

Petri Heikkilä

Jäänmurtajan makeavesiputkiston materiaali- ja kustannusvertailu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinöörityö

14.5.2013

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Petri Heikkilä Jäänmurtajan makeavesiputkiston materiaali- ja kustannus- vertailu 43 sivua + 1 liite 14.5.2013
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Energia- ja ympäristötekniikka
Ohjaajat	LVI-suunnittelija Toni Kuokkanen Lehtori Juha Kotamies
Tämä insinöörityö tehtiin Arctech Helsinki Shipyard Oy:lle. Tavoitteena oli selvittää eri materiaalien soveltuvuutta makeavesiputkiston materiaaliksi sekä muovi- ja kupariputkien välisiä kustannuseroja. Työssä vertailtiin makeavesiputkistossa käytettävien materiaalien ominaisuuksia laivaympäristössä tuoden esille tuotteiden liitosmenetelmiä ja käyttöeroja jäänmurtajassa. Lisäksi työssä esitellään makeavesijärjestelmän päälaitteita ja muoviputkiin kohdistuvia säännöksiä. Työ toteutettiin käyttämällä hyväksi aiheeseen liittyvää kirjallisuutta, putkivalmistajien käyttöoppaita ja tuoteselosteita. Haastatteleamalla muoviputkien asentajaa ja muita putkien kanssa toimivia henkilöitä saatiin tietoa muoviputkista, työn laadusta, työnteosta ja turvallisuudesta. Insinöörityön tuloksena saatiin muoviputkien kannattavuudesta ja kustannuksista makeavesiputkiston materiaalina selvitys, jota Arctech Helsinki Shipyard Oy voi käyttää hyväksi tulevilla laivaprojekteissa.	
Avainsanat	muoviputki, kupariputki, makeavesiputki, jäänmurtaja

Author Title	Petri Heikkilä Icebreaker's Freshwater Pipeline Material and Cost Comparison
Number of Pages Date	43 pages + 1 appendix 14 May 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical and Production Engineering
Specialisation option	Energy and Environmental Engineering
Instructors	Toni Kuokkanen, HVAC designer Juha Kotamies, Principal Lecturer
This Bachelor's thesis was commissioned by Arctech Helsinki Shipyard Inc. The aim was to determine the suitability of different materials for fresh water piping as well as to analyze the cost differences between plastic and copper pipes. The thesis compared the properties of fresh water piping materials used in marine environment. Secondly, the products' connection methods and differences in use were presented. In addition, the thesis examines the theory of the fresh water system and presents the regulations for plastic pipes. The research work was carried out by utilizing the available literature, manuals and product brochures of various manufacturers. Furthermore, information on plastic pipes, quality of work and safety matters was collected by interviewing pipefitters and other employees specialized in pipes. As a result, an analysis was made on the viability and costs of plastic pipes as fresh water piping material, which can be used by Arctech Helsinki Shipyard Inc. in their future ship projects.	
Keywords	plastic pipe, copper pipe, fresh water pipe, icebreaker

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Makeavesijärjestelmä	1
2.1	Evaporaattori	2
2.2	Käänteisosmoosilaitteisto	3
2.3	Hydroforisäiliö	4
2.4	Makeanveden maistasyöttö	4
2.5	Makeavesitankki	5
2.6	Putkisto	6
3	Muoviputket	6
3.1	Muovien rakenne	7
3.2	Muovimateriaalit	8
3.2.1	PB: polybuteeni	8
3.2.2	PVC: polyvinyylikloridi	9
3.2.3	PE: polyeteeni	10
3.2.4	PP: polypropeeni	11
3.2.5	Komposiittiputki	12
3.3	Muoviputken valmistus ekstruusio-menetelmällä	13
4	Metalliputket	14
4.1	Kupari	15
4.2	Ruostumaton teräs	16
4.3	Sinkitty teräs	17
5	Korroosio	17
5.1	Yleinen korroosio	17
5.2	Pistekorroosio	18
5.3	Eroosiokorroosio	19
5.4	Rakokorroosio	19
5.5	Galvaaninen korroosio	20
5.6	Jännityskorroosio	21
6	Muoviputkien kestävyys	21

7	Muoviputkien säännökset	23
8	Putkiliitokset	24
8.1	Kupariputken liittäminen	24
8.2	Liimaliitos	26
8.3	Sähköhitsaus	26
8.4	Mekaaninen liitäntä	27
9	Putkien vertailu	28
9.1	Putkien asennuksen ja käsittelyn vertailu	28
9.1.1	Käsittely	28
9.1.2	Kannakointi	29
9.1.3	Läpivienti	30
9.1.4	Varastointi	31
9.1.5	Taivutus	32
9.2	Putkimateriaalien ominaisuuksien vertailu	32
9.3	Materiaalikustannuksien vertailu	34
9.4	Asennuskustannukset	37
10	Yhteenveto ja pohdinta	40
	Lähteet	42
	Liitteet	
	Liite 1. Jäänmurtajan 6. kansi	

Lyhenteet

ABS	ABS-muovi, akryylitriilin, butadieenin ja styreenin seos
HT	High Temperature
LCP	Nestekidemuovi
PB	Polybuteeni
PC	Polykarbonaatti
PE	Polyeteeni
PEI	Polyetyleni
PET	Polyeteenitereftalaatti
POM	Polyasetaali
PP	Polypropeeni
PPS	Polyfenyleenisulfidi
PS	Polystyreeni
PSU	Polysulfoni
PVC	Polyvinyylikloridi
SAN	Styreenin ja akrylinitriilin kopolymeeri

1 Johdanto

Insinöörityön aiheena on tutkia Arctech Helsinki Shipyardin telakalla rakennettavien jäänmurtaajien makeavesijärjestelmän materiaaleja sekä selvittää makeavesiputkiston materiaalikustannuksia ja asennuskustannuksia. Työssä käsitellään makeavesiputkiston muovi- ja metallimateriaaleja ottaen esille näiden ominaisuuksia, koostumusta ja muita teknisiä аспекteja. Lisäksi käydään läpi putkien käyttöön, asennukseen ja turvallisuuteen liittyviä asioita sekä makeavesijärjestelmään liittyvää teoriaa.

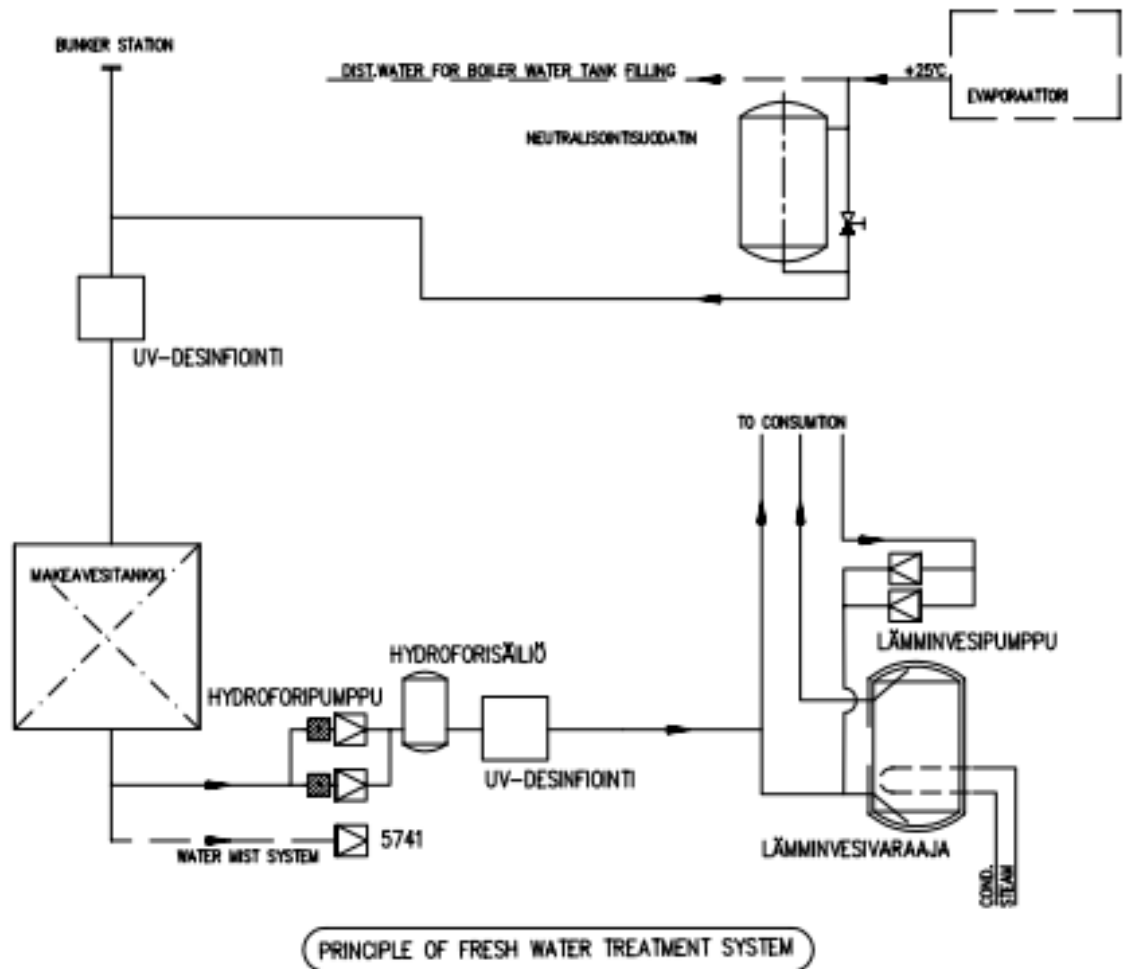
Arctech Helsinki Shipyardin rakenteilla olevassa jäänmurtajassa uudistetaan makeavesiputkiston materiaaleja siten, että kansien 6, 7, 8 ja 9 runkoputkisto valmistetaan kupariputkien sijasta GF:n INSTAFLEX-muoviputkista. Uudistuksella pyritään helpottamaan ja nopeuttamaan asennustöitä sekä parantamaan kustannus-hyötysuhdetta.

Opinnäytetyö pyrkii antamaan tarpeellista perustietoa nykyisin käytettävistä putkistomateriaalien ominaisuuksista sekä niiden käytöstä jäänmurtajassa. Muovien rakenteet ovat varsin merkittävästi lämpötilasta riippuvaisia ja hiilirakenteen myötä ne ovat syttyviä. Kestävyytensä ansiosta muovit ovat kuitenkin pitkäikäisiä eivätkä vaadi usein huoltoa. Näiden ominaisuuksien kehittyminen on johtanut siihen, että muovien käyttö on yleistymässä putkiston rakennemateriaalina.

Työn tavoitteena on selvittää muoviputkien edut ja haitat sekä vertailla kupari- ja muoviputkien materiaalikustannuksien ja työ kustannuksien eroja. Pyrkimyksenä on selvittää, kuinka muoviputket soveltuvat metalliputkien korvaajiksi.

2 Makeavesijärjestelmä

Jäänmurtaja-alukset joutuvat olemaan pitkään merellä ja vettä kuluu paljon matkan aikana. Aluksilla ei ole aina mahdollisuutta saada juomakelpoista vettä satamasta, joten sitä varten laivoissa on juomaveden valmistukseen tarvittava laitteisto. Yleinen laivojen käytössä oleva makeanveden tuotannon laite on evaporaattori tai vaihtoehtoisesti käänteisosmoosilaitteisto. Kuvassa 1 on esitelty tyypillinen esimerkki jäänmurtajan makeanveden jakelusta systeemikaavion avulla.



