29%  | 636      | 1%   | 622                  | 66%  | 727      | 42%  |     |
|                                                                                | 50 t; 16,5 m; 3+3                 | 498                   | 29%  | 636      | 1%   | 622                  | 66%  | 727      | 42%  |     |
|                                                                                | 54 t; 18,75 m; 3+3                | 478                   | 35%  | 614      | 5%   | 603                  | 71%  | 700      | 47%  |     |
|                                                                                | 60 t; 18,75 m; 3+4                | 525                   | 23%  | 666      | -3%  | 652                  | 58%  | 757      | 36%  |     |
|                                                                                | 60 t; 18,75 m; 4+3                | 506                   | 27%  | 645      | 0%   | 622                  | 66%  | 730      | 41%  |     |

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

| Erinevate arvutusmodelite tulemuste võrdlus. Arvutuslik paindemoment talas kNm |                                   |                       |      |          |      |                      |      |          |      |      |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|------|----------|------|----------------------|------|----------|------|------|
|                                                                                | Koormusmodel                      | Vanema tüübi 5 talaga |      |          |      | Uuema tüübi 5 talaga |      |          |      | Ava  |
|                                                                                |                                   | G-6                   |      | Laiendus |      | G-7                  |      | Laiendus |      |      |
| EVS-EN 1991-2:2007                                                             | LM1, $\alpha_q=\alpha_Q=1$        | 1698                  | -52% | 1866     | -57% | 2188                 | -37% | 2174     | -37% | 12,5 |
|                                                                                | LM1, $\alpha_q=1, \alpha_Q=0,8$   | 1489                  | -46% | 1679     | -52% | 1966                 | -30% | 1958     | -30% |      |
|                                                                                | LM1, $\alpha_q=0,8, \alpha_Q=0,8$ | 1423                  | -43% | 1616     | -50% | 1904                 | -28% | 1883     | -27% |      |
|                                                                                | LM3, 3600/240                     | 1788                  | -55% | 2078     | -61% | 2140                 | -36% | 2208     | -38% |      |
|                                                                                | LM3, 3600/200                     | 1952                  | -59% | 2163     | -63% | 2226                 | -38% | 2420     | -43% |      |
| Metsaveokid                                                                    | 44 t, 16,5 m, 2+3                 | 699                   | 16%  | 907      | -11% | 892                  | 54%  | 1044     | 32%  |      |
|                                                                                | 50 t; 16,5 m; 3+3                 | 702                   | 15%  | 910      | -11% | 896                  | 54%  | 1045     | 32%  |      |
|                                                                                | 54 t; 18,75 m; 3+3                | 684                   | 18%  | 891      | -9%  | 874                  | 57%  | 1023     | 35%  |      |
|                                                                                | 60 t; 18,75 m; 3+4                | 761                   | 6%   | 976      | -17% | 945                  | 46%  | 1104     | 25%  |      |
|                                                                                | 60 t; 18,75 m; 4+3                | 744                   | 9%   | 956      | -15% | 924                  | 49%  | 1090     | 26%  |      |

| Erinevate arvutusmodelite tulemuste võrdlus. Arvutuslik paindemoment talas kNm |                                   |                       |      |          |      |                      |      |          |      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|------|----------|------|----------------------|------|----------|------|-----|
|                                                                                | Koormusmodel                      | Vanema tüübi 5 talaga |      |          |      | Uuema tüübi 5 talaga |      |          |      | Ava |
|                                                                                |                                   | G-6                   |      | Laiendus |      | G-7                  |      | Laiendus |      |     |
| EVS-EN 1991-2:2007                                                             | LM1, $\alpha_q=\alpha_Q=1$        | 2190                  | -46% | 2598     | -55% | 2662                 | -28% | 3000     | -36% | 15  |
|                                                                                | LM1, $\alpha_q=1, \alpha_Q=0,8$   | 1941                  | -39% | 2350     | -50% | 2419                 | -21% | 2716     | -30% |     |
|                                                                                | LM1, $\alpha_q=0,8, \alpha_Q=0,8$ | 1851                  | -36% | 2258     | -48% | 2335                 | -18% | 2608     | -27% |     |
|                                                                                | LM3, 3600/240                     | 2546                  | -54% | 2951     | -60% | 3016                 | -37% | 3221     | -41% |     |
|                                                                                | LM3, 3600/200                     | 2760                  | -57% | 3036     | -61% | 3089                 | -38% | 3495     | -45% |     |
| Metsaveokid                                                                    | 44 t, 16,5 m, 2+3                 | 984                   | 20%  | 1287     | -8%  | 1235                 | 54%  | 1489     | 28%  |     |
|                                                                                | 50 t; 16,5 m; 3+3                 | 994                   | 19%  | 1298     | -9%  | 1257                 | 52%  | 1510     | 26%  |     |
|                                                                                | 54 t; 18,75 m; 3+3                | 952                   | 24%  | 1252     | -6%  | 1204                 | 58%  | 1454     | 31%  |     |
|                                                                                | 60 t; 18,75 m; 3+4                | 1088                  | 8%   | 1402     | -16% | 1344                 | 42%  | 1606     | 19%  |     |
|                                                                                | 60 t; 18,75 m; 4+3                | 1046                  | 13%  | 1356     | -13% | 1305                 | 46%  | 1556     | 23%  |     |

| Erinevate arvutusmodelite tulemuste võrdlus. Arvutuslik paindemoment talas kNm |                                   |                       |      |          |      |                      |   |          |   |     |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|------|----------|------|----------------------|---|----------|---|-----|
|                                                                                | Koormusmodel                      | Vanema tüübi 5 talaga |      |          |      | Uuema tüübi 5 talaga |   |          |   | Ava |
|                                                                                |                                   | G-6                   |      | Laiendus |      | G-7                  |   | Laiendus |   |     |
| EVS-EN 1991-2:2007                                                             | LM1, $\alpha_q=\alpha_Q=1$        | 3392                  | -43% | 4140     | -53% | -                    | - | -        | - | 20  |
|                                                                                | LM1, $\alpha_q=1, \alpha_Q=0,8$   | 3061                  | -37% | 3800     | -49% | -                    | - | -        | - |     |
|                                                                                | LM1, $\alpha_q=0,8, \alpha_Q=0,8$ | 2897                  | -33% | 3636     | -47% | -                    | - | -        | - |     |
|                                                                                | LM3, 3600/240                     | 4579                  | -58% | 5295     | -63% | -                    | - | -        | - |     |
|                                                                                | LM3, 3600/200                     | 4942                  | -61% | 5405     | -64% | -                    | - | -        | - |     |
| Metsaveokid                                                                    | 44 t, 16,5 m, 2+3                 | 1690                  | 15%  | 2236     | -13% | -                    | - | -        | - |     |
|                                                                                | 50 t; 16,5 m; 3+3                 | 1770                  | 10%  | 2323     | -16% | -                    | - | -        | - |     |
|                                                                                | 54 t; 18,75 m; 3+3                | 1702                  | 14%  | 2249     | -14% | -                    | - | -        | - |     |
|                                                                                | 60 t; 18,75 m; 3+4                | 1862                  | 4%   | 2424     | -20% | -                    | - | -        | - |     |
|                                                                                | 60 t; 18,75 m; 4+3                | 1874                  | 4%   | 2438     | -20% | -                    | - | -        | - |     |

