



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
Inseneriteaduskond
Mehaanika ja tööstustehnika instituut

KALDAKINDLUSTUSE BETOONELEMENDI ARENDUS

DEVELOPMENT OF A CONCRETE ELEMENT FOR SLOPE PROTECTION

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane:	Hardi Lüüdik
Üliõpilaskood:	142108MATM
Juhendaja:	Lektor Aigar Hermaste

Tallinn 2024

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

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

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

20. mai 2024

Autor: allkirjastatud digitaalselt

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

20.mai 2024

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

20.mai 2024

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Hardi Lüüdik,

Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

“KALDAKINDLUSTUSE BETOONELEMENDI ARENDUS”,

mille juhendaja on lektor Aigar Hermaste.

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

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

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

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

20.05.2024

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

Mehaanika ja tööstustehnika instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Hardi Lüüdik 142108MATM

Õppekava, peeriala: MATM02/11 - Tootearendus ja tootmistehnika

Juhendaja: Lektor, Aigar Hermaste, 6203269

Konsultant:(nimi, amet)

..... (ettevõtte, telefon, e-post)

Lõputöö teema:

(eesti keeles) KALDAKINDLUSTUSE BETOONELEMENDI ARENDUS

(inglis keeles) DEVELOPMENT OF A CONCRETE ELEMENT FOR SLOPE PROTECTION

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Elemendi vajalike mõõtmete ja nõuete välja selgitamine
2. Elemendi projekteerimine
3. Lahendus betoonelemendile kujule ja massile

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Lõputöö eesmärkide defineerimine	05.02.2022
2.	Kaldakindlustuseks sobiva optimaalse elemendi arendus	29.05.2022
3.	Lõputöö vormistamine	13.05.2024

Töö keel: Eesti keel

Lõputöö esitamise tähtaeg: 20. mai 2024

Üliõpilane: Hardi Lüüdik allkirjastatud digitaalselt 20. mai 2024
/allkiri/

Juhendaja: Aigar Hermaste allkirjastatud digitaalselt 20. mai 2024
/allkiri/

Konsultant: ".....".....20.....a
/allkiri/

Programmijuht: ".....".....20.....a
/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel.

SISUKORD

EESSÕNA	7
Lühendite ja tähiste loetelu.....	8
SISSEJUHATUS	11
1. OLEMASOLEVAD LAHENDUSED.....	13
1.1 ÜLEVAADE MAAPARANDUSEST EESTIS	13
1.1.1 Maaparandus olulisus	13
1.1.2 Toetused ja meetmed	13
1.1.3 Kuhu ja millisele pinnasele projekteeritakse kaldakindlustust	14
1.1.4 Toodetud kaldakindlustuse elemendid.....	15
1.1.5 Kaldakindlustuse kolm põhitüüpi	16
1.1.6 Maailmas toodetavad kaldakindlustus betoonelemendid	17
2. BETOONELEMENDI ARENDUS	20
2.1 LAHENDUSED BETOONELEMENDI KUJULE	20
2.1.1 Lahendusvariant üks.....	20
2.1.2 Lahendusvariant kaks	21
2.1.3 Lahendusvariant kolm.....	22
2.1.4 Lahendusvariant neli	23
2.1.5 Valitud betoonelemendi kuju lahendus	24
2.2 Betoonelemendi materjal	25
2.2.1 Betoon.....	25
2.2.2 Manningu karedusarv	25
2.2.3 Maaparandusseadusest tulenev nõue.....	26
2.2.4 Betoonvalmis toodete standard	26
2.2.5 Betooni kestvuse projekteerimine vastavalt standardile	26
2.2.6 Betoonelemendi lahendus variant kaks tugevusarvutused	27
2.3 Vormimaterjal ja valmistustehnoloogia	38
2.3.1 Lehtmetall vormianalüüs	40
2.3.2 Valminud lehtmetallist betoon valuvorm.....	42
2.3.3 Probleemid betoonelemendi kasutamisel	43
2.3.4 Betoonelemendi paigaldus protsessi kirjeldus.	43
2.3.5 Betoonelementidega kindlustatud kraav	44
2.3.6 Betoonelementide arendused.....	45
3. BETOONELEMENDI MAJANDUSLIK ANALÜÜS	48
3.1 ÜHIKU OMAHIND	48
3.1.1 Betoonelemendi arenduskulu	48
3.1.2 Toote omahind.....	49

3.1.3 Transpordi maksumus.....	49
3.1.4 Ekskavaatori kulud paigaldusele.....	50
3.1.5 Betoonelemendi ühiku kogumaksumus paigaldatuna	50
3.1.6 Maakivikindlustus maksumus.....	51
3.1.7 Killustik kindlustus maksumus	51
3.1.8 Hinnavõrdlus eri kaldakindlustus tüüpide vahel	52
KOKKUVÕTE	53
SUMMARY	55
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	57
LISAD	59
GRAAFILINE OSA.....	64

EESSÕNA

Magistritöö autor tänab oma juhendajat lektorit Aigar Hermastet asjakohaste märkuste ja sisukate nõuannete eest ning Riho Erismaad igakülgse abi ja hea koostöö eest.

Võtmesõnad: betoonelemendid, maaparandus, betoonelementide valuvormid, magistritöö

Lühendite ja tähiste loetelu

RMK - Riigimetsa majandamis keskus

RTK - GNSS (Real Time Kinematic Global Navigation Satellite System)

GIS.- Geograafiline infosüsteem (GIS) on omavahel seotud kogum tarkvarast ja andmetest, mida kasutatakse geograafilise info vaatamiseks ja haldamiseks, ruumiliste seoste analüüsimiseks ning ruumiliste protsesside modelleerimiseks.

b_{sein} - betoonelemendi seina paksus

h_{alus} - betoonelemendi mudelialusplaadi paksus

γ_{betoon} - betooni mahukaal

γ_g - alaliskoormuse osavarutegur

g_d - betoonmudeli normatiivne omakaal

g_d - betoonmudeli arvutuslik omakaal

q' - pinnasesurve betoonelemendi tasapinnas

b - laius

γ' - pinnase keskmine mahukaal

N_c - pinnase omaduste põhjal määratud kandevõimetegur

N_q - pinnase omaduste põhjal määratud kandevõimetegur

N_c - pinnase omaduste põhjal määratud kandevõimetegur

Y_R - osavarutegur

d_k - keskmine süvis

γ_k - pinnase ja betoonelemendi keskmine mahukaal

γ_g - alaliskoormuse osavarutegur

V_1 - koormus betoonelemendile

V_d - koormus kokku

M_{Ed} - betoonelemendi arvutuslikud sisejõud

V_{Ed} - betoonelemendi arvutuslikud põikjõud

L - betoonelemendi pikkus

f_{cd} - betooni arvutuslik survetugevus

f_{ck} - betooni normatiivne survetugevus

α_{cc} - betooni tugevusele ebasoodsaid mõjusid arvestav tegur

γ_c - betooni osavarutegur

f_{yk} - tõmbesarruse normatiivne voolupiir

γ_s - tõmbesarruse osavarutegur

s - tõmbesarruse samm

b - ühikriba laius

A_{sI} - tõmbesarruse pindala

n - tõmbevarraste arv 1 m laiusel ühikribal

n - Pii

$\emptyset$ - tõmbesarruse läbimõõt

f_{yd} - tõmbesarruse arvutuslik voolupiir

b - ühikriba laius

ξ_c - survetsooni suhteline piirkõrgus

h - betoonelemendi kõrgus

C_{nom} - tõmbesarruse nimikaitsekiht

y - survetsooni arvutuskõrgus

M_{Rd} - arvutuslik paindekandevõime

d_1 - survetsooni kõrguse

$C_{Rd,c}$ - abitegur

k - konstant

v_{min} - minimaalne nihketugevus

ρ_1 - piki armeerimise tegur leitakse

σ_{cp} - keskmine normaalpinge

N_{Ed} - arvutuslik koormuse põhjustatud pikijõud lõikes

P_d - arvutuslik eelpingestusjõud lõikes

$V_{Rd,c,min}$ - põikjõukandevõime miinimumväärtus

SISSEJUHATUS

Maaparandussüsteemide registri kohaselt on kuivendatud maa-ala kogupindala Eestis praegu 1 372 130 ha, moodustades 1/3 maismaast. Sealjuures on kuivendatud metsamaad kokku 751 130 ha ehk 25% metsade kogupindalast. Riigimetsast on kuivendatud üle poole ehk ligikaudu 450 000 ha. Regionaal- ja Põllumajandusministeeriumi andmetel on 976 900 hektarist haritavast põllumajandusmaast maaparandussüsteemidega hõlmatud 636 879 ha, millest enamuse (600 261 ha) moodustab drenaažkuivendus. [1]

Keskkonnaregistri andmetel on Eestis kraavide kogupikkuseks 69 884 km, mis ületab jõgede ja ojade kogupikkust (19 000 km) üle 3 korra. Kuid Eesti põhikaardi alusel tehtud GIS analüüsi kohaselt on tegelik kraavide kogupikkus – 150 537 km. [2]

Valdav osa Eesti põllumajandus- ja metsamaadest on liigniisked ning nende kasutamine sõltub maaparandussüsteemide toimimisest.

Maaparandussüsteemide korrasolek ja toimimiskindlus on olulise tähtsusega ka seetõttu, et kliimamuutuste tõttu kasvab Eesti aastane keskmine sademete hulk.

Kahekümnenda sajandi teisel poolel kasvas Eesti keskmine aastane sademete hulk 5%–15% ning teadlased prognoosivad selle kasvu jätkumist ka tulevikus. Eesti jaoks koostatud kliimastsenaariumi järgi ootavad meid lähiaastatel ees olulised muutused nii temperatuuri-, tuule- kui sademete režiimis. [3]

Sellest tulenevalt on vajalik kasutada kraavide kindlustamist kuna maaparandussüsteemi ja kraave tuleb rajada erinevatele pinnastele, mis ei ole pinnasekoostisest tulenevalt püsivad ehk seal tekivad veevoolu kiirusest tingitud pinnase uhtumised. Samuti avaldab maaparandus süsteemi kraavidele püsivusele mõju põhjaveest tingitud surve. See tingib vajaduse kindlustada kraave ja nende erinevaid osasid: nõlvajalam, nõlvapind ja kraavipõhi.

Magistritöö eesmärgiks oli lihtsustada maaparandustööde töökorraldust muutes ühe tööloigu efektiivsemaks.

Eestis leiab majandussüsteemi kraavide püsivuse tagamiseks kasutatust kraavidele laud- ja maakivikindlustuse rajamine, mis aga on materjalikulukas ning töömahukas.

Kraavidele laud- ja maakivikindlustuse rajamisel tehtava töö mahust moodustab väga suure osa tehtav käsitöö kraavidele.

Probleemile tuli leida majanduslikult jätkusuutlikum lahendus vähendamaks kraavide püsivuse tagamiseks tehtavate tööde ajalist mahtu, materjalikulu ning seeläbi ka rahalist maksumust.

Eri aegadel on Eestis kasutatud mitmesuguseid kraavikindlustuse tüüpe nagu hagupunutised, laud-, latt- ja maakivikindlustus. Siiani kasutatakse kraavikindlustamiseks killustiku ja maakividega kindlustamist.

Maakividega kindlustamise puhul on kõige suuremaks probleemiks õige fraktsiooniga maakivide kättesaadavus. See asjaolu tõstab ka oluliselt kraavikindlustamis tööde hinda ja sellest tuleneb ka vajadus leida kulutõhus ja optimaalne elementlahendus kasutamiseks analoogilistel juhtumitel.

Magistritöö põhipunktid

1) Olemasolevad lahendused

Ülevaade momendil Eestis praegusel ajal kasutusel olevatest kraavikindlustuse liikidest ja lühiülevaade mujal maailmas kasutavatest lahendustest.

2) Elemendi arendus.

Erinevad normid ja nõuded. Nõuded valmis betoonelementidele ja tehniline kasutusiga. Erinevad vormikujud ja lahendused, õige kuju ja massiga betoonelemendi leidmine.

3) Betoonelemendi majanduslik analüüs

Kulude analüüs sisaldab arenduseks vajalikke ressursse. Võrdlusi eri kaldakindlustus tüüpidega. Võrreldes toote omahinda koos paigaldusega.

Graafiline osa.

Sisaldab betoonelemendi arendusel valminud lõplikku mudelit ja lehtmetallvormi jooniseid.

Magistritöö sisaldab kaldakindlustuseks sobiva optimaalse betoonelemendi arendus käigus valminud lõplikku mudelit ning elemendi valmistamiseks vajamineva lehtmetallvormi jooniseid.

1. OLEMASOLEVAD LAHENDUSED

1.1 ÜLEVAADE MAAPARANDUSEST EESTIS

Maaparandussüsteemide registri kohaselt on kuivendatud maa kogupindala Eestis praegu 1 372 130 ha, moodustades 1/3 maismaast. Sealjuures on kuivendatud metsamaad kokku 751 130 ha ehk 25% metsade kogupindalast. Riigimetsast on kuivendatud üle poole ehk ligikaudu 450 000 ha. Regionaal- ja Põllumajandusministeeriumi andmetel on 976 900 hektarist haritavast põllumajandusmaast maaparandussüsteemidega hõlmatud 636 879 ha, millest enamuse (600 261 ha) moodustab drenaažkuivendus. [1]

1.1.1 Maaparandus olulisus

Maaparandus on oluline mitmel põhjusel:

1. Põllumaa tootlikkuse suurendamine: Maaparandus aitab parandada maa viljakust ja veerežiimi, mis omakorda suurendab saagikust.
2. Keskkonnakaitse: Õigesti kavandatud maaparandussüsteemid aitavad vältida mulla erosiooni, veereostust ja üleujutusi ning aitavad säilitada ökosüsteemide tasakaalu.
3. Põllumajanduslik jätkusuutlikkus: Maaparandus võimaldab põllumajandusmaad efektiivsemalt kasutada, tagades stabiilsema saagi ja vähendades ressursside raiskamist.
4. Põllumajandustootjatel elujõulisus: Maaparandus aitab põllumajandustootjatel oma maad paremini majandada, suurendades sissetulekut ja elukvaliteeti.