Kuva 1. Jäänmurtajan makeavesikaavio [23.]

Kuvan 1 makeavesisysteemin päälaitteisiin kuuluvat evaporaattorin lisäksi neutralointisuodatin, kaksi kappaletta UV-desinfiointilaitteita, makeavesitankki, hydroforipumppu ja hydroforisäiliö sekä lämminvesivaraaja ja lämpimän veden kiertopumput.

2.1 Evaporaattori

Juomakelpoinen vesi valmistetaan jäänmurtajiin yleensä evaporaattorilla, jossa vesi tislataan merivedestä. Vesi tuotetaan evaporaattorissa höyrystämällä merivettä ja tiivistämällä höyry puhtaaksi vedeksi. Tislaus tapahtuu lämpötilassa, joka on alle normaalin veden kiehumispisteen, sillä kiehuminen tapahtuu alipaineessa. Ejektorilla tuotetaan evaporaattorin sisälle alipaine ja siihen pumpataan vettä, jolloin merivedestä voidaan höyrystämällä tislata makeaa vettä dieselmoottorien HT-jäähdytysveden lämpöenergi-

aa käyttäen. Dieselin lämpötehon sijasta voidaan myös käyttää höyrylämmittintä. Kaikkien jäänmurtajan pääkoneiden ollessa käytössä HT-jäähdytysvettä ei ole aina saatavilla, joten höyrylämmitin on oltava varalta. Evaporoinnin jälkeen vesi on käsiteltävä neutralisointisuodattimella, sillä evaporoinnin aikana vedestä ovat kadonneet kaikki mineraalit. Tuotettu vesi pumpataan ulos laitoksesta edelleen varastotankkeihin. [1, s.186.]

Kaikki vesi ei kuitenkaan sovellu juomaveden valmistamiseen. Esimerkiksi satamien likaisesta vedestä ei voi valmistaa juomavettä. Juomavesi johdetaan UV- desinfiointilaitteisiin, jotka parantavat juomaveden tuhoten bakteereja ja viruksia sekä estäen niiden lisääntymisen. Aikaisemmin bakteerit tapettiin klooraamalla mutta se vaati jälkikäsittelyä varten kloorinpoistoa. [1, s.186.]

2.2 Käänteisosmoosilaitteisto

Toisena vaihtoehtona makeanveden kehittämiseen voidaan käyttää käänteiseen osmoosiin perustuvaa laitetta. Käänteisosmoosilaitteessa merivesi painetaan kovalla paineella erityisen tiheän kalvon läpi, jolloin suolat jäävät kalvoon eikä veteen jää mitään kemikaaleja. Puhdas vesi siirtyy jatkokäsittelyyn neutralointisuodattimeen ja suolainen liuos takaisin mereen. Kalvo on pestävä valmistajan ohjeiden mukaisesti takaisinhuuhdellulla, muuten bakteerit alkavat elää siinä ja lopulta tunkeutuvat läpi juomaveden puolelle. [2.]

Käänteisosmoosilaitte ei vaadi lämpöenergiaa kuten evaporaattori. Käänteisosmoosiprosessin suurin energiankulutus muodostuu paineenkorotuspumpun kuluttamasta sähkötehosta, jota tarvitaan riittävän painetason saavuttamiseksi. Käänteisosmoosikalvolle menevän syöttöveden paine on noin 60–70 baria. Tarvittavan paineen määrä riippuu veden suolapitoisuudesta. Kun käytetään murtovettä, kalvoon tarvittava syöttöpaine on alhainen ja sähköteho pienempi. [2.]

Käänteisosmoosiprosessissa on tärkeää puhdistaa raakavesi kiinteistä partikkeleista ennen kalvon läpimenoa. Puhdistus voidaan suorittaa mekaanisilla suodattimilla, jotka poistavat vedestä tulevat epäpuhtaudet. Likainen vesi tukkii kalvon, mikä aiheuttaa painehäviöitä ja veden laadun heikkenemistä. [2.]

2.3 Hydroforisäiliö

Kylmä makeavesi johdetaan käyttöpisteisiin makeanveden painesäiliöstä, eli hydroforisäiliöstä. Sen tehtävä on paineen ylläpito ja taseus järjestelmässä. Säiliö täytetään hydroforipumpuilla, joita on varmuuden vuoksi kaksi. Säiliön yläosaan luodaan painetta, jotta järjestelmässä voidaan ylläpitää tasainen paine. Tankin paine säädetään paineilamalla käyttöönoton tai huoltojen jälkeen. Tankissa on painelähetin, joka käynnistää pumpun, kun paine laskee alarajalle. Pumput nostavat paineen ja sammuvat, kun paine on saavuttanut asetetun rajan. Tarvittaessa paine voidaan nostaa nopeammin ylös kahden pumpun avulla. Säiliön koko mitoitetaan käyttötarpeen mukaan. Esimerkiksi Arctechin jäänmurtaajassa 507 hydroforisäiliön koko on 1500 l. Lämmin makeavesi johdetaan kuluttajille lämminvesivaraajan kautta. [17.]

2.4 Makeanveden maistasyöttö

Juomavettä voidaan kehittää laivassa, mutta pääsääntöisesti laivavarustamot pyrkivät varastoimaan veden maista juomavesitankkeihin. Satamien yhteydessä on pisteitä, josta saadaan letkuilla vettä kunnallisesta juomavesiverkosta. Lisäksi juomavettä on mahdollista lisätä toisesta laivasta, mikäli laivassa on veden luovuttamiseen vaadittava pumppausjärjestelmä. Laivalla on pidettävä lokia mistä, milloin ja millaista vettä laivaan on otettu. [3, s. 289.]

Jokaisessa aluksessa on oltava erityinen letku juomaveden tankkaamista varten. Tämä letku on pidettävä säilytyskaapissa ja siinä on oltava merkintä ”makeaa vettä”, eikä sitä saa käyttää mihinkään muuhun tarkoitukseen. [3, s. 289.]

Kansimies on vastuussa täyttöletkun puhtaudesta ja kunnosta, sekä täyttölinjan kytkennöistä. Ulostulo- ja sisäänmenoliitännöjen on oltava vähintään 40 cm telakan ja laivan kannen yläpuolella. Vesipisteiden liitännöissä on oltava merkintä ”makeaa vettä”. [3, s. 289.]

2.5 Makeavesitankki

Makeavesi säilytetään irto- tai runkotankeissa, jotka on valmistettu ruostumattomasta teräksestä tai joilla on korroosiota ehkäisevä päällyste. Materiaalit, jotka ovat kosketuksessa veden kanssa, mukaan lukien päällysteet, eivät saa päästää haitallisia aineita veteen, eivätkä aiheuttaa veden samentumista tai värimuutosta. Makeanveden saastumisen välttämiseksi tankeilla ei saa olla yhteisiä laipioita jätevesi-, polttoaine-, öljy-, tai muiden nestesäiliöiden kanssa. [4.]

Makeavesitankeissa on oltava huoltoluukku pintojen puhdistusta, tarkastusta ja korjauksia varten. Tankin pohja on kalteva ja siellä on tyhjennystulppa, jotta se voidaan tarvittaessa tyhjentää. Näytteenottoa varten tankissa on oltava hana mieluiten tankin alareunan tasolla mutta ei mielellään pohjatasolla. Jos hanaa ei ole mahdollista asentaa suoraan tankkiin, niin poistoputkeen on tehtävä haara näytteenottohanaa varten. [4.]

Aluksilla olevat makeavesivarastot on mitoitettava siten, että otetaan huomioon laivan käyttötarkoitus, yhtämittainen purjehdus ja veden kulutuksen miniminormit. Laivan makeavesitankin minimikoko voidaan määritellä taulukon 1 normien ja laivan henkilömäärän mukaan. Taulukon käyttöveden määrä on määritelty yhdelle henkilölle yhtä päivää kohden. Esimerkiksi jäänmurtaja 507:ssä makeavesitankin sääntöjen mukainen kapasiteetti on noin 225 m³. Yhteensä makeavesitankille varattiin 300 m³, josta osa on tarkoitettu öljynporaustalautan miehistölle. [4.]

Taulukko 1. Vedenkulutuksen miniminormit hlö/vrk [4.]

Vettä [l]	I Luokka	II luokka	III luokka	IV luokka
Juomavesi	50	40	20	10
Pesuvesi	100	90	30	10
	150	130	50	20

Alusten luokat on määritelty seuraavasti:

- I luokan alukset suorittavat yli 5 vrk:n pituisia matkoja sekä ajallisesti rajoittamattomia matkoja.
- II luokan alukset voivat tehdä 1 – 5 vrk:n pituisia matkoja.

- III luokan alukset tekevät alle 24 h:n matkoja
- IV luokan alukset tekevät alle 8 h:n matkoja

I ja II luokan laivoissa normien arvoja suositellaan korotettavan 1,5–2 kertaa suuremmaksi mukavuuden lisäämiseksi. Makeavesitankki voi olla pienempi, jos vesivarastoja täydennetään laivassa kehitetyllä vedellä. [4.]

2.6 Putkisto

Makeavesi johdetaan ruuanvalmistustiloihin ja terveysaseman tilojen vesipisteisiin, juomavesilaitteisiin sekä kaikkiin kylpy- ja wc-tilojen vesipisteisiin. Lisäksi jäänmurtajan koneiston erilaisiin laitteisiin johdetaan pääsääntöisesti kylmää vettä.

Tilat jäänmurtajassa ovat ahtaat, minkä seurauksena putkistot menevät rajoitetuissa tiloissa kiertäen erilaisia laitteita. Suorat putkistolinjat ovat yleensä erittäin harvassa. Pienen koon vuoksi makeavesiputket suunnitellaan väistämään laitteita sekä isompia putkia ja kanavia.

Jäänmurtajan makeavesiputkistoja suunniteltaessa laaditaan systeemi- ja putkistokaavio, ja määritellään putkien koot ja materiaalit. Putkilinjat sijoitetaan tuotantokustannuksien ja tilankäytön suhteen mahdollisimman edullisesti.

3 Muoviputket

Muovit ovat jäänmurtajalaivojen makeavesijärjestelmän putkistomateriaalina vielä hie-
man tuntematon ja harvemmin käytetty materiaali. Asennuksessa ja käsittelyssä käyte-
tyt menetelmät eroavat aikaisemmin käytetyistä metalliputkista. Muoviputket ovat kui-
tenkin yleistymässä yhä enemmän muovin ominaisuuksien kehittyessä siten, että ne
sopivat paremmin rakennusmateriaaliksi. [1, s. 36.]

Muoviputkien käytölle on asetettu tiukkoja säästöksiä laivan rakennuksessa. Useimmat
luokituslaitokset kieltävät muoviputkien käytön palosammutusjärjestelmässä, tyhjen-
nysputkistoissa ruumissa, tyhjennys- ja painolasti-putkistoissa konehuoneessa, syöttö-

vesi- ja lauhdeputkistoissa sekä kaikissa palavia nesteitä sisältävissä putkistoissa. Tiettyillä luokituslaitoksen suostumuksilla muoviputkia voidaan käyttää kohteissa, joissa niitä ei erityisesti kielletä. Tällöin vaaditaan materiaalin ominaisuuksista tarkat selvitykset, jotka on hyväksyttävä luokituslaitoksella. Aihetta käsitellään enemmän kappaleessa 7. [1, s. 36.]