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

*Koormusmodel N-18 NK-80*

| Erinevate arvutusmodelite tulemuste võrdlus. Arvutuslik paindemoment talas kNm |                                   |                       |      |          |      |                      |      |          |      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|------|----------|------|----------------------|------|----------|------|-----|
|                                                                                | Koormusmodel                      | Vanema tüübi 5 talaga |      |          |      | Uuema tüübi 5 talaga |      |          |      | Ava |
|                                                                                |                                   | G-6                   |      | Laiendus |      | G-7                  |      | Laiendus |      |     |
| EVS-EN 1991-2:2007                                                             | LM1, $\alpha_q=\alpha_Q=1$        | 802                   | -43% | 915      | -50% | 1127                 | -32% | 1008     | -24% | 7,5 |
|                                                                                | LM1, $\alpha_q=1, \alpha_Q=0,8$   | 687                   | -33% | 800      | -43% | 994                  | -22% | 884      | -13% |     |
|                                                                                | LM1, $\alpha_q=0,8, \alpha_Q=0,8$ | 662                   | -31% | 773      | -40% | 970                  | -21% | 856      | -10% |     |
|                                                                                | LM3, 3600/240                     | 646                   | -29% | 755      | -39% | 825                  | -7%  | 784      | -2%  |     |
|                                                                                | LM3, 3600/200                     | 742                   | -38% | 834      | -45% | 933                  | -17% | 898      | -14% |     |
| Metsaveokid                                                                    | 44 t, 16,5 m, 2+3                 | 333                   | 38%  | 411      | 12%  | 403                  | 91%  | 467      | 65%  |     |
|                                                                                | 50 t; 16,5 m; 3+3                 | 333                   | 38%  | 411      | 12%  | 403                  | 91%  | 467      | 65%  |     |
|                                                                                | 54 t; 18,75 m; 3+3                | 289                   | 59%  | 362      | 27%  | 362                  | 113% | 421      | 83%  |     |
|                                                                                | 60 t; 18,75 m; 3+4                | 329                   | 40%  | 406      | 13%  | 399                  | 93%  | 463      | 67%  |     |
|                                                                                | 60 t; 18,75 m; 4+3                | 331                   | 39%  | 408      | 13%  | 400                  | 93%  | 464      | 66%  |     |

| Erinevate arvutusmodelite tulemuste võrdlus. Arvutuslik paindemoment talas kNm |                                   |                       |      |          |      |                      |      |          |      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|------|----------|------|----------------------|------|----------|------|-----|
|                                                                                | Koormusmodel                      | Vanema tüübi 5 talaga |      |          |      | Uuema tüübi 5 talaga |      |          |      | Ava |
|                                                                                |                                   | G-6                   |      | Laiendus |      | G-7                  |      | Laiendus |      |     |
| EVS-EN 1991-2:2007                                                             | LM1, $\alpha_q=\alpha_Q=1$        | 1186                  | -36% | 1348     | -44% | 1588                 | -27% | 1560     | -25% | 10  |
|                                                                                | LM1, $\alpha_q=1, \alpha_Q=0,8$   | 1031                  | -27% | 1197     | -37% | 1418                 | -18% | 1388     | -16% |     |
|                                                                                | LM1, $\alpha_q=0,8, \alpha_Q=0,8$ | 989                   | -23% | 1156     | -35% | 1376                 | -15% | 1340     | -13% |     |
|                                                                                | LM3, 3600/240                     | 1110                  | -32% | 1293     | -41% | 1387                 | -16% | 1400     | -17% |     |
|                                                                                | LM3, 3600/200                     | 1240                  | -39% | 1384     | -45% | 1395                 | -16% | 1562     | -25% |     |
| Metsaveokid                                                                    | 44 t, 16,5 m, 2+3                 | 498                   | 52%  | 636      | 19%  | 622                  | 87%  | 727      | 60%  |     |
|                                                                                | 50 t; 16,5 m; 3+3                 | 498                   | 52%  | 636      | 19%  | 622                  | 87%  | 727      | 60%  |     |
|                                                                                | 54 t; 18,75 m; 3+3                | 478                   | 58%  | 614      | 23%  | 603                  | 93%  | 700      | 66%  |     |
|                                                                                | 60 t; 18,75 m; 3+4                | 525                   | 44%  | 666      | 14%  | 652                  | 79%  | 757      | 54%  |     |
|                                                                                | 60 t; 18,75 m; 4+3                | 506                   | 50%  | 645      | 17%  | 622                  | 87%  | 730      | 60%  |     |

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

| Erinevate arvutusmodelite tulemuste võrdlus. Arvutuslik paindemoment talas kNm |                                   |                       |      |          |      |                      |      |          |      |      |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|------|----------|------|----------------------|------|----------|------|------|
|                                                                                | Koormusmodel                      | Vanema tüübi 5 talaga |      |          |      | Uuema tüübi 5 talaga |      |          |      | Ava  |
|                                                                                |                                   | G-6                   |      | Laiendus |      | G-7                  |      | Laiendus |      |      |
| EVS-EN 1991-2:2007                                                             | LM1, $\alpha_q=\alpha_Q=1$        | 1698                  | -36% | 1866     | -42% | 2188                 | -17% | 2174     | -16% | 12,5 |
|                                                                                | LM1, $\alpha_q=1, \alpha_Q=0,8$   | 1489                  | -27% | 1679     | -35% | 1966                 | -8%  | 1958     | -7%  |      |
|                                                                                | LM1, $\alpha_q=0,8, \alpha_Q=0,8$ | 1423                  | -24% | 1616     | -33% | 1904                 | -5%  | 1883     | -4%  |      |
|                                                                                | LM3, 3600/240                     | 1788                  | -39% | 2078     | -48% | 2140                 | -15% | 2208     | -18% |      |
|                                                                                | LM3, 3600/200                     | 1952                  | -44% | 2163     | -50% | 2226                 | -18% | 2420     | -25% |      |
| Metsaveokid                                                                    | 44 t, 16,5 m, 2+3                 | 699                   | 55%  | 907      | 20%  | 892                  | 104% | 1044     | 74%  |      |
|                                                                                | 50 t; 16,5 m; 3+3                 | 702                   | 55%  | 910      | 19%  | 896                  | 103% | 1045     | 74%  |      |
|                                                                                | 54 t; 18,75 m; 3+3                | 684                   | 59%  | 891      | 22%  | 874                  | 108% | 1023     | 78%  |      |
|                                                                                | 60 t; 18,75 m; 3+4                | 761                   | 43%  | 976      | 11%  | 945                  | 92%  | 1104     | 65%  |      |
|                                                                                | 60 t; 18,75 m; 4+3                | 744                   | 46%  | 956      | 14%  | 924                  | 97%  | 1090     | 67%  |      |