Kokkuvõttes on maaparandus oluline nii majanduslikust kui ka keskkonna seisukohast ning aitab tagada jätkusuutliku põllumajanduse tulevikku.

1.1.2 Toetused ja meetmed

Eestis toetatakse maaparandusega seotud tegevusi mitmete toetuskeemide ja meetmete kaudu. Siin on mõned olulised toetusmeetmed:

- 1) Kuivendussüsteemide korrastamine.
- 2) Eesti maaelu arengukava (MAK) 2014–2020 meede 4.
- 3) Erametsade maaparandustööde toetus.

4) Maaparanduslike keskkonnarajatiste ehitamine. [2]

1.1.3 Kuhu ja millisele pinnasele projekteeritakse kaldakindlustust

Kraavi ristlõige projekteeritakse trapetsikujuliselt. Põhja vähim laius kraavi teljelt kaevamisel rähavabas pinnases projekteeritakse 0,4 m ja rähases pinnases 0,6 m. [3]

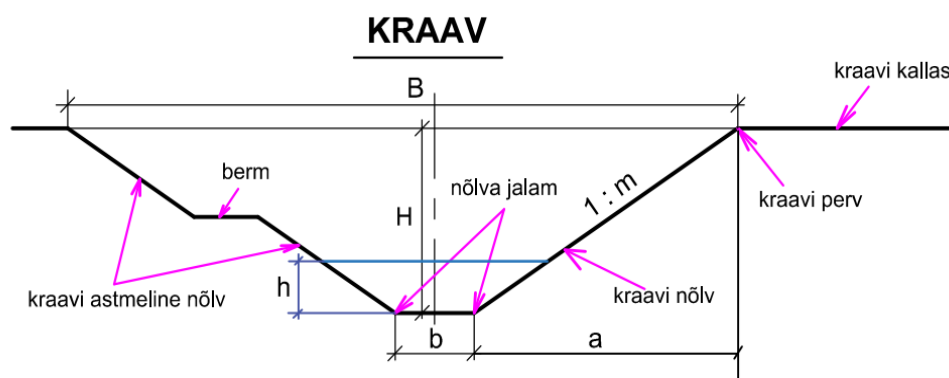
Kuivenduskraavi keskmiseks sügavuseks projekteeritakse mineraalpinnases 1,0 m ja turbapinnases turba arvutuslikku vajumist arvesse võttes 1,3 m. Kuivenduskraavi põhja lubatud vähim lang on 0,5‰ (promilli). [3]

Tulenevalt nendest nõuetest kraavipõhja laius 40 kuni 50 cm ja see on ka aluseks betoonelemendi lahenduse projekteerimisel.

Üldjuhul nähakse ette kraavide kindlustamine projektis. Projekteerija tutvub arhiivimaterjalidega ning käib välitöödel ja selle põhjal tehakse otsus, kas sellel kraavilõigul on sellisel hulgal töid vaja teostada.

Kraavisäingi deformatsioonid liigituvad sõltuvalt säangi tsoonist, kus nad esinevad

- 1) Nõlvajalami deformatsioon
- 2) Nõlvapinna deformatsioon
- 3) Kraavipõhja deformatsioon [4]



Joonis 1.1 Kraavi mõisted [5]

h- voolu sügavus, H – kraavi (voolusäangi) sügavus, B – kraavi pealt laius, b – kraavi põhjalaius, a - nõlva horisontaalprojektsiooni pikkus

1.1.4 Toodetud kaldakindlustuse elemendid.

Eriaegadel on toodetud ja kasutatud raudbetoon kraavikindlustuseks plaat ja raamkindlustust, mis on esitatud joonistel 1.2, 1.3, 1.4.

Raudbetoonist murtavaid plaate MP toodeti Eestis aastatel 1970 kuni 1992 erinevates tootmisüksustes.

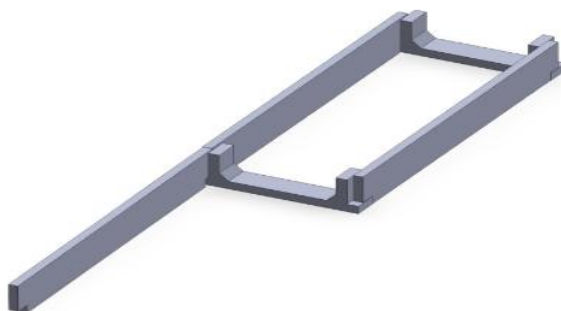
Raudbetoonist murtavplaat elementi MP kasutati Eestis enim parameetrites: pikkuses 740 mm, laiuses 900 mm ehk siis iga murtava osa laius oli 300 mm.



Joonis 1.2 Raudbetoon murtavplaat MP [4]Kohaldatud joonis tööautor

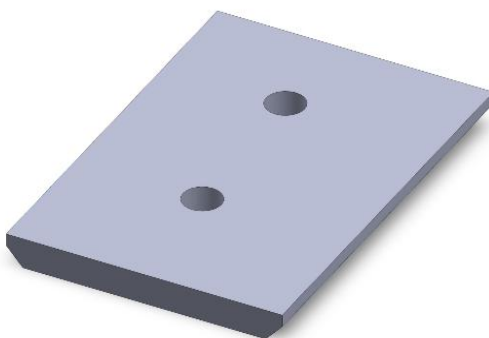
Raamkindlustusi on toodetud aastatel 1970 kuni 1990 eri tootmis üksustes üle Eesti. Enim kasutatud betoonelemendi külje parameetrid olid pikkus 2000 mm, kõrgus 250 mm, paksus 60 mm.

Lisaks külje elementidele olid kasutuses veel raamkindlustuse tugiraamid mida toodeti erinevas laiuses. Raamkindlustuse tugiraamid kasutati samu betoon küljeelemente.



Joonis 1.3 Raamkindlustuse betoonelemendid [4] Kohandatud joonis tööautor

Kaldakindlustus betoonplaate toodeti erineva suurusega ja eri otstarbel nii truubiotsakute,- kraavi kui ka nõlvade kindlustamiseks.



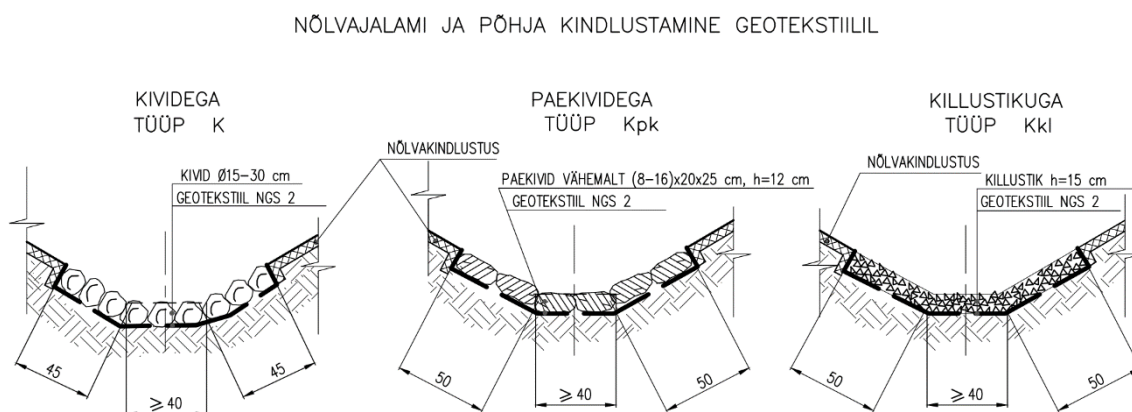
Joonis 1.4 Kaldakindlustus betoonelement [4]Kohandatud joonis tööautor

1.1.5 Kaldakindlustuse kolm põhitüüpi

Tänapäeval Eestis kasutatavad Kalda kindlustamise põhitüübid tulenevad momendil kehtivast "Maaparandus tüüpjoonised 2019" kogumikust, kuid see ei tähenda, et need oleksid kohustuslikud. Pigem on need joonised soovituslikud, sest projektide teostamise käigus võib tulla ette ootamatusi, mis tuleb lahenda erinevalt antud tüüpjoonistest.

Keeruline on loodust standardiseerida kuna igasugune bioloogiline kooslus on erinev ja sellest tulenevalt on vaja lähtuda konkreetsest põllust, kraavist, pinnavormist ja mullakoostisest.

Tuleb läheneda loovalt ja arvestada kõiki etteantud parameetreid ning alati on projekteerijal võimalus võtta aluseks tüüpjoonis ja kohendada seda vastava projekti vajadusest lähtudes. Lisades selle projekti koosseisu või projekti seletuskirjas viidates tüüpjoonistele ja kindlustusetüübile.



Joonis 1.5 Nõlvajalami ja põhja kindlustamine [5]

Lisatud pildid annavad ülevaate teostatud töödest, vastavalt projektis kirjeldatuga.



Pilt 1.1 Valminud kraav tüüp K järgi [6]



Pilt 1.2 Valminud kraav tüüp Kkl järgi [6]

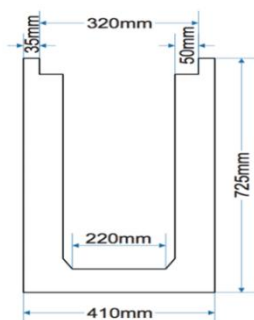
1.1.6 Maailmas toodetavad kaldakindlustus betoonelemendid

Lühiülevaatenäiteks toodis autor välja kõige iseloomulikumad maailmas olemasolevad ja toodetavad betoonelemendid, millest võiks olla töös kasu arendatava betoonelemendi lahendamisel.

Üldjuhul kasutatakse mujal maailmas terasrestiga betoonelemente, mille kuju lubab maateelt sadeveed ära juhtida, nende puhul on üldjuhul kasutuses ka küllaltki massiivsed parameetrid. Joonis 1.6

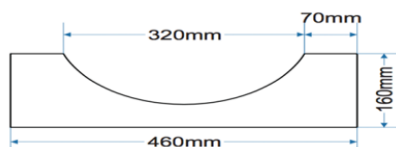
Seetõttu on neid üpris keeruline originaal kujul võtta Eestis maaparandus töodel kasutusele kraavikindlustamiseks.

Meie lahenduse puhul on oluline, et betoonelement paigaldatakse kraavi avatuna, seega antud lahendus ei sobi. Kuid joonis on lisatud ilmestamiseks kasutusel olevaid betoonelemente ning nende levinumaid tüüp lahendusi.



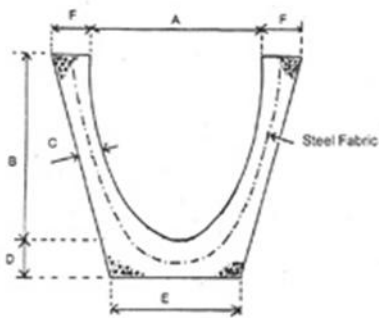
Joonis 1.6 Sademevee voolukanal tsingitud terasrestiga. [7]

Antud lahenduse joonis 1.7 probleemiks on selle betoon elemendi kõrgus 725 mm ja laius 410 mm, sest meie lahenduse puhul on oluline kindlustada kraavipõhja ja nõlvajalamit. Mis peab olema vähemalt 400 mm lai (puhasmõõt) ja nõlvajalami kõrgus peab olema 250 – 400 mm.



Joonis 1.7 Betoonelement sadevee voolukanal [7]

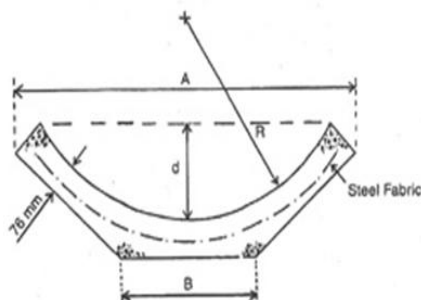
Munakujuline betoonelement ei sobi kuju ja eesmärgi pärast, sest selline betoonelement on mõeldud terve kraavi kindlustamiseks või kanali, ehk siis see on suurte voolu hulkade ära juhtimiseks hetkeliselt. Meie lahendus puhul on oluline, et betoonelement paigaldatakse kraavi, mis on avatud, seega antud lahendus ei sobi.



Joonis 1.8 Munakujuline betoonelement [8]

Erikujuga betoonelemendi probleemiks on selle paigaldus. Meie lahenduse puhul peaks saama elementi paigaldada pinnasele, aga selle elemendi puhul tuleb täiendavalt ette valmistada koht, kuhu see element paigaldatakse, sest nurga ja põhja vaheline täitmine ei ole kuidagi muud moodi võimalik, kui käsitsi.

Lisaks sellele ei sobi ka selle elemendi nõlvus, mis selle puhul on ette antud, kuna meie soovime lahendada probleemi võimalikult laia nõlvusega kraavidel puhul.



Joonis 1.9 Erikujuga betoonelement [8]

2. BETOONELEMENDI ARENDUS

Tähtsamad punktid millele tähelepanu pöörata elemendi arendamisel.

