

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

Eesti Mereakadeemia

Merenduskeskus

Veeteede lektoraat

Ott Kүүsmaa

# **ANKRUKETTIDE KULUMINE UJUVMÄRKIDEL**

Lõputöö

Juhendajad: dots. Inga Zaitseva-Pärnaste ja Lauri Toomiste

Tallinn 2015

Olen koostanud töö iseseisvalt.

Töö koostamisel kasutatud kõikidele teiste autorite töödele, olulistele seisukohtadele ja andmetele on viidatud.

Ott Kүүsmaa .....

(allkiri, kuupäev)

Üliõpilase kood: 140582VDVR

Üliõpilase e-posti aadress: o.kyysmaa@gmail.com

Juhendajad dotsent Inga Zaitseva-Pärnaste ja Lauri Toomiste:

Töö vastab lõputööle esitatud nõuetele

.....

(allkiri, kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees:

Lubatud kaitsmisele

.....

(ametikoht, nimi, allkiri, kuupäev)

# SISUKORD

SISUKORD .....	1
ABSTRAKT .....	3
SISSEJUHATUS .....	4
1. NÕUDED UJUVMÄRGI ANKRUKETILE .....	6
2. ANKRUKETI KULUMINE .....	8
2.1. Abrasiivne kulumine .....	9
2.2. Korrosioon .....	11
3. KATSETUSED .....	12
3.1. Esimene katse- plastikust kate kulumine .....	15
3.2. Teine katse- kummist katte kulumine .....	17
3.3. Tähelepanekud .....	20
4. ANKRUKETI KASUTUSPERIOODI PIKENDAMINE .....	22
4.1. Vastupidava sulami valimine, sulami termo- ja termokeemiline töötlemine ....	22
4.2. Keti katmine kulumiskindla materjaliga .....	23
4.3. Muud võimalikud lahendused ja soovitused .....	24
KOKKUVÕTE .....	28
SUMMARY .....	30
VIIDATUD ALLIKAD .....	31
LISAD .....	32
Lisa 1. Lloyd's Register keti sertifikaat .....	32

Lisa 2. 27 mm läbimõõduga ketilüli keemiline koostis .....	33
Lisa 3. 32 mm läbimõõduga ketilüli keemiline koostis .....	34
Lisa 4. Ketilülide keemilise koostise võrdlus .....	35
Lisa 5. 32 mm läbimõõduga ketilüli katselabori protokoll.....	36
Lisa 6. Keemiliste elementide sisalduse vahemikud tugevus klassidena .....	37
Lisa 7. 27 mm läbimõõduga ketilüli katselabori protokoll.....	38
Lisa 8. Kulunud ketilüli ristlõige .....	39

## ABSTRAKT

Lõputöö eesmärgiks on uurida ujuvmärgi ankruketi kulumist ning kulumise vähendamise või kõrvaldamise võimalusi. Töös on põhjalikult kirjeldatud ankruketi kulumise protsess ning erinevate kaitsematerjalide kulumise katsed. Kulumise vähendamiseks katsetati kõrge tihedusega polüetüleen toru, polüpropüleen toru ja kummist survevoolikuid. Materjalidest valmistati kaitsed, mis paigaldati ketilülidele kõige rohke kuluvatesse kohtadesse. Katsed toimusid kontrollitud tingimustes ning seadmega, mis simuleeris keti liikumist. Kasutatud seade simuleeris kulumist kolm korda kiiremini kui reaalses tingimustes. Katsetest selgus, et kõige parem kaitse on kummist survevoolikust. Kummist kaitse pidas ketilülil vastu 35 päeva ja pärast seda perioodi olid kulumise märgid minimaalsed. Töös on põhjalikult kirjeldatud materjale, mida eksperimentis ei katsetatud, kuid millel on potentsiaali kaitsena kulumise eest. Need materjalid on suurema kulumiskindlusega plastikud ja sulamid. Sulamid on mõeldud peale keevitamiseks nagu tehakse näiteks maavarade kaevandamisel. Teiseks lahenduseks võiks ketilülide termo- ja termokeemiline töötlemine. Kolmandaks alternatiivseks lahenduseks on ankruketi asendamine sünteetlise ankruliiniga. Viimasena on välja toodud meetodid, millised vähendaksid või eemaldaksid ankruketi kulumise.

Võtmesõnad: ankruketi kulumine, abrasiivne kulumine, korrosioon, polüetüleen kaitse, polüpropüleen kaitse, kummist kaitse, termotöötlemine, termokeemiline töötlemine, kõvasulamiga pindamine, sünteetiline köis, ankruliin

## SISSEJUHATUS

Ujuvmärgid vajavad pidevat hooldust. Ujuvmärgi hooldus koosneb erinevatest töödest. Pärast ujuvmärgi veest väljatõstmist pestakse see kas laeval või tuuakse sadamasse, kus toimub põhjalikum hooldus. Laeval tehakse ka seadmete kontroll ja hooldus ning kontrollitakse ankruketi kulumise taset. Eesti Veeteede ameti (edaspidi VA) hooldustalituse juhataja väitel vajab ankrukett vahetust 24 kuuga. Ujuvmärkide hooldusel on üheks suurimaks kuluks ankruketi vahetamisega seotud tööd. Seega ankruketi kulumise vähendamisest tulenev kasu avaldub otseselt väiksemates eksploatsioonikuludes ning kaudselt kasvõi keskkonna säästmises ning laeva, meeskonna ja hooldustöölise tööaja paremas jagamises. Ujuvmärgi ankruketi kulumist ja kulumise vähendamise võimalusi on seni vähe uuritud. Kuna ujuvmärgi ankruketi kulumine on vähe uuritud ning teaduslikku kirjandust antud teema kohta on vähe, on püstitatud probleemid selgitatud ja lahendatud peamiselt laboratoorsete katsete ja ekspertide soovitude ja kogemuste toel. Mõned uuringud on läbi viidud eesmärgiga uurida ankruketi kulumise protsessi (Benvenuto 2014, Silberhorn ja Dinovitzer 2002). Antud uurimustöö eesmärgiks on uurida ujuvmärgi ankruketi kulumist ning välja selgitada potentsiaalsed ja kergesti kättesaadavad materjalid, mis suudaksid ketti kulumise eest kaitsta piisavalt kaua, et kaitsete rakendamine tagaks ankruketi säästlikuma kasutamise. Lisaks uuritakse ka võimalusi ankruketi kulumise vähendamiseks.

Ankruketi kulumist on teoreetiliselt võimalik vähendada kattes kuluvad pinnad kulumiskindlate materjalidega või muuta ankru ja ujuvmärgi kinnitamis meetodit. Laboratoorsete katsete eesmärgiks on uurida, millised materjalid sobiksid täismöödus katsetusteks. Katsetatud materjal sobib reaalseks kasutuseks kui materjali maksumus, ketile paigaldamine ja kulunud materjali osade vahetamine on majanduslikult soodsam kui praegused keti vahetamise kulud. Probleemiks ongi leida need materjalid, mis liiva, kruusa ja soolase vee keskkonnas on kulumisele kõige vastupidavamad ning leida aeg kui kaua kaitse on võimalik vastu pidadama. Kaitstva materjali valikul on silmas peetud materjali maksumust ja kui kergesti materjali on võimalik töödelda.

Esmalt uuritakse ankruketi kulumist. Täpsemalt miks, kuidas ja kus kohast ketilülid kuluvad. Seejärel leitakse potentsiaalsed materjalid, mida hakata põhjalikult uurima laboratoorsetes katsetes. Materjalid valitakse ning hinnatakse nende vastupidavuse kulumisele, maksumuse ja kättesaadavuse põhjal. Valitud materjalidega viiakse läbi

laboratoorsed katsed. Katsetes uuritakse materjali vastupidavust kulumisele liiva, kruusa ja merevee keskkonnas, kus simuleeritakse keti liikumist meres. Lisaks kirjeldatakse teisi potentsiaalseid materjale ja meetodeid ujuvmärgi ja ankru kinnituse kasutusperioodi pikendamiseks, mida laboratoorses katsetes ei uuritud nende keerulisuse või suuruse tõttu.

Esimeses peatükis kirjeldatakse, millised tingimused peab ankrukett täitma. Lisaks nõutele on lühidalt välja toodud peamised põhjused, miks ankrukett amortiseerub. Teises peatükis kirjeldatakse millised on ankruketi osad ja milline ankruketi osa kõige rohkem kulub. Täpsemalt on välja toodud ka põhjused miks kett kulub ja millised tingimused kulumist kiirendavad. Kolmandas peatükis on loetletud katsetatud materjalid, kirjeldatud tehtud katseid ja nende tulemusi. Lisaks ka milline on seade, millega katsed läbi viiakse ning millised olid katsel täheldatud eripärasused. Neljandas peatükis tuuakse välja võimalikud lahendused ankruketi kulumise vähendamiseks. Nendeks on keti sulami valimine, ketilülide termo- ja termokeemiline töötlemine, ketilülide katmine kulumiskindlamate materjalidega ning ankruketi asendamine ankurdusliiniga. Kuna oli ka ideid, mida ei jõutud või ei olnud võimalik katsetada, on need samuti välja toodud ja lühidalt kirjeldatud neljandas peatükis.

# 1. NÕUDED UJUVMÄRGI ANKRUKETILE

Eestis VA-s ja ka rahvusvaheliselt ei ole ujuvmärgi ankruketi jaoks nõudeid ette kirjutatud (Palgi 2015). Küll on aga Soome Transpordi Amet ankruketile nõuded kehtestanud (The Finnish Transport Agency 2012). Kuigi Eestis ujuvmärgi kinnitamiseks kehtestatud nõudeid ei ole, valitakse ujuvmärkide kinnitamiseks ankruketid, mis vastavad teatud tingimustele. Nendeks on ketilüli tugevus, kulumiskindlus, vastupidavus korrosioonile ja keti pikkus (Toomiste 2015).