Muoviputket ovat täysin korroosiota kestäviä ja pitkäikäisiä. Oikein asennettuna ne ovat lähes heti käyttövalmiita eivätkä myöhemmin vaadi suuria huoltotoimenpiteitä. Muoviputkien sileä pinta ja organismeille myrkyllinen koostumus torjuu bakteeriston kertymisen putkiston pintaan. [1, s. 36.]

3.1 Muovien rakenne

Muovin raaka-aineena käytetään yleisimmin öljyä, mutta lisäksi voidaan myös käyttää hiiltä ja maakaasua. Raakaöljystä n. 4 % käytetään muovituotteiden valmistukseen. Biohajoavien muovien raaka-aineena voidaan käyttää mm. tärkkelystä ja selluloosaa, joita saadaan perunasta ja viljatuotteista. [5.]

Muovit voidaan määritellä kemianteoollisuuden valmistamiksi kiinteiksi suurimolekyyliksi polymeereiksi, joiden ominaisuutena on muokattavuus jossakin valmistuksen vaiheessa yleensä paineen ja lämmön avulla. Muovi on orgaaninen yhdiste, jonka koostumus on peräisin polymeereistä ja lisäaineista. Puhtaita polymeerejä ei yleensä käytetä, vaan ne sisältävät aina erilaisia lisäaineita, joiden tarkoituksena on parantaa tuotteiden fysikaalista ja kemiallista kestävyyttä. Polymeerit muodostuvat hiilivety-yhdisteiden, eli monomeerien, liittyessä toisiinsa polymeeriketjuiksi kemiallisessa reaktiossa. Polymeeriketjuissa sama rakenneosa toistuu lukuisia kertoja. Monomeerien lukumäärä vaihtelee, mutta useimmiten yksi muovimolekyyli koostuu sadoista tai tuhansista monomeereistä. [6, s. 55.]

Lisäaineiden osuus muovissa vaihtelee suuresti riippuen käyttötarkoituksesta. Lisäaineita muovissa voi olla 1-80 %. Muovituotteissa käytettävien lisäaineiden valikoima on varsin laaja, jolloin yleisemmät lisäaineet jaotellaan tarkoituksensa mukaan eri ryhmiin. Muoviputkissa yleisimmin käytettäviä lisäaineita ovat stabilisaattorit, väriaineet, voiteluaineet, täyteaineet ja iskusikeyttä parantavat aineet. Muoveissa yleensä voidaan käyttää runsaasti täyteaineita mutta muoviputkissa niiden käyttö on vähäistä. [6, s. 55.]

Muovit voidaan jaotella ryhmiin monin eri perustein. Muokkausominaisuuksien mukaan ne voidaan jaotella kahteen eri tyyppiin: kerta- ja kestopuoveihin. Kertamuoveja ei voida muovata uudelleen ilman kemiallisen rakenteen hajoamista, toisin kuin kestopuoveja, joita voidaan muovata ja sulattaa useita kertoja. Elastit on oma ryhmänsä polymeerejä, joilla on ominaisuutena suuri liikkuvuus ja kimmoisuus. Elastit ovat jaoteltu kumeihin ja termoplastisiin elasteihin. Kertamuovien tavoin, kumit hajottavat rakenteensa uudelleen sulattaessa eikä niitä siten voida muovata uudelleen. Valtamuovit ovat teollisuudessa eniten käytettyjä puoveja ja hinnaltaan edullisimpia. Valtamuoveihin kuuluvat PE, PP, PVC ja PS. Tekniset muovit ovat ominaisuuksiltaan monipuolisempia kuin valtamuovit mutta myös kalliimpia ja harvemmin käytettyjä. Teknisiin puoveihin luetellaan mm. ABS, SAN, PET, PC ja POM. Erikoismuovit ovat kalliita ja niiden erityisominaisuudet tekevät ne soveltuviksi. Erikoismuoveihin kuuluvat esimerkiksi PSU, PEI, LCP ja PPS. [7, s. 22.]

Muovit käsittävät monia erilaisia materiaaleja perustuen niiden polymeerien rakenteeseen ja lisäaineisiin. Käytännössä kaikkia puoveja jossain valmistuksen vaiheessa voidaan muovata yksinkertaisista erittäin monimutkaisiin muotoihin, jotka voivat olla ominaisuuksiltaan erittäin vahvoja tai joustavia. Teollisuuden tarpeita varten kehitellään jatkuvasti uusia polymeeriyhdistelmiä. Tällä hetkellä on käytössä yhteensä yli 35 000 kaupallista muovilaatua. [8, s. 26.]

3.2 Muovimateriaalit

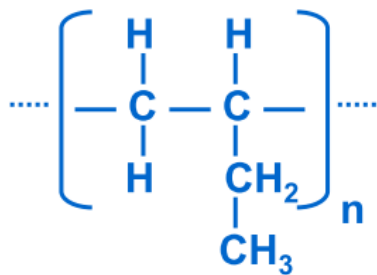
Seuraavissa kappaleissa on esiteltynä muoviputkia, joita voidaan soveltaa makeaveden jakelujärjestelmässä. Osa muoviputkimateriaaleista on syrjäytynyt vuosien myötä vahvempien materiaalien tultua markkinoille. Tällä hetkellä polybuteeni-, polypropeeni- ja komposiittiputket ovat makeavesiputkistoa varten suotuisimpia materiaaleja, kun taas polyvinyylidikloridista ja polyeteenistä valmistettuja putkia käytetään enemmän muissa tarkoituksissa, kuten esimerkiksi jätevesiputkistossa.

3.2.1 PB: polybuteeni

Arctechin telakalla valmistuvan uuden jäänmurtajan makeanveden muovinen runkoputkisto on rakennettu Georg Fischerin polybuteenista tehdyistä muoviputkista. Polybuteenin ominaisuudet sopivat erityisesti vedenjakeluun sen lämmönkestävyyden,

joustavuuden ja vähäisen pitkittäislaajenemisen ansiosta. Polybuteeniputken voi tunnistaa sen harmaasta väristä. [9, s. 22.]

Polybuteeni (kuva 2) on puolikiteinen kestopuovi, jonka molekyylipaino on korkea. Se kuuluu polyolefiinien ryhmään. Polyolefiinit ovat lineaarisia tai haaroittuneita hiilivetyjä, joissa on ainakin yksi kaksoissidos. Kiteisessä rakenteessa kiinteän aineen sisäinen rakenne on järjestäytynyttä. Polybuteenia valmistetaan polymeroimalla 1-buteenia ketjuttamalla monomeerit yhteen Ziegler-Natta-katalyyteillä. [10, s.179.]



Kuva 2. Polybuteenin kaava (C₄H₈) [25]

Polymeroinnissa sulan polymeerin kiteytyminen alkaa lämpötilan laskettua 70 °C:seen. Ensin polymeeristä muodostuu tetragoninen kiderakenne, josta 30–40 °C:ssa muodostuu 5–7 päivässä kestävä romboedrinen kiderakenne. [10, s.179.]

Polybuteenia voidaan prosessoida ruiskuvalu- tai puristustekniikalla erilaisiin sovelletaviin käyttötarpeisiin. Sen pääasiallinen käyttö on kuitenkin ollut lämmin- ja kylmävesiputkien materiaalina. Polybuteeniputket kestävät mm vettä, laimeita happoja, emäksisiä vesiliuoksia, pesuaineita ja rasvoja. Ne eivät kuitenkaan kestä alkaaneja, kuten etanolia, bentseeniä eivätkä hapettavia nesteitä. [10, s.179.]

3.2.2 PVC: polyvinyylikloridi

Polyvinyylikloridi on yksi laajimmin käytetty muoviputkimateriaali maailmassa. Ensimmäiset PVC-putket valmistettiin 1930-luvulla. 50-luvulla niitä käytettiin korvaamaan korroosiolle alttiita metalliputkia. Laivateollisuudessa PVC-putkien käyttö on vähäistä niiden heikompien teknisten ominaisuuksien takia, mutta ainakin ranskalaisilla telakoilla niitä käytetään vesiputkistoissa. PVC on hinnaltaan edullinen muovimateriaali, mutta

sen lämpötilan ja paineen kesto ei riitä kuumavesilinjastoon. PVC:n palaessa syntyy vetykloridia, joka on syövyttävää ja hengitykselle vaarallista. [16.]

Vesiputkien materiaalina käytettävä PVC on tyypiltään pehmittämätöntä kovaa PVC-U:ia. Putkien väri on tyypillisesti tummanharmaata. PVC-U kestää hyvin mm. monia happoja, emäksisiä liuoksia ja suolaliuoksia. PVC-U kestää heikosti aromaattisia tai kloorattuja liuottimia sekä estereitä ja ketoneita. [10, s.184.]

Vinyylikloridi on normaalitilassa kaasumainen aine, joka polymeroituu vapaaradikaali-initiaattorin vaikutuksesta polyvinyylikloridiksi kuvan 3 mukaisesti. PVC:n valmistukseen käytetään kolmea menetelmää: emulsio-, massa- ja suspensiopolymerointi. Näistä yleisin valmistusmenetelmä on suspensiopolymerointi. [10, s.184.]



Kuva 3. PVC:n ketjupolymerointi $(\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl})_n$ [24.]

Suspensiomenetelmässä polyvinyylikloridia muodostuu suspension muodostavassa polyvinyylialkoholin ja initiaattorina toimivan bentsoyyliperoksidin vesiliuoksessa. Suspensiomenetelmällä saadaan emulsiomenetelmää kirkkaampaa, kemialliselta kestävyydeltään sekä sähköneristyskyvyltään parempaa PVC-laatua. Emulsiopolymeroitu PVC muodostuu vesiemulsiossa, jossa emulgaattorina on yleensä natriumlauryylisulfaatti ja kaliumpersulfaatti toimii initiaattorina. Emulgaattorin takia emulsio-PVC on kemialliselta kestävyydeltä heikompaa. Massapolymerointi tapahtuu ilman vettä vapaaradikaalikatalyytin avulla. Massapolymeroinnalla voidaan valmistaa lasinkirkasta vahvaa PVC-muovia. [10, s.184.]

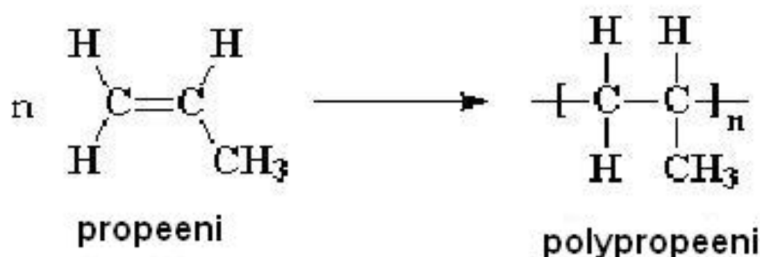
3.2.3 PE: polyeteeni

Polyeteeni on eniten käytetyin muovi maailmassa, kun lasketaan kaikki eri PE-tyypit yhteen. Polyeteeni on kevyt, pinnaltaan liukas ja vahamainen muovi. Sen ominaisuudet riippuvat molekyyliketjujen pituudesta, moolimassajakaumasta sekä tiheydestä. Ylei-

Polypropeeni muistuttaa ominaisuuksiltaan läheisesti korkeatiheyksistä polyeteeniä, mm. edullisuuden, keveyden ja kemikaalien kestävyys osalta. PP kestää hieman paremmin lämpöä mutta kylmäominaisuudet ovat heikkommat. PP:n lasittumislämpötila on n. -10 °C, jolloin muovi jäykistyy ja haurastuu. Polypropeeni kestää heikemmin UV-säteilyä ja ilman hapen vaikutuksia, minkä takia siihen on lisättävä stabilisaattoreita. Muita lujuusominaisuuksia parannetaan lisäämällä kuitu- ja täyteaineita, kuten talkkia tai lasikuitua. [11, s. 34.]