| Erinevate arvutusmodelite tulemuste võrdlus. Arvutuslik paindemoment talas kNm |                                   |                       |      |          |      |                      |      |          |      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|------|----------|------|----------------------|------|----------|------|-----|
|                                                                                | Koormusmodel                      | Vanema tüübi 5 talaga |      |          |      | Uuema tüübi 5 talaga |      |          |      | Ava |
|                                                                                |                                   | G-6                   |      | Laiendus |      | G-7                  |      | Laiendus |      |     |
| EVS-EN 1991-2:2007                                                             | LM1, $\alpha_q=\alpha_Q=1$        | 2190                  | -37% | 2598     | -47% | 2662                 | -14% | 3000     | -24% | 15  |
|                                                                                | LM1, $\alpha_q=1, \alpha_Q=0,8$   | 1941                  | -29% | 2350     | -41% | 2419                 | -5%  | 2716     | -16% |     |
|                                                                                | LM1, $\alpha_q=0,8, \alpha_Q=0,8$ | 1851                  | -26% | 2258     | -39% | 2335                 | -2%  | 2608     | -12% |     |
|                                                                                | LM3, 3600/240                     | 2546                  | -46% | 2951     | -53% | 3016                 | -24% | 3221     | -29% |     |
|                                                                                | LM3, 3600/200                     | 2760                  | -50% | 3036     | -55% | 3089                 | -26% | 3495     | -34% |     |
| Metsaveokid                                                                    | 44 t, 16,5 m, 2+3                 | 984                   | 40%  | 1287     | 7%   | 1235                 | 86%  | 1489     | 54%  |     |
|                                                                                | 50 t; 16,5 m; 3+3                 | 994                   | 39%  | 1298     | 6%   | 1257                 | 83%  | 1510     | 52%  |     |
|                                                                                | 54 t; 18,75 m; 3+3                | 952                   | 45%  | 1252     | 10%  | 1204                 | 91%  | 1454     | 58%  |     |
|                                                                                | 60 t; 18,75 m; 3+4                | 1088                  | 27%  | 1402     | -2%  | 1344                 | 71%  | 1606     | 43%  |     |
|                                                                                | 60 t; 18,75 m; 4+3                | 1046                  | 32%  | 1356     | 2%   | 1305                 | 76%  | 1556     | 47%  |     |

| Erinevate arvutusmodelite tulemuste võrdlus. Arvutuslik paindemoment talas kNm |                                   |                       |      |          |      |                      |   |          |   |     |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|------|----------|------|----------------------|---|----------|---|-----|
|                                                                                | Koormusmodel                      | Vanema tüübi 5 talaga |      |          |      | Uuema tüübi 5 talaga |   |          |   | Ava |
|                                                                                |                                   | G-6                   |      | Laiendus |      | G-7                  |   | Laiendus |   |     |
| EVS-EN 1991-2:2007                                                             | LM1, $\alpha_q=\alpha_Q=1$        | 3392                  | -35% | 4140     | -47% | -                    | - | -        | - | 20  |
|                                                                                | LM1, $\alpha_q=1, \alpha_Q=0,8$   | 3061                  | -28% | 3800     | -42% | -                    | - | -        | - |     |
|                                                                                | LM1, $\alpha_q=0,8, \alpha_Q=0,8$ | 2897                  | -24% | 3636     | -40% | -                    | - | -        | - |     |
|                                                                                | LM3, 3600/240                     | 4579                  | -52% | 5295     | -59% | -                    | - | -        | - |     |
|                                                                                | LM3, 3600/200                     | 4942                  | -56% | 5405     | -59% | -                    | - | -        | - |     |
| Metsaveokid                                                                    | 44 t, 16,5 m, 2+3                 | 1690                  | 30%  | 2236     | -2%  | -                    | - | -        | - |     |
|                                                                                | 50 t; 16,5 m; 3+3                 | 1770                  | 24%  | 2323     | -5%  | -                    | - | -        | - |     |
|                                                                                | 54 t; 18,75 m; 3+3                | 1702                  | 29%  | 2249     | -2%  | -                    | - | -        | - |     |
|                                                                                | 60 t; 18,75 m; 3+4                | 1862                  | 18%  | 2424     | -9%  | -                    | - | -        | - |     |
|                                                                                | 60 t; 18.75 m; 4+3                | 1874                  | 17%  | 2438     | -10% | -                    | - | -        | - |     |

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

### LISA 3: EUROKOODEKSI JA RASKEVEOKITE KOORMUSMUDELITE PÕIKJÕUDUDE VÕRDLUS TÜÜPKATALOOGI TALADE PÕIKJÕUKANDEVÕIMEGA

Koormusmodel N-13 NG-60

| Erinevate arvutusmodelite tulemuste võrdlus. Arvutuslik põikjõud talas kN |                                   |                       |      |          |      |                      |      |          |      |     |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|------|----------|------|----------------------|------|----------|------|-----|
|                                                                           | Koormusmodel                      | Vanema tüübi 5 talaga |      |          |      | Uuema tüübi 5 talaga |      |          |      | Ava |
|                                                                           |                                   | G-6                   |      | Laiendus |      | G-7                  |      | Laiendus |      |     |
| EVS-EN 1991-2:2007                                                        | LM1, $\alpha_q=\alpha_Q=1$        | 390                   | 61%  | 560      | 12%  | 568                  | 18%  | 624      | 8%   | 7,5 |
|                                                                           | LM1, $\alpha_q=1, \alpha_Q=0,8$   | 354                   | 78%  | 484      | 30%  | 537                  | 25%  | 545      | 23%  |     |
|                                                                           | LM1, $\alpha_q=0,8, \alpha_Q=0,8$ | 347                   | 81%  | 467      | 35%  | 525                  | 28%  | 530      | 27%  |     |
|                                                                           | LM3, 3600/240                     | 280                   | 125% | 416      | 51%  | 372                  | 81%  | 440      | 53%  |     |
|                                                                           | LM3, 3600/200                     | 332                   | 89%  | 484      | 30%  | 428                  | 57%  | 520      | 29%  |     |
| Metsaveokid                                                               | 44 t, 16,5 m, 2+3                 | 170                   | 269% | 238      | 164% | 208                  | 223% | 302      | 123% |     |
|                                                                           | 50 t; 16,5 m; 3+3                 | 170                   | 269% | 238      | 164% | 208                  | 223% | 302      | 123% |     |
|                                                                           | 54 t; 18,75 m; 3+3                | 169                   | 272% | 237      | 166% | 195                  | 246% | 300      | 124% |     |
|                                                                           | 60 t; 18,75 m; 3+4                | 185                   | 240% | 255      | 146% | 223                  | 202% | 323      | 109% |     |
|                                                                           | 60 t; 18,75 m; 4+3                | 172                   | 266% | 240      | 162% | 210                  | 221% | 303      | 122% |     |