- 1) Vähendada füüsilisetöö osakaalu
- 2) Oleks paigaldatav iga nõlvusega kraavi (muudetava nõlvusega) puhul
- 3) Leida sobiva kuju ja massi tasakaal
- 4) Edasi arendada olemasoleva info põhjal (arendust vana vs uus)
- 5) Majanduslikult kõige soodsam lahendus
- 6) „Maaparandus Tüüpjoonistes 2019“ tulenev, kraavipõhja laius on 40 cm ja kindlustatakse kraavi põhjast mõlemalt poolt 40 cm kõrguseni.

2.1 LAHENDUSED BETOONELEMENDI KUJULE

Lahendusvariantide puhul on kasutatud eelnevalt kasutuses olnud kindlustusplaatide ja raamkindlustuse lahendusvariante. Lähtutud on nii „Maaparandus Tüüpjoonistest 2019“ [5] kui erinevatel aegadel kasutusel olnud kaldakindlustamis tüüpidest [4]. Lahenduste puhul on kaalutud erinevaid plusse ja miinuseid.

2.1.1 Lahendusvariant üks

Lahendusvariant ühe puhul on toote parameetrid järgmised:

- 1) Elemendi küljeplaadi pikkus 1 meeter.

Elemendi pikkus on valitud selliselt, et element oleks mitmel eesmärgil kasutatav, nagu näiteks kraavijalami kindlustamiseks ja truubiotsakute kindlustamiseks. Truubi otsakute puhul on vajalik kindlustada, nii sisse- kui väljavoolu, mis tuleneb „Maaparandus Tüüpjoonistest 2019“. Milles on ära toodud truubi otsakute pikkused, mis vajavad kindlustamist.

Näiteks MAOK kindlustustüübi, truubil siseläbimõõduga 80 cm on see pikkus truubi sissevoolul 1 meeter ja väljavoolu 3,5 meetrit.

- 2) Elemendi küljeplaadi kõrgus on 50 cm ja paksus 10 cm, ning elemendid fikseeritakse omavahel hambaga, mille mõõt on 5 cm. Kõrgus on sellepärast selline, et oleks võimalikult universaalne ja oleks kasutatav

erineval eesmärkil. Ning on võimalik paigaldada tuubi otsakuteks, kuni 1400 cm siseläbimõõduga truupidele.

- 3) Elemendi põhja plaadi laius 60 cm, kasulik laius ehk voolurenn 50 cm ja paksus 10 cm.

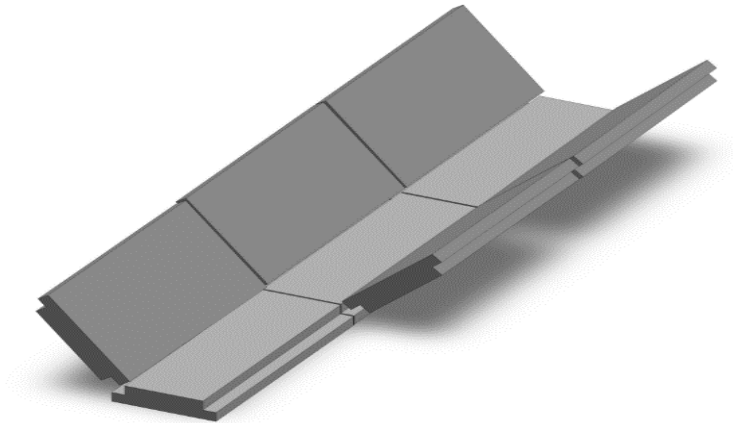
Elemendid fikseeritakse omavahel hambaga, mille mõõt on 5 cm. Laiuse puhul tooks veel välja, et element oleks kasutatav võimalikult suurte valgalade puhul.

Lahendusvariant ühe puhul tooks välja eelised, mis on järgmised:

- 1) Kasutatav eri nõlvustega kraavidel, muudetav nõlvusega.
- 2) Kasutatav erinevat lahenduste puhul (truubi otsakud, nõlvade kindlustamine).

Lahendusvariant ühe puhul tooks välja järgneva miinuse, mis on järgmine:

- 1) Elementide paljusus.



Joonis 2.1 Plaatidega kraavikindlustuse mudel

2.1.2 Lahendusvariant kaks

Lahendusvariant kahe puhul on toote parameetrid järgmised:

- 4) Pikkus 2 meetrit.

Elemendi pikkus on valitud selliselt, et transportimisel oleks võimalik paigaldada risti koormasse, mis on oluline transpordi maksumuse vähendamiseks ja paigaldamise lihtsustamiseks.

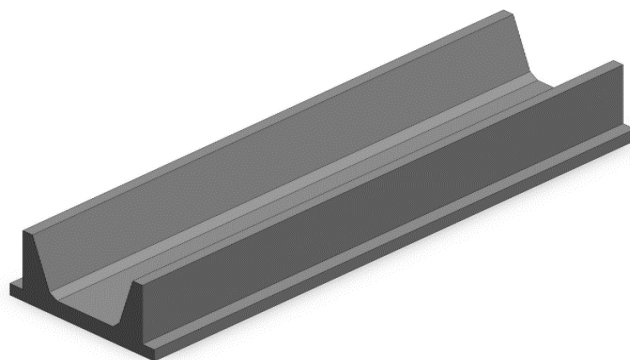
- 5) Kõrgus 35 cm ja kasulik kõrgus ehk voolurenn 27 cm.

Element on sellise kõrgusega, et drenaažisuudmed oleks võimalik juhtida renni. Samuti sellepärast, et maaparandusseadusest tulenevalt on vähim

lubatud kõrguste vahe suudame ja kraavipõhja vahel 20 cm. See on selleks, et vältida suudmete ummistusi.

- 6) Laius 77 cm ja kasulik laius ehk voolurenn 59 cm.

Lisaks sellele on elemendi seina alaosas laiendused, mis tagavad seina püsivuse ja voolurenni puhtuse. Kui voolurenni seintel ei oleks allosa laiendusi, siis jääks sette nurkadesse, mis oma korda tekitaks ummistusi. Maaparandus seadusest tulenevalt peab vähim põhjalaius olema 40 cm. Laiuse puhul tooks veel välja, et element oleks kasutatav võimalikult suurte valgalade puhul ja on võimalik paigaldada tuubi otsakuteks, kuni 50 cm siseläbimõõduga truupidele.



Joonis 2.2 Elemendi mudel

2.1.3 Lahendusvariant kolm

Lahendusvariant kolme puhul on toote parameetrid järgmised:

- 1) Küljeelemendi pikkus 2 meetrit, kõrgus 25 cm ja paksus 8 cm.

Elemendi pikkus on valitud selliselt, et transportimisel oleks võimalik paigaldada risti koormasse (aluseks on võetud sõidusuund ehk siis sõidusuunaga risti), mis on oluline transpordi maksumuse vähendamiseks ja paigaldamise lihtsustamiseks.

- 2) Tugiraami kõrgus 25 cm, laius 67 cm, paksus 15 cm.

Elemendi kõrgus sellepärast sellise kõrgusega, et vähim kõrguste vahe suudame ja kraavipõhja vahel 20 cm, et vältida suudme ummistusi.

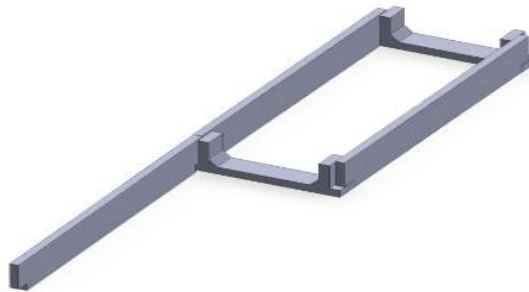
Element oleks kasutatav suurte valgalade puhul ja elemendi paksus on 15 cm sellepärast, et tugiraamidele toetuvad külje elemendid.

Lahendusvariant kolme puhul tooks välja eelise, mis on järgmine:

- 1) Sobib nõlvajalami kindlustamiseks.

Lahendusvariant kolm puhul tooks välja miinused, mis on järgmised:

- 1) Elementide paljusus - neli elementi (kahele meetrile).
- 2) Keerulisem transportida. Elementide rohkuse tõttu.
- 3) Sobib ainult nõlvajalami kindlustamiseks, ei ole võimalik kindlustada kraavipõhja.



Joonis 2.3 Elementide mudel [4] Kohandatud joonis tööautor

2.1.4 Lahendusvariant neli

Lahendusvariant nelja puhul on toote parameetrid järgmised:

- 1) Elemendi pikkus 2 meetrit.

Elemendi pikkus on valitud selliselt, et transportimisel oleks võimalik paigaldada risti koormasse, mis on oluline transpordi maksumuse vähendamiseks ja paigaldamise lihtsustamiseks.

- 2) Elemendi kõrgus 40 cm.

Element on sellise kõrgusega, et drenaazisuudmed oleks võimalik juhtida renni. Samuti sellepärast, et maaparandusseadusest tulenevalt on vähim lubatud kõrguste vahe suudame ja kraavipõhja vahel 20 cm. See on selleks, et vältida suudmete ummistusi.

- 3) Voolurenn puudub, aga on võimalik kasutada, kus puuduvad nõuded, mis on meile sätestatud.

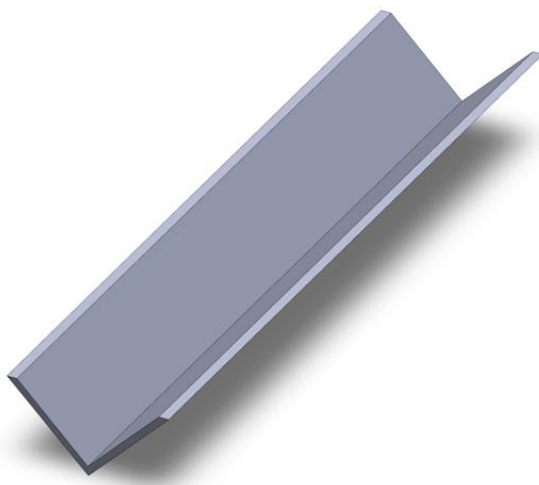
Lahendusvariant nelja puhul tooks välja eelise, mis on järgmine:

- 1) Sobib nõlvajalami kindlustamiseks.

Lahendusvariant nelja puhul tooks välja miinuse, mis on järgmine:

- 1) Element sobilik ainult kindla nõlvusega kraavi.

Meie eesmärk oli kraavipõhja ja jalami kindlustamine ehk siis see lahendus ei sobi.



Joonis 2.4 Elemendi mudel

2.1.5 Valitud betoonelemendi kuju lahendus

Lõplik valik langes lahendus number kahe kasuks, kuna selle kuju rahuldab enamikke meie seatud eesmäärke:

- 1) Paigalduse lihtsus - element koosneb ühest osast.

Elementi on võimalik paigaldada ekskavaatoriga. Teiste kasutatavate kaldakindlustus tüüpide puhul on paigaldusele kuluva töömahu hulk oluliselt suurem.

- 2) Elemendi puhastatavus – tuleneb elemendi kujust.

Küllaltki lihtne elemendi puhastamine settetest käsitsi või ekskavaatori abil. Teistel kaldakindlustus tüüpide puhul on settetest puhastamine küllaltki töö ning ajamahukas.

- 3) Elemendi isepuhastus võime - sile pind ning madal karedusarv.

Elemendil on sile pind ning madal karedusarv (Manningu karedusarv). Võrdluses teiste kaalutud kaldakindlustus tüüpidega.

- 4) Element tagab nõlva jalami ja põhja püsivuse voolusängis suurte vooluhulkade puhul kevadel ja sügisel ning ekstreemsete sademete korral.

2.2 Betoonelemendi materjal

Elemendi materjal langes betooni kasuks, sest:

- 1) Betoonist on võimalik valada meile soovitud elemendi kuju.
- 2) Betoonist valmistatud elementi on lihtne paigaldada - element koosneb ühest osast.
- 3) Betoonist valmistatud elemendi isepuhastus võime - sile pind ning madal karedusarv.
- 4) Betooni kui materjali suur erikaal.

2.2.1 Betoon

Betooni surve- ja tõmbetugevuse suur erinevus ei võimalda tema kasutamist konstruktsiooni kõikides osades samaväärsena. Konstruktsiooni tõmbetsoonides on vaja betooni tugevust tõsta, mida tehakse põhiliselt armeerimisega. Betooni armeerimine tehakse tavaliselt orienteeritud armatuuriga kindlas kohas konstruktsioonis, suurem osa betoonist on armatuurivaba. Armeerimisega kaasneb rida probleeme:

- 1) armatuur tuleb paigutada ja fikseerida kindlasse kohta
- 2) armatuuritööd nõuavad kvalifitseeritud tööjõudu
- 3) pingeaotus ristlõikes ei ole enam ühtlane [9]

2.2.2 Manningu karedusarv

Manningu karedusarv iseloomustab valgala pinnakatte karedust, mis on voolu takistav tegur ja omab otsest mõju pindmise äravoolu kiirusele. Karedusarvud valitakse mudelisse või arvutusvalemitesse vastavalt pinnakattele. [10]

Tabel 2.1 Manningu karedusarvu võrdlus [10]

Pind	Karedus arv n
Sile betoon	0,012
Betoon kate	0,013
Silumata betoon	0,024

2.2.3 Maaparandusseadusest tulenev nõue

Kraaviga seotud rajatised on truup ja ehitusprojektis ettenähtud muu rajatis. Kraaviga seotud rajatise ehitamise betoonitöödel lähtutakse majandus- ja kommunikatsiooniministri 11. aprilli 2015. a määruse nr 101 „Tee ehitamise kvaliteedi nõuded” § 24 lõikes 4 sätestatud nõuetest.