Ketilüli tugevust saab iseloomustada selle läbimõõdu ja keti tugevusklassiga. Ketile määrab tugevusklassi sertifikaadiga mõni maailmselt tunnustatud ettevõtte, mis tegeleb kvaliteedikontrolliga. Nendeks ettevõteteks on näiteks Lloyd's Register või DNV. Tugevusklass sõltub tootja poolt määratud ketilüli maksimaalsest tõmbetugevust (*tensile strength*), kontrafori olemasolust, sulami termo- ja termokeemilisest töötlemisest ja sulami keemilisest koostisest. Tugevusklasside keemiliste elementide maksimum ja miinimum sisaldused on väljatoodud lisas 6. Ankrukettidel on kolm tugevusklassi, milleks on tugevuse suurenemise järjekorras – 1, 2 ja 3. Numbri ette pannakse ka täht, mis riigiti võib erineda. Eestis ja Soomes on täheks „U“ (Toomiste 2015).

Kulumiskindluse annab ketile kindlate lisandite olemasolu sulamis, sulami termo- ja termokeemiline töötlemine. Termotöötlemisel tõstab kulumiskindlust karastamine ja noolutamine. Termokeemilisel töötlemisel tõstab kulumiskindlust tsementiitimine, nitriitimine ja nitrotsementiitimine. Mõned lisandid, mille olemasolu sulamis viitab selle kulumiskindlusele on näiteks kroom, nikkel, molübdeen, volfram ja mangaan (Kulu 2005).

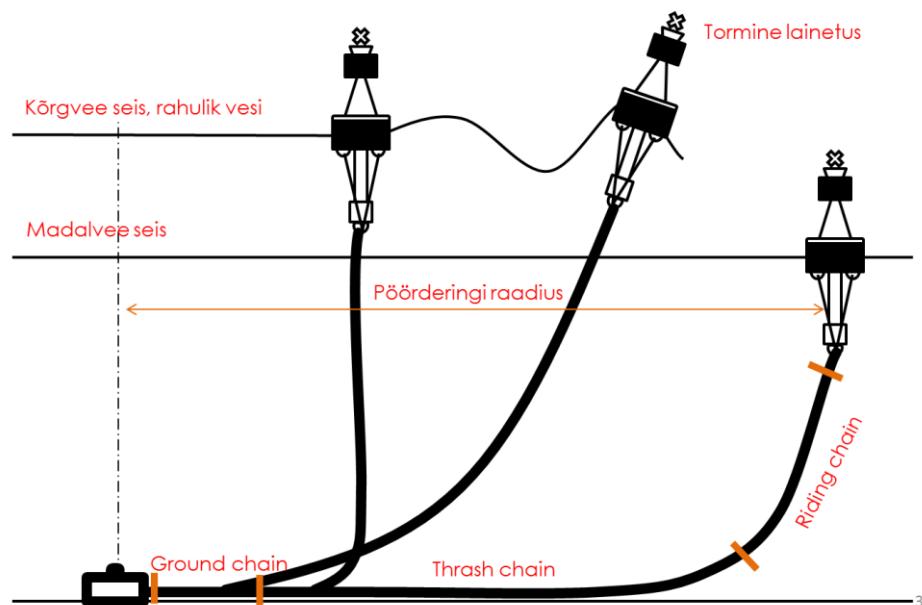
Vastupidavus korrosioonile sõltub keti keemilisest koostisest ja kaitsvast kattedest. Kaitsev kate, mis kantakse ketile õhukese kihina, kaitseb korrosiooni eest seni kuni see ei ole maha kulunud. Need katted on aga kergesti kuluvad ning juba vähesel hõõrdumisel ketilüli või merepõhja vahel tuleb kate ketilt maha (Toomiste 2015). Keti vastupidavust korrosiooni vastu saab tõsta ka keti termokeemilisel töötlemisel. Keemilised elemendid, mis viitavad sulami korrosiooni kindlusele, on näiteks nikkel, kroom ja alumiinium (Kulu 2005). Eelnevalt mainitud termo ja termokeemilist töötlemist on täpsemalt kirjeldatud peatükis 4.1.



Eesti Veetede Amet kasutab ujumärkidel 16 mm, 19 mm, 26 mm, 32 mm ja 40 mm läbimõõduga kontraforsita ja kontraforsiga ankrukette. Tugevusklassiks on neil üldiselt U2. Kuigi nõutav tõmbetugevus oleks võimalik saavutada ka väiksema läbimõõduga ketiga, valitakse suurema läbimõõduga kett, et kompenseerida ketilülide kulumist ja nii pikeneb keti kasutamise periood. Keti pikkust määratakse hetkel reegli järgi, mis määrab keti pikkuseks sõltuvalt asukohaks kahe või poolteise kordse mere sügavuse ujumärgi kasutamise kohas (Toomiste 2015). Sellel reeglil on positiivne ja negatiivne külg, mida käsitletakse täpsemalt peatükis 4.3.

## 2. ANKRUKETI KULUMINE

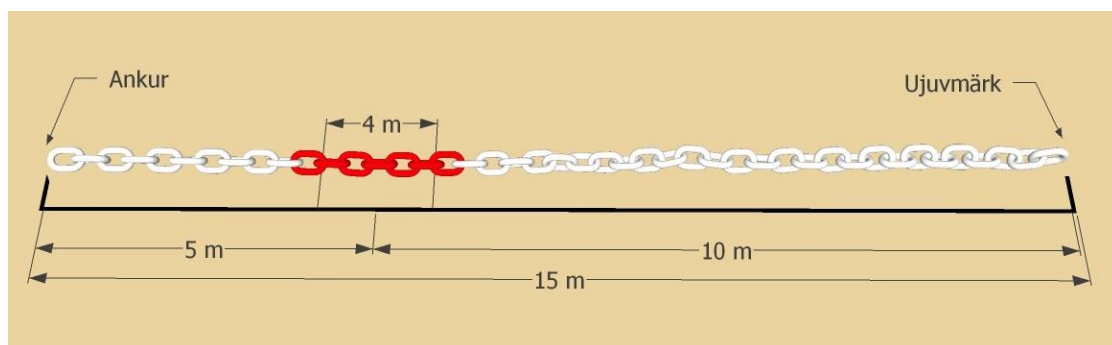
Ujuvmärgi ankrukett koosneb kolmest osast (vt. joonis 1). Alustades poi kinnitusest on esimene ujuv osa (*riding chain*). Ujuv osas ei toimu suuri liikumisi ja kulumist ketilülide vahel ning ketiosa ei puuduta enamuse ajast merepõhja. Järgmine ketiosa on ketipõlv (*thrash chain*, *chafe chain*). Keti põlv on pidevas liikumises ja toimub kõige suurem kulumine. Kolmas osa on põhja osa (*ground chain*), mis asetseb enamuse ajast merepõhjas ja kulumine on väike.



Joonis 1. Ankruketi osad

Ankruketi kõige kiiremini amortiseeruv osa on keti põlv. Keti põlv on ankruketi osa, kus toimub pidev üles-alla liikumine. Liikumise põhjustab lainetus, mis liigutab ujuvmärgi merepinna pealset osa (IALA 2010). Mida suurem on laine kõrgus ja veetaseme muutus, seda pikem on keti põlv. Keti põlve pikkust ja asukohta on raske täpselt piiritleda, sest kõige intensiivsema kulumisega koht ketil muutub pidevalt olenevalt tuule tugevusest, lainekõrgusest ja meretasemest. Üldiselt asub kõige rohkem kulunud osa kohas, kus keti

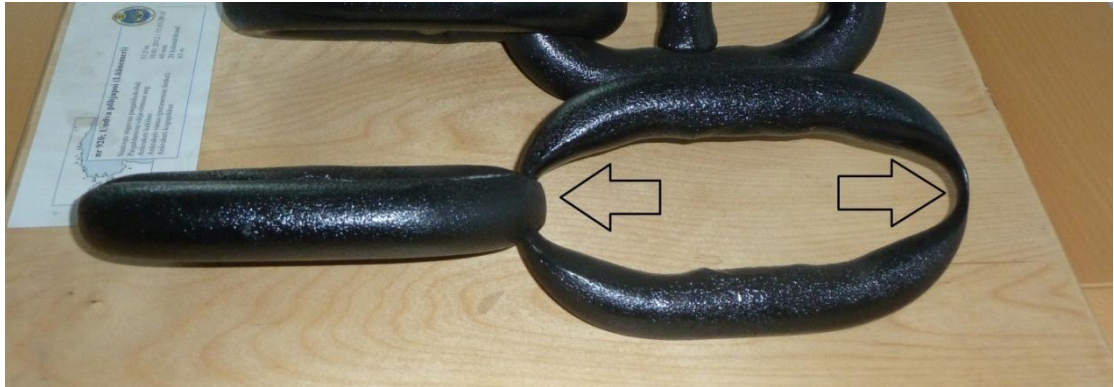
pikkus on võrdne mere sügavusega antud kohas alustades keti pikkuse arvestamist ujuvmärgist. Ehk kui mere sügavus on kümme meetrit ja sealt tulenevalt keti pikkus 15 m, siis kõige rohkem kulunud osa asub kümne meetri juures (vt. joonis 2). Ning keti põlve pikkuseks on üldiselt neli kuni viis meetrit. Lisaks kulumisele võivad ketilülid venida paar sentimeetrit pikemaks. Ketilüli venimist on näha joonisel 3 ja 4 (Toomiste 2015).