Polypropeeni on osakiteinen muovi, joka voidaan jaotella kolmeen eri päätyyppiin: homopolymeeriin (PP-H), blokkipolymeeriin (PP-B) sekä satunnaispolymeeriin (PP-R). Polypropeenia muodostetaan polymeroimalla propeenimonomeereja. Tällöin polymeroinnissa käytetään yleensä joko metallooseeni- tai Ziegler Natta-katalyyttiä. [11, s. 34.]

Polypropeenin runko on hiiltä, johon on liittynyt vetyä (H) ja metyyliryhmä (-CH₃). Polymerointireaktiossa hiili-hiili-kaksoissidoksiset propeenimonomeerit liittyvät yhteen kuvan 5 osoittamalla tavalla. [11, s. 34.]



Kuva 5. Polypropeenin yleiskaava (CH₂:CHCH₃) [20.]

Polypropeenin mekaaniset ominaisuudet riippuvat kiteisyyden määrästä sekä molekyylien suuruudesta. PP-R sopii makeavesiputken materiaaliksi, sillä se on taipuisa ja sillä on korkeampi paineen kestävyys korkeissa lämpötiloissa. [11, s. 34.]

3.2.5 Komposiittiputki

Komposiitti- eli monikerrospotki (kuva 6) on kahden tai useamman materiaalin yhdiste, jossa materiaalit ovat päällekkäin eivätkä sulautuneena toisiinsa. Tyypillisessä komposiittiputkessa on kaksi muovimateriaalia, joiden välissä on alumiinikerros. Komposiittiputki yhdistää muovi- ja metalliputkien hyvät ominaisuudet. Alumiinikerros estää hapen

ja muiden kaasujen diffuusion, parantaa paineen kestoja sekä pienentää lämpölaajenemista. [6, s. 76.]



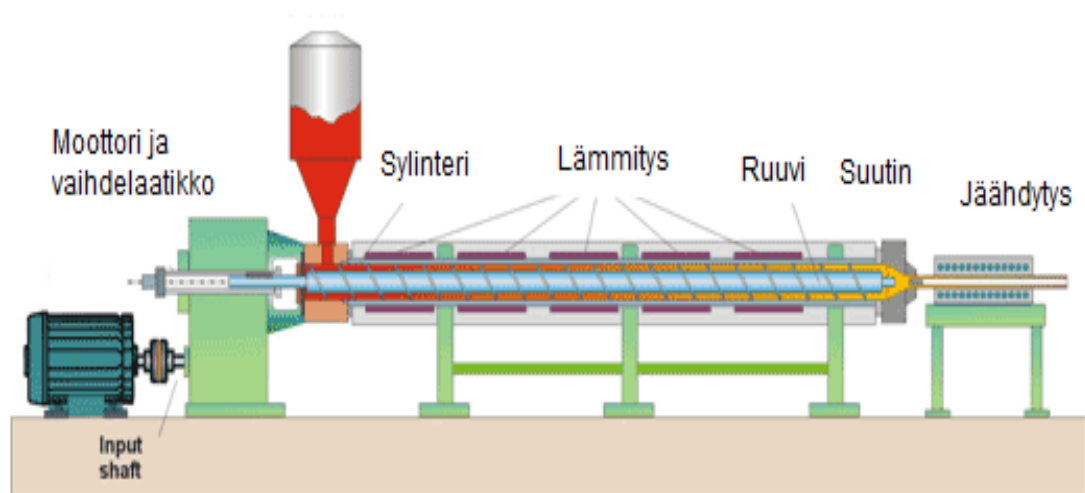
Kuva 6. GF Sanipex-komposiittiputki

Yksi erinomainen ominaisuus komposiittiputkilla on muotojäykkyys, jonka ansiosta putki säilyttää taivutetun muotonsa ilman erityistä käsittelyä. Komposiittiputken käyttölämpötila on -40 – $+70$ °C. Haittapuolena komposiittiputkilla on niiden kallis hinta. [6, s. 76.]

3.3 Muoviputken valmistus ekstruusio-menetelmällä

Yleisin muoviputken valmistusmenetelmä on suulakepuristusmenetelmä, jossa suuttimella voidaan määrittää putken sisä- ja ulkohalkaisija. Ekstruuderilaitteeseen syötetään raakamuovimateriaali sekä mahdolliset lisäaineet. Ekstruuderin sisällä olevan syöttöruuvin tehtävänä on kuljettaa ja sulattaa muovi sähkövastuksen avulla. Termoplastinen polymeeri kuumennetaan pehmeäksi, homogenisoidaan ja puristetaan tiiviiksi massaksi. Sula muovi johdetaan putkipään ja suuttimen kautta kalibrointityökaluun, joka määrittelee putken lopullisen koon. Pursotettu putkiprofiili jäähdytetään ja se voidaan katkaista haluttuun pituuteen ekstruuderin päässä olevan leikkurin avulla. [10.]

Ekstruuderin pääosiin kuuluvat moottori ja nopeutta säätävä vaihdelaatikko, syöttösupilo, ruuvi, suutin sekä jäähdytys. Kuvassa 7 on havainnollistettu ekstruuderin rakennetta. Tärkein osa on syöttöruuvi, joka sulattaa, kuljettaa ja homogenisoi muovimateriaalin ennen suutinta. Ruuvien geometria vaikuttaa ekstruusion paineen nousun säätöihin, materiaalin tarttumisen sylinterin pinnoille sekä kaasunpoistoon. [10.]



Kuva 7. Ekstruuderin rakenne [21.]

4 Metalliputket

Metalleja on käytetty pitkään vedenjakelun materiaaleina laivanrakennuksessa, ja niitä pidetään edelleen luotettavina. Putkimateriaaleina on käytetty lähinnä kuparia ja kuumasinkittyä terästä. Kupari on kuitenkin valtamateriaali putkimateriaalina. Metalleilla on hyvä mekaaninen kestävyys ja lämmönkestokyky, ilman että ominaisuudet tai muoto muuttuvat. Lämpölaajeneminen on selvästi vähäisempää kuin muoveilla. Metalliputkien suurin ongelma on niiden sisä- ja ulkopuolinen korroosio. Kupari ja ruostumaton teräs ovat passivoituvia metalleja, joille muodostuu suojaava oksidikalvo ilman vaikutuksesta.

4.1 Kupari

Kupari on yleisimpiä käytettyjä materiaaleja laivojen vesijohtoputkistoissa. Kupariputkea pidetään toimivana, hyvälaatuisena ja luotettavana vaihtoehtona. Kupariputkia on käytetty LVI-järjestelmien materiaalina kaikkialla maailmassa jo vuosikymmenet. Näin kupariputkien käytöstä on kertynyt kokemusta, joka on osoittanut niiden luotettavuuden.

Vedenjakelun kupariputkien raaka-aineena käytetään hapetonta deoksidoitua DHP-kuparia (phosphorus deoxidized copper), jossa on kuparin lisäksi fosforia n. 0,015 – 0,040 %. Kuparin lämpölaajeneminen on huomattavasti pienempi kuin muovien, noin 0,017 mm/mK. Kupari säilyttää ominaisuutensa -200–+250 °C lämpötilojen välillä. [12.]

Kupariputki kestää hyvin veden ja ilman syövyttäviä vaikutuksia. Sen liukoisuus veteen on pieni ja hapettuminen vähäistä. Materiaali vastustaa korroosiota ja kasvuston kiinnittymistä muodostamalla kaksikerroksisen passiivikalvon putken sisäpintaan. Sisempi kerros on kuparioksidia Cu_2O ja ulompi kerros seosta $\text{Cu}_2\text{O} - \text{CuO}$. [12.]

Lujuutensa ansiosta kuparista voidaan valmistaa ohutseinäisiä putkia, joten tietyn koluokan putkelle saadaan suurempi sisähalkaisija. Lisäksi kuparilla on alhainen kitka-kerroin. Näiden tekijöiden ansiosta kupariputkelle saadaan muita materiaaleja suurempi virtauskapasiteetti. Jäykkyys mahdollistaa kupariputkien asentamisen sekä pystyettä vaakasuoraan vähillä kiinnikkeillä. [12.]

Kupariputken keskimääräiseksi käyttöiäksi arvioidaan n. 30–50 v, mutta lämminvesiputkistoissa käytettynä ne voivat epäsuotuisissa olosuhteissa syöpyä varsin nopeasti. Putkien uusimista kannattaa suunnitella, kun putkiston ikä on yli 30 v tai vuotoja on ilmentynyt. [13, s. 20.]

Kupari on luonnollinen ja kierrätettävä materiaali. Siitä ei liukene haju- eikä makuhaittoja juomaveteen. Kupari on sinkin, seleenin ja raudan ohella yksi tärkeä hivenalkuaine ihmisen terveydelle. Se vaikuttaa mm. entsyymien aktivoinnissa ja hemoglobiinien muodostuksessa. Hivenaineominaisuutensa lisäksi kuparilla on myös bakteerien kasvua ehkäisevä vaikutus. [14.]

Kromattua kupariputkea ja kromattuja liittimiä käytetään erityisesti huonetilojen pinta-asennuksissa, joissa putkisto pitää erottaa rakenteista tai suojata ulkopuoliselta kosteudelta. Kromatulla putkella varmistetaan tyylikäs lopputulos, ja pintojen jälkikäsittely jää kokonaan pois.

4.2 Ruostumaton teräs

Ruostumaton teräs on harvemmin käytetty putkimateriaali, sillä se on kalliimpi ja sitä on heikommin saatavilla kuin esim. kupari. Sitä käytetäänkin lähinnä erikoistapauksissa. Esimerkiksi ulkotiloihin viedyt putket, kuten ikkunanpesusysteemi, valmistetaan ruostumattomasta teräksestä. Ruostumattoman teräsputkien liitokset voidaan tehdä kylmä- ja kuumavesijohdoille hitsaus-, kierre ja puristusliitoksella. [6, s. 70.]

Ruostumaton teräs on rautapohjainen seos, jonka kromipitoisuus on vähintään 12 %. Kromi on tärkeä aine ruostumattoman teräksen kestävyden kannalta. Se muodostaa hapen kanssa teräksen pinnalle kromioksidikalvon, joka suojaa terästä korroosiolta. Suojakalvon muodostumista teräksen pinnalle kutsutaan passivoitumiseksi. Teräksen korroosiokestävyyden hyvänä pysymisen kannalta on oleellista, että teräksen pinnan suojakerros pysyy ehjänä ja että kromioksidikalvon muodostumista varten on saatavilla happea. Virtaavan veden tuoma happi on oleellinen kalvon uusiutumista varten. Jos virtaus pysähtyy, niin hapen saanti loppuu ja syöpyminen jatkuu vaurioituneessa putkessa. [1, s. 33.]

Ruostumattomat teräkset voidaan jaotella mikrorakenteen perusteella austeniittisiin ja ferriittisiin. Ferriittiset teräkset sisältävät 25 % kromia, joka muodostaa teräkselle erinomaisen korroosionkeston. Haittapuolena on ferriittisen teräksen heikko kestävyys matalissa lämpötiloissa, jolloin murtumiskäyttäytyminen muuttuu hauraaksi. Austeniittisen teräksen seos koostuu kromin lisäksi myös nikkelistä sekä mahdollisesti mangaanista. Se säilyttää sitkeyden myös matalissa lämpötiloissa. Korroosiokestävyydeltään austeniittinen teräs kestää hyvin rako- ja pistekorroosiota mutta on altis paikallisen korroosion eri muodoille. [1, s. 33.]