Truupide ja sildade betoonitöödel lähtutakse järgnevast. Nõuded betoonist valmistoodetele on kirjeldatud standardites EVS-EN 14844:2006+A2:2011 [3]

2.2.4 Betoonvalmis toodete standard

EVS-EN 14844:2006+A2:2011 esitab spetsifikatsioonid, põhilised toimivuskriteeriumid ja toimivuse püsivuse hindamise ja kontrollimise (AVCP) korra betoonvalmistoodetele. Standard hõlmab sarrustamata, sarrustatud ja eelpingestatud betoonvalmistooteid, mis vastavad standardile EN 206. Samuti on hõlmatud kiudbetoonid, mille kiud ei mõjuta mehaanilisi omadusi. [11] [12]

2.2.5 Betooni kestvuse projekteerimine vastavalt standardile

Konstruktsioon tuleb projekteerida nii, et tema seisundi halvenemine projekteeritud kasutusea jooksul ei kahjustaks konstruktsiooni kätust rohkem kui eeldatud, arvestades keskkonda ja ettenähtud hooldustaset.

Konstruktsiooni kestvus peab olema tagatud kogu projekteeritud kasutusea jooksul põllumajanduslikud konstruktsioonid on see 15 - 30 aastat. Kestvus oleneb konstruktsiooni ümbritseva keskkonna tingimustest, mis võivad põhjustada sarruse korrosiooni ja kahjustada betooni. Keskkonnamõjurid on betoonile toimivad keemilised ja füüsikalised mõjurid, mille toimet betoonile, sarrusele või tariraudadele ei käsitleta tugevusarvutustes koormustena.

Konstruksiooni kestvuse tagamise üheks aluseks on keskkonnaklassi määratlemine. Kui esinevad külmumis-/sulamistsüklid, siis on klassiks XF3 sellest tulenevalt tuleb kasutada betooni margiga C30/37

Keskkonnaklassidele tuleb ära määratleda ka betooni külmakindluseklass, kuna toode külmub pidevalt, siis on keskkonnaklass XF kk3 ja antud juhul tuleb kasutada betooni margiga C30/37.

Standardi järgi on betoonelemendile kasutatav betooni mark C30/37. [12]

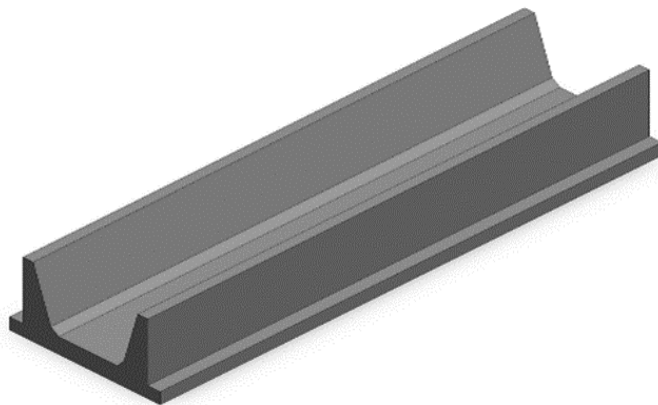
2.2.6 Betoonelemendi lahendus variant kaks tugevusarvutused

Betoonelemendi mõõtmed tulenevad tüüpjoonistest ja maaparandusseadusest, kus on kehtestatud mõõtmed.

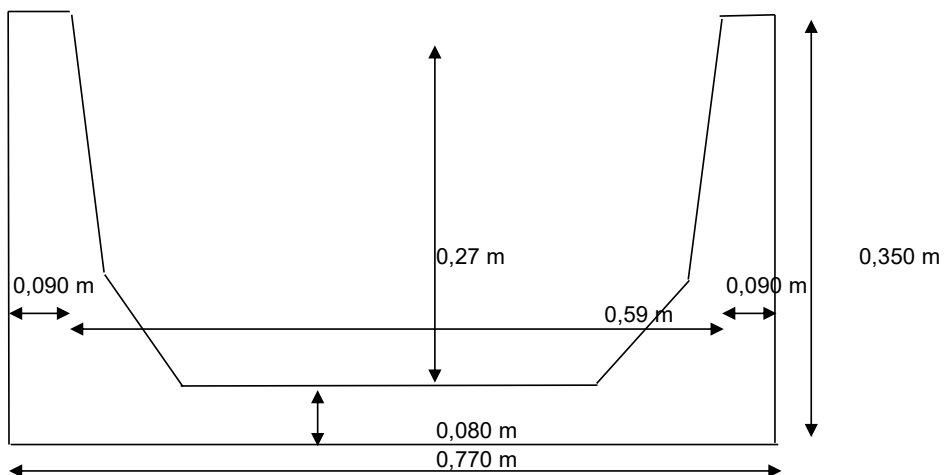
Tüüpjoonistes kindlustatakse kraavipõhja laius on 40 cm ja kindlustatakse kraavi põhjast mõlemalt poolt 40 cm kõrguseni. [5]

Vastavalt EVS-EN 14844:2006+A2:2011 standardile on põllumajanduslikel konstruktsioonide kasutusiga 15 - 30 aastat ja keskkonnategureid arvesse võttes peab olema betooni mark C30/37. [12]

Joonisel 2.5 Lahendusvariant kahe mudel, millele teostame tugevusarvutused.



Joonisel 2.6 On antud betoonelemendi mõõtmed, millele teostame tugevusarvutused.



Joonis 2.6 Projekteeritud betoonelemendi mõõtmed (eskiis)

Betoonelemendi mõõdud:

h - kõrgus = 350 mm

b - laius = 770 mm

b_{sein} - betoonelemendi seinapaksus = 90 mm

h_{alus} - betoonelemendi mudelialusplaadi paksus = 80 mm

Alaliskoormused:

γ_{betoon} - betooni mahukaal = 25 kN/m³

γ_g - alaliskoormuse osavarutegur = 1,20

Normatiivne omakaal:

g_d - betoonmudeli normatiivne omakaal leitakse valemiga

$$\gamma_{betoon} \times h_{sein}$$

$$g_d - 25 \times 0,35 = 8,75 \text{ kN/m}^2$$

g_d - betoonmudeli seinarvutuslik omakaal = g_d, γ_g

$$g_d = 8,75 \times 1,2 = 10,5 \text{ kN/m}^2$$

Betoonmudeli alusplaat arvutatakse valemiga

$$\gamma_{betoon} \times h_{alus}$$

$$\gamma_{betoon} - \text{betooni mahukaal} = 25 \text{ kN/m}^3$$

$$h_{alus} - \text{betoonelemendi mudelialusplaadi paksus} = 80 \text{ mm}$$

$$h_{alus} = 25 \times 0,08 = 2 \text{ kN/m}^2$$

g_{dkokku} - betoonmudeli seinad ja alusplaat kokku

$$g_{dkokku} + h_{alus} = 10,5 + 2 = 12,5 \text{ kN/m}^2$$

g_d - betoonmudeli arvutuslik omakaal

$$g_d, \gamma_g = 12,5 \times 1,2 = 15,625 \text{ kN/m}^2$$

Betoonelemendi laiuse kontroll [13]

q' - pinnasesurve betoonelemendi tasapinnas leitakse valemiga

$$q' = b \gamma'$$

$$q' = 0,77 \times 20 = 15,4 \text{ kN/m}^2$$

kus

$$b - \text{laius} = 770 \text{ mm}$$

$$\gamma' - \text{pinnase keskmine mahukaal} = 20 \text{ kN m}^3$$

Abisuurus a_1 leitakse valemiga:

$$a_1 = 0,5 \gamma' N_y / Y_R$$

$$a_1 = 0,5 \times 18 \times 10,59 / 1,5 = 63,54$$

kus

$$\gamma' - \text{pinnase keskmine mahukaal} = 18 \text{ kN m}^3$$

$$N_c - \text{pinnase omaduste põhjal määratud kandevõimetegur} = 10,59$$

$$Y_R - \text{osavarutegur} = 1,5$$

Abisuurus a_2 leitakse valemiga

$$a_2 = q' N_q + c' N_c / Y_R - d_k Y_k Y_G$$

$$a_2 = 15,4 \times 11,85 + 2 \times 22,25 / 1,5 - 0,35 \times 22 \times 1,2 = 115,22$$

kus

q' - pinnasesurve betoonelemendi tasapinnas = 15,4 kN/m²

N_q - pinnase omaduste põhjal määratud kandevõimetegur = 11,85

c' - m 2 kPa

N_c - pinnase omaduste põhjal määratud kandevõimetegur = 10,59

Y_R - osavarutegur = 1,5

d_k - keskmine süvis = 0,35 m

γ_k - pinnase ja betoonelemendi keskmine mahukaal = 22 kN m³

γ_g - alaliskoormuse osavarutegur = 1,20

Vajalik betoonelemendi laius leitakse valemiga

$$b = \frac{\sqrt{a_2^2 + 4a_1V_1 - a_2}}{2a_1}$$

$$b = \frac{\sqrt{115^2 + 4 \times 63,54 \times 15,625 - 115,22}}{2 \times 63,54} = 0,31 \text{ m}$$

Vajalik betoonelemendi laius 0,31 m

kus

a_2 - abisuurus = 115

a_1 - abisuurus = 63,54

V_1 - koormus betoonelemendile: = 15,625 kN/m²

b - betoonelemendi laius = 0,77 m valime aluseks

Täpsustame betoonelemendi kaalu:

- taldmiku kaal = $0,09 \times 0,77 \times 25 = 1,73 \text{ kN/m}$
- seinad taldmikule = $0,18 \times 0,27 \times 25 = 1,21 \text{ kN/m}$
- pinnas ja alusplaat = $(0,27 + 0,77) \times 1,06/2 \times 20 = 16,64 \text{ kN/m}$
- kokku normatiivne = $1,73 + 1,21 + 16,64 = 19,58 \text{ kN/m}$
- kokku arvutuslik = $1,2 \times 19,58 = 23,50 \text{ kN/m}$
- V_d - koormus kokku : = $15,625 + 23,50 = 39,13 \text{ kN/m}$

Betoonelemendi alusplaadi kandevõime kontroll teostakse valemiga

$$R_d = b \times (0,5 \times \gamma \times b \times N_\gamma + q' N_q + c' \times N_c) / \gamma_r$$

$$R_d = 0,77 \times (0,5 \times 18 \times 0,77 \times 10,59 + 15,4 \times 11,85 + 2 \times 22,25) / 1,5 = 154,19 \text{ kN/m}$$

kus

b - betoon elemendi laius = 0.77

γ' - pinnase keskmine mahukaal = 18 kN m^3

N_c - pinnase omaduste põhjal määratud kandevõimetegur = 10,59

q' - pinnasesurve betoon elemendi tasapinnas = $15,4 \text{ kN/m}^2$

N_q - pinnase omaduste põhjal määratud kandevõimetegur = 11,85

c' - 2 kPa

N_c - pinnase omaduste põhjal määratud kandevõimetegur = 22,25

γ_r - osavarutegur = 1,5

Kuna $R_d = 154,19 \text{ kN/m} > V_d = 39,13 \text{ kN/m}$, siis on betoonelemendi alusplaadi laius piisav.

Arvutuslikud sisejõud:

M_{Ed} – betoonelemendi arvutuslikud sisejõud leitakse valemiga

$$M_{Ed} = (g_d + q_d) L^2 / 8$$

$$= (10,5 + 15,625) \times 2,00^2 / 8 = 13,06 \text{ kNm/m}$$

L - betoonelemendi pikkus: = 2 m

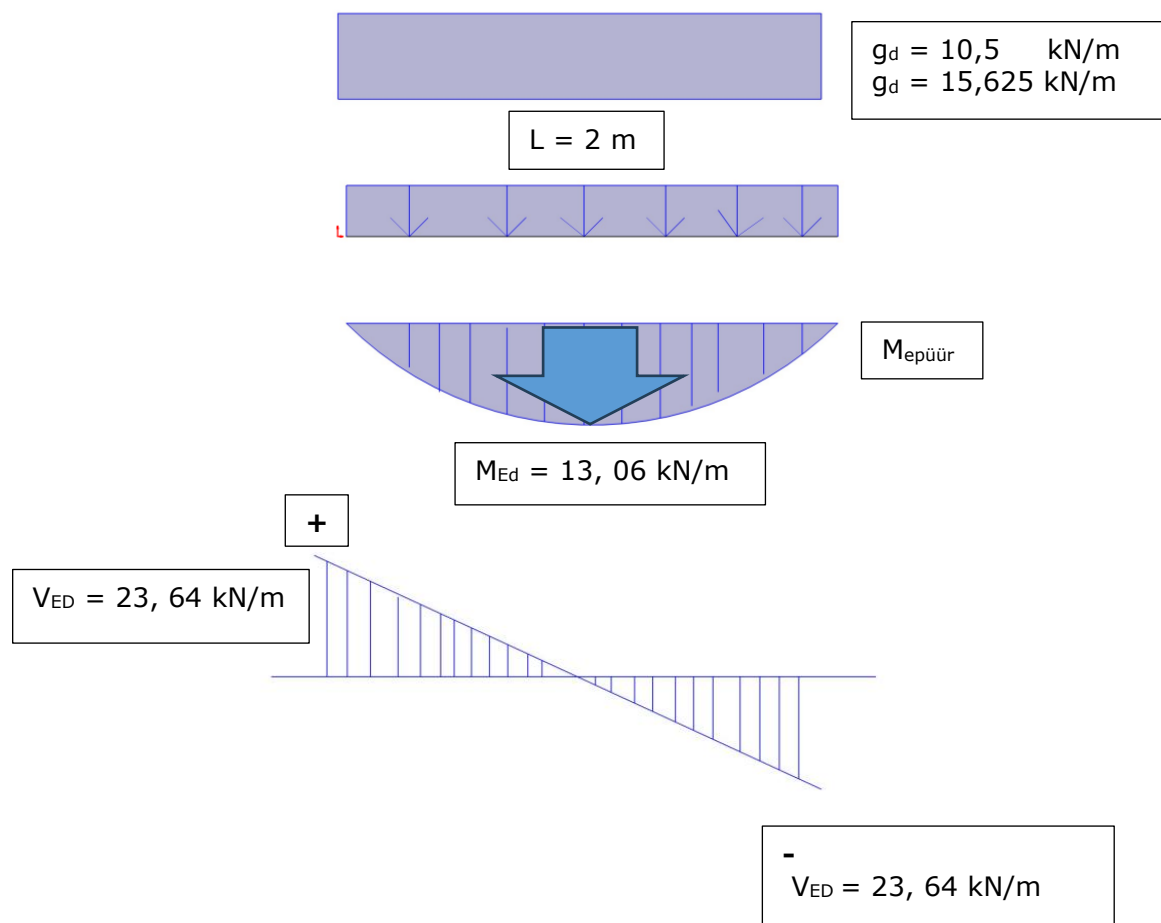
V_{Ed} - betoonelemendi arvutuslikud põikjõud leitakse valemiga

$$V_{Ed} = (g_d + q_d)(L - 2 d) / 2$$

L - betoonelemendi pikkus: = 2 m

$$V_{Ed} = (10,5 + 15,625) \times (2 - 2 \times 0,095) / 2 = 23,64 \text{ kN/m}$$