Joonis 2. Illustreeriv joonis keti põlve asukohast

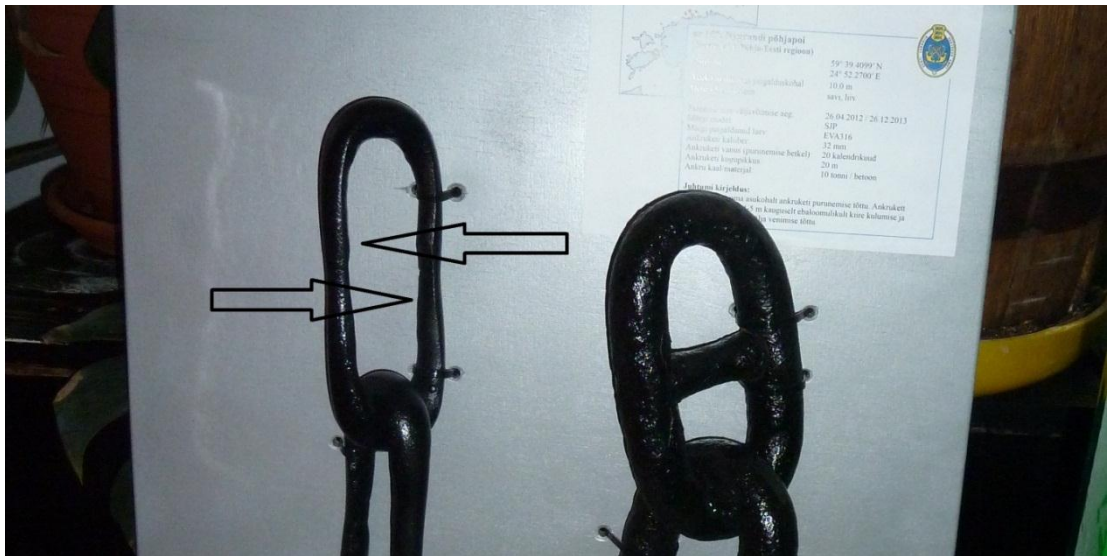
## 2.1. Abrasiivne kulumine

Ketilülide hõõrdumine on otseselt seotud laine kõrguse ja perioodi pikkuse ning tuule suuna ja tugevusega. Hõõrdumine toimub nii kahe ketilüli kui ka keti ja merepõhja pinnase vahel. Mida lühem on laineperiood, seda kiirem on lülide hõõrdumine ja see läbi ka kulumine. Mida kõrgem on lainekõrgus, seda suurem on hõõrdumise poolt mõjutatud keti põlve osa. Tugeva tuulega aga ei ole konkreetset keti põlve, sest ujuvmärk on tuule mõjul tsentrist eemale viidud ning ankrukett pingule tõmmatud. Sellisel juhul on keti kulumise intensiivsus põhimõtteliselt võrdne iga ketilüli vahel. Üldiselt on hõõrdumine kõige intensiivsem lüli sisemise osa sisemistes otsmistes punktides (vt. joonis 3) (Toomiste 2015).



Joonis 3. Ketilüli venimine ja kulumine sisemistes otstes

Esineb ka erandeid, kus on enim kulunud lüli sisemised pikemad küljed (vt. joonis 4).  
Ei ole täpselt teada, mis tekitab viimasena kirjeldatud kulumist (Toomiste 2015).



Joonis 4. Ketilüli venimine ja kulumine sisemistes külgedes

15-ndal IALA (Rahvusvahelise Meremärgistuse ja Tuletornide Administratsioonide Assotsiatsioon) konverentsil esitles Kanada piirivalve enda poolt tehtud ankruketi kulumise uuringu tulemusi, milles näidati ära ka milline on tüüpiline kulunud ketilüli kuju. Lisas 8 on joonis kulunud keti ristlõikest (Silberhorn ja Dinovitzer 2002).

Tegurid nagu merepõhja setete terasuurus, setete hõljumi osakaal, merepõhja pinnase materjal ja korrosiooni intensiivsus kiirendavad keti kulumist. Keti kulumist hõõrdumise ja setete koosmõjul võib nimetada ka abrasiivseks kulumiseks (Toomiste 2015).

Merepõhja pinnase iseloom mõjutab keti kulumise kiirust. Merepõhja pinnase materjal võib olla paekivist savini. Savi väikese tera suuruse tõttu mõjutab ketilülide kulumist väga vähesel määral. Mida suuremad ja tugevamad on merepõhja setete terad, seda kiiremini toimub kulumine. Setted satuvad ketilülide vahele, ning kiirendavad ketilülide hõõrdumisel tekkivat kulumist. Setted ei mõjuta ainult keti merepõhja osa vaid ka kõrgemates kihtides olevaid ketilülisid. Kõrgemates kihtides põhjustab kulumist setete hõljumine, kus sette terad satuvad ketile ja lülide vahele (Toomiste 2015).

## **2.2. Korrosioon**

Ketilüli pindmises kihis hakkab toimuma oksüdeerumine. Metallide oksüdeerumist väliskeskkonna mõjul nimetatakse korrosiooniks. Meres toimub peamiselt elektrokeemiline korrosioon. Korrosioon hävitab keti pealmist osa ja seetõttu väheneb ketilüli läbimõõt (Toomiste 2015). Mere reostuse tase ei oma märkimisväärset mõju korrosiooni intensiivsusele. Samuti ei oma biokorrosioon Läänemeres suurt mõju ankruketile. Kuigi korrosioon hävitab samuti ketilüli pinda on korrosiooni mõju kulumisele võrreldes abrasiivse kulumisega väga väike (Palgi 2015).

### 3. KATSETUSED

Veeteede Ameti hooldustalituse osakonnas on eelnevalt läbiviidud katsed seoses keti kulumise, 3D printeriga prinditud ABS plastikust kaitse kulumise ja plastiku kokkusurumisele vastupidavuse uurimisega. Keti kulumise uurimise katse eesmärgiks oli lähemalt uurida keti kulumise kiirust, kohta ja kontraforsside väljakukkumise kiirust. Esimesed kontraforsid kukkusid välja kuue kuu möödudes. 3D printeriga prinditud plastikust kaitse ei pidanud vastu kolme tonnise ankru tõstmisele ning kulumise uurimise katsetes seda enam ei kasutatud. 3D prinditud kaitse on näha joonisel 5 (Toomiste 2015).



Joonis 5. 3D printeriga prinditud plastikust kaitse

Katsetati ka kõrge tihedusega polüetüleen (*high-density polyethylene*) toru vastupidavust kokku surumisele, mis avalduks kaitsele ankru vette laksmisel ja välja tõmbamisel. Selle katse läbis polüetüleen edukalt pidades vastu kolme tonnisele ankrule. Katse viidi läbi maismaal (Toomiste 2015).

Lõputöö raames tehtud katsetused uurisid erinevaid kiireid ja käepäraseid lahendusi keti kulumise vähendamiseks. Katsed toimusid seadmega, mis simuleeris keti põlve liikumist meres. Seadme kasutamise võimaldas VA hooldustalitus. Seade simuleeris keti liikumist vertikaaltasandil pöörleva kettaga, kuhu oli ekstsentriliselt kinnitatud keti üks ots (vt. joonis 6). Ketas pöörles elektrimootori jõul ja simuleeris ketikulumist kolm korda kiiremini, st. üks

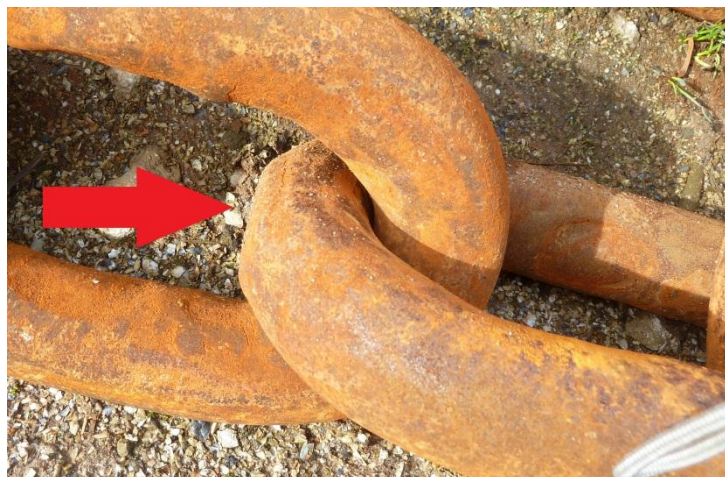


päev katsel tähendas kolm päeva looduses. Keti teine ots oli ketta all oleva plastik anuma sees. Anum oli täidetud erineva tera suurusega liiva ja kruusaga ning mereveega. Katseid tehti kolme kuu jooksul. Selle aja jooksul vahetati kaks korda liiva ja kruusa ning vee taset hoiti pidevalt ühtlasena, et keti kõige liikuvam koht oleks alati vee all.