| Erinevate arvutusmodelite tulemuste võrdlus. Arvutuslik põikjõud talas kN |                                   |                       |      |          |      |                      |      |          |      |     |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|------|----------|------|----------------------|------|----------|------|-----|
|                                                                           | Koormusmodel                      | Vanema tüübi 5 talaga |      |          |      | Uuema tüübi 5 talaga |      |          |      | Ava |
|                                                                           |                                   | G-6                   |      | Laiendus |      | G-7                  |      | Laiendus |      |     |
| EVS-EN 1991-2:2007                                                        | LM1, $\alpha_q=\alpha_Q=1$        | 433                   | 55%  | 658      | 2%   | 625                  | 14%  | 712      | 0%   | 10  |
|                                                                           | LM1, $\alpha_q=1, \alpha_Q=0,8$   | 394                   | 70%  | 578      | 16%  | 554                  | 29%  | 631      | 13%  |     |
|                                                                           | LM1, $\alpha_q=0,8, \alpha_Q=0,8$ | 385                   | 74%  | 556      | 21%  | 538                  | 32%  | 507      | 40%  |     |
|                                                                           | LM3, 3600/240                     | 390                   | 72%  | 569      | 18%  | 500                  | 42%  | 596      | 19%  |     |
|                                                                           | LM3, 3600/200                     | 451                   | 49%  | 645      | 4%   | 580                  | 23%  | 702      | 1%   |     |
| Metsaveokid                                                               | 44 t, 16,5 m, 2+3                 | 208                   | 223% | 306      | 119% | 208                  | 242% | 302      | 136% |     |
|                                                                           | 50 t; 16,5 m; 3+3                 | 212                   | 216% | 310      | 116% | 208                  | 242% | 302      | 136% |     |
|                                                                           | 54 t; 18,75 m; 3+3                | 198                   | 238% | 295      | 127% | 195                  | 266% | 300      | 137% |     |
|                                                                           | 60 t; 18,75 m; 3+4                | 221                   | 203% | 321      | 109% | 223                  | 219% | 323      | 121% |     |
|                                                                           | 60 t; 18,75 m; 4+3                | 209                   | 221% | 307      | 118% | 210                  | 240% | 303      | 135% |     |

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

| Erinevate arvutusmodelite tulemuste võrdlus. Arvutuslik põikjõud talas kN |                                   |                       |      |          |      |                      |      |          |      |      |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|------|----------|------|----------------------|------|----------|------|------|
|                                                                           | Koormusmodel                      | Vanema tüübi 5 talaga |      |          |      | Uuema tüübi 5 talaga |      |          |      | Ava  |
|                                                                           |                                   | G-6                   |      | Laiendus |      | G-7                  |      | Laiendus |      |      |
| EVS-EN 1991-2:2007                                                        | LM1, $\alpha_q=\alpha_Q=1$        | 479                   | 14%  | 728      | -25% | 676                  | 41%  | 801      | 19%  | 12,5 |
|                                                                           | LM1, $\alpha_q=1, \alpha_Q=0,8$   | 432                   | 26%  | 646      | -16% | 604                  | 57%  | 718      | 32%  |      |
|                                                                           | LM1, $\alpha_q=0,8, \alpha_Q=0,8$ | 421                   | 29%  | 619      | -12% | 584                  | 63%  | 688      | 38%  |      |
|                                                                           | LM3, 3600/240                     | 515                   | 6%   | 742      | -27% | 630                  | 51%  | 777      | 22%  |      |
|                                                                           | LM3, 3600/200                     | 593                   | -8%  | 830      | -34% | 720                  | 32%  | 924      | 3%   |      |
| Metsaveokid                                                               | 44 t, 16,5 m, 2+3                 | 244                   | 123% | 360      | 51%  | 300                  | 217% | 449      | 112% |      |
|                                                                           | 50 t; 16,5 m; 3+3                 | 255                   | 113% | 372      | 46%  | 308                  | 209% | 462      | 106% |      |
|                                                                           | 54 t; 18,75 m; 3+3                | 242                   | 125% | 357      | 52%  | 297                  | 220% | 444      | 114% |      |
|                                                                           | 60 t; 18,75 m; 3+4                | 267                   | 104% | 386      | 41%  | 320                  | 197% | 480      | 98%  |      |
|                                                                           | 60 t; 18,75 m; 4+3                | 244                   | 123% | 360      | 51%  | 293                  | 225% | 470      | 102% |      |

| Erinevate arvutusmodelite tulemuste võrdlus. Arvutuslik põikjõud talas kN |                                   |                       |      |          |      |                      |      |          |      |     |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|------|----------|------|----------------------|------|----------|------|-----|
|                                                                           | Koormusmodel                      | Vanema tüübi 5 talaga |      |          |      | Uuema tüübi 5 talaga |      |          |      | Ava |
|                                                                           |                                   | G-6                   |      | Laiendus |      | G-7                  |      | Laiendus |      |     |
| EVS-EN 1991-2:2007                                                        | LM1, $\alpha_q=\alpha_Q=1$        | 528                   | 12%  | 785      | -25% | 730                  | 39%  | 881      | 15%  | 15  |
|                                                                           | LM1, $\alpha_q=1, \alpha_Q=0,8$   | 471                   | 25%  | 703      | -16% | 656                  | 55%  | 797      | 27%  |     |
|                                                                           | LM1, $\alpha_q=0,8, \alpha_Q=0,8$ | 444                   | 33%  | 671      | -12% | 633                  | 60%  | 762      | 33%  |     |
|                                                                           | LM3, 3600/240                     | 637                   | -7%  | 905      | -35% | 798                  | 27%  | 968      | 5%   |     |
|                                                                           | LM3, 3600/200                     | 724                   | -18% | 992      | -40% | 866                  | 17%  | 1154     | -12% |     |
| Metsaveokid                                                               | 44 t, 16,5 m, 2+3                 | 284                   | 108% | 410      | 44%  | 350                  | 190% | 518      | 96%  |     |
|                                                                           | 50 t; 16,5 m; 3+3                 | 298                   | 98%  | 425      | 39%  | 362                  | 180% | 537      | 89%  |     |
|                                                                           | 54 t; 18,75 m; 3+3                | 283                   | 109% | 408      | 45%  | 347                  | 192% | 518      | 96%  |     |
|                                                                           | 60 t; 18,75 m; 3+4                | 311                   | 90%  | 441      | 34%  | 374                  | 171% | 555      | 83%  |     |
|                                                                           | 60 t; 18,75 m; 4+3                | 299                   | 97%  | 427      | 39%  | 368                  | 176% | 547      | 85%  |     |

| Erinevate arvutusmodelite tulemuste võrdlus. Arvutuslik põikjõud talas kN |                                   |                       |      |          |      |                      |   |          |   |     |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|------|----------|------|----------------------|---|----------|---|-----|
|                                                                           | Koormusmodel                      | Vanema tüübi 5 talaga |      |          |      | Uuema tüübi 5 talaga |   |          |   | Ava |
|                                                                           |                                   | G-6                   |      | Laiendus |      | G-7                  |   | Laiendus |   |     |
| EVS-EN 1991-2:2007                                                        | LM1, $\alpha_q=\alpha_Q=1$        | 624                   | 8%   | 914      | -26% | -                    | - | -        | - | 20  |
|                                                                           | LM1, $\alpha_q=1, \alpha_Q=0,8$   | 563                   | 20%  | 831      | -19% | -                    | - | -        | - |     |
|                                                                           | LM1, $\alpha_q=0,8, \alpha_Q=0,8$ | 531                   | 27%  | 790      | -15% | -                    | - | -        | - |     |
|                                                                           | LM3, 3600/240                     | 876                   | -23% | 1215     | -45% | -                    | - | -        | - |     |
|                                                                           | LM3, 3600/200                     | 993                   | -32% | 1334     | -50% | -                    | - | -        | - |     |
| Metsaveokid                                                               | 44 t, 16,5 m, 2+3                 | 353                   | 90%  | 504      | 33%  | -                    | - | -        | - |     |
|                                                                           | 50 t; 16,5 m; 3+3                 | 372                   | 81%  | 526      | 28%  | -                    | - | -        | - |     |
|                                                                           | 54 t; 18,75 m; 3+3                | 367                   | 83%  | 520      | 29%  | -                    | - | -        | - |     |
|                                                                           | 60 t; 18,75 m; 3+4                | 397                   | 70%  | 554      | 21%  | -                    | - | -        | - |     |
|                                                                           | 60 t; 18,75 m; 4+3                | 392                   | 71%  | 549      | 23%  | -                    | - | -        | - |     |