Betoonelemendi epüür



Joonis 2.7 Betoonelemendi epüür

Betoon:

Betooni survetugevusklass: C30/37

f_{cd} - betooni arvutuslik survetugevus leitakse valemiga

$$f_{cd} = f_{ck} / (a_{cc} \gamma_c)$$

$$f_{cd} = 30 / (1,00 \times 1,50) = 20,00 \text{ N/mm}^2$$

kus

f_{ck} - betooni normatiivne survetugevus = $30,0 \text{ N/mm}^2$

a_{cc} - betooni tugevusele ebasoodsaid mõjusid arvestav tegur $a_{cc} = 1,00$

γ_c - betooni osavarutegur = $1,50$

Tõmbesarrus:

Tõmbesarruse tugevusklass: 500 A

Tõmbesarruse arvutuslik voolupiir leitakse valemiga

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$$

$$f_{yd} = 500 / 1,15 = 435 \text{ N/mm}^2$$

kus

$$f_{yk} - \text{tõmbesarruse normatiivne voolupiir} = 500 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_s - \text{tõmbesarruse osavarutegur} = 1,15$$

Tõmbevarraste arv 1 m laiusel ühikribal:

$$n = b / s = 1000 / 200 = 5 \text{ tk}$$

$$s - \text{tõmbesarruse samm} = 200 \text{ mm}$$

$$b - \text{ühikriba laius} = 1000 \text{ mm}$$

A_{s1} - Tõmbesarruse pindala 1 m laiusel ühikribal leitakse valemiga

$$A_{s1} = n \pi (\emptyset / 2)^2$$

$$A_{s1} = 5 \times 3,142 \times (6 / 2)^2 = 141,39 \text{ mm}^2$$

$$n - \text{tõmbevarraste arv 1 m laiusel ühikribal} = 5 \text{ tk}$$

$$n - \text{Pii väärtus } n = 3,142$$

$$\emptyset - \text{tõmbesarruse läbimõõt} = 6 \text{ mm}$$

Paindekontroll: (1 m laiusele ühikribale)

Survetsooni kõrgust arvutatakse valemiga

$$x = f_{yd} A_{s1} / (0,8 f_{cd} b)$$

$$x = 435 \times 141 / (0,8 \times 20,00 \times 1000) = 3,83 \text{ mm}$$

kus

$$f_{yd} - \text{tõmbesarruse arvutuslik voolupiir} = 435 \text{ N/mm}^2$$

A_{s1} - tõmbesarruse pindala 1 m laiusel ühikribal = 141,39 mm²

f_{cd} - betooni arvutuslik survetugevus = 20,00 N/mm²

b - ühikriba laius = 1000 mm

ξ_c - survetsooni suhteline piirkõrgus = 0,617

Ristlõike kasus kõrgus paindekandevõime määramisel kasutatakse valemit

$$d_1 = h - c_{nom} - \emptyset / 2$$

$$d_1 = 35 - 20 - 6 / 2 = 12 \text{ mm}$$

kus

h - betoonelemendi kõrgus = 350 mm

c_{nom} - tõmbesarruse nimikaitsekiht = 20 mm

$\emptyset$ - tõmbesarruse läbimõõt = 6 mm

Survetsooni kõrguse kontroll

$$x = 3,83 \text{ mm} < \xi_c \quad d_1 = 0,617 \times 3,83 = 2,36 \text{ mm}$$

y - survetsooni arvutuskõrgus leitakse valemiga

$$y = 0,8 \times$$

$$y = 0,8 \times 3,83 = 1,89 \text{ mm}$$

ξ_c - survetsooni suhteline piirkõrgus = 0,617

M_{Rd} = arvutuslik paindekandevõime arvutatakse valemiga

$$M_{Rd} = f_{cd} b y (d_1 - 0,5 y)$$

$$M_{Rd} = 20,00 \times 1000 \times 1,89 \times (12 - 0,5 \times 1,89) = 417879 \text{ Nmm} = 41,79 \text{ kNm}$$

kus

f_{cd} - betooni arvutuslik survetugevus = 20,00 N/mm²

b - ühikriba laius = 1000 mm

y - survetsooni arvutuskõrgus = 1,89 mm

d_1 - survetsooni kõrguse = 12 mm

Paindekontroll:

Betoonelemendi arvutuslik paindemoment: $M_{Ed} = 13,06$ kNm/m

Betoonelemendi arvutuslik paindekandevõime: $M_{Rd} = 41,79$ kNm/m

$M_{Rd} - \text{paindekontroll} = 41,79 \text{ kNm/m} < M_{Ed} = 13,06 \text{ kNm/m} = >$ betoonelemendi paindekandevõime on tagatud.

Põikjõukontroll: (1 m laiusele ühikribale)

Ristlõike kasus kõrgus põikjõukandevõime leitakse valemiga

$$h - c_{nom} - \emptyset / 2 = 35 - 20 - 6 / 2 = 12 \text{ mm}$$

kus

c_{nom} - tõmbesarruse nimikaitsekiht = 20 mm

h - betoonelemendi kõrgus = 350 mm

$\emptyset$ - tõmbesarruse läbimõõt = 6 mm

Abitegurid:

$C_{Rd,c}$ – abitegur leitakse valemiga

$$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c$$

$$C_{Rd,c} = 0,18 / 1,50 = 0,12$$

kus

γ_c - muutuvkoormuse osavarutegur = 1,50

k - konstant leitakse valemiga

$$k = 1 + (200 / d)^{0,5}$$

$$k = 1 + (200 / 12)^{0,5} = 5,08 > 5,00 \Rightarrow k = 5,00$$

kus

d - ristlõike kasus kõrgus põikjõukandevõime = 12 mm

v_{min} - minimaalne nihketugevus leitakse valemiga

$$v_{min} = 0,035 k^{1,5} f_{ck}^{0,5}$$

$$v_{min} = 0,035 \times 5,0^{1,5} \times 30^{0,5} = 0,4286 \text{ N/mm}^2$$

kus

k - konstant = 5,00

f_{ck} - betooni normatiivne survetugevus = 30,0 N/mm²

ρ_1 - piki armeerimise tegur leitakse valemiga

$$\rho_1 = A_{s1} / (b d)$$

$$\rho_1 = 141.39 / (1000 \times 12) = 0,0117825 < 0,02$$

kus

A_{s1} - tõmbesarruse pindala 1 m laiusel ühikribal = 141,39 mm²

b - ühikriba laius = 1000 mm

d - ristlõike kasus kõrgus põikjõukandevõime = 12 mm

σ_{cp} - keskmine normaalpinge leitakse valemiga

$$\sigma_{cp} = (N_{Ed} + P_d) / A_c$$

$$\sigma_{cp} = (0 + 0) / 120000 = 0$$

kus

N_{Ed} - arvutuslik koormuse põhjustatud piki jõud lõikes = 0

P_d - arvutuslik eelpingestusjõud lõikes = 0

$V_{Rd,c,min}$ - põikjõukandevõime miinimumväärtus leitakse valemiga

$$V_{Rd,c,min} = (v_{min} + 0,15 \sigma_{cp}) b d$$

$$V_{Rd,c,min} = (0,4286 + 0) \times 1000 \times 12 = 5143 \text{ N} = 5,1 \text{ kN}$$

kus

v_{min} - minimaalne nihketugevus = 0,4286 N/mm²

σ_{cp} - keskmine normaalpinge = 0

b - ühikriba laius = 1000 mm

d - ristlõike kasus kõrgus põikjõukandevõime = 12 mm

Põikjõukontroll

Põikjõukontroll teostatakse valemiga

$$R_{d,C} = [C_{Rd,C} k (100 \rho_1 f_{ck})^{1/3} + 0,15 \sigma_{cp}] b d$$

$$R_{d,C} = [0,12 \times 5,00 \times (100 \times 0,0117825 \times 30)^{1/3} + 0,15 \times 0] \times 1000 \times 12 = 23601$$
$$N = 23,6 \text{ kN}$$

kus

$C_{Rd,C}$ - abitegur = 0,12

k - konstant = 5,00

ρ_1 - piki armeerimise tegur = 0,0117825

f_{ck} - betooni normatiivne survetugevus = 30,0 N/mm²

σ_{cp} - keskmine normaalpinge = 0

b - ühikriba laius = 1000 mm

d - ristlõike kasus kõrgus põikjõukandevõime = 12 mm

$$V_{Ed} = \text{betoon elemendi põikjõud: } 23,64 \text{ kN/m}$$

$V_{Rd,C,min}$ - põikjõukontroll 23,6 kN/m > $V_{Ed} = 23,64 \text{ kN/m} \Rightarrow$ betoonelemendi põikjõukandevõime ei ole tagatud.

2.3 Vormimaterjal ja valmistustehnoloogia

Betoonivormi valmistamiseks võib kasutada erinevaid materjale, kuid need peavad vastavad nõuetele, mis on järgmised:

- 1) Mittepoorne
- 2) Ei tohi reageeri betooniga
- 3) Veekindel

Betooni valuvormide valmistamiseks kasutatakse enamasti alljärgnevaid materjale:

- 1) Puit, mis on kergesti töödeldav ja suhteliselt odav, ning on võimalik valmistada eri suuruste ja kujuga elemente.
- 2) Metall, on vastupidav, ning korduvkasutatav, mis talub hästi betooni massi.
- 3) Plastik, on kerged, ning on võimalik valmistada keerukaid elemente.
- 4) Polüuretaan või silikoon, sest need sobivad hästi detailsete ja keeruliste kujude jaoks.

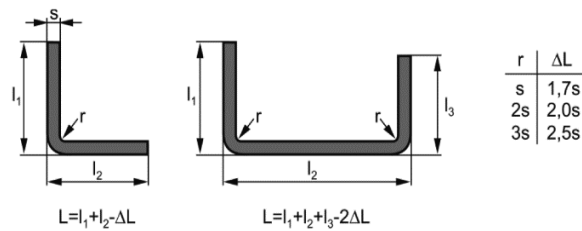
Valik sõltub projekti nõuetest, eelarvest ja vormide korduvkasutuse vajadusest. Ehituses eelistatakse metallist või spetsiaalsetest plastikust vorme. Nende pikema eluea ja vastupidavuse tõttu.

Vormimaterjali valikul lähtuti sellest, et betooni valuvorm on võimalikult vastupidav ja korduv kasutatav. Oleks lihtne valmistada, kasutada ja mille valmistamis kulud ei ületaks etteantud piire.

Kõige sobivamaks osutus lehtmetailteras margiga S235, mille omadused vastavad meie ootustele. Osad vormivalmistamiseks vajaminevad detailid painutatakse ja keevitatakse.

All järgnevalt on ära toodud olulised punktid, millele tuleb painutamisel tähelepanu pöörata.

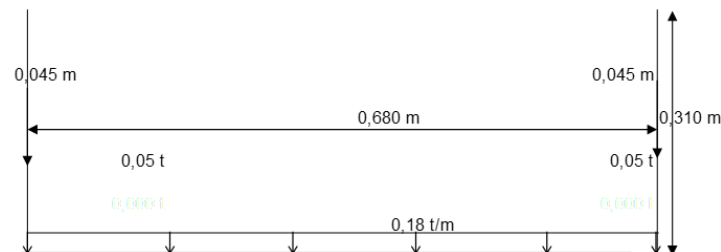
- 1) Tooriku pikkuse L arvutamisel tuleb arvesse võtta seda, et tingituna materjali kohalikust pikenemisest paindekohas ei asetse neutraalkiht (neutraaljoon) paindekoha keskel. Pikenemine on tooriku paksuse s ja painderaadiuse r funktsioon. On esitatud üks võimalikest tooriku pikkuse L arvutusmeetoditest.
- 2) Painutatud stantsise konstruktsiooni puudutav tegur on ära painutatava osa minimaalne õlg. Õla pikkus ei tohiks olla väiksem kui $1,5s+r$.
- 3) Painutustehnoloogia projekteerimisel arvesse võtta elastset järelmõju paindenurga mõningast suurenemist pärast deformeerimist. [14]



Joonis 2.8 Tooriku pikkuse arvutamine [14]

2.3.1 Lehtmetall vormianalüüs

Vormile mõjub jõud, ehk siis valubetoon, mille kaal on arvestuse järgi 560 kg. Selle ümber teisendamisel saame, et vormimetallile mõjuvad jõud on 5491,72 N. Selle arvutuskäik on järgmine:



Joonis 2.9 Betoonelemendi raskus (tonn/meeter)

Betoonelemendi kaal on joonisel esitatud on meetri kohta ehk siis 180 kg + 50 kg + 50 kg = 280 kg, kuna betoonelemendi pikkus on 2 meetri, siis saadud summa tuleb korrutada 2.