Joonis 6. Keti liikumist simuleeriv seade

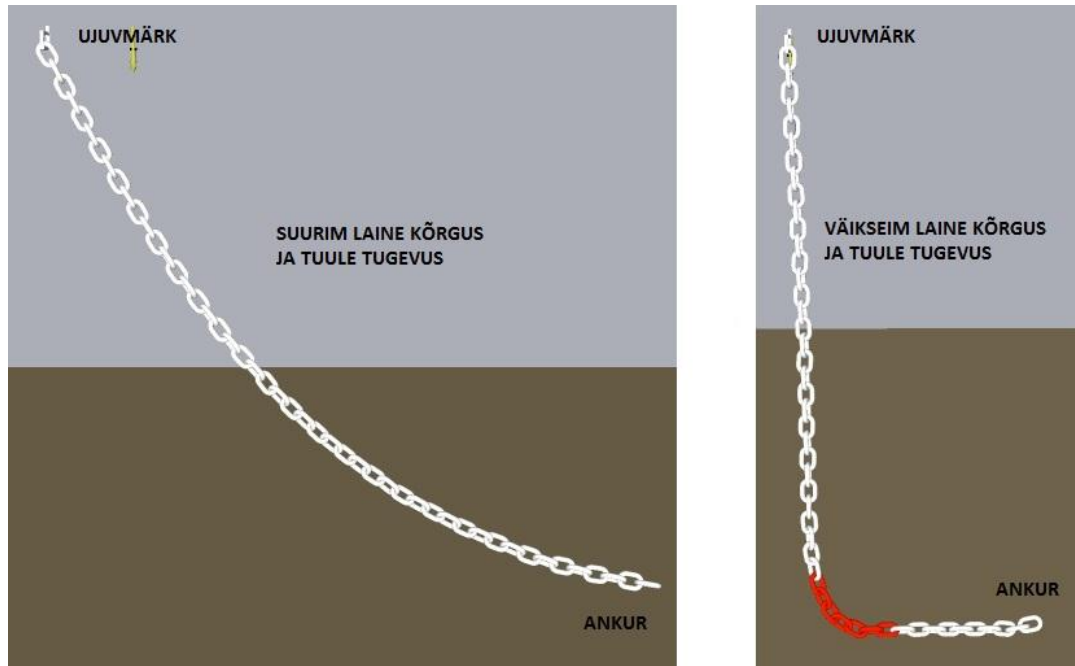
Katsetele lisaks uuriti keti kulumist video materjali põhjal ja ka visuaalselt merest hoolduseks välja tõstetud ankrukette. Visuaalsel uurimisel oli selgelt näha keti alumisel kolmandikul keti põlve osa. Selles osas puudusid ketilülidel kontraforsid, oli selgelt eristatav ketilülide väiksem läbimõõt võrreldes ülejäänud ketiga ja puudus üle jäänud ketil kasvav mereelustik. 40 mm läbimõõduga ketilülid, mis olid vees olnud aasta aega, olid keti põlve osas ketilülide välimised otsmised osad lapikud (vt. joonis 7). See võib olla põhjustatud merepõhja koostisest, milleks võivad olla paekivi avamusala või muud kivimid, ja ketilüli raskest kaalust. Deformatsiooni ei olnud näha 40 mm –st väiksematel ketilülidel ning ka 40 mm ketilülidel, mis olid olnud savise põhjaga kohas. Ankrukettide ujuvmärgi ja ankru poolsetel otsadel oli näha veel kaitsvat värvi kihti, mis keti tootja poolt ketile kantakse.



Joonis 7. Deformeerunud ketilüli välimine ots

Arvuti tarkvaraga loodi kolm 3-mõõtmelist simulatsiooni, mis illustreerisid kogu ankruketi liikumist vees. Kasutatavaks tarkvaraks oli *Google Sketchup* koos *Sketchyphysics* lisamooduliga. Tarkvaras loodi esmalt 32 mm-e ketilüli järgi kolmemõõtmeline kujutis ning seejärel ketilulist täispikkuses kett. Keti almine viimane vikseeriti ning sellel ei olnud võimalik liikuda imiteerides ankrut. Ülemise lülile määrati kindla kiiruse ja kõrgusega üles-alla liikumine. Kuigi ketilülid ja simulatsioonid modelleeriti 1:1 mõõtkavas ei saaks tarkvara simulatsioone kasutada hüpoteeside teadusliku tõestustena, sest tarkvara ei võimaldanud sisestada täpselt kõiki tingimusi, kuidas füüsilised nähtused meres ankruketti mõjutavad. Küll aga toetas simulatsioon väidet, et kõige intensiivsem on kulumine rahuliku tuule ja väikese lainetuse korral. Kui on tugev tuul ja kõrged lained on kulumine ühtlane kogu ankruketi pikkuses. Kolm simulatsiooni erinesid üksteisest laine amplituudi, sageduse ja tuule tugevuse järgi. Mere sügavus ja keti pikkus oli kõigis kolmes simulatsioonis sama. Keskkonna tingimusi, mis iseloomustaksid vett nagu tihedus ja takistus liikumisele, ei olnud võimalik määrata. Vastavalt laine kõrguse kasvule on tehtud järeldus, et ka tuule tugevus kasvab. Tuule tugevuse kasv on simulatsioonis kajastatud ujumärgi eemale viimisest ankrusukohast (vt. joonis 8).





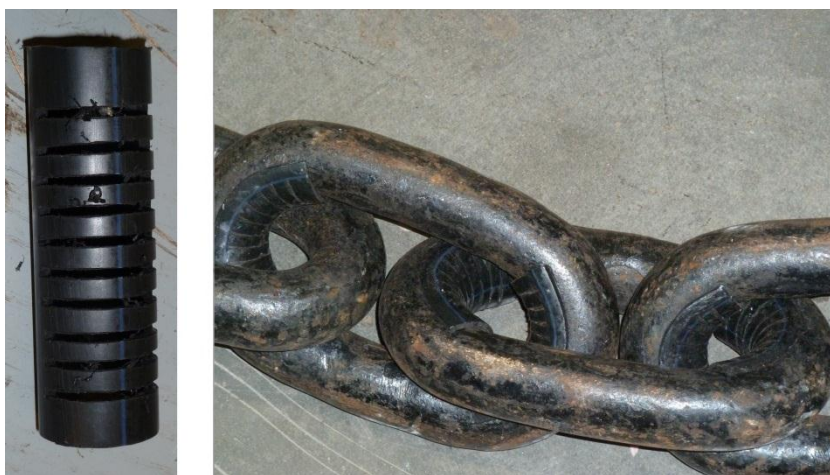
Joonis 8. Ekraanitõmmised tarkvara simulatsioonist

### 3.1. Esimene katse- plastikust kate kulumine

Esimeses katses uuriti erinevate plastik materjalide potentsiaalsust olla ketile kaitseks kulumise vastu. Plastik valiti katsetuste kandidaadiks, kuna enamus plastikutest on kergesti kättesaadavad, odavad, kergesti töödeldavad ja mereveele vastupidavad. Kasutati kergesti kätte saadavaid plastikuide. Katsetatud materjalideks olid kõrge tihedusega polüetüleen ja polüpropüleen, mis on enim kasutatavad plastikud vee- ja äravoolusüsteemides.

Polüetüleenist kaitsete valmistamiseks kasutati 32 mm läbimõõduga ja 2 mm seinapaksusega torusid. Torud lõigati esialgu 80 mm pikkusteks juppideks. See pikkus aga jäi lühikeseks, sest katse käigus kukkusid kaitse ketilülid vahelt välja. Järgmised kaitse tehti 150 mm pikkused. Uus pikkus oli optimaalne, et katta kõige enam kuluvat ketilüli osa ja see pikkus hoidis kaitse ketilülid vahel. Järgmisena lõigati toru jupilt pikki toru välja 1/3 toru ümbermõõdust, et toru jupp tihedalt ümber ketilüli püsiks. Viimasena lõigati toru jupile risti sisse sälgud umbes poole toru jupi läbimõõdust. Sälgud olid vajalikud, et plastik toru võtaks kaare kuju, mis ketilüli siseküljel on. Kasutamiseks valmis polüetüleenist kaitse on näha

joonisel vasakul ning ketilülidele kinnitatud kaitsed on näha samal joonisel paremal. Kaitsed kinnitati igale ketilülile. Kuna mõned kaitsed ikkagi liikusid oma kohalt ära, tehti kaitsete otsade lähedale üks suurem sälk, et kinnitada kaitsed ketilüli külge kaablisidemetega. Mainitud lahendus aga ei andud soovitud tulemust. Pärast mõne päevast liikumist võtsid kaitsed aga ise ketilüli vormi ja kaitsete liikumine vähenes või jäid fikseeritult ketilüli külge. Polüetüleenist kaitsed pidasid simulatsioonis vastu kümme päeva, mis looduses tähendaks 30 päeva. Kasutatud kaitsed on näha joonisel 10, kus polüetüleenist kaitse on ülemine must.



Joonis 9. Vasakul kinnitamiseks valmis kõrge tihedusega polüetüleenist kaitse, paremal ketilülidele kinnitatud kaitsed

Polüpropüleenist kaitsed valmistati ja paigaldati samal põhimõttel nagu polüetüleenist kaitsed. Polüpropüleenist kaitsed pidasid vastu seitse päeva, mis looduses vastaks 21 päevale. Kasutatud kaitsed on näha joonisel 10, kus polüpropüleen kaitse on alumine hele.



Joonis 10. Katsetes kasutatud plastikust kaitsed, must kõrge tihedusega polüetüleenist, hele polüpropüleenist

On ka tugevamaid plastikuid, mida tasuks järgnevatest katsetest proovida. On tehtud uurimustöö, kus on võrreldud plastikute vastupidavust abrasiivsele kulumisele. Antud uurimustöö järgi oleksid potentsiaalsed kandidaadid ülikõrge molekulkaaluga polüetüleen (*ultra-high-molecur-weight polüethylene*) ja polüuretaan kõvadusega 90A (Budinski 1997).

### 3.2. Teine katse- kummist katte kulumine

Kuna plastikust katted ei andnud soovitud tulemust katsetati järgmisena kummist katet. Katsetes kasutati kahte erinevat kummist armeeritud õlikindlat survevoolikut. Neid voolikuid kasutatakse üldiselt hüdraulikas. Voolikud olid ehituselt samad. Ainuke erinevus oli välispind, mis ühel oli sile (vt. joonis 11 vasakul) ning teisel laineline (vt. joonis 11 paremal). Mõlemad voolikud koosnevad kahest kihist kummist, mille vahel tekstiilist armatuur. Välimise kihi sees on lisaks veel armeering, mis on spiraali kujuline terasest traat. Traadi läbimõõt oli 1,5 mm. Mõlema vooliku läbimõõt oli 32 mm ning seinapaksus 9 mm. Joonisel 11 on näha kahte katsetes kasutatud kummi voolikut.



Joonis 11. Katsestes kasutatud armeeritud kummist kõrgrsurve voolikud

Esimesed kummist kaitsed tehti samades mõõtudes ja paigaldati sama moodi nagu plastikust kaitsed. Esialgu lõigati kummi voolikust 150 mm jupid, mis lõigati pikkupidi pooleks. Erinevalt plastikust kaitsest lõigati nurgad ümaraks. Kasutatud kummist kaitsed on näha joonisel 12.