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

## Koormusmodel N-18 NK-80

| Erinevate arvutusmodelite tulemuste võrdlus. Arvutuslik pöikjõud talas kN |                                   |                       |      |          |      |                      |      |          |      |     |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|------|----------|------|----------------------|------|----------|------|-----|
|                                                                           | Koormusmodel                      | Vanema tüübi 5 talaga |      |          |      | Uuema tüübi 5 talaga |      |          |      | Ava |
|                                                                           |                                   | G-6                   |      | Laiendus |      | G-7                  |      | Laiendus |      |     |
| EVS-EN 1991-2:2007                                                        | LM1, $\alpha_q=\alpha_Q=1$        | 390                   | 78%  | 560      | 24%  | 568                  | 30%  | 624      | 19%  | 7,5 |
|                                                                           | LM1, $\alpha_q=1, \alpha_Q=0,8$   | 354                   | 97%  | 484      | 44%  | 537                  | 38%  | 545      | 36%  |     |
|                                                                           | LM1, $\alpha_q=0,8, \alpha_Q=0,8$ | 347                   | 101% | 467      | 49%  | 525                  | 41%  | 530      | 40%  |     |
|                                                                           | LM3, 3600/240                     | 280                   | 149% | 416      | 67%  | 372                  | 99%  | 440      | 68%  |     |
|                                                                           | LM3, 3600/200                     | 332                   | 110% | 484      | 44%  | 428                  | 73%  | 520      | 42%  |     |
| Metsaveokid                                                               | 44 t, 16,5 m, 2+3                 | 170                   | 308% | 238      | 192% | 208                  | 255% | 302      | 145% |     |
|                                                                           | 50 t; 16,5 m; 3+3                 | 170                   | 308% | 238      | 192% | 208                  | 255% | 302      | 145% |     |
|                                                                           | 54 t; 18,75 m; 3+3                | 169                   | 312% | 237      | 194% | 195                  | 280% | 300      | 146% |     |
|                                                                           | 60 t; 18,75 m; 3+4                | 185                   | 276% | 255      | 172% | 223                  | 232% | 323      | 129% |     |
|                                                                           | 60 t; 18,75 m; 4+3                | 172                   | 305% | 240      | 190% | 210                  | 253% | 303      | 144% |     |

| Erinevate arvutusmodelite tulemuste võrdlus. Arvutuslik pöikjõud talas kN |                                   |                       |      |          |      |                      |      |          |      |     |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|------|----------|------|----------------------|------|----------|------|-----|
|                                                                           | Koormusmodel                      | Vanema tüübi 5 talaga |      |          |      | Uuema tüübi 5 talaga |      |          |      | Ava |
|                                                                           |                                   | G-6                   |      | Laiendus |      | G-7                  |      | Laiendus |      |     |
| EVS-EN 1991-2:2007                                                        | LM1, $\alpha_q=\alpha_Q=1$        | 433                   | 71%  | 658      | 13%  | 625                  | 25%  | 712      | 10%  | 10  |
|                                                                           | LM1, $\alpha_q=1, \alpha_Q=0,8$   | 394                   | 88%  | 578      | 28%  | 554                  | 41%  | 631      | 24%  |     |
|                                                                           | LM1, $\alpha_q=0,8, \alpha_Q=0,8$ | 385                   | 93%  | 556      | 33%  | 538                  | 46%  | 507      | 54%  |     |
|                                                                           | LM3, 3600/240                     | 390                   | 90%  | 569      | 30%  | 500                  | 57%  | 596      | 31%  |     |
|                                                                           | LM3, 3600/200                     | 451                   | 65%  | 645      | 15%  | 580                  | 35%  | 702      | 12%  |     |
| Metsaveokid                                                               | 44 t, 16,5 m, 2+3                 | 208                   | 257% | 306      | 143% | 208                  | 276% | 302      | 159% |     |
|                                                                           | 50 t; 16,5 m; 3+3                 | 212                   | 250% | 310      | 139% | 208                  | 276% | 302      | 159% |     |
|                                                                           | 54 t; 18,75 m; 3+3                | 198                   | 274% | 295      | 152% | 195                  | 302% | 300      | 161% |     |
|                                                                           | 60 t; 18,75 m; 3+4                | 221                   | 236% | 321      | 131% | 223                  | 251% | 323      | 143% |     |
|                                                                           | 60 t; 18,75 m; 4+3                | 209                   | 255% | 307      | 141% | 210                  | 274% | 303      | 158% |     |

| Erinevate arvutusmodelite tulemuste võrdlus. Arvutuslik pöikjõud talas kN |                                   |                       |      |          |      |                      |      |          |      |      |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|------|----------|------|----------------------|------|----------|------|------|
|                                                                           | Koormusmodel                      | Vanema tüübi 5 talaga |      |          |      | Uuema tüübi 5 talaga |      |          |      | Ava  |
|                                                                           |                                   | G-6                   |      | Laiendus |      | G-7                  |      | Laiendus |      |      |
| EVS-EN 1991-2:2007                                                        | LM1, $\alpha_q=\alpha_Q=1$        | 479                   | 60%  | 728      | 5%   | 676                  | 52%  | 801      | 28%  | 12,5 |
|                                                                           | LM1, $\alpha_q=1, \alpha_Q=0,8$   | 432                   | 77%  | 646      | 19%  | 604                  | 70%  | 718      | 43%  |      |
|                                                                           | LM1, $\alpha_q=0,8, \alpha_Q=0,8$ | 421                   | 82%  | 619      | 24%  | 584                  | 76%  | 688      | 49%  |      |
|                                                                           | LM3, 3600/240                     | 515                   | 49%  | 742      | 3%   | 630                  | 63%  | 777      | 32%  |      |
|                                                                           | LM3, 3600/200                     | 593                   | 29%  | 830      | -8%  | 720                  | 42%  | 924      | 11%  |      |
| Metsaveokid                                                               | 44 t, 16,5 m, 2+3                 | 244                   | 214% | 360      | 113% | 300                  | 242% | 449      | 128% |      |
|                                                                           | 50 t; 16,5 m; 3+3                 | 255                   | 200% | 372      | 106% | 308                  | 233% | 462      | 122% |      |
|                                                                           | 54 t; 18,75 m; 3+3                | 242                   | 217% | 357      | 115% | 297                  | 245% | 444      | 131% |      |
|                                                                           | 60 t; 18,75 m; 3+4                | 267                   | 187% | 386      | 98%  | 320                  | 220% | 480      | 114% |      |
|                                                                           | 60 t; 18,75 m; 4+3                | 244                   | 214% | 360      | 113% | 293                  | 250% | 470      | 118% |      |