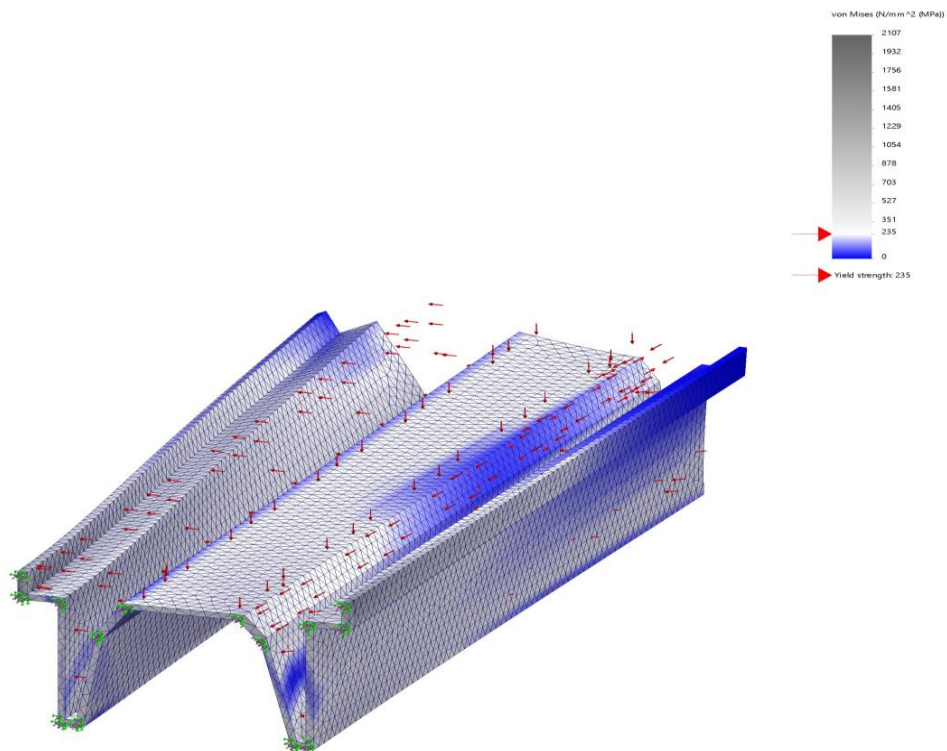
$$280 \times 2 = 560 \text{ kg}$$

$$1 \text{ kg} = 9,80665 \text{ N}$$

$$F_{Jõud} - \text{vormimetallile mõjuvad jõud} = 560 \text{ kg} \times 9,80665 \text{ N} = 5491,72 \text{ N}$$

Vormianalüüsis kasutame lehtmetalli margiga S235 mille tehnilised näitajad on järgmised:

- 1) Tõmbetugevus MPa = 360-510 (N/mm²)
- 2) Elastsuspiir, R 0,2 min = 235 (MPa)
- 3) Brinell tugevus = max 100-154 HB



Joonis 2.10 Solidworks-i nihkepinge simulatsioon, koos jõudude asetsemisega vormipinnal.

Tabel 2.2 Solidworks-i nihkepinge simulatsioonis mõjuvad jõud

Jõud telgedel (N)	Valitud jõud (N)	Terve mudelile(N)
x - teljel	2574,1	13126
Y - teljel	1260,6	6284,3
Z - teljel	4588,4	250,02
Kokku (N)	5410,1	14555

Vormile mõjuvad jõud kokku on 14555 N, mis ümberarvestatult vastab 1484,19 kg. See on piisav, et vältida fataalset deformatsiooni.

Lehtmetall vormialalüüsis kasutatud jõud on paigutatud selliselt, et kui vastujõudusid ei ole, siis on jooniselt ilmekalt näha kuidas materjal käitub ehk kuidas betoonelemendi vorm deformeerub.

Kui lisada vastujõud, siis vormimaterjal ei deformeeru selliselt nagu me nihkepind simulatsioonis näeme.

Vormimaterjali paksusena analüüsiti 5 millimeetri paksust lehtmetsa terast (margiga S235). Simulatsiooni tulemustes võib järeldada, et etteantud jõududega käitub materjal meile sobivalt, ning antud materjal sobib betoon valuvormi valmistamiseks.

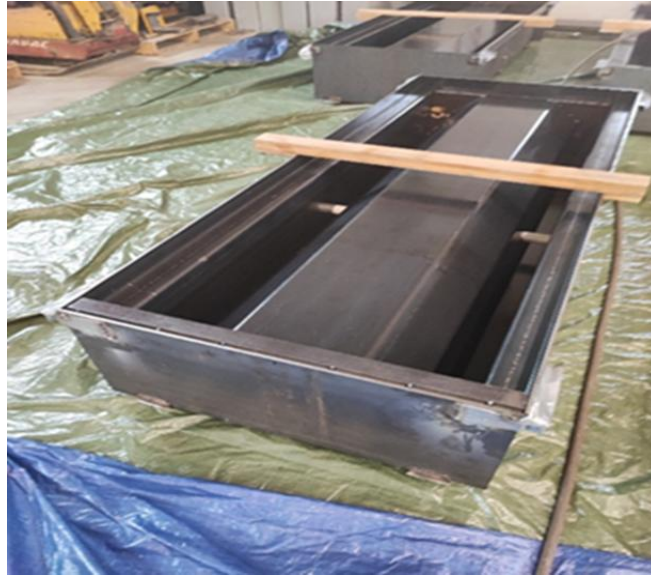
2.3.2 Valminud lehtmetsalist betoon valuvorm

Lehtmetsa betoon valuvorm on koostatud nii, et betoonielement on võimalik välja tõsta. Vormiseinad on hingedel, mis on keevitatud lehtmetsa korpuse külge, vormi ülaosas on portelukk ja vastus (Pilt 3.1), mille abil on võimalik otsa ja külje plaate avada ning sulgeda.



Pilt 2.1 Portelukk ja vastus [15]

Enne betoonielemendi valamist tuleb valuvormi töödelda vormiõliga. See vähendab betooni naket, kuna vastasel korral ei ole võimalik pärast betooni tahenemist betoonielementi vormist eemaldada ja lehtvormi pinnale jääb valubetooni jääke. Õli kantakse valuvormile pritsiga. Betoonielemendi valamise ajal, et saavutada parem betoonielemendi valuvormi täituvus ja tihedus kasutatakse vibronuia.



Pilt 2.2 Valminud valuvorm vaade [6]



Pilt 2.3 Valminud valuvormi küljevaade [6]

2.3.3 Probleemid betoonelemendi kasutamisel

Betoonelemendid võivad praguneda ja puruneda nii oskamatul käsitsemisel kui ka vormist välja võttes liiga lühikese kivinemisaja tõttu.

Probleeme võib esineda ka betoonelementide täpsusega tulenedes sellest, et betoonvalu vormid ei olnud betooni valades tasasel pinnal ja on esinenud kaardumisi ja betoondetaili põhja ebatäpsusi, mis omakorda teeb paigaldamise oluliselt keerulisemaks.

Seetõttu kannatab ka kraavi visuaalne pool, kui elemendid ei ole ühel kõrgusel ja järjestiku või on kaardus.

2.3.4 Betoonelemendi paigaldus protsessi kirjeldus.

Tulenevalt betoonelementide massiivsusest kasutatakse elementide paigalduseks ekskavaatorit. Seetõttu väheneb elementide kasutamisega ka füüsilise töö osakaal, mis on eelis võrreldes teiste kasutatavate kraavikindlustamis viisidega.

Ekskavaatorit kasutakse ka kraavipõhjale pikiprofiili andmiseks, seda võimaldab RTK GNSS lahendus mis võimaldab töid teostada mõne sentimeetri täpsusega. Mis muudab paigaldus protsessi oluliselt efektiivsemaks ja seega vähenevad inimlikud eksimused.

Selleks et betoonelemente oleks võimalik kiiresti ja efektiivselt transportida kasutatakse spetsiaalseid haaratseid, mis teeb betoonelemendi käsitlemise oluliselt lihtsamaks. (Haaratsid betoonielementide tõstmiseks)



Pilt 2.4 Haaratsid betoonielementide tõstmiseks [16]

Töökoormus: 2000 kg

Haardevahemik: 60mm – 120mm

Kaal: 27,4 kg

2.3.5 Betoonelementidega kindlustatud kraav

Objekti asukoht Pärnumaal, Kilingi - Nõmmes tellijaks oli OÜ Laanepuu. Rahastus projekti läbiviimiseks tuli Eesti maaelu arengukava (MAK) 2014–2020 meede 4.1.

Projekti kohaselt oli ette nähtud laudkindlustus, siis maapinnast tulenevalt ei olnud võimalik paigaldada laudkindlustust, sest kraavi alumistes pinna kihtides oli rähane. Maapinnast tulenevalt ei olnud võimalik laudkindlustuse vaiasid paigaldada.

All olevalt pildid on võimalik näha kraavi olukorda enne tööde alustamist.



Pilt 2.5 Enne projektis oleva tööde teostamist (Pildi autor Hardi Lüüdik, 20.04.2022, Pärnu maakond, Saarde vald, Leipste küla)



Pilt 2.6 Pärast betoonelementide paigaldamist kraavi ja tööde (Pildi autor Hardi Lüüdik, 19.10.2022, Pärnu maakond, Saarde vald, Leipste küla)

2.3.6 Betoonelementide arendused

Betoonelementide arendamisel on olulist rõhku pandud sellel, et tooted oleks oma vahel kombineeritavad ning töid oleks lihtsam ja efektiivsem teostada.

Pildile olev betoonelemendist suudmeplaat, mis oleks projekti järgi pidanud olema maakividega laotud, aga asendati betoonplaadiga. Suudme avade läbimõõdud kirjeldatakse tööprojekti.

Betoonelemendi suudmeava on valitud selliselt, et seda betoonelementi on võimalik paigaldada enam levinud suudme läbimõõtudele. Ava on läbimõõdus 315 mm. On täidetud maakividega see tuleneb sellest, et suue on väiksem kui detailis olev ava suudme läbimõõt on 125 mm.

Lisaks on plaadil veel 5 cm aste millega on võimalik tooteid oma vahel fikseerida nagu allolevalt pildid näha.



Pilt 2.7 Betoonplaat avaga 315 mm [6]

Sellel pildil on võimalik näha erinevaid kombinatsioone ehk siin on tegemist betoon elemendi ja nõlvaplaatide kasutamisest projekti järgi on ettenähtud kraavide kindlustamine laudkindlustusega ja truubiots peaks olema laotud maakividest. Projekti muudatusena on lahendatud betoonelementidega ja maakividega.

Betoonelemente on võimalik paigaldada kindlustusplaatidega, kui on vajadus kindlustada kraavinõlvu ja lisa võimalusena betoonelementidest on võimalik kindlustada truupide D 300 kuni 500 mm sisse- ja väljavoolu.

Truubiotsakul on kasutatud selle pärast maakive, et plaatidele ei ole võimalik anda sellist kuju, mis sobiks kõikide kallete ja nurkadega.



Pilt 2.8 Kindlustatud kraav betoonelementidega ja maakiviga [6]

Suudmeplaatide erinev kasutamise võimalus ehk siin on kasutatud projektist tulenevalt teist lahendust, sama suudmeplaat avaläbimõõduga 315 mm.

Siin on suue väiksem välise läbimõõduga 200 mm, kui 315 mm. Betoonplaadi ja plasttoru vahele jääv vahe on täidetud paekivisõelmetega või sobiva fraktsiooniga maakividega. See kindlustab omakorda selle, et kõrgvee ajal ei hakkaks suudmetoru liikuma ega ummistuks ja oleks drenaazisüsteemist tulevate vee koguaeg avatud.



Pilt 2.9 Kindlustatud suue betoonplaadiga avaga 315 mm Kõrtsi oja [6]

3. BETOONELEMENDI MAJANDUSLIK ANALÜÜS

3.1 ÜHIKU OMAHIND

Ühiku soetusmaksumus ehk ühiku omahind saadakse ühiku tootmisel kasutatud ressursi hulga jagamisel ühikute arvuga.

Omahinna puhul on seega tegemist keskmisega, mis sõltub kahest tegurist: kasutatud ressursside summast ja toodetud tooteühikud. Enamlevinud omahinna kategooriad on:

tootmisomahind – tootmiskulud ühiku kohta,

täisomahind ehk kogu väärtusahela kulud ühiku kohta.

Tootmisomahinna koosseis on määratud finantsraamatupidamist reguleerivate seadustega. [17]

3.1.1 Betoonelemendi arenduskulu

Betoonelemendi arenduskulusid on keeruline arvestada kuna neid ei ole võimalik väga täpselt määratlada. Kuid palju otseselt tööaega kulus seda näeb tabelist 3.2 on informatiivne.

Töötunni maksumuseks kogu majandusliku analüüsi peatükis on arvestatud 15 eurot, milles sisalduvad maksud, mis on toodud välja allolevas tabelis.