Joonis 12. Vasakul lainelise pinnaga kaitse, paremal sileda pinnaga kaitse



Esimestel katse päevadel oli näha, et kummist kaitsed ei püsi ketilülidel. Selle põhjuseks on kummi elastsem struktuur ja suurem seinapaksus kui plastikust kaitsedel. Juba oli ka näha tugevaid kulumise jälgi. Lahenduseks tehti uued kaitsed, mis olid pikemad ja katsid ühe tükina kogu ketilüli sisemise külje ja paigaldati igale teisele ketilülile. Joonisel 13 on näha ketilülile paigaldatud täispikka kummist kaitset.



Joonis 13. Ketilülile paigaldatud täispikk kummist kaits

Täispikkade kaitsede valmistamiseks valiti ainult laineline kummi toru, sest see oli päevade jooksul vähem kulunud kui sileda pinnaga kummist kaitsed. Viimaseks uuenduseks ühendati täispikka kummist kaitsede otsad traadiga kokku, sest kummist kaitsede oli lahtiste otste tõttu liikunud.

Viimane varianti kaitses (vt. joonis 13) oli seadmel küljes 35 päeva ehk umbes kolm kuud looduses. Selle aja jooksul ei tulnud kaitsed kordagi lahti ega liikunud. Kulumise märgid olid minimaalsed võrreldes kõikide eelmiste katsetega ning kaitsed oleksid seadmel vastupidanud ka kauem.

### 3.3. Tähelepanekud

Kummist kaitsete kasutamisel oli näha kulumise kiiruse vahe kahe erineva kaitse kinnitamise meetodi vahel. Joonisel 14 on näha kulumise intensiivsuse erinevus kahe erineva kaitsete paigaldamise meetodi korral. Vasakul on näha kulunud kaitse, kui kaitse paigaldati igale ketilülile ja katse kestis viis päeva. Paremal on näha lõplik variant kummist kaitsest, mis paigaldati igale teisele ketilüle ja katse kestvus oli 35 päeva. Vasak poolne kaitse on rohkem kulunud, kuigi see kaitse oli seadmel ainult viis päeva. Paremal on kaitse, mis on vähem kulunud kuid oli seadmel 35 päeva.



Joonis 14. Rohkem kulunud kaitse vasakul. Vähem kulunud kaitse paremal

Parem poolse kaitse vähese kulumise põhjuseks võis olla kaitsete paigaldamine igale teisele ketilülile, mida tehes vähenes hõõrdumine kahe keha vahel ja kulumine ei toimunud enam nii intensiivselt. Paigaldades kaitse igale teisele ketilülile tekib situatsioon, kus intensiivne kulumine toimub kaitse ja ketilüli vahel, mitte kahe kaitse vahel. See võib tunduda kehvema lahendusena, kuid katsest järeldus, et kulumine ketilüli ja kummist kaitse vahel on vähem intensiivsem. See väide vajab täpsemat uurimist.

Teiseks pandi tähele, et nii kummist kaitsetel kui ka plastikust kaitsetel kulusid kõige intensiivsemalt kaks kohta. Need kohad on välja toodud joonisel 15. Vasakul oleval kaitsele on kulunud keskmise osa üks külgedest, paremal poolsele kaitsele on kulunud ühe otsa keskmine osa. Üks nendest kahest kohtast olid kõige enam kulunud kõigil 14-l katse kasutatud plastikust ja kummist kaitsele. Kahel kaitsele olid kulunud mõlemad joonisel näidatud kohad.

Sellise kulumise põhjuseks võib olla keti liikumist simuleerinud seadme iseärasus ning vajab täiendavat uurimist.



Joonis 15. Kaks enim kulunud kohta kaitsmetel

## **4. ANKRUKETI KASUTUSPERIOODI PIKENDAMINE**

Praegu kasutab VA ujuvmärgi ankruketi kasutusperioodi pikendamiseks lihtsalt jämedama läbimõõduga ketti, kui ujuvmärgi kinnitamiseks vaja oleks. Keti kasutusperioodi pikendava lahenduse valimisel tuleks silmaspidada, kas valitud meetod on ka majanduslikult kasulik. Peatükkides 4.1, 4.2 ja 4.3 on väljatoodud mõned lahendused, mida tasuks täiendavalt katsetada.

### **4.1. Vastupidava sulami valimine, sulami termo- ja termokeemiline töötlemine**

Üheks võimalikuks lahenduseks oleks valida ankruketiks kindlate keemiliste ühenditega sulam. Kindlate keemiliste elementide olemasolu sulamis tõstab kulumis ja korrosiooni kindlust. Kulumiskindlust tõstab sulamil näiteks süsiniku, lämmastiku, nikli, molübdeeni, volframi ja mangaani sisaldus. Vastupidavust korrosioonile tõstab näiteks nikli, kroomi ja alumiiniumi sisaldus. Süsiniku ja lämmastikku saab sulamile lisada ka pärast ketilüli valmimist kasutades termo- ja termokeemilist töötlemist (Kulu 2005).

Uurimustöö raames uuriti kahe erineva ketilüli keemilist koostist. Kaheks uuritavaks ketilülilik valiti ketilülid, millest ühel on tunduvalt suurem vastupidavus kulumisele ja korrosioonile. Suurema vastupidavusega ketilülil, mille läbimõõt on 27 mm, ei olnud sertifikaati, sest sellise sulamiga kette enam ei toodeta. Teisel ketilülil, mille läbimõõt oli 32 mm, oli Lloyd's Register-i poolt välja antud sertifikaat (vt. lisa 1). Ketilülide keemilise koostise uuring toimus Tallinna Tehnikaülikooli mehaanika ja metrooloogia katselaboris. Katselaboris määrati keemilised koostised ja võrreldi neid sertifikaadi andmetega või püüti määrata, mis sulamiga on tegu. 27 mm ja 32 mm vastupidavusega ketilüli keemilised koostised on näidatud vastvalt lisa 2 ja lisa 3. Lias 4 on tabelina väljatoodud erinevused kahe ketilüli keemilistes koostistes. Tabelis on kollaselt märgitud elemendid, mida on ühes ketilülis rohkem. Punasega on märgitud elemendid, mida on ühes ketilülis kordades rohkem.



On näha, et 27 mm ketilüli suurema vastupidavuse kulumisele ja korrosioonile annavad süsiniku, mangaani, kroomi, alumiiniumi, nikli ja titaani suurem sisaldus. 32 mm läbimõõduga ketilüli keemiline koostis sobib sertifikaadis kinnitatud keemilise koostisega (vt. lisa 5). Lisas 6 on näidatud U1, U2 ja U3 klassi keemiliste elementide sisalduse vahemikud. 27 mm läbimõõduga ketilüli sulamiseks määrati TWIP teras (*twinning-induced plasticity steel*) (vt. lisa 7), mis määrati suure mangaani ja alumiiniumi sisalduse pärast.

Terase termotöötlemisel tõstab kulumiskindlust pindkarastamine ja noolutamine. Pindkarastamist on võimalik teha kõrgsagedusvoolu ja atsetüleen-hapniku leegiga. Nii kuumutatakse ainult terase pinnakiht. Pärast kiiret jahutamist karastub ainult pindmine kiht, mis on pärast kulumiskindlam. Karastamisele järgneb noolutamine, mis toimub 200 kraadi juures. Jahutus toimub õhu käes ning selline noolutamine annab karastatud pinnale tugevuse. Noolutamise temperatuur sõltub terase koostisest (Kulu 2005).

Termokeemilisel töötlemisel tõstab kulumiskindlust tsementiitimine, nitriitimine ja nitrotsementiitimine. Tsementiitimine on terase pinna riskastamine süsinikuga ja toimub hermeetilises anumas tüüpiliselt 920-980 kraadi juures. Temperatuur võib erineda olenevalt terase keemilisest koostisest. Tsementeeritud teras on vaja karastada ja noolutada. Nitriitimise käigus rikastatakse pinnakiht lämmastikuga. Teras asetatakse ahju, mis on 500-600 kraadi juures ning kuhu juhitakse ka amoniaaki, mis laguneb 500-600 kraadises ahjus vesinikuks ja lämmastikuks. See protsess on aeglane. Lämmastik imendub terasesse mõne kümnendiku millimeetri sügavusele. Nitriitimisel on kulumiskindlus suurem kui tsementiitimisel. Nitriititud teras ei vaja enam muud töötlemist. Nitrotsementiitimine on terase pinnakihi rikastamine süsiniku ja lämmastikuga. Tsüaneeritud pind vajab pärast karastamist ja noolutamist. Nitrotsementiititud teras on kulumiskindlam kui tsementiititud teras (Kulu 2005).

Termo- ja termokeemilise töötlemise juures vajab täiendavat uurimist meetodi kulukus. Kuna ketilüli termo- või termokeemilise töötlemise tegemine käepäraste vahenditega on piiratud ning õige tehnoloogia kasutamine võib muutuda kulukamaks.

## **4.2. Ketilüli katmine kulumiskindla materjaliga**

Katsetest, kus kasutati plastikust kaitseid, järeldus, et odavad, enim levinud ja lihtsasti kättesaadavad plastikud ei oma kaitset abrasiivse kulumise eest. Küll on aga plastikuid, millel on kulumiskindlus suurem. Nendeks plastikutest on näiteks polüüretaan tugevusklassiga 90A

või ülikõrge molekulkaaluga polüetüleen (*ultra-high-molecur-weight polyethylene*) (Budinski 1997).

Lõputöö raames tehtud katsetest järeldus, et kummist kaitsete olid plastikust kaitsetest edukamad kulumiskindluse osas. Viimases katses kasutatud armeeritud kummist õlikindel toru on kõrge potentsiaaliga kaitsmaks ankruketti meres. Kummist kaitsete puhul vajaks täiendavat uurimist milline on kõige kindlam kaitse kinnitamise meetod ja kaitse kuju.