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

| Erinevate arvutusmodelite tulemuste võrdlus. Arvutuslik põikjõud talas kN |                                   |                       |      |          |      |                      |      |          |      |     |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|------|----------|------|----------------------|------|----------|------|-----|
|                                                                           | Koormusmodel                      | Vanema tüübi 5 talaga |      |          |      | Uuema tüübi 5 talaga |      |          |      | Ava |
|                                                                           |                                   | G-6                   |      | Laiendus |      | G-7                  |      | Laiendus |      |     |
| EVS-EN 1991-2:2007                                                        | LM1, $\alpha_q=\alpha_Q=1$        | 528                   | 58%  | 785      | 6%   | 730                  | 50%  | 881      | 24%  | 15  |
|                                                                           | LM1, $\alpha_q=1, \alpha_Q=0,8$   | 471                   | 77%  | 703      | 18%  | 656                  | 67%  | 797      | 37%  |     |
|                                                                           | LM1, $\alpha_q=0,8, \alpha_Q=0,8$ | 444                   | 88%  | 671      | 24%  | 633                  | 73%  | 762      | 43%  |     |
|                                                                           | LM3, 3600/240                     | 637                   | 31%  | 905      | -8%  | 798                  | 37%  | 968      | 13%  |     |
|                                                                           | LM3, 3600/200                     | 724                   | 15%  | 992      | -16% | 866                  | 26%  | 1154     | -5%  |     |
| Metsaveokid                                                               | 44 t, 16,5 m, 2+3                 | 284                   | 193% | 410      | 103% | 350                  | 212% | 518      | 111% |     |
|                                                                           | 50 t; 16,5 m; 3+3                 | 298                   | 180% | 425      | 96%  | 362                  | 202% | 537      | 104% |     |
|                                                                           | 54 t; 18,75 m; 3+3                | 283                   | 194% | 408      | 104% | 347                  | 215% | 518      | 111% |     |
|                                                                           | 60 t; 18,75 m; 3+4                | 311                   | 168% | 441      | 89%  | 374                  | 192% | 555      | 97%  |     |
|                                                                           | 60 t; 18,75 m; 4+3                | 299                   | 178% | 427      | 95%  | 368                  | 197% | 547      | 100% |     |

| Erinevate arvutusmodelite tulemuste võrdlus. Arvutuslik põikjõud talas kN |                                   |                       |      |          |      |                      |   |          |   |     |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|------|----------|------|----------------------|---|----------|---|-----|
|                                                                           | Koormusmodel                      | Vanema tüübi 5 talaga |      |          |      | Uuema tüübi 5 talaga |   |          |   | Ava |
|                                                                           |                                   | G-6                   |      | Laiendus |      | G-7                  |   | Laiendus |   |     |
| EVS-EN 1991-2:2007                                                        | LM1, $\alpha_q=\alpha_Q=1$        | 624                   | 18%  | 914      | -20% | -                    | - | -        | - | 20  |
|                                                                           | LM1, $\alpha_q=1, \alpha_Q=0,8$   | 563                   | 31%  | 831      | -12% | -                    | - | -        | - |     |
|                                                                           | LM1, $\alpha_q=0,8, \alpha_Q=0,8$ | 531                   | 38%  | 790      | -7%  | -                    | - | -        | - |     |
|                                                                           | LM3, 3600/240                     | 876                   | -16% | 1215     | -40% | -                    | - | -        | - |     |
|                                                                           | LM3, 3600/200                     | 993                   | -26% | 1334     | -45% | -                    | - | -        | - |     |
| Metsaveokid                                                               | 44 t, 16,5 m, 2+3                 | 353                   | 108% | 504      | 46%  | -                    | - | -        | - |     |
|                                                                           | 50 t; 16,5 m; 3+3                 | 372                   | 97%  | 526      | 40%  | -                    | - | -        | - |     |
|                                                                           | 54 t; 18,75 m; 3+3                | 367                   | 100% | 520      | 41%  | -                    | - | -        | - |     |
|                                                                           | 60 t; 18,75 m; 3+4                | 397                   | 85%  | 554      | 33%  | -                    | - | -        | - |     |
|                                                                           | 60 t; 18,75 m; 4+3                | 392                   | 87%  | 549      | 34%  | -                    | - | -        | - |     |