Austeniittis-ferriittistä teräslajia kutsutaan duplex-teräkseksi, joka yhdistää monia ferriittisen ja austeniittisen teräksen hyviä ominaisuuksia. Duplex-teräkset ovat lujia, sitkeitä ja kestävätkin hyvin korroosiota. Austeniittis-ferriittisen teräksen pääainesosat ovat kromi

ja nikkeli, joiden lisäksi voidaan lisätä erilaisia seosaineita, kuten kuparia tai typpeä, parantamaan teräksen korroosionkestoa. [25.]

4.3 Sinkitty teräs

Sinkittyjä putkia käytetään jäänmurtajan makeavesijärjestelmässä tankkien täyttölinjoissa ja imulinjoissa. Sinkitty teräs on seostamatonta hiiliterästä, joka on pintakäsitelty sinkkipinnoitteella. Se oli valtamateriaali ennen kuin siirryttiin käyttämään kupariputkia. Sinkkipinnoite suojaa terästä ulkopuoliselta korroosiolta muodostamalla sulkukerroksen, mikä estää kosteuden ja hapen tunkeutumisen teräksen pinnalle. Sen lisäksi sinkkipinnoite suojaa terästä katodisesti. Ominaisuuksiltaan sinkitty teräsputki pysyy samana kuin käsittelemätön teräsputki ja vastaa pitkälti kupariputkea pinnan sileydeltään työstettävyydeltään ja virtausominaisuuksiltaan. [6, s. 69.]

Sinkitys voidaan toteuttaa kuumasinkityksellä tai sähkösinkityksellä. Kuumasinkityksessä teräsputket sinkitetään sisä- ja ulkopuolelta upottamalla teräsputki kuumaan sinkkiin, jolloin muodostuu noin 0,07 mm paksu sinkkikerros. Tätä paksuutta käytetään alle D50 kokoisissa putkissa ja sitä isommissa noin 0,14 mm. Putkien kestävyys riippuu sinkkikerroksen paksuudesta sekä putken ja veden laadusta. Sähkösinkityksessä kappale sinkitetään elektrolyysialtaassa, jossa putkelle muodostuu ohuempi ja sileämpi sinkkikerros kuin kuumasinkityksessä. [6, s. 69.]

Sinkittyjen putkien tyypilliset korroosiomuodot ovat yleinen syöpyminen tai paikalliskorroosio. Putkeen syntyessä liian suuri vaurio, sinkin katodinen suojaus ei toimi ja teräksen korroosio alkaa. Paikallinen korroosio voi alkaa esim. valmistusvian seurauksena. Suurimmat korroosion riskit ovat keskittyneet kierreosiin, mutkiin ja muualle muotokappaleiden läheisyyteen. [15, s. 53.]

5 Korroosio

5.1 Yleinen korroosio

Tavallinen korroosiomuoto (kuva 8) on tasainen korroosio, jossa metalliputken sisäpinta syöpyy sähkökemiallisesti tasaisella nopeudella eri putkiston osissa. Syöpyminen on

seurausta metallin anodi- ja katodialueiden paikan vaihtelusta, jolloin metalli syöpyy nesteeseen. Sen vaikutus materiaalipinnalle on suhteellisen hidasta. Syöpymisen suurusluokka on tavallisesti 5–10 μm /vuosi makeassa vedessä, mutta se voi pahentua liuenneiden kemikaalien vaikutuksesta. [1, s. 24.]



Kuva 8. Yleinen korroosio [1, s. 24.]

Yleistä korroosiota ilmenee yleensä suojaamattomissa metalliputkissa. Hapan, pehmeä vesi sekä virtaamattoman veden pitkä kosketusaika ja korkea lämpötila edistävät yleistä korroosiota. Siltä voidaan välttyä valitsemalla vaadittuja olosuhteita kestävä rakennearine. Laajuutensa vuoksi yleinen korroosio on helposti havaittavissa ja sen etenemistä voidaan seurata seinämäpaksuus- tai painehäviömittauksilla. [18, s. 102.]

5.2 Pistekorroosio

Kupariputkissa pistesyöpyminen (kuva 9) ilmenee vain pienillä alueilla tietyissä kohdissa metalliputkea synnyttäen pistemäisiä kuoppia. Pistesyöpyminen voi johtaa ohutseinäisissä putkissa nopeasti putken seinämän puhkeamiseen. Tällaista syöpymistä on vaikea havaita ennen kuin syöpymä on edennyt rakenteiden läpi. Sen syntyminen saattaa kestää kuukaudesta yli vuoteen ja se etenee nopeasti. [18, s. 103.]



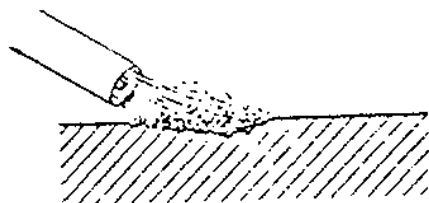
Kuva 9. Pistekorroosio [1, s. 24.]

Pistesyöpymät syntyvät putkea suojaavan kuparioksidikalvon vaurioituttua. Ne voivat saada alkunsa erilaisista epäjatkuvuuskohdista metallin pinnassa, kuten pinnankarheudesta tai naarmusta. Syöpymäkuoppa toimii anodina ja sitä ympäröivä pinta katodi-

na. Aggressiiviset ionit kerääntyvät kuoppaan aiheuttaen pH-arvon laskemisen, ja metalli alkaa nopeasti liueta. Pistesyöpymää voi ilmetä erityisesti lämpimissä käyttövesiputkistoissa, jos vesi on tavallista happamampaa ja sen bikarbonaattipitoisuus on pienempi kuin sulfaattipitoisuus. [18, s. 103.]

5.3 Eroosiokorroosio

Eroosiokorroosiota (kuva 10) ilmenee veden virtausnopeuden kohotessa liian suureksi, jolloin se voi yksinään murtaa metallia suojaavan passiivikerroksen. Paljastunut kohta voi siten alkaa nopeasti syöpyä. Eroosiokorroosio on tyypillistä kupariputkiston korroosiota, johtuen kuparin pehmeystä. Eroosiokorroosion riski on suurempi lämminvesiputkistoissa. Riskiä lisäävät veden suuri happi- ja kloridipitoisuus sekä liian matala pH-arvo. [18, s. 110.]



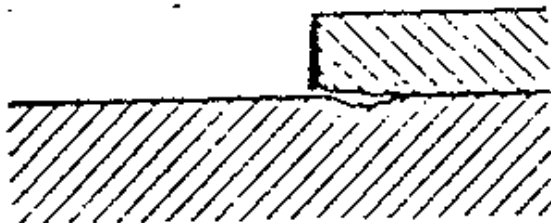
Kuva 10. Eroosiokorroosio [1, s. 24.]

Eroosiokorroosio ilmenee huonosti muotoilluissa virtauksen epäjatkuvuuskohdissa, jotka aiheuttavat virtaukseen pyörteitä. Pyörteet johtavat kriittisen virtausnopeuden ylitykseen, joka määräytyy kussakin tilanteessa materiaalin ja ympäristön mukaan. Putkiston eroosiokorroosiota aiheuttaa mm. virheellinen mitoitus, veden liian suuri nopeus, turbulентinen virtaus, nesteessä oleva ilma, liian jyrkkä taivutus ja virtaavan veden hankaavat partikkelit. [18, s. 110.]

5.4 Rakokorroosio

Rakokorroosiota (kuva 11) muodostuu veden tunkeutuessa kahden pinnan väliseen rakoön niin, että se ei pääse vaihtumaan samalla nopeudella, kuin avoimilla pinnoilla. Rako on muuta metallipintaa happiköyhempi alue, jolloin se muodostuu anodiksi. Anodisena reaktiona tapahtuu metallin liukenemista. Raossa olevan veden koostumus

muuttuu korroosiota edistäväksi pH-arvon laskiessa. Hapenpuutteen takia metalliputken pinnalle ei pääse muodostumaan pintaa suojaavaa passiivikerrosta.



Kuva 11. Rakokorroosio [1, s. 24.]

Yleensä tällaista korroosiota syntyy metalliputkien liitosrakoihin tai putken sisäpinnalle kertyneiden kiinteiden lika- tai korroosiotuotesaostumien yhteyteen. Lisäksi mahdollinen kohde rakokorroosion muodostumiselle on metallin ja epämetallin yhtenemiskohta, kuten tiivisteliitokset, mikäli tiivistemateriaali ei peitä täysin tiivistepintaa. Rakokorroosiolta voidaan välttyä metalliputkien huolellisella asentamisella. [18, s. 107.]

5.5 Galvaaninen korroosio

Galvaanista korroosiota (kuva 12) muodostuu kun samassa elektrolyytissä on sähköinen yhteys kahden jalousasteeltaan eri metallin kanssa. Alemman potentiaalin epäjalompi metalli muodostuu anodiksi ja alkaa syöpyä. Jalommasta metallista muodostuu katodi ja sen syöpyminen hidastuu. [18, s. 109.]

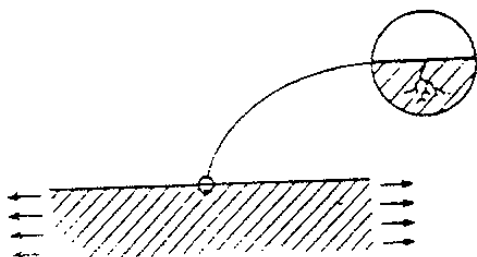


Kuva 12. Galvaaninen korroosio [1, s. 24.]

Metallien potentiaalieroista voidaan arvioida, millä todennäköisyydellä metallien välille syntyy galvaanista korroosiota. Suurempi ero merkitsee todennäköisempää korroosiota. Lisäksi metallien pinta-alojen suhde vaikuttaa galvaanisen korroosion muodostumiseen. [18, s. 109.]

5.6 Jännityskorroosio

Jännityskorroosiota (kuva 13) esiintyy kun metalli on syövyttävissä olosuhteissa jännityksen alaisena. Se ilmenee metallin haurastumisena tai murtumisena, ja niitä voi aiheuttaa jopa vain 10 % materiaalin normaalista myötörajasta oleva jännitys. Jännitykset voivat olla metallin sisäisiä, joita voi syntyä kappaleita hitsattaessa, työستettäessä tai kiristettäessä. Lisäksi ulkoiset kuormitukset kuten termiset mittamuutokset ja ruuviliitoksen kiristysvoima voivat aiheuttaa vetojännitystilan. [18, s. 117.]



Kuva 13. Jännityskorroosio [1, s. 24.]

Metalliseokset ovat herkimpiä altistumaan jännityskorroosiolle. Se vaatii eri metalliseokselle tälle ominaisen korroosioympäristön. Jännityskorroosion rajoittamiseksi jännitystasoa on alennettava. Käytännön keinoja ovat suuremmat materiaalien vahvuudet, asennuksessa syntyvien jännityksien välttäminen sekä hitsauksen ja kylmämuokkauksen aiheuttamien jännityksien alentaminen. [18, s. 117.]