Üheks võimalikuks lahenduseks võib olla ka kuluva osa katmine kulumiskindlana metalliga. Seda saaks teha keevitades kuluvatele osadele kulumiskindlast sulamist kaitsev kiht nagu tehakse ka kõvade maavarade kaevandamisel. Sellist protsessi nimetatakse kõvasulamiga pindamiseks.

### **4.3. Muud võimalikud lahendused ja soovitused**

Alternatiivseteks lahendusteks võiks olla ankru ja ujumärgi kinnitamiseks kasutatav kett asendada mingi muu materjaliga. Näiteks asendada terasest kett sünteetilise köiega. Sünteetiline köis on piisavalt tugev, et vastupidada ujumärgi kasutusperioodil köiele mõjuvatele jõududele ning on vastupidavad soolasele veele. Kuigi sünteetilised köied ei ole nii kulumiskindlad kui ketid, on võimalik teistsuguse ankru ja ujumärgi kinnitus meetodiga köie kulumist vältida. Ankurdusliini kasutades on võimalik saavutada ka suurem asukoha täpsus, kuna liin ei pea olema nii pikk kui ketiga ühendamisel. Mõned tingimused, mida peaks silmaspidama ankurdusliini kasutades:

- 1) Võib tekkida vajadus suurendada ankru kaalu, sest ketiga ühendamisel toimib keti raskus samuti ankruna;
- 2) Ankurdusliinile tuleks teha aasad või silmused, millega saaks kraana ankrut veest välja tõstes liini vahepeal laeva külge fikseerida, et uuesti altpoolt tõsta. Ankurdusliini kasutades on võimalik ankrut põhjast üles tõmmata ka vintsi ja plokkide abil (Palgi 2015);
- 3) Ankurdusliin ei tohi puutuda vastu põhja ega ankru nurka, sest nii kulub köis läbi;

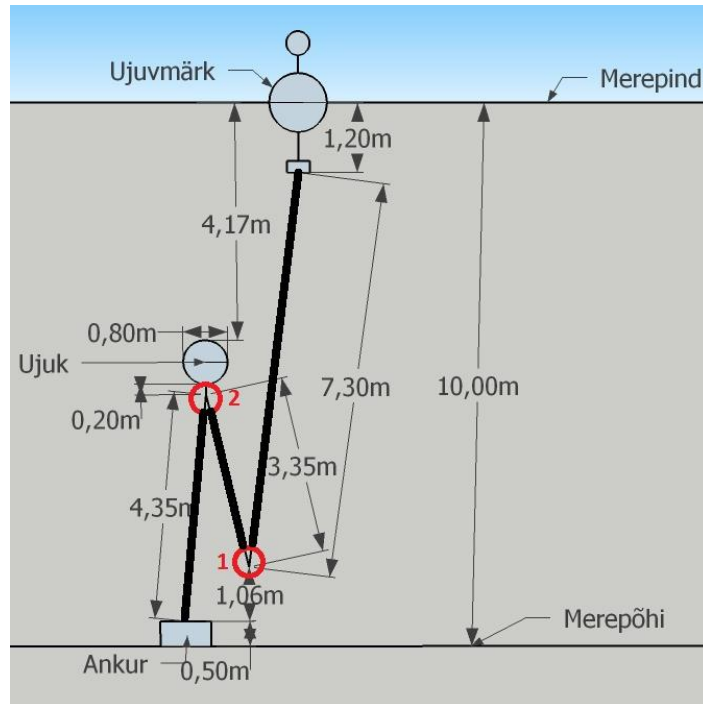
4) Aastukaaluga ujumärgi ankurduoliini pikkuseks võiks olla mere sügavus antud kohas, millele tuleks lisada teatud pikkus. Lisatud pikkus peaks olla piisavalt pikk, et ujumärk jääks üheselt mõistetavaks ka kõrge veetaseme ajal;

5) Aastukaaluta ujumärgi ankurduoliini pikkuseks peaks olema keskmisest veetasemest veidi madalama sügavuse pikkus. Kuna vastukaaluta ujumärgil vastukaal puudub, vajub ujumärk madalvee ajal külili.

Üks võimalikest kinnitus meetoditest on illustreeritud joonisel 16. Joonisel on ankurduoliini pikkuseks poolteist mere sügavust, mis on piisav, et kompenseerida veetaseme tõusu. Sügavuse juures kümme meetrit on seega kõie pikkuseks 15 m. Ujumärgi veealuse osa pikkuseks on 1,2 m ja ankru kõrguseks 0,5 m. Kõis jaguneks kolmeks osaks. Need kolme osa pikkused tuleks jaotada vastavalt:

- 1) Ujuki sügavus ei piiraks laevade liikumist;
- 2) Kõie alumise murdumiskoha (vt. joonis 16. punkt 1) ja ankru vahel oleks piisavalt ruumi, et kõis madalvee ajal vastu põhja ega ankru nurka ei hõõruks.

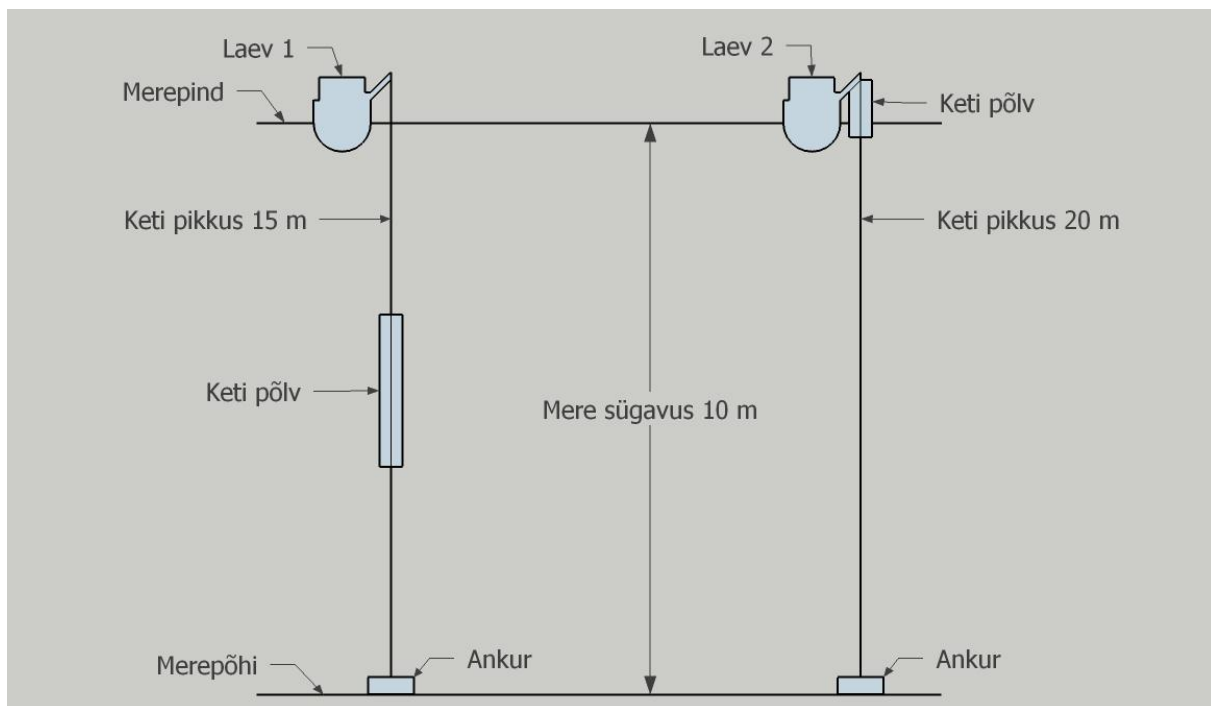
Joonisel 16 näidatud lahenduse juures on alumise murdumiskoha ja ankru vahel jäetud 1,06 m ning merepinna ja ujuki vahele 4,17 m. See tähendab, et meretase võib langeda 2,12 m enne kui kõie murdumiskoht hakkab vastu ankrut hõõruma. Sel juhul oleksid kolme osa pikkused alustades ujumärgist 7,3 m, 3,35 m ja 4,35 m. Ülemine murdumiskoht (vt. joonis 16. punkt 2) on vikseeritud ning ei muutu. Sinna on kinnitatud ujuk, mis hoiab kõit vastu ankrut või merepõhja puutumast. Joonisel 16 punktis 2 on ujuk kinnitatud 0,2 m kõiega ja ujuki läbimõõduks on 0,8 m.



Joonis 16. Ujumärgi ja ankru kinnitus kõiega

Üheks probleemiks, mis vajab eelnevas näites lahendust on ujumärgi pöörlemisest tingitud pinged ankrudusliinis. Need pinged keeravad lõpuks ankrudusliini keerdu ja ujuk võib puruneda või küljest tulla (Toomiste 2015).

Kui ankrudusliiniga ühendamisel võib liini pikkus olla alla kahe sügavuse siis ankruketi kasutamisel tuleks pikkust alla kahe mere sügavuse vältida. Alla kahe kordse mere sügavuse pikkuse kasutamine võib põhjustada keti katkemise ankru veest välja tõstmisel. Kett puruneb keti põlve kohast. Kasutades keti pikkust vähem kui kahe kordne mere sügavus ei ulatu keti põlve osa veest välja enne kui ankru kaal on laskunud ketile, ning ankru kaal võib põhjustada keti nõrgima lüli purunemise. Kui kasutada ankruketti pikkusega minimaalselt kahe kordne mere sügavus siis ankru välja tõstmisel ulatub keti põlve osa veest välja enne kui ketile lasub ankru kaal (vt. joonis 17). Mida pikem on aga ankruketi pikkus, seda väikse on ujumärgi asukoha täpsus.