Tabel 3.1 Tööandja kulu

Nimetus	Summa
Tööandja kulu kokku	14,99 €
Sotsiaalmaks	3,70 €
Töötuskindlustusmakse (tööandja)	0,09 €
Brutopalk	11,20 €
Kogumispension (teine samm)	0,22 €
Töötuskindlustusmakse (töötaja)	0,18 €
Tulumaks (vastavalt aastast teenitud tulule)	€
Netopalk	10,80 €

Tabel 3.2 Betoonelemendi arenduskulu

Nimetus	Töötunnid/Ühik	Maksumus/ühik	Summa
Toote analüüs	120	15	1800 €
Joonestamine	20	15	300 €
Vormi lõplik valik	15	15	225 €
Vormide koostamine	Komplekt	1	2400 €
Materjalid	Komplekt	1	6000 €
Arenduse hind kokku			10725€

3.1.2 Toote omahind

Toote omahinna arvutamisel on lähtutud kõikidest kuludest ehk tabel 3.3 kajastab täisomahinda.

Tabel 3.3 Tooteomahind

Nimetus	Töötunnid/Ühik	Maksumus	Summa
Valubeton	3 m ³	50	150 €
Vormide ettevalmistus	2	9	18 €
Valamine 20 tk	3	15	45 €
Vormidest väljavõtmine puhastamine	2	9	30 €
Toote omahind kokku			243 €

3.1.3 Transpordi maksumus

Transpordi maksumuses on arvestatud 2 laadimiskorda, sest esimene kord tõstetakse betoonelementi autole ning teinekord on maha laadimine objektil. Transpordi maksumuses olen arvestanud keskmise objekti kaugusega, mis on algpunktist 40 kilomeetrit ja lisaks mahalaadimis aeg, mis on reeglina 2 tundi.

Tabel 3.4 Transpordi maksumus

Nimetus	Töötunnid/Ühik	Maksumus	Summa
Laadimine 2 korda	6	15	90 €
Transport	Ühik	300	300 €
Transpordi maksumus kokku		390	390 €

3.1.4 Ekskavaatori kulud paigaldusele

Kuna töövahendid on olulise tähtsuga, siis siinkohal on välja toodud kogu kulu ehk kulu kajastab täisomahinda ekskavaatoril. Arvestatud on ekskavaatori soetushinda kuni amortiseerimiseni (raamatupidamislikult), mis ei tähenda, et tehnikat ei ole võimalik edasi käidelda.

Tabel 3.5 Ekskavaatori kulud

Nimetus	Ühik	Summa
Ostuhind	€	78000,00
Tööressurss	h	8000,00
Aastane töömaht	h	1300,00
Kasutusaeg	aasta	6,00
Laenu suurus	€	39000,00
Laenu intress	%	3,00
Korrashoiukulud	%	6,00
Masina kindlustus	%	2,00
Masina tootlikkus	m/h	15,00
Ettevõtte üldkulud	%	5,00
Ettenägemata kulud (risk)	%	2,00
Kasum	%	7,00
Käibemaks	%	22,00
Kulum	€/h	9,80
Intress	€/h	0,50
Korrashoid	€/h	3,60
Kindlustus	€/h	0,60
Ekskavaatori kulud kokku	€/h	23,70

3.1.5 Betoonelemendi ühiku kogumaksumus paigaldatuna

Betoonelemendi oma- ning paigaldushinnale on lisatud juurde arvutuslik transpordi hind objektile, kuna tegu on olulise komponendiga võrdlemaks ja hindamaks meie alternatiivse lahenduse majanduslikku tasuvust maakividest kindlustuse rajamise maksumusega.

Tabel 3.6 Betoonelemendi paigaldus maksumus

Nimetus	Töötunnid/Ühik	Summa
Toote arenduse maksumus (Tabel 3.2)	m	3,575 €
Betoonelemendi paigaldushind	m	4,56 €
Toote omahind (Tabel 3.3)	m	12,15 €
Transport ühikukohta (Tabel 3.4)	km/m	6,5 €
Ekskavaatori kulud (Tabel 3.5)	tund	23,7 €
Meetri hind kokku		50,485 €

3.1.6 Maakivikindlustus maksumus

Nagu tabel 3.7 lähtub on kaldakindlustusel maakivide kasutamisel kõige suuremaks kuluallikaks vaid paigalduse hind, sest ajaliselt on see väga töömahukas, kuna iga kivi peab paigaldama käsitsi. Sellest tulenevalt ka suuremad kulud tööjõule ja vajadusel peab veel kive sorteerima õigesse fraktsiooni. Maakivi keskmine hind on 25 eurot tonn. Maakivide hinnale lisandub ka transpordi maksumus mis tõstab antud lahenduse hinda. Kindlasti on olemas ka erikokkulepped mis alandavad oluliselt maakivide omahinda, aga praeguses arvestuses seda kasutatud ei ole. Maakivide kuupmeetri keskmiseks erikaaluks loetakse kaks tonni.

Loodusliku maakivi paigalduse puhul on väga keeruline täpselt määrata vajaminevat kogust, kuna kivide fraktsioon varieerub kuid keskmiselt saab ühest kuupmeetrist maakividest laotud 3 kuni 4 ruutmeetrit maakivikindlustust.

Tabel 3.7 Maakivikindlustus

Nimetus	Töötunnid/Materjal	Summa
Paigalduse maksumus	2	24 €
Maakivide maksumus	1	12,15 €
Ekskavaatori maksumus	1	23,7 €
Meetri maksumus kokku		59,85 €

3.1.7 Killustik kindlustus maksumus

All olevas tabelis on toodud ära selle kindlustustüübi maksumus koos paigaldusega. Ekskavaatori tunnihind on eelnevalt välja arvestatud tabelis 3.5.

Tabel 3.8 Killustikkindlustus maksumus

Nimetus	Töötunnid/Materjal	Summa
Paigalduse maksumus	2	18 €
Killustikkindlustuse maksumus	12,15	12,15 €
Ekskavaatori maksumus	1	23,7 €
Meetri maksumus kokku		53,85 €

3.1.8 Hinnavõrdlus eri kaldakindlustus tüüpide vahel

All olevas tabelis 3.9 on võrreldud eri kaldakindlustus tüüpe ja arvestuse aluseks on ühiku omahind koos paigaldusega.

Betoonelemendi paigaldus on võrdluse tulemusel majanduslikult kõige soodsam. Teiste kindlustamis tüüpidega võrreldes, ning selle lahendusega on võimalik pakkuda klientidele soodsamat lahendust. Samuti on oluline, et see lahendus vähendab füüsilisetöö osakaalu. Mis oli meie eesmärk toodet arendama hakates.

Tabel 3.9 Hinnavõrdlus

Nimetus	Summa
Betoonelemendi paigalduse maksumus (Tabel 3.6)	50,49 €
Maakivikindlustus (Tabel 3.7)	59,85 €
Killustikkindlustus (Tabel 3.8)	53,85 €

Tabelist lähtub, et kaldakindlustamise puhul on tegemist suure kuluga ja maaomaniku/põllumehe seisukohalt on tegemist investeeringuga. Kraavide kindlustamine toob kokkuhoiu igas mõttes, sest puudub vajadus igal aastal kraave settest puhastada ja seoses sellega töötavad drenaažisüsteemid tõhusamalt. Oluliselt väheneb põldudel liigniiskeid alasi ja üleujutusi. Mis annab võimaluse põllukultuure varem külvata.

Kokkuvõtvalt, kuigi maksumus on muljetavaldav, siis iga lõigu kindlustamine kraavis ei ole ka vajalik. Üldjuhul kindlustatakse vajaduspõhiselt ja ühe kraavilõigu kindlustamine võib anda oluliselt majandusliku kasu. Investeeringud on üldjuhul pikaaegsed.

KOKKUVÕTE

Magistritöö esimese peatükis vaadeldaks Eestis kasutatud ja hetkel kasutatavaid kaldakindlustus lahendusi. Samuti antakse lühike ülevaade mujal maailmas kasutavatest lahendustest. Lisatud juurde veel kommentaarid, miks need lahendus ei sobi meile.

Magistritöö teises peatükis vaadeldakse kaldakindlustusele esitatavaid nõudeid ja parameetreid ning tutvutakse projekteerimiseks vajalike standarditega ja võrreldi nelja erinevat kaldakindlustus lahendust, millest valiti välja parim.

Elemendi arendamisel pöörati tähelepanu järgmistele punktidele:

- 1) Vähendada füüsilisetöö osakaalu
- 2) Oleks paigaldatav igasuguse nõlvusega kraav
- 3) Leida sobiv kuju ja massi tasakaal
- 4) Edasi arendada olemas oleva info põhjal arendust vana vs uus
- 5) Majanduslikult kõige soodsama lahendus

Olid töös erinevad vormikujud. Lõplik valik langes kuju number kaks (Joonis 2.2) kasuks kuna see rahuldab enamike meie seatud eesmärgi mis on eraldi välja toodud alljärgnevate punktidenä:

- 1) Paigalduse lihtsus - element koosneb ühest osast. Elementi on võimalik paigaldada ekskavaatoriga.
- 2) Elemendi puhastatavus – tulenevalt elemendi kujust.
- 3) Elemendi isepuhastus võime - sile pind ning madal karedusarv.
- 4) Element tagab nõlva jalami ja põhja püsivuse voolusängis suurte vooluhulkade puhul kevadel sügisel ning ekstreemsete sademete korral.
- 5) Majanduslikult mõttekas betoonelement.

Materjaliks valiti armeeritud betoon ja elemendile teostati vajalikud arvutused. Arendatud betoonelemendid tagavad nõlvajalami ja põhja stabiilsuse on lihtsalt paigaldatav, ning ajaliselt püsivad. Samuti majanduslikult soodsamad võrreldes seni kasutatud lahendustega.

Magistritöö käigus väljaarendatud optimaalne betoonelemendi lahendus kraavi kaldakindlustuseks vastab maaparandus valdkonna nõuetele, tagab kraavi nõlvajalami ja põhja stabiilsuse võimalikult vähesel materjali ning tööjõu kuluga.

Kaldakindlustus betoonelementi on võimalik veelgi edasi arendada. Näiteks asendada raudbetoon kiudbetooniga ja sellest tulevalt teostada elemendi kuju, mahu- ning majanduslik analüüs. Momendil kasutuses olevad betoonelemendid, võivad vajada täiendust aja möödudes.

SUMMARY

Most of Estonia's agricultural and forest land is fragile and its use depends on the functioning of land management systems. The health and reliability of land management systems is also of key importance as climate change increases the average annual rainfall in Estonia. As a consequence, ditch reinforcement will be needed, as land management systems and ditches will have to be built on a variety of soils that are not stable due to their soil composition, i.e. where soil flooding due to the velocity of the water flow will occur. This necessitates the reinforcement of ditches and their various components: the slope footing, the slope surface and the ditch base. The aim of the thesis was to simplify the organisation of land reclamation work by making one section of the work more efficient. In Estonia, to ensure the durability of the ditches in the economic system, the construction of slab and rock reinforcement for the ditches is used, which, however, is material-consuming and labour-intensive.

The optimum concrete element solution for the bank reinforcement of the ditch developed during the Master's thesis meets the requirements of the land reclamation field, ensures the stability of the ditch slope and bottom with the least possible material and labour consumption. In the first stage of the work, the author analysed the different types of ditch reinforcement and their advantages, disadvantages and parameters. Various types of ditch insurance have been used in Estonia at different times, such as haguplaid, slab, slab-on-ground and earthwork insurance. The use of rubble and ore stones for insuring ditches is still used today. The most important problem with aggregate insurance is the availability of the right fraction of aggregate. In general, for ditches that need to be reinforced, suitable ore material is not available locally.

So the most important problems to be solved are the shortage of materials and the need to reduce the amount of physical work involved. And to find a way to make the most efficient use of available resources. In the first chapter of the thesis, the shore reinforcement solutions used and currently in use in Estonia will be reviewed. It will also give a brief overview of solutions used elsewhere in the world. A commentary on why these solutions are not suitable for us is added. In the second chapter of the thesis, the requirements and parameters for shore protection are reviewed, the standards for design are examined and four different shore protection solutions are compared and the best one is selected.

In developing the element, attention was paid to the following points:

- 1) Reduce the share of physical work.
- 2) A trench of any slope could be installed.

- 3) Find the right shape and mass balance
- 4) Further develop based on existing information the development of old vs new
- 5) Economically most advantageous solution There were different shapes in the works. The final choice fell in favour of shape number two (Figure 2.2) as it satisfies most of the objectives we set out, which are set out separately as points below:
 - 1) Ease of installation - the element consists of a single part. The element can be installed by excavator.
 - 2) Cleanability of the element - due to the shape of the element.
 - 4) Self-cleaning ability of the element - smooth surface and low coarseness.
 - 5) The element ensures the stability of the slope footing and the bottom in the stream channel in case of high flows in spring-autumn and extreme precipitation.
- 6) Economically viable concrete element.