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

#### LISA 4. LAIENDAMISELE KUULUVAD MONTEERITAVAST RAUDBETOONIST LIHTTALA SILLAD

Lisa 4. Laiendamisele kuuluvad monteeritavast raudbetoonist lihttala sillad

| Number | Nimi            | Ehitusaasta | Renoveerimise aasta | Normatiivne kandevõime | Avade arvutusl. pikkused | SI  | Hindamise aasta | Maantee klass sageduse järgi | Nõutav sõidutee gabariit, m | Ol. silla sõidutee puudujääk, m | Projektijärgne kandevõime | SI ≤ 60       | Kataloog | Märkus       | Kandevõime, kNm |
|--------|-----------------|-------------|---------------------|------------------------|--------------------------|-----|-----------------|------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------|---------------|----------|--------------|-----------------|
| 175    | AO              | 1962        | -                   | N-11/NG-60             | 10.0                     | 58  | 2013            | 5                            | 8                           | 1.0                             | OK                        | Madal BMS     | 56       | -            | 644             |
| 321    | LEBENESI        | 1963        | -                   | N-13/NG-60             | 12.0                     | 57  | 2015            | 6                            | 7                           | 0.9                             | OK                        | Madal BMS     | 56       | -            | 810             |
| 725    | MÕTSU           | 1963        | 2008                | N-10/NG-60             | 8.4                      | 89  | 2015            | 5                            | 8                           | 2.0                             | OK                        | OK            | 56       | -            | 410             |
| 518    | KOOGI           | 1959        | 1997                | N-10/NG-60             | 9.2                      | 73  | 2012            | 5                            | 8                           | 0.7                             | OK                        | OK            | 56       | -            | 644             |
| 267    | VARDI           | 1959        | 1997                | N-18/NK-80             | 10.4                     | 85  | 2010            | 2                            | 12                          | 2.0                             | OK                        | OK            | 56       | -            | 757             |
| 399    | KÕRVE           | 1959        | 1998                | N-18/NK-80             | 10.8                     | 74  | 2013            | 2                            | 12                          | 0.4                             | OK                        | OK            | 56       | -            | 757             |
| 436    | ILVESE          | 1961        | 2007                | N-13/NG-60             | 10.8                     | 99  | 2013            | 5                            | 8                           | 0.1                             | OK                        | OK            | 56       | -            | 644             |
| 950    | VÕMMORSKI       | 1961        | 1997                | N-30/ NK-80            | 11.1                     | 72  | 2012            | 5                            | 8                           | 0.7                             | OK                        | OK            | 56       | -            | 757             |
| 917    | SUURÕ-KÕRDSI    | 1965        | 1999                | N-13/NG-60             | 11.1                     | 72  | 2012            | 5                            | 8                           | 0.2                             | OK                        | OK            | 56       | -            | 644             |
| 104    | PAUNKÜLA        | 1967        | 2014                | 1200/150               | 11.2                     | 98  | 2015            | 6                            | 7                           | 2.0                             | OK                        | OK            | 56       | -            | -               |
| 900    | HUTTA           | 1960        | 2011                | N-13/NG-60             | 11.4                     | 100 | 2012            | 4                            | 9                           | 1.0                             | OK                        | OK            | 56       | -            | 644             |
| 899    | MUUGA           | 1962        | 2011                | N-13/NG-60             | 11.4                     | 100 | 2012            | 4                            | 9                           | 1.0                             | OK                        | OK            | 56       | -            | 644             |
| 881    | LIITVA          | 1963        | 2013                | N-18/NK-80             | 11.4                     | 100 | 2012            | 3                            | 10                          | 0.9                             | OK                        | OK            | 56       | -            | 644             |
| 906    | KIKKAOJA        | 1966        | 1995                | N-10/NG-60             | 11.4                     | 70  | 2012            | 5                            | 8                           | 0.3                             | OK                        | OK            | 56       | -            | 644             |
| 761    | VIISIREIU       | 1959        | 2006                | N-13/NG-60             | 12.0                     | 99  | 2011            | 5                            | 8                           | 1.0                             | OK                        | OK            | 56       | -            | 810             |
| 709    | LINDI           | 1961        | 1997                | N-13/NG-60             | 12.6                     | 72  | 2015            | 4                            | 9                           | 1.0                             | OK                        | OK            | 56       | -            | 810             |
| 424    | SAVALA          | 1963        | 1999                | N-13/NG-60             | 13.5                     | 73  | 2015            | 5                            | 8                           | 0.8                             | OK                        | OK            | 56       | -            | 810             |
| 713    | PAATSALU        | 1961        | 2013                | N-13/NG-60             | 13.8                     | 100 | 2015            | 5                            | 8                           | 1.2                             | OK                        | OK            | 56       | -            | 810             |
| 153    | ALUVERE VIADUKT | 1963        | 1995                | N-18/NK-80             | 14.1                     | 70  | 2013            | 3                            | 10                          | 1.5                             | OK                        | OK            | 56       | -            | 1087            |
| 789    | SURJUMOISA      | 1968        | 1997                | N-30/NK-80             | 14.7                     | 92  | 2011            | 5                            | 8                           | 1.0                             | OK                        | OK            | 56       | -            | 1087            |
| 90     | VETLA           | 1961        | 2006                | N-18/NG-60             | 15.3                     | 99  | 2010            | 4                            | 9                           | 0.2                             | OK                        | OK            | 56       | -            | 1180            |
| 57     | VALINGU VIADUKT | 1962        | -                   | N-13/NG-60             | 16.4                     | 71  | 2010            | 2                            | 12                          | 3.0                             | OK                        | OK            | 56       | -            | 1180            |
| 107    | KIISA           | 1964        | 2004                | N-18/NG-60             | 16.8                     | 94  | 2010            | 3                            | 10                          | 1.9                             | OK                        | OK            | 56       | -            | 1180            |
| 827    | LEEVI           | 1964        | 2004                | N-13/NG-60             | 16.8                     | 94  | 2012            | 5                            | 8                           | 1.0                             | OK                        | OK            | 56       | -            | 1180            |
| 747    | JÕESUU          | 1959        | 2007                | N-13/NG-60             | 18.0                     | 100 | 2011            | 5                            | 8                           | 1.0                             | OK                        | OK            | 56       | -            | 1942            |
| 181    | NAGALA          | 1960        | -                   | N-13/NG-60             | 3.0                      | 63  | 2013            | 5                            | 8                           | 0.5                             | OK                        | Vajab remonti | 56       | -            | 410             |
| 165    | VIRU            | 1959        | -                   | N-13/NG-60             | 7.5                      | 62  | 2013            | 5                            | 8                           | 0.5                             | OK                        | Vajab remonti | 56       | -            | 410             |
| 235    | PIIOMETSA       | 1963        | 1998                | N-13/NG-60             | 7.9                      | 65  | 2015            | 5                            | 8                           | 0.3                             | OK                        | Vajab remonti | 56       | -            | 410             |
| 626    | PILISTVERE      | 1968        | -                   | N-30/NK-80             | 7.9                      | 62  | 2011            | 6                            | 7                           | 0.5                             | OK                        | Vajab remonti | 56       | -            | 460             |
| 593    | JUSSI           | 1961        | 1996                | N-13/NG-60             | 10.0                     | 64  | 2015            | 4                            | 9                           | 0.9                             | OK                        | Vajab remonti | 56       | -            | 644             |
| 664    | KULLI           | 1967        | -                   | N-30/NK-80             | 10.3                     | 60  | 2015            | 6                            | 7                           | 0.1                             | OK                        | Vajab remonti | 56       | -            | 757             |
| 916    | ROOSIKU         | 1961        | 1994                | N-13/NG-60             | 11.4                     | 62  | 2012            | 5                            | 8                           | 0.3                             | OK                        | Vajab remonti | 56       | -            | 644             |
| 904    | VANA-ROOSA      | 1964        | 1994                | N-10/NG-60             | 11.4                     | 63  | 2012            | 5                            | 8                           | 0.3                             | OK                        | Vajab remonti | 56       | -            | 644             |
| 929    | PIUSA           | 1964        | 1994                | N-13/NG-60             | 11.4                     | 64  | 2012            | 5                            | 8                           | 0.2                             | OK                        | Vajab remonti | 56       | -            | 644             |
| 933    | KÄRGULA         | 1964        | 1997                | N-13/NG-60             | 11.4                     | 67  | 2015            | 5                            | 8                           | 0.4                             | OK                        | Vajab remonti | 56       | -            | 644             |
| 715    | OARA            | 1963        | 1993                | N-13/NG-60             | 12.6                     | 63  | 2011            | 5                            | 8                           | 0.1                             | OK                        | Vajab remonti | 56       | -            | 810             |
| 103    | RAVILA          | 1961        | -                   | N-13/NG-60             | 13.0                     | 68  | 2010            | 5                            | 8                           | 0.5                             | OK                        | Vajab remonti | 56       | -            | 810             |
| 720    | NAELAKA         | 1963        | 1995                | N-13/NG-60             | 13.7                     | 69  | 2015            | 5                            | 8                           | 0.3                             | OK                        | Vajab remonti | 56       | -            | 810             |
| 231    | TÜRI-ALLIKU     | 1963        | -                   | N-13/NG-60             | 15.0                     | 63  | 2013            | 5                            | 8                           | 2.0                             | OK                        | Vajab remonti | 56       | -            | 1180            |
| 690    | KANAKÜLA        | 1960        | 1995                | N-18/NK-80             | 21.5                     | 68  | 2011            | 4                            | 9                           | 0.5                             | OK                        | Vajab remonti | 56       | -            | 2197            |
| 634    | VÖLLI           | 1966        | -                   | N-10/NG-60             | 7.2                      | 54  | 2015            | 6                            | 7                           | 0.9                             | Pole tagatud              | Madal BMS     | 56       | -            | 410             |
| 646    | TUSTI           | 1968        | -                   | N-30/NK-80             | 12.0                     | 55  | 2011            | 5                            | 8                           | 1.4                             | Pole tagatud              | Madal BMS     | 56       | -            | 1087            |
| 783    | TOLKUSE         | 1964        | 2002                | N-13/NG-60             | 8.3                      | 85  | 2011            | 5                            | 8                           | 0.1                             | OK                        | OK            | 56 LISA  | -            | 648             |
| 87     | ANGERJA         | 1970        | 2009                | N-18/NK-80             | 9.8                      | 97  | 2010            | 5                            | 8                           | 0.8                             | OK                        | OK            | 56 LISA  | -            | 1166            |
| 283    | KOIKSE          | 1970        | 2015                | 1200kN/150kN           | 13.5                     | 100 | 2015            | 4                            | 9                           | 1.0                             | OK                        | OK            | 56 LISA  | -            | -               |
| 792    | RISTIKÜLA PUIT  | 1967        | 1998                | N-13/NG-60             | 14.5                     | 85  | 2011            | 6                            | 7                           | 0.6                             | OK                        | OK            | 56 LISA  | -            | 1377            |
| 923    | PRASSI          | 1968        | 1993                | N-30/ NK-80            | 11.4                     | 60  | 2012            | 4                            | 9                           | 1.4                             | OK                        | Vajab remonti | 56 LISA  | -            | 1166            |
| 503    | ROHE            | 1969        | -                   | N-30/NK-80             | 13.6                     | 61  | 2012            | 5                            | 8                           | 2.0                             | OK                        | Vajab remonti | 56 LISA  | -            | 1817            |
| 647    | LUHA            | 1969        | -                   | N-30/NK-80             | 13.7                     | 67  | 2011            | 5                            | 8                           | 0.5                             | OK                        | Vajab remonti | 56 LISA  | -            | 1817            |
| 252    | POAKA           | 1965        | 2000                | N-13/NG-60             | 15.0                     | 65  | 2013            | 5                            | 8                           | 1.1                             | OK                        | Vajab remonti | 56 LISA  | -            | 1908            |
| 330    | VÄIKE           | 1968        | -                   | N-30/NK-80             | 10.0                     | 56  | 2010            | 6                            | 7                           | 0.1                             | Pole tagatud              | Madal BMS     | 56 LISA  | -            | 1166            |
| 894    | MÕNISTE         | 1966        | 1995                | N-13/NG-60             | 11.4                     | 55  | 2012            | 5                            | 8                           | 0.3                             | Pole tagatud              | Madal BMS     | 56 LISA  | -            | 1030            |
| 291    | VANA-VIGALA     | 1967        | -                   | N-30/NK-80             | 12.5                     | 59  | 2010            | 5                            | 8                           | 0.7                             | Pole tagatud              | Madal BMS     | 56 LISA  | -            | 1817            |
| 50     | LAGEDI VIADUKT  | 1970        | -                   | N-30/NK-80             | 15.0                     | 44  | 2010            | 2                            | 12                          | 3.1                             | Pole tagatud              | Madal BMS     | 56 LISA  | -            | 2294            |
| 126    | VASKJALA        | 1968        | 2008                | N-30/NK-80             | 10.1                     | 100 | 2010            | 3                            | 10                          | 3.0                             | OK                        | OK            | -        | renoveeritud | -               |
| 122    | PUDISOO         | 1964        | 2014                | 1200/150               | 11.4                     | 100 | 2015            | 5                            | 8                           | 1.0                             | OK                        | OK            | -        | renoveeritud | -               |
| 168    | TRIIGI          | 1959        | 2014                | N-13/NK-80             | 11.7                     | 93  | 2015            | 5                            | 8                           | 0.1                             | OK                        | OK            | -        | renoveeritud | -               |
| 274    | PURILA          | 1970        | 2015                | N-30/NK-80             | 14.0                     | 100 | 2015            | 5                            | 8                           | 1.0                             | OK                        | OK            | -        | renoveeritud | -               |
| 124    | KEPSU           | 1960        | 2013                | 1200/150               | 15.7                     | 100 | 2013            | 3                            | 10                          | 3.6                             | OK                        | OK            | -        | renoveeritud | -               |
| 102    | OTIVESKI        | 1964        | 2015                | 1200kN/150kN           | 15.9                     | 99  | 2015            | 5                            | 8                           | 1.0                             | OK                        | OK            | -        | renoveeritud | -               |

„Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“

## LISA 5. PROJEKTIJÄRGSET KANDEVÕIMET MITTE OMAVAD MONTEERITAVAST RAUDBETOONIST LIHTTALA SILLAD

Lisa 5. Projektijärgset kandevõimet mitte omavad monteeritavast raudbetoonist lihttala sillad

| Number | Nimi           | Ehitusaasta | Renoveerimise aasta | Normatiivne kandevõime | Avade arvutusl. pikkused | SI  | Hindamise aasta | Maantee klass sageduse järgi | Nõutav sõidutee gabariit, m | Projektijärgne kandevõime | SI ≤ 60       | Kataloog | Kandevõime, kNm |
|--------|----------------|-------------|---------------------|------------------------|--------------------------|-----|-----------------|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------|----------|-----------------|
| 634    | VÖLLI          | 1966        | -                   | N-10/NG-60             | 7.2                      | 54  | 2015            | 6                            | 7                           | Pole tagatud              | Madal BMS     | 56       | 410             |
| 976    | PIKASILLA      | 1959        | 2010                | N-10/NG-60             | 33.5                     | 100 | 2012            | 4                            | 9                           | Pole tagatud              | OK            | 56       | -               |
| 766    | KAMALI         | 1966        | -                   | N-13/NG-60             | 8.3                      | 55  | 2011            | 6                            | 7                           | Pole tagatud              | Madal BMS     | 56       | 410             |
| 922    | SULBI          | 1962        | 1996                | N-13/NG-60             | 11.36                    | 64  | 2012            | 6                            | 7                           | Pole tagatud              | Vajab remonti | 56       | 644             |
| 1006   | LAMBAHANNA     | 1964        | -                   | N-30/NK-80             | 7.5                      | 55  | 2012            | 6                            | 7                           | Pole tagatud              | Madal BMS     | 56       | 460             |
| 1005   | ÄRNU           | 1970        | -                   | N-30/NK-80             | 10                       | 60  | 2012            | 6                            | 7                           | Pole tagatud              | Vajab remonti | 56       | 757             |
| 646    | TUSTI          | 1968        | -                   | N-30/NK-80             | 12                       | 55  | 2011            | 5                            | 8                           | Pole tagatud              | Madal BMS     | 56       | 1087            |
| 848    | SESNIKI        | 1962        | 1997                | NG-60                  | 10.5                     | 59  | 2012            | 5                            | 8                           | Pole tagatud              | Madal BMS     | 56       | 644             |
| 894    | MÕNISTE        | 1966        | 1995                | N-13/NG-60             | 11.4                     | 55  | 2012            | 5                            | 8                           | Pole tagatud              | Madal BMS     | 56 LISA  | 1030            |
| 330    | VÄIKE          | 1968        | -                   | N-30/NK-80             | 10                       | 56  | 2010            | 6                            | 7                           | Pole tagatud              | Madal BMS     | 56 LISA  | 1166            |
| 291    | VANA-VIGALA    | 1967        | -                   | N-30/NK-80             | 12.5                     | 59  | 2010            | 5                            | 8                           | Pole tagatud              | Madal BMS     | 56 LISA  | 1817            |
| 50     | LAGEDI VIADUKT | 1970        | -                   | N-30/NK-80             | 12.5                     | 44  | 2010            | 2                            | 12                          | Pole tagatud              | Madal BMS     | 56 LISA  | 1817            |