Joonis 17. Keti põlve asukoht ankru välja tõstmisel sõltuvalt keti pikkusest

IALA 2001 aasta neljandas väljaantud juhises on veel kirjas, et üle 50 m sügavustes kohtades võiks kasutada ankruketti, mille miinimum pikkuseks on pooleteist kordne mere sügavus. Alla 50 m sügavustes kohtades soovitati ka siis kahe kordset mere sügavust (IALA 2001). Aastal 2014 väljaantud seitsmendas juhises on soovitatud järgmised sügavused (IALA 2014):

- 1) Sügavustes alla 50 m on soovituslikuks ankruketi miinimum pikkuseks kolme kordne mere sügavus;
- 2) Sügavustes üle 50 m on soovituslikuks ankruketi miinimum pikkuseks kahe kordne mere sügavus;
- 3) Madalamates kohtades, kus esineb laine murdumine on soovituslikuks miinimum pikkuseks seitsme kordne mere sügavus.

## KOKKUVÕTE

Lõputöö eesmärgiks oli uurida ujuvmärgi ankruketi kulumist kasutades erinevaid kaitsmismaterjale, leida meetodid ankruketi kulumise vähendamiseks ning hinnata erinevate kaitsematerjalide kasutamise otstarbekust. Uuriti ujuvmärgi ankruketi kulumist video ning merest välja tõstetud ankruketi ja tarkvara simulatsiooni põhjal. Selgitati keti kulumise põhjusi ning mehhanisme. On teostatud põhjalik analüüs kõige optimaalsema kaitsematerjali määramiseks. Valitud materjalid olid kõrge tihedusega polüetüleenist, polüpropüleenist torud ja kummist survevoolikud. Keti kulumise uurimisel saadud teadmisi rakendades loodi materjalidest kaitsed, mis kinnitati ketilülidele. Kaitsetega täiendatud ketilülisid katsetati seadmega, mis simuleeris keti kulumist kolm korda kiiremini kui see toimuks looduses. Viimaks kirjeldati teisi materjale ja meetodeid, mis võiksid samuti keti kulumist vähendada või selle eemaldada, kuid mida lõputöö raames ei katsetatud. Muude lahenduste alla kuulusid tugevamate materjalid, ketilülide termo- ja termokeemiline töötlemine ja ankruketi asendamine sünteetilise ankruliiniga.

Lõputöös katsetatud materjalidest saavutas kõige parema tulemuse kummist survevoolik, mis pidas vastu 35 päeva, mis looduses vastaks umbes kolmele kuule. Kummist survevoolikust kaitsed oleks edasi vaja katsetada ja reaalsetes tingimustes mere ja ankruketi külge kinnitatuna.

Lisaks selgus kummist kaitsetega katsetest, et kui kaitsed paigaldada igale teisele ketilülile on kaitse kulumine väiksem. Esimestes katsetes paigaldati kaitsed igale ketilüli ning kulumine on märgatavalt suurem juba viie päeva pikkusel perioodil. Viimases katse paigaldati kaitsed igale teisele ketilülile ja siis pidas samast materjalist kaitse vastu 35 päeva ning kulumise märgid olid väga väikesed.

Kuigi katsetes kergesti kättesaadavad plastikud rahuldavat tulemust ei andud, on plastikutel ikkagi potentsiaali kulumise vähendamisel. Järgmistes töödes võiks uurida polüuretaan tugevusklassiga 90A või ülikõrge molekulkaaluga polüetüleeni ja neid kulumise kindluse osas katsetada. Ketilüli katmisel kulumiskindlama materjaliga võib hea tulemuse anda ka kõvema sulami ketilülile keevitamine nagu tehakse näiteks maavarade kaevandamisel. Teiste võimalike lahenduste seas olev ketilüli termo- ja termokeemiline töötlemine vajaks täiendavat uurimist meetodi kulukuse osas, sest käepäraste vahenditega on töötlemist raske teha. Ning samuti katsetada töödeldud ketilülide kulumist, et saaks teha

järelduse kas töötlemine üldse annab rahuldava tulemuse. Ankruketi asendamine sünteetilise ankruliiniga vajaksid täiendavat uurimist.

Esitatud tulemused on olulised ankruketi kulumise uuringus ning põhjaliku ankruketi kulumise analüüsi aluseks. Selleks, et määrata kõige odavam ja otstarbekam kaitsematerjal, on tarvis teostada põhjalikud katsed erinevat tüüpi materjalidega.

# **SUMMARY**

## **WEAR OF FLOATING AID TO NAVIGATION MOORING**

Ott K uusmaa

The objective of the thesis is to study wear of floating aid to navigation mooring. The purpose is to find out where exactly wear occurs and reasons behind it. Research is based on video recordings and empirical testing. To complement visual observations computer software simulation was created. With this software a 3-D copy of mooring chain was modelled and it tried to replicate movement of the chain.

Then polyethylene pipe, polypropylene pipe and industrial rubber hose were used in experiments that studied wear resistance. These materials were chosen because of their potential to protect chain from abrasive wear, they are inexpensive and attainable. From these materials protective elements were designed and attached to chain links. This experiment was carried out with a device that simulated chain movement like it would occur in the sea. Device simulates wear of the chain three times faster compare to real conditions.

Experiment revealed that industrial rubber hose is the best material used for the chain protection. It lasted 35 days and showed minimal fatigue compared to other two materials. One of the main experiment outcome showed that if protective elements were attached to every second chain link then fatigue of the elements was less noticeable than if elements were attached to each chain link.

Firstly, alloys that should be chosen for mooring chains are described and how heat treatment and thermochemical treatment of chain links improve their resistance to wear. Secondly, materials that have wear resistance potential but were not included in the experiment were described. These materials are ultra-high-molecular-weight polyethylene and polyurethane with 90A hardness. Hardfacing the surfaces with most intensive wear with tougher alloy is also possible solution to reduce wear. Finally, mooring method that replaces chain with synthetic rope is explained and illustrated.

The solutions to decrease or completely eliminate wear in mooring are discussed in the last chapter of the thesis.



## VIIDATUD ALLIKAD

Aids to navigation guide (Navguide). Edition 4. (2001). IALA AISM.

Benvenuto, J., P. (2014). Computation of buoy mooring chain wear. Rhode Islandi Ülikool, ocean engineering. Rhode Island. Magistritöö.

Budinski, K., G. (1997). Resistance to particle abrasion of selected plastics. <http://www.ewp.rpi.edu/hartford/users/papers/engr/ernesto/lessam/FWM/Project/Research%20Materials/Resistance%20to%20particle%20abrasion%20of%20selected%20plastics.pdf> (02.01.2015)

Buoy chains and shackles, Quality requirements. (2012). The Finnish Transport Agency

IALA Guideline No. 1066 On The Design of Floating Aid to Navigation Moorings Edition 1.1. (2010). IALA AISM.

Kulu, P. (2005). Metallitööpetus. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli kirjastus.

NAVGUIDE. Aids to navigation manual. Edition 7. (2014). IALA AISM.

Palgi, T. VA Navigatsioonimärgistuse osakonna peaspetsialist. Intervjuu Tiit Palgiga. Autori intervjuu. Üleskirjutis. (28.04.2015)

Silberhorn, R.; Dinovitzer, A. (2002). The Canadian coastguard mooring selection guide. XVth conference of the international association of marine aids to navigation and lighthouse authorities.

Toomiste, L. VA Hooldustalituse juhataja. Intervjuu Lauri Toomistega. Autori intervjuu. Üleskirjutis. (12.02.2015)

## Lisa 1. Lloyd's Register keti sertifikat

The validity of this certificate is to be confirmed with the issuing office prior to the placement onboard on LR Classed vessels.

Certificate no: NJG1200166-13

Page 1 of 1



### Certificate For Anchor Chain Cable and Chain Cable Fittings

Client/Manufacturer: Jiangsu Asian Star Anchor Chain Co.,Ltd  
 Order number on manufacturer: 11T3926  
 Chain manufacturer (if different from above): Same as client  
 Work's order number: -  
 Testing house name and address (if different from above): Same as client  
 Material certificate numbers: 1539352,9973016.

Purchaser: BASTINI OU.

This certificate is issued to the above Client to certify that the Anchor Chain Cable and Chain Cable fittings, detailed herein, have been made, examined and tested in accordance with the Rules and Regulations for the Classification of Ships.

#### Particulars of Finished Chain Cable and Fittings

Chain grade: U2(a)  
 Nominal Diameter (mm): 32  
 Total length of chain cable (m): -440-  
 Length of link (mm): 192  
 Breadth of link (mm): 115  
 Mass (tonnes): -11-  
 Number of enlarged shackles: E.S-48-  
 Number of swivels: E+EL+SW+EL+C-16-  
 Number of lugged joining shackles: NIL  
 Number of lugless joining shackles: NIL  
 Proof load applied kN: 416  
 Break load applied kN: 583  
 Approved alternative procedure for break test applied:  
 Yes  
 Every four (27.5m) lengths  
 No  
 Each batch (fittings)  
 Break test frequency:  Each (27.5m) length  
 Manufacturing Process: Heat treatment  
 Flash butt welded(Cable),Drop forged(fittings): Normalized.

#### Mechanical Properties - Finished Cable and Fittings

Cast number	Cable/ Fitting	Yield strength N/mm <sup>2</sup>	Tensile strength N/mm <sup>2</sup>	Elong. %	Red. of Area %	Impact Values - Joules			Average	Location base/ weld	
						Temp °C	1	2			3
1205-03788	SW	391	594	31	-	0	148	136	127	137	-
1205-03788	E.S	394	586	30	-	0	146	135	127	136	-
01111-0353	CABLE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

#### Chemical Composition - As Stated by Manufacturer

Cast number	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Al%	N%	Cr%	Cu%	Nb%	Ni%	V%	Mo%
1205-03788	0.19	0.26	1.28	.017	.009	.024	-	-	-	-	-	-	-
01111-0353	0.19	0.26	1.25	.020	.013	.031	-	-	-	-	-	-	-

#### Identification Marks

a) Office: LR NJG  
 b) Certificate number: 1200166-13-(C3041~C3056,6~21, 17~64)  
 c) Proof load and grade: PL416KN U2 15-3-12

F. Zhang, Surveyor to Lloyd's Register Asia  
 A member of Lloyd's Register Group  
 Date: 15 March 2012  
 Office: Nanjing

To be completed by the Surveyor verifying the equipment after placing on board  
 Surveyor to  
 A member of Lloyd's Register Group  
 Date  
 Chain cable placed on board (name of vessel)

Should the Anchor Chain Cable or fittings described above be lost or destroyed, this certificate is to be returned to your Lloyd's Register Group office, for cancellation. If the Anchor Chain or fitting is impaired or otherwise altered, so as to destroy its identity with the certificate, the facts are to be reported to your Lloyd's Register Group office in order that the certificate may be altered accordingly.