6 Muoviputkien kestävyys

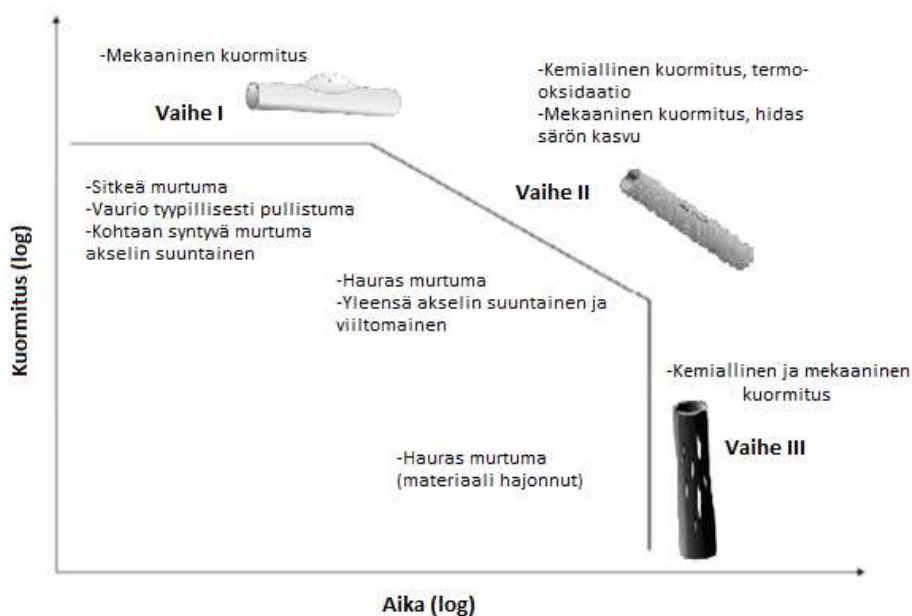
Muoviputki on oikeissa käyttöolosuhteissa erittäin pitkäikäinen. Valmistajat ilmoittavat käyttöiäksi useita kymmeniä vuosia, mutta muovikaan ei ole hajoamaton. Suurin haitta muoviputkien kanssa on niiden huonompi lämmönkesto verrattuna metalliputkiin. Muoviputkien kestävyysvaikutavat kemialliset tekijät ovat mm. kemiallisesti aggressiiviset nesteet, kiinteät partikkelit sekä UV-säteily. Kuormitustekijöitä puolestaan ovat lähinnä lämpötila ja sen vaihtelu sekä paineen aiheuttama kuormitus. [15, s. 89.]

Lämpötila on muoviputkilla tärkeä ympäristötekijä, ja se vaikuttaa oleellisesti putken kestävyysvaikutteen ja käyttöikänsä. Muovien lämpölaajeneminen on selvästi suurempaa kuin

metallien. Lämpölaajeneminen voi vaikuttaa merkittävästi putkiliitosten pitävyyteen. Muoviputkissa liitoksilla on suurempi merkitys vaurioiden esiintymisessä. Vauriot kohdistuvat harvemmin varsinaiseen muoviputkeen. [15, s. 90.]

Veden laadun mahdollinen vaikutus muovimateriaaleihin riippuu erityisesti veden klooripitoisuudesta. Suuri klooripitoisuus yhdistettynä veden korkeaan lämpötilaan on muoviputkille hyvin haitallista. Klooripitoisuuteen vaikuttaa, mikäli tuotettavan juomaveden bakteerien tappamiseen käytetään desinfektiokemikaalia. Kloorin poiston takia klooripitoisuus jää kuitenkin vähäiseksi. Muoviputkien desinfioimiseen voidaan käyttää klooria putkitoimittajan ohjeiden mukaisella tavalla. [15, s. 90.]

Muoviputkien murtumat jaetaan hauraisiin ja sitkeisiin murtumiin, joiden välillä voi olla näiden tyyppien välivaiheita. Sitkeät murtumat syntyvät nopeasti ja hauraat murtumat pitkän ajan kuluessa, kun putkeen kohdistuu korkeaa painetta tai korkein sallittu käyttölämpötila ylittyy. Käytössä olevien putkien vauriot ovat yleensä siis hauraita. Sitkeän murtuman kohdalla putkeen syntyy usein laajenema murtuman kohdalle. Haurasmurtumat ovat akselin suuntaisia viiltomaisia murtumia. Kuvassa 14 esitetään muoviputken vaurioitumisen eri vaiheet. [15, s. 90.]



Kuva 14. Muoviputkien vaurioitumiskäyrä [15, s. 91.]

Muoviputkien käyttöikään vaikuttaa materiaali- ja ympäristötekijät sekä kuormitus. Muoviputken käyttöikä voidaan erottaa kolmeen eri vaiheeseen riippuen vian muodostumisesta.

ta. Vaiheessa I putkeen kohdistuu lähinnä mekaanista ylikuormitusta. Tässä vaiheessa vioittuminen on lähes aina murtumatyyppiltään sitkeämurtumista. Joskus haurasmurtumia saattaa ilmetä vaiheessa I materiaalin valmistusvian yhteydessä. Vaiheessa II putkeen vaikuttavat kemialliset ja mekaaniset ilmiöt samalla kun putkeen kohdistuu kohtuullisesti kuormitusta. Vaurio ilmenee yleensä akselin suuntaisena hauraana murtumana. Vaiheessa III muoviputken kemiallinen kestävyys ja käyttöikä on saavuttanut rajansa. Vaiheessa II ja III voidaan puhua vanhenemisesta, joka on muovimateriaalille ominaista. [15, s. 91.]

7 Muoviputkien säännökset

Kansainvälinen merijärjestö IMO (International Maritime Organization) on YK:n alainen järjestö, joka on tärkein laivatekniikan kehitystä ohjaava organisaatio. IMO pyrkii kehittämään merenkäynnin turvallisuutta sekä laatimaan yhdenmukaisia kansainvälisiä käytäntöjä kieli- ja kulttuurieroista johtuvien väärinkäsitysten välttämiseksi. [17, 1-8.]

Luokituslaitokset ovat laivan rakenteiden tarkastamiseen valtuutettuja järjestöjä. Niiden tehtävä on hyväksyttää viranomaisten valtuuksilla rakennettavalle alukselle asetetut rakenteelliset kriteerit, jotka luokituslaitos asettaa. Laaditut säännökset ovat sopusoinnussa IMO:n päätöslauselmien ja muiden ohjeiden kanssa. Luokituslaitoksia on useita, muun muassa Lloyd's Register ja DNV – Det Norske Veritas ovat isoja luokituslaitoksia. [17, 1-10.]

Muoviputkille asetettuja ohjeistuksia sisältää IMO:n asettama päätöslauselma IMO Resolution A753(18) – Guidelines for the Application of Plastic Pipes on Ships. Päätöslauselman neljä osiota sisältävät hyväksymiskriteerit muoveille putkistomateriaalina, asianmukaiset suunnittelun ja asennuksen vaatimukset sekä testausmenetelmiä laatu- ja turvavaatimuksia varten, jotta voidaan varmistaa laivan turvallisuus. Ohjeistukset käsittelevät kaikkia kestopuovista valmistettuja putkia sisältäen liitoskappaleet, laitteet sekä liitosmenetelmät. [19.]

Päätöslauselman osassa 2.1 "Requirements Applicable to all Piping Systems" putkistomateriaalien ominaisuuksien ja suorituskyvyn yleisiä vaatimuksia asetetaan kaikille putkistoille riippumatta niiden sijainnista ja käyttötarkoituksesta. Putkiston on oltava tarpeeksi vahva, jotta se kestää mahdollisimman ankarissa olosuhteissa yhtäjaksoisen

paineen, lämpötilan, putkiston oman painon sekä ympäristön asettamia staattisia ja dynaamisia kuormituksia. Putkisto on suunniteltava siten, että materiaali kestää vaadittavan maksimityöpaineen käyttöolosuhteissa. [19.]

Osassa 2.2 ”Requirements Applicable to Piping Systems Dependig on Service and/or Locations” asetetaan erillisiä vaatimuksia putkilinjoille, jotka sijainniltaan vaativat turvallisuuden kannalta erityistä huomiota. Erityisesti muoviputkien paloturvallisuutta käsitellään tarkasti. Putkimateriaaleille annetaan tulenkestävyysluokat L1, L2 ja L3, joiden määrittämiseen testauksen avulla annetaan ohjeita päätöslauselman liitteissä. Korkeimmassa luokassa L1 putkistomateriaali kestää täyden mittakaavan tulipaloja ja se on osoitettu lähinnä palavien nesteiden putkistoja varten. Keskitason luokan L2 putket varmistavat turvallisen putkiston toiminnan lyhytkestoisen palon jälkeen. Alimman luokan L3 putket ovat hyväksytyjä vedenjakelun putkistoina lyhytkestoisissa paloissa. [19.]

Eri putkimateriaalien paineensietokyky voidaan määritellä hydrostaattisella paineko-keella. Paineenkestävyydestä kertoo nimellispaineluku, PN-luku, jolla määritetään putken suurin suunniteltu käyttöpainetaso 20 °C:n lämpötilassa. Polybuteeniputkille d16 – d110 nimellispaineluku on PN 16, mikä tarkoittaa, että tämän paineluokan putkelle voidaan kohdistaa 16 barin paine 20 °C:n lämpötilassa. Lämpötilan noustessa muoviputken sallittu paineraja laskee. Valmis putkilinjasto testataan tiiveyskoestuksella, joka suoritetaan asteittain nostamalla paine kolme kertaa 15 bariin. [9, s. 25.]

8 Putkiliitokset

8.1 Kupariputken liittäminen

Kuparien liittäminen voidaan karkeasti jakaa kovaan juottoon, pehmeään juottoon ja mekaanisiin liittimiin. Mekaanisia liittimiä ovat irrotettavat puristusliittimet, tiivisteelliset puserrusliittimet sekä pistoliittimet. Kovajuotokset ovat yleisimpiä käytettyjä liitoksia mutta puserrusliitokset ovat yleistymässä. Juotteena käytetään fosforikuparijuotetta, jonka hopeapitoisuus on vähintään 2 %. Hopea parantaa juotoksen sitkeyttä. Oikein tehdyissä juotoksissa juote ei ole kosketuksissa veden kanssa. Liitoksen onnistumisen kannalta on tärkeää, ettei vällys ole suurempi kuin 0,2 mm. [6, s. 71.]

Kovajuotosmenetelmässä juote täyttää kapillaarivoiman vaikutuksesta liitoskappaleiden välisen raon. Liitettäessä lämpötila on noin 600–750 °C. Kun lämpötila saavutetaan esimerkiksi kaasupolttimella, muhviiliitokseen tuodaan noin putken halkaisijan verran juotetta. [13, s. 25.]

Juoksutteella voidaan alentaa juotteen pintajännitystä, jotta tarvittava kostutus ja näin ollen kiinnittyvyys perusaineeseen varmistuu. Juoksute suojaa juotoskohtaa hapettumiselta ja helpottaa juotoksen levittymistä. Juoksutetta ei tarvita juotettaessa kuparia kupariin fosforijuotteella, sillä fosfori toimii juoksutteen tavoin. Juoksutetta on käytettävä liitettäessä kuparia messinkiin. Kromatut putket on liitettävä puserrusliittimillä, sillä juoksute vahingoittaa kromia. [13, s. 25.]

Materiaalikustannuksien vähentämiseksi kupariputket voidaan yhdistää ilman liitoskappaleita (kuva 15) tekemällä haaroitus- ja muhviyökaluilla haarat ja muhvit suoraan putkeen. Muhvaustyökalulla putken pää levitetään, niin että liitettävä putki mahtuu sisään. Haara tehdään poraamalla reikä haaroituskohtaan ja nostamalla reiän reunat ylös, niin että ne muodostavat kauluksen. Liitettävän putken pää on muotoiltava koveran muotoiseksi, jotta vesi pääsee virtaamaan kunnolla. Oikein tehtynä näiden liitoksien lujuusominaisuudet vastaavat tehdasvalmisteisia osia. [13, s. 25.]