Reinforced concrete was chosen as the material and the necessary calculations were carried out for the element. The developed concrete elements ensure the stability of the slope footing and the base, are easy to install, and are durable over time. They are also more economical compared to the solutions used so far. The slope stabilisation concrete element can be further developed. For example, replacing reinforced concrete with fibre-reinforced concrete and, from there, carrying out a shape, volume and economic analysis of the element. The concrete elements currently in use may need to be upgraded over time.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] Tartu Ülikool, „Keskkonnaamet,” 29 04 2024. [Võrgumaterjal]. Available: https://keskkonnaamet.ee/sites/default/files/documents/2024-02/240131_Maaparanduss%C3%BCsteemide%20leevendusmeetmed_IX_L6PP.pdf. [Kasutatud 2023].
- [2] „Agri.ee,” 03 05 2024. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.agri.ee/tingimuslikkus#eesti-maaelu-arenguk>.
- [3] „Riigiteataja.ee,” Maaparandusseadus, 03 05 2024. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/131052018003>.
- [4] Maaparandusehitiste kordusprojektid V Kraavikindlustised I köide – tekst ja joonised, Tallinn: Riikilik projekteerimise ja uurimise instituut EESTI MAAPARANDUSPROJEKT, 1979.
- [5] P. j. Toiduamet, „Põllumajandus ja Toiduamet,” 04 04 2024. [Võrgumaterjal]. Available: https://pta.agri.ee/sites/default/files/documents/2021-01/Maaparandusrajatiste_tuupjoonised_2019_0.pdf.
- [6] H.Lüüdik, „Erakogu,” Paikuse, 2024.
- [7] „CCPCONCRATE,” Betoonelemendid 1, 03 05 2024. [Võrgumaterjal]. Available: <https://ccpconcrete.co.za/products/storm-water-channel/>.
- [8] „sanifix.com,” Betoonelemendi 2, 03 05 2024. [Võrgumaterjal]. Available: <https://sanifix.com.my/?p=828>.
- [9] UBG OÜ Kiudbetoon.ee, „uus.kiudbetoon.ee,” UBG OÜ Kiudbetoon.ee, 03 05 2024. [Võrgumaterjal]. Available: <https://uus.kiudbetoon.ee/kiudbetoonlahendused/>.

- [10] T. T. E. S. Toomas Tamm, „Pikk,” 03. 04. 2024. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.pikk.ee/upload/files/Aruanne_Maaparandussüsteemi_taiendava_ve_e_juhtimisel_maaparandushoiukulude_jaotuse_metoodika_valjatootamine_LISA_1.pdf. [Kasutatud Tartu, 2015].
- [11] Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus MTÜ, „Betoonvalmistooted. Truupide nelikantelendid,” EVS-EN 14844:2006+A2:2011, 03 05 2024. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.evs.ee/et/evs-en-14844-2006-a2-2011-consolidated>.
- [12] Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus MTÜ, „Betoonvalmistootete üldeskirjad,” <https://www.evs.ee/et/evs-en-13369-2024>, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.evs.ee/et/evs-en-13369-2024>.
- [13] J. Pello, „TalTech.ee,” 29 04 2024. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.tud.ttu.ee/im/johannes.pello/Vundamendid%20projekt/Naide.pdf>.
- [14] Priit Kulu, Jakob Kübarsepp, Andres Laansoo, Renno Veinthal , MATERJALITEHNIKA I, Tallinn: TTÜ KIRJASTUS, 2015.
- [15] Tööristamarket.ee, „Tööristamarket.ee,” 03 05 2024. [Võrgumaterjal]. Available: <https://xn--triistamarket-imba.ee/et/haagised-rehvid-ja-akud/jareelhaagised-ja-tarvikud/haagise-tarvikud-vaikesed-haagised/haagise-luugi-ja-kaane-lukud.html?p=2>.
- [16] „Mazam.eu,” 03 05 2024. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.mazam.eu/tooted/kaevurongahaarats/>.
- [17] Ü. Päril, „raamatupidaja.ee,” 04 04 2024. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.raamatupidaja.ee/uudised/2009/02/23/ap-omahinna-arvutamine-ehk-kuhu-kadus-kasum> .
- [18] Keskonnaagendur, 24 04 2024. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.ilmateenistus.ee/ilmatarkus/publikatsioonid/100-aastat-eesti-ilma-teenistust/>.
- [19] Kliimaministeerium ja KIK, „Rohegeenius,” Kasvav sademete hulk põhjustab Eesti linnades paksu pahandust. Ent millised on lahendused?, 03 05 2024. [Võrgumaterjal]. Available: <https://rohe.geenius.ee/blogi/eesti-loodus/kasvav-sademete-hulk-pohjustab-eesti-linnades-paksu-pahandust-ent-millised-on-lahendused/>.

LISAD

Lisa 1.1 Mõisted

Mõisted

Maaparandus ehk melioratsioon on pinnase, veetingimuste või maastiku eesmärgipärane ümbertegemine. Maaparanduse tulemusena asendatakse põlismaastikud ja pärandmaastikud tehismaastikega, mida iseloomustavad tasasemad alad, sirgemad vooluveekogud, muudetud veerežiim ja elustik.

Hüdrotehnilise maaparanduse puhul reguleeritakse vee hulka pinnases äravoolude muutmise kaudu. Maaparandus haarab nii kuivendamist kui ka niisutamist. Maaparanduse võteteks on kraavimine, torutamine, vooluveekogude süvendamine ja õgvendamine jm. Maaparanduse tavaline eesmärk Eestis on liigniiske ala muutmine viljelemiskõlblikuks taimekasvatusele.

Kuivendus

Kuivendus (ka kuivendamine) on melioratsioonivõtte, millega mingilt alalt eemaldatakse liigne pinna- või pinnasevesi (näiteks drenaažiga).

Kuivendamine on levinud põllumajanduses, kus liigniiskeid või antud tingimustes vähetootvaid muldi kuivendatakse, mille tagajärjel on võimalik tõsta nende viljakust ja seeläbi kasvatatava taimekultuuri tootlikkust.

Kraavid

Kraav on kitsas inimtekkeline süvend (sageli vooluveekogu) maapinnas. Kraave kaevatakse mitmel põhjusel, näiteks kuivenduskraave liigvee pinnasest ärajuhtimiseks, niisutuskraave maa-ala niisutamiseks, kaitsekraave sõjanduses jne. Kuivenduskraavidena kuivendatakse madalaid alasid eriti selleks, et teha need põllupidamiseks sobivamaks. Samuti on kraavid tavalised maanteede ääristajad. Nende eesmärk on hoida teetamm kuivana, et vältida külmuva vee põhjustatud teekahjustusi.

Dreen

Dreen ehk kuivendusdreen ehk salakraav ehk torukraav on maa-alune veejuhe pinnalähedase põhjavee kogumiseks ja ärajuhtimiseks. Dreenisüsteemi nimetatakse drenaažiks.

Lisa 1.2 Põhivõrgu kindlustuse tüübi valik

Tabel 1.2 Põhivõrgu kindlustuse tüübi valik [4]

Tabel 9

PÕHIVÕRGUKRAAVIDE KINDLUSTISE TÜÜBI VALIK, KUI $i \leq i_{lub}$, JA $v \leq v_{lub}$

Oodatava deformatsiooni põhiliik	Valdav pinnas	Kraavi ümbritseva ala		Kraavi sügavus	F ≤ 2km ²				F > 2km ²	
		mulla liigutuse aste	veega tootumise tüüp		kindlustuse elemendid		Märkused		kindlustuse elemendid	
					nõlva alam	nõlva pind			nõlva alam	nõlva pind
põhiliik	I ¹ S, I ¹ MS, R ¹ S, R ¹ T	valdavalt ajutine, turbas ja rähvas alaline	atmosfäärne või deluviaalne, nõrgalt põhjaveeline	≤ 1,7	Ei ole vaja kindlustada					
Nõlva uhtumine	L, SL, I ¹ S	valdavalt ajutine	atmosfäärne või deluviaalne	≤ 1,5	-	s, (sh)	F ≤ 0,5 km ²	D	xd _s , xd (sh)	F ≤ 5 km ² x ≥ 4
				> 1,5	D	xd _s , xd (sh)	x = 4	H, L, K	xd _s , xd (sh)	F > 5 km ² x ≥ 8
Nõlva pinna voolamine	SL, SL, MS, I ¹ S	alaline	atmosfäärne või deluviaalne nõrgalt põhjaveeline	≤ 1,5	-	s, (sh)	F ≤ 0,5 km ²	D	xd _s , xd (sh)	F ≤ 5 km ² x ≥ 4
				> 1,5	D	xd _s , xd (sh)	F ≤ 0,5 km ² x = 0 F > 1,5 x = 4	H, L, K	xd _s , xd (sh)	F > 5 km ² x ≥ 8
Nõlva jalami voolamine	SL, I ¹ S, I ¹ MS	alaline	surveta põhjaveega	≤ 1,5	D	xd _s , xd (sh)	xd → x ≥ 4 xd _s , xd (sh) → x = 0	H, L, K	xd _s , xd (sh)	xd → x ≥ 10
				1,5 - 2	H, L, (MP) K	xd _s , xd (sh)	xd → x ≥ 8 xd _s , xd (sh) → x = 4	H, L, K	xd (sh)	xd _s , xd (sh) → x ≥ 8
Nõlva voolamine	SL, SL, MS, I ¹ S, XL	alaline	surveta põhjaveega survelise põhjaveega	> 2	H, L, R, (MP) ¹	xd _s , xd (sh)	x ≥ 8	H, L, R, (MP) ¹	xd _s , xd (sh)	x ≥ 10
				≤ 2	(MKP) ¹			(MKP) ¹		
Nõlva tugev	SL, SL, MS, I ¹ S, XL, Me	alaline	survelise põhjaveega	> 2	H, L, R, (MKP) ¹	xd _s , xd (sh)	x ≥ 12 (VKP) ¹ , (PL) → x ≥ 8	H, L, R, (MKP) ¹	xd _s , xd (sh)	x ≥ 12 (VKP) ¹ , (L) → x ≥ 8
					(VKP) ¹			(VKP) ¹		
Nõlva libisemine	Me, I ¹ S	alaline	survelise põhjaveega	> 2,5	deformatsioon on välditav ristõike parameetrite valguga, vastava kaevamistehnoloogia ja nõlvadrenaaži ehitamisega					

Lisa 2.1 Betooni klassid

Tabel 2.1 Betooni klassid [12]

Klassi tähis	Keskonna kirjeldus	Näited
1. Korrosiooni- või muu oht puudub		
X0	Kui betoon ei sisalda sarrust ega tariraudu: kõiktingimused, välja arvatud need, mille puhul esineb külmumise/sulamine, kulumine või keemilised mõjurid. Kui betoon sisaldab sarrust või tariraudu: väga kuiv.	- betoon väga kuiva õhuga siseruumides
2. Karboniseerumisest põhjustatud korrosioon		
XC1	Kuiv või püsivalt märg	- betoon madala õhuniiskusega siseruumides - pidevalt vee all olev betoon
XC2	Märg, harva kuiv	- kaua veega kontaktis olevad betoonpinnad - paljud vundamendid
XC3	Mõõdukalt niiske	- betoon mõõduka või kõrge õhuniiskusega siseruumides - välisõhus olev vihma eest kaitstud betoon
XC4	Vaheldumisi märg ja kuiv	- veega kokkupuutuvad pinnad, mis ei kuulu klassi XC2
3. Kloriidist (välja arvatud merevee kloriidid) põhjustatud korrosioon		
XD1	Mõõdukalt niiske	- betoonpinnad, millele langevad kloriide sisaldavad piisad
XD2	Märg, harva kuiv	- ujumisbasseinid - betoon, mis on kokkupuutes kloriide sisaldava tootmisveega
XD3	Vaheldumisi märg ja kuiv	- konstruktsiooni osad, millele langevad kloriide sisaldavad piisad - sillutised, autoparklate paneelid
4. Merevee kloriidist põhjustatud korrosioon		
XS1	Sooli sisaldav õhk, kuid mitte otsene kontakt mereveega	- kaldal või selle lähedal asuvad konstruktsioonid
XS2	Vee all	- mereehitiste osad
XS3	Loodete-, piisk- ja uduveevõõndid	- mereehitiste osad
5. Külmumise/sulamise mõju koos või ilma jäätavastaste ainetega		
XF1 KK1	Mõõdukalt veega küllastunud, ilma jäätavastaste ainetega	- vihma ja külma eest kaitsmata püstsed betoonpinnad
XF2 KK2	Mõõdukalt veega küllastunud, jäätavastaste ainega	- teekonstruktsioonide püstsed betoonpinnad, mis on külmumise ja jäätavastaste ainet sisaldavate udupiiskade eest kaitsmata
XF3 KK3	Tugevasti veega küllastunud, ilma jäätavastaste ainetega	- vihma ja külma eest kaitsmata rõhtsad betoonpinnad
XF4 KK4	Tugevasti veega küllastunud, jäätavastaste ainega või mereveega	- jäätavastaste ainete mõjule avatud tee- ja sillakatted - betoonpinnad, mis on avatud jäätavastasteid aineid sisaldavatele pritsmetele ja külma mõjule - pritsmete tsoonis asuvad külma mõjule avatud mererajatised
6. Keemilised mõjurid		
XA1	Madala keemilise agressiivsusega keskkond	Vt EVS-EN 206:2014+A1:2016
XA2	Mõõduka keemilise agressiivsusega keskkond	
XA3	Kõrge keemilise agressiivsusega keskkond	

Lisa 2.1 Betooni klassid järg

Mõju	Keskkonnaklass	Betooni min. tugevusklass
Oht puudub	X0	C12/15
Karboniseerumisest	XC1	C20/25
	XC2	C25/30
	XC3	C30/37
	XC4	
Kloriididest	XD1	C30/37
	XD2	C35/45
	XD3	
Merevee kloriidist	XS1	C30/37
	XS2	C35/45
	XS3	
Külmumine/sulamine	XF1	C30/37
	XF2	C25/30
	XF3	C30/37
	XF4	
Keemilised mõjurid	XA1	C30/37
	XA2	
	XA3	C35/45

Mõju	Külmakindluse klass	Betooni min. tugevusklass
Külmumine/sulamine	KK1	C30/37
	KK2	
	KK3	
	KK4	C35/45

Keskkonna-tingimused	Mõjurite agressiivsus	EVS-EN 206 keskkonnaklassid
A	Null	X0
B	Madal	XC1
C	Mõõdukas	XC2/XC3
D	Tavaline	XC4
E	Kõrge	XD1/XS1
F	Väga kõrge	XD2/XS2
G	Erakordselt kõrge	XD3/XS3

GRAAFILINE OSA