† Delete where not applicable

Lloyd's Register, its affiliates and subsidiaries and their respective officers, employees or agents are, individually and collectively, referred to in this clause as the 'Lloyd's Register Group'. The Lloyd's Register Group assumes no responsibility and shall not be liable to any person for any loss, damage or expense caused by reliance on the information or advice in this document or howsoever provided, unless that person has signed a contract with the relevant Lloyd's Register Group entity for the provision of this information or advice and in that case any responsibility or liability is exclusively on the terms and conditions set out in that contract.

**Lisa 2. 27 mm läbimõõduga ketilüli keemiline koostis**

*N24 Sumpt*

Program: FE-01  
 Comment: Orientation Fe-alloys  
 Average (n=3)

12858/00

01/13/2015 09:11:34 AM  
 Elements: Concentration

Sample No: EMERA\_2\_N24\_general  
 Sample Id: *φ27*

Quality:

	<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Cr</b>	<b>Mo</b>
	%	%	%	%	%	%	%
$\bar{x}$	0.45	0.36	13.60	0.017	0.011	0.22	<0.01
	<b>Ni</b>	<b>Al</b>	<b>Co</b>	<b>Cu</b>	<b>Nb</b>	<b>Ti</b>	<b>V</b>
	%	%	%	%	%	%	%
$\bar{x}$	0.10	>1.2000	<0.01	0.07	0.02	0.0045	0.05
	<b>W</b>	<b>Pb</b>	<b>Sn</b>	<b>Mg</b>	<b>As</b>	<b>Bi</b>	<b>Ca</b>
	%	%	%	%	%	%	%
$\bar{x}$	0.01	<0.002	0.005	0.0092	0.004	>0.024	0.0006
	<b>Ce</b>	<b>Sb</b>	<b>Se</b>	<b>Te</b>	<b>B</b>	<b>Zn</b>	<b>Fe</b>
	%	%	%	%	%	%	%
$\bar{x}$	<0.002	0.017	0.0330	0.038	<0.0003	<0.0020	79.76
	<b>N</b>						
	[cnt]						
$\bar{x}$	1384						

*2 (2)*

### Lisa 3. 32 mm läbimõõduga ketilüli keemiline koostis

02

N23 Sample 1

Program: FE-10  
 Comment: Low alloy steel  
 Average (n=3)

12858/00

01/12/2015 02:06:11 F

Elements: Concentratic

Sample No: EMERA\_1\_N23  
 Sample Id:  $\phi 30$  02

Quality:

	<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Cr</b>	<b>Mo</b>
	%	%	%	%	%	%	%
$\bar{x}$	0.19	0.22	1.28	0.013	0.007	0.04	0.02
	<b>Ni</b>	<b>Al</b>	<b>Co</b>	<b>Cu</b>	<b>Nb</b>	<b>Ti</b>	<b>V</b>
	%	%	%	%	%	%	%
$\bar{x}$	0.05	0.0207	<0.01	0.16	<0.00	0.0027	<0.00
	<b>W</b>	<b>Pb</b>	<b>Sn</b>	<b>As</b>	<b>Ca</b>	<b>Ce</b>	<b>Sb</b>
	%	%	%	%	%	%	%
$\bar{x}$	<0.01	<0.002	0.020	0.006	0.0015	0.006	0.002
	<b>Se</b>	<b>Te</b>	<b>B</b>	<b>Zn</b>	<b>Fe</b>	<b>N</b>	
	%	%	%	%	%	%	
$\bar{x}$	<0.0010	<0.001	<0.0003	0.0056	97.94	0.0000	

2(2)

#### Lisa 4. Ketilülide keemilise koostise võrdlus

	Keemiline element	27 mm, %	32 mm, %
süsinik	C	0,45	0,19
räni	Si	0,36	0,22
mangaan	Mn	13,6	1,28
fosfor	P	0,017	0,013
väävel	S	0,011	0,007
kroom	Cr	0,22	0,04
molübdeen	Mo	< 0,01	0,02
Nikkel	Ni	0,1	0,05
alumiinium	Al	> 1,2	0,0207
koobalt	Co	< 0,01	< 0,01
vask	Cu	0,07	0,16
noobium	Nb	0,02	< 0,00
titaan	Ti	0,0045	0,0027
vanaadium	V	0,05	< 0,00
volfram	W	0,01	< 0,01
plii	Pb	< 0,002	< 0,002
tina	Sn	0,005	0,02
arsen	As	0,004	0,006
kaltsium	Ca	0,0006	0,0015
tseerium	Ce	< 0,002	0,006
antimon	Sb	0,017	0,002
seleen	Se	0,033	< 0,001
tellur	Te	0,038	< 0,001
boor	B	< 0,0003	< 0,0003
tsink	Zn	< 0,002	0,0056
raud	Fe	79,76	97,04
lämmastik	N	[cnt] 1384	0
magneesium	Mg	0,0092	0
vismut	Bi	> 0,024	0

## Lisa 5. 32 mm läbimõõduga ketilüli katselabori protokoll



02  
TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

MEHAANIKA JA METROLOOGIA KATSELABOR



Akrediteeritud  
L 027

### TEST REPORT nr.23

Tallinn 12.01.2015

**Customer:** TTÜ Eesti Mereakadeemia  
Kopli 101, 11711, Tallinn

**Assignment:** Testing of Anhor Chain Cable material of , supplied by the customer.

**Decription, of Specimen:** From test piece N1 (D30) , supplies by the customer, made test piece for chemical composition.

**Reception:** 12.01.15

**Testing:** 12.01.15

**Tesing method:** 1.Spectro manual

**Test equipment :** 1.Spectrolab, cal. 05.2011.

**Temperature:** +22 ° C.

**Results:** 1.Chemical composition in Annex 1

**Conclusion:** Material grade U2, according to Lloyd's Register and Certificate NJG 200166-13 .

Tester :

Endel Esinurm

Test Expert

Head of Laboratory

M.Eng Riho Päärsoo

Page 1(2)

Saadud tulemused kehtivad ainult kirjeldatud proovi(de) kohta. Antud protokoll on lubatud kopeerida ainult tervikuna, osaliseks kopeerimiseks tuleb taotleda TTÜ mehaanika ja metroloogia katselabori kirjalikku luba.

Ehitajate tee 5

19086 Tallinn, Estonia

Tel. +372 620 3361

Fax +372 620 3196

E-mail mlab@ttu.ee

EESTI AKREDITEERIMISKESKUSE 21.06.2010. TUNNISTUS NR. L 027

## Lisa 6. Keemiliste elementide sisalduse vahemikud tugevus klassidena

Table 10.2.2 Chemical composition of butt welded and forged chain cable

Grade	Chemical composition %												
	C max.	Si	Mn	P max.	S max.	Al	N max.	Cr max.	Cu max.	Nb max.	Ni max.	V max.	Mo max.
U1	0,20	0,15 – 0,35	0,40 min.	0,04	0,04	—	—	—	—	—	—	—	—
U2	0,24	0,15 – 0,55	1,60 max.	0,035	0,035	0,02 min. <i>see</i> Note 1	—	—	—	—	—	—	—
U3	0,33	0,15 – 0,35	1,90 max.	0,04	0,04	0,065 max. <i>see</i> Note 2	0,015	0,25	0,35	0,05 <i>see</i> Note 2	0,40	0,10 <i>see</i> Note 2	0,08

## Lisa 7. 27 mm läbimõõduga ketilüli katselabori protokoll



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

MEHAANIKA JA METROLOOGIA KATSELABOR



Akrediteeritud  
L 027

TEST REPORT nr.24

Tallinn 12.01.2015

**Customer:** TTÜ Eesti Mereakadeemia  
Kopli 101, 11711, Tallinn

**Assignment:** Testing of Anchor Chain Cable material of, supplied by the customer.

**Description,** From test piece N2 (D27), supplies by the customer, made test piece  
**of Specimen:** for chemical composition.

**Reception:** 12.01.15

**Testing:** 12.01.15

**Testing method:** 1.Spectro manual

**Test equipment :** 1.Spectrolab, cal. 05.2011.

**Temperature:** +22 ° C.

**Results:** 1.Chemical composition in Annex 1

**Conclusion:** Material grade is special steel TWIP

Tester :

Endel Esinurm

Test Expert

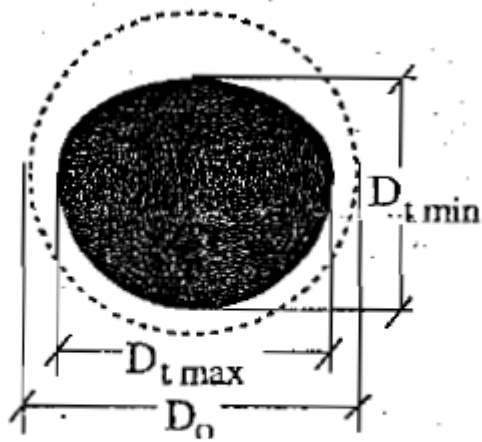
Head of Laboratory

M.Eng Riho Päärsoo

Page 1(2)



## Lisa 8. Kulunud ketilüli ristlõige



$D_o$  - algne ketilüli läbimõõt

$D_{t \min}$  - minimaalne ketilüli läbimõõt ajahetkel  $t$

$D_{t \max}$  - maksimaalne ketilüli läbimõõt ajahetkel  $t$