Kuva 15. Kupariliitos

8.2 Liimaliitos

Liimaaminen on nopea ja helppo tapa yhdistää muoviputkia, ja se ei vaadi suuria investointeja työkaluihin. Onnistunut liitos vaatii riittävää teknistä osaamista putkiasentajalta. Liimaus soveltuu käytännössä kaikille muovimateriaaleille, mutta sileillä pinnoilla liima-sidos voi jäädä heikoksi. Liimauksen sidosta voidaan parantaa karhentamalla putken pintaa ennen liimausta. Putki ja liitososa puhdistetaan huolellisesti ennen liimausta. Liimaa levitetään tasaisesti koko putken asennuspinnalle, ja se on liitettävä sovitteeseen heti ennen liiman kuivumista. Putkia voidaan liimata +5–+40 °C ilman lämpötiloissa. Liimaliitos on vähän käytetty liitosmenetelmä laivanrakennuksessa, mutta yleisesti sitä käytetään ainakin PVC-muoviputkien yhteydessä. [11, s. 256.]

8.3 Sähköhitsaus

Sähköhitsausta käytetään muoviputkien liittämiseen. Siinä putket ja liittimet asennetaan yhteen ilman erillisiä lisäaineita. Kytettäessä liitoskappale virtalähteeseen liitososien sisällä olevat vastuslangat lämpenevät ja sulattavat ympärillä olevan muovin, joka laajetessaan aiheuttaa hitsauspaineen putken ja putkiyhteen välille. Hyvä hitsausliitos (kuva 16) edellyttää, että putken hitsauspinta puhdistetaan huolellisesti liasta, putket ovat kohtisuoraan katkaistuja, hitsauksen jäähdytysaikoja noudatetaan ja putki on asennettu kunnolla liitososan keskelle. [9, s. 78.]



Kuva 16. INSTAFLEX-sähköhitsausliitos

Sähköhitsaus on nopea ja yksinkertainen tapa tehdä putkiliitos. Itse hitsausprosessi kestää vain 37–210 s riippuen putken koosta. Hitsaus suoritetaan sähköhitsaukseen suunnitellulla laitteella, joka pystyy tunnistamaan liitososan, kun siihen tehdään kytkentä. Laite tekee asetukset automaattisesti ja hitsauksen voi aloittaa nappia painamalla. Hitsaus on onnistunut, kun liitososan indikaattorinappi on työntynyt ulos hitsauspaineen seurauksena. [9, s. 78.]

8.4 Mekaaninen liitäntä

Mekaaniset liitäntäjärjestelmät ovat nopeita, helppoja ja halpoja asentaa, olosuhteista riippumatta. Erilliset liitoskappaleet ovat tosin kalliita ja voivat vaatia uusia työkaluja, jolloin kustannukset nousevat huomattavasti. Asentaminen ei vaadi lämmöntuontia tai lisäaineita liitoksi varten. Mekaaniset liitokset mahdollistavat putkiston helpon purkamisen, jolloin tuotteiden huoltaminen on helpompaa. [11, s. 239.]

Markkinoilla on useita eri mekaanisia liitinvalmisteita. Niitä ovat esim. kierre-, laippa-, puserrus- tai pikaliitokset. Liitoksissa on o-renkaat tai lattatiivisteet vuotojen estämiseksi. Mekaanisia liitoksia sovelletaan putkistoissa, joissa kaksi eri putkimateriaalia yhdistetään toisiinsa. Niitä voidaan käyttää sekä muovi- että metalliputkissa. Erityisesti kom-

posiittiputkissa käytetään mekaanisia liittimiä. Kuvan 17 mukaisessa mekaanisessa liitännässä putken pää levitetään muhvaustyökalulla ja ruuvataan kiinni mutterilla liitoskappaleeseen. [11, s. 239.]



Kuva 17. Sanipex-liitäntä

9 Putkien vertailu

9.1 Putkien asennuksen ja käsittelyn vertailu

Muovi- ja metalliputkien käsittelytapojen eroavaisuudet on otettava huomioon materiaalin valintaa tehdessä. Muoviputket ovat pehmeämpiä, kevyempiä ja kimmoisampia kuin metalliputket, ja siksi ne vaativat erityistä huomiota.

9.1.1 Käsittely

Putkien kuljetuksen ja käsittelyn aikana on vältettävä aiheuttamasta niihin lommoja tai painaumia. Näin voidaan välttyä valmiin putkiston virtauksen häiriöiltä. Kupariputkille kolhut ja painaumat saattavat aiheuttavat eroosiokorroosion riskiä. Muoviputkille naar-

mut voivat olla vaurioiden lähtökohtia käytön aikana. Pitkiä putkia käsiteltäessä naarmuja saattaa syntyä vahingossa hyvinkin herkästi, esimerkiksi terävistä kulmista tai esineistä. [11.]

Avonaiset päät on syytä peittää heti kuljetuksesta lähtien, jotta putken sisäpintojen likaantumiselta välttyttäisiin alusta alkaen. Kupariputkissa lika estää sisäpinnan suojakerroksen muodostumista. [11.]

Muoviputkien keveys ja nopea asennus tekevät niistä asentajalle suotuisan materiaalin. Keveyden ansiosta muoviputket vähentävät loukkaantumisriskiä selkeästi painavampiin kupariputkiin verrattuna. [11.]

9.1.2 Kannakointi

Putkien kannakointi on suunniteltava huolellisesti, niin että putket tuetaan riittävästi. Kannakkeiden välin on oltava riittävän lyhyt ottaen huomioon materiaalin lämpöpiteneminen. Muovit laajenevat selkeästi enemmän kuin metallit, joten ne on kannakoitava tiheämmin. Taulukossa 2 on esitelty PB-putkille asetetut kannakkeiden välin maksimietäisyydet.

Taulukko 2. Max. tuen välimatka PB-putkille [9.]

Putken koko	Kylmävesiputki (mm)	Kuumavesiputki (mm)
PB-20	750	700
PB-25	800	750
PB-32	900	850
PB-40	1050	950

Kupariputkille maksimietäisyys on noin kaksi kertaa pitempi. Se miten kannakkeet sijoitellaan, riippuu putkilinjan sijoittamisesta.

Putkien kannakoinnin on kestettävä putkien ja putkieristeen massan sekä veden virtauksen aiheuttama rasitus, estettävä sivuttaisliike ja säilytettävä putkien välinen etäisyys. Kannakkeet eivät saa aiheuttaa vaurioita putkeen tai aiheuttaa melua yhdessä putkien kanssa. Muovi- ja kupariputkien vaurioiden estämiseksi kannakkeista poistetaan terävät kulmat ja ne päällystetään muovilla. Pehmeiden muoviputkien kannakkeita ei saa kiristää liian tiukalle, muuten ne saattavat helposti vaurioitua lämpölaajenemisen

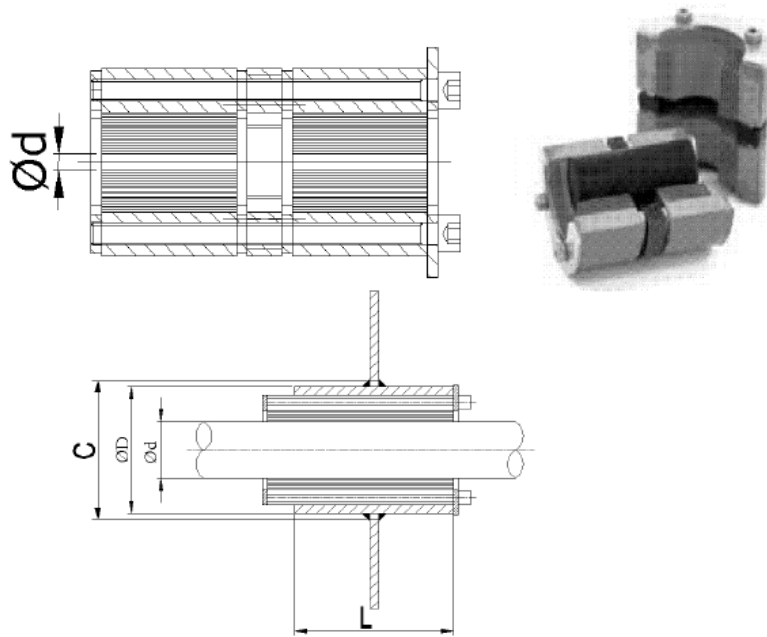
takia. Kuvan 18 mukainen kannake ei aiheuta liian suurta puristusta putkelle, mutta sitä voidaan käyttää vain tietyn kokoisille putkille. Muoviputkien valmistajat tekevät tuotteilleen omia kannakkeita, joita suositellaan käytettäväksi. [17, 44-2.]



Kuva 18. Putkien kannake

9.1.3 Lävivienti

Laivan rungon rakenteiden läpiviennit (kuva 19) on tiivistettävä palon, äänen, kosteuden ja paineen eristävyys osalta lävistettävää rakennetta vastaavaksi. Muovi- ja kupariputkille on omat materiaalille sopivat läpivientiosat.



Kuva 19. Muovi- ja kupariputken läpivienti [22.]

Rakenteiden läpivientiaukkojen kautta siirtyvä ääni pyritään estämään tiivistämällä aukko ilmatiiviiksi. Putkien lämpöliikkeen on oltava mahdollista ilman putken, eristeen tai rakenteiden rikkoontumista. Eristys katkeaa teräkseen ja jatkuu tiiviisti rakenteiden molemmin puolin. [22.]

9.1.4 Varastointi

Vesijohtoputkien ja tarvikkeiden varastoinnissa on noudatettava huolellisuutta, varovaisuutta ja puhtautta. Lisäksi tuotteiden valmistaja laatii noudatettavat ohjeet varastoimislämpötilan, pinoamiskorkeuden ym. osalta.

Metalli- ja muoviputket varastoidaan sääsuojuuttuihin tiloihin. Säilytyksessä on otettava huomioon, etteivät putket joudu syövyttävien aineiden kanssa kosketuksiin ja että ne eivät ole varastoinnin aikana kolhuille alttiita. [13, s. 56.]

Muoviputket on säilytettävä siten, että ne ovat suojassa auringon UV-säteilyltä. UV-säteily aiheuttaa molekyyllisidosten katkeamista ja vapaiden radikaalien syntyä, jolloin muovin rakenne vahingoittuu. UV-säteily vaikuttaa samalla periaatteella kaikkiin muovilaatuihin. Korkeampi lämpötila kiihdyttää muovin hajoamisreaktiota merkittävästi, mutta kosteudella on vähäinen vaikutus. [13, s. 56.]

9.1.5 Taivutus

Muoviputkien hyvä taipumisominaisuus (kuva 20) antaa mahdollisuuden vähentää liitososien määrää. Näin saadaan aikaiseksi ”suorempi putkilinja” ilman ylimääräisiä putkiliitoksia, jotka heikentävät veden virtausnopeutta.



Kuva 20. Muoviputken taipumisen hyödyntämistä

Taivuttaminen voidaan toteuttaa käsin tai taivutustyökalulla riippuen taivutussäteestä ja putken paksuudesta. Taivuttaminen on tehtävä kylmätaivuttamalla. Taivutussäde ei saa olla putkelle sallittua pienempi. Putken taivuttaminen aiheuttaa putken sisäkaarteeseen puristusjännitystä ja ulkokaarteeseen vetojännitystä. Liian pieni taivutussäde voi johtaa putken repeämiseen. [11.]

9.2 Putkimateriaalien ominaisuuksien vertailu

Taulukossa 3 on esiteltynä eri putkistomateriaalien keskeisempien ominaisuuksien arvoja, jotka selventävät materiaalien kestävyyttä. Taulukkoon on merkitty muovimate-

riaalit, lukuun ottamatta komposiittiputkea, sekä metalleista kupari. Olennaisimmat tekniset tiedot vesiputkista ovat putken koko, seinämäpaksuus ja paineluokka, mutta myös materiaalin tiheys, lämmönjohtavuus, vetolujuus sekä lämpölaajeneminen ovat tärkeitä seikkoja. Lisäksi taulukossa on putkille määritellyt lämpötilaominaisuudet: maksimi käyttölämpötila ja sulamislämpötila.

Taulukko 3. Putkimateriaalien ominaisuuksia [11.]

Ominaisuus		PB	PVC-U	PP	PE	Kupari
Tiheys	g/cm ³	0,93	1,35	0,902	0,95	8,93
Lämmönjohtavuus	W/mK	0,19	0,14	0,22	0,37	400
Myötölujuus	Mpa	33	52	31	25	220
Lämpölaajenemiskerroin	mm/mK	0,13	0,07	0,07	0,20	0,017
Maksimi käyttölämpötila	°C	95	60	80	60	250
Sulamislämpötila	°C	130	199	165	130	1083

Lämpötilan noustessa polymeerit laajenevat selvästi enemmän kuin metallit. Pituuden lämpölaajenemiskerroin ilmaisee kappaleen pituuden kasvun, kun lämpötila nousee. Muoveista polyeteenillä on korkein lämpölaajenemiskerroin 0,20 mm/mK, joka on yli kymmenkertainen kupariin nähden. Lämpölaajenemista voidaan vähentää täyteaineilla ja kuitulisäyksellä. Materiaalien lämpölaajenemiskerroin mitataan noin 20 °C:n lämpötilassa. [10.]

Tiheys ilmaisee kappaleen massan suhteessa tilavuuteen. Muoveista polypropeeni on materiaaliltaan kevein ja kaikista materiaaleista kupari selvästi painavin. Keveys helpottaa selvästi putkien käsittelyä ja nopeuttaa asentamista. [10.]

Muoviputkilla on erinomainen lämmöneristyskyky, jota ilmaisee muovin lämmönjohtavuus. Kuparilla (400 W/mK) on korkea lämmönjohtavuus muoveihin nähden mutta myös muihin metalleihin, esim. teräkseen (50 W/mK), verrattuna. Tämän perusteella lämpimän veden muoviputkiin voidaan käyttää vähemmän putkieristettä kuin kupariputkiin. [10.]

Vetolujuus kertoo materiaalin lujuus- ja sitkeysikäytymisestä. Vetolujuusominaisuutta testataan venyttämällä koekappaletta vakionopeudella ja kirjaamalla tarvittava voima. Myötölujuus kertoo, missä vaiheessa kappaleen muodonmuutos alkaa poiketa,

jolloin tuote on käyttökelvoton. Putkimateriaaleista kuparin myötölujuus on suurin. Kupari kestää hyvin korkeitakin paineita. [10.]

Muovit ovat palavia materiaaleja, ja niiden lämmönkestävyys on hyvin alhainen. Heikot materiaalit, kuten polyeteeni, alkavat pehmentyä jo +40 °C:n lämpötilassa. Palonkestävyydeltään kupari on muoviputkia parempi vaihtoehto. [10.]

9.3 Materiaalikustannuksien vertailu

Insinööriyön keskeinen tarkoitus oli verrata kahden jäänmurtajan 506 ja 507 makeavesiputkistojen materiaalikustannuksia. Jäänmurtajat ovat keskenään lähes identtisiä mutta, 506:n makeavesiputkisto on valmistettu kuparista ja 507:n on valmistettu Georg Fischer INSTAFLEX-polybuteeni-putkista. Vertailu on tehty jäänmurtajien 6. kannen runkoputkistojen osalta. Kansi on hyvä vertailun kohde, koska siellä on jäänmurtajan henkilöstön hyttejä ja makeavesiputkisto kiertää kaikkiin hytteihin. Putkistodiagrammi 6. kannelta on esiteltynä liitteessä 1.

Jäänmurtaja 507:n putkisto on GF:n INSTAFLEX-PB-putkia, jotka ovat sähköhitsausmenetelmällä liitettäviä. Muoviputket ovat kupariputkia halvempia, mutta niiden liitososat lisäävät kustannuksia selkeästi. Liitososiin kuuluvat jatko-, kulma-, haara- ja supistuliittimet sekä metalli- ja muoviputkien liitosadapterit. Muoviputkien liitososien hinnat nousevat eksponentiaalisesti putkikoon kasvaessa. Taulukossa 4 ovat listattuna putket ja osat, joita on tarvittu 6. kannen putkistoa varten. Taulukon hinnat ovat Georg Fischerin antama tarjous INSTAFLEX putkille ja osille.

Taulukko 4. INSTAFLEX PB-putkien ja osien hinnat

Materiaali (putket)	Määrä [m]	Hinta/m	Hinta yhteensä
Pipe D20 2.8mmx 5,8m	52,2	2,20 €	114,84 €
Pipe D25 2.3mmx 5,8m	17,4	2,92 €	50,81 €
Pipe D32 2.9mmx 5,8m	46,4	4,65 €	215,76 €
Pipe D40 3.7mmx 5,8m	17,4	6,42 €	111,71 €
Yhteensä:	133,4		493,12 €
Materiaali	Määrä [kpl]	Hinta/kpl	Hinta yhteensä
Electrofusion coupler PB 20	2	3,48 €	6,96 €
Electrofusion coupler PB 32	2	5,15 €	10,30 €
Electrofusion coupler PB 40	1	7,36 €	7,36 €
Electrofusion elbow 90° PB 20	8	3,64 €	29,12 €
Electrofusion elbow 90° PB 32	6	5,40 €	32,40 €
Electrofusion elbow 90° PB 40	4	7,36 €	29,44 €
Electrofusion tee equal 20	8	5,89 €	47,12 €
Electrofusion tee equal 32	1	7,36 €	7,36 €
Electrofusion tee equal 40	2	10,30 €	20,60 €
Electrofusion tee 25-20-25	4	5,40 €	21,60 €
Electrofusion tee 32-20-32	15	6,63 €	99,45 €
Electrofusion tee 25-20-20	3	5,40 €	16,20 €
Electrofusion tee 40-20-40	3	9,81 €	29,43 €
Electrofusion reducer 32-20	1	3,68 €	3,68 €
Electrofusion reducer 32-25	3	4,12 €	12,36 €
Electrofusion reducer 40-20	1	4,51 €	4,51 €
Electrofusion reducer 40-32	3	4,85 €	14,55 €
Adaptor union spigot 20/ thread RP 1/2"F	33	11,28 €	372,24 €
Adaptor union electr 20/ thread RP 1/2"	3	17,66 €	52,98 €
Adaptor union electr 20/ thread RP 1/2"F	4	16,19 €	64,76 €
Adaptor union electr 40/ thread RP 1/4"F	2	35,31 €	70,62 €
Yhteensä:			953,04 €

Jäänmurtajan 506 kupariputkien hinnat (taulukko 5) perustuvat telakan arkistoituihin kupariputkien hintoihin. Putkien hinnat vaihtelevat, joten vertailussa on käytetty hintojen keskiarvoa. Kupariputket on liitetty ilman liitoskappaleita, tekemällä haarat ja muhvit työkaluilla putkeen. Liitostapa vähentää materiaalikustannuksia mutta vaati lisää työtä.

Taulukko 5. Kupariputkien hinnat

Cu putki	Eur/m	Keskiarvo
15x1,5	5,73 5,72	5,73€
22x1,5	9,41 8,65 8,82 9,37	9,06€
28x1,5	11,38 11,33 17,60 16,28	14,15€
35x1,5	12,93 12,88	12,91€

Taulukossa 6 on esitelty molempien materiaalien yhteenlaskettu hinta-arvio. Molemissa materiaaleissa on käytetty samaa putken määrää vastaavaa putkikokoa kohtaan. Jäänmurtaajissa saattaa olla pieniä eroja käytetyn putken määrän osalta, vaikka alukset ovatkin samanlaisia.

Taulukko 6. Materiaalien hintavertailu

	m	Kupari	PB
Cu15/PB20	52,2	298,85 €	114,84 €
Cu22/PB25	17,4	157,69 €	50,81 €
Cu28/PB32	46,4	656,44 €	215,76 €
Cu35/PB40	17,4	224,55 €	111,71 €
Liittimet			953,04 €
Yhteensä		1 337,52 €	1 446,16 €

Yhteenlaskettuna hintana tulokseksi saadaan, että kupariputket ovat materiaalina hieman halvempi vaihtoehto. INSTAFLEX-muoviputkiston hinta nousee korkeammaksi kalliiden liittimien takia. Hintaero ei ole kuitenkaan suuri.

Taulukossa 7 on esiteltynä jäänmurtaaja 507:n luovutuksen yhteydessä annetut sähköhitsauslaite sekä varaosat, joita voidaan käyttää putkiston korjauksessa. Muoviputkien tapauksessa telakan on annettava laivan mukana tarvittavat välineet korjauksia varten.

Taulukko 7. Työkalut ja varaosat

Työkalut	Määrä	Hinta
ELECTROFUSION CONTROL UNIT HWSG3	1	1 675,13 €
TANGIT KS-CLEANING TISSUES	1	100,65 €
PIPE CUTTER D10-63	1	74,61 €
Varaosat	Määrä	Hinta
PIPE D20 - 2.8MM X 5,8M	1	12,70 €
PIPE D25 - 2.3MM X 5,8M	1	16,94 €
PIPE D32 - 2.9MM X 5,8M	1	26,94 €
PIPE D40 - 3.7MM X 5,8M	1	37,24 €
ELECTROFUSION COUPLER D20	2	6,96 €
ELECTROFUSION COUPLER D25	2	8,44 €
ELECTROFUSION COUPLER D32	2	10,30 €
ELECTROFUSION COUPLER D40	2	14,72 €
Yhteensä		1 984,63 €

Merkittävin kustannus muodostuu hitsauslaitteesta, jonka hinta on suurempi kuin jäänmurtajan 6. kannen muoviputket ja osat yhteensä.

9.4 Asennuskustannukset

Muoviputkien asennustyö sähköhitsaamalla on yksinkertainen tapa tehdä putkiliitos, joka antaa siistin lopputuloksen. Kupariputkien kohdalla onnistunut liitos vaatii putki-asentajalta riittävää ammattitaitoa ja asennuksessa on helpompi epäonnistua. Ennakoluuloista poiketen työn asennusaika ei kuitenkaan eroa merkittävästi, asennustöitä valvovan työnjohtajan kommenttien perusteella.

Pienikokoisten kupariputkien asentaminen voi olla lähes yhtä nopeaa kuin muoviputkien asentamiseen kuluva työ. Putkikoon kasvaessa työmäärä lisääntyy, joka vaikuttaa kupariputken asentamiseen selvästi enemmän kuin sähköhitsattaviin muoviputkiin. Muoviputken hitsausaika lisääntyy hieman putkikoon kasvaessa, mutta koska sähköhitsaus tapahtuu automaattisesti, asennusaika ei kasva yhtä merkittävästi.

Sähköhitsauksen etuna on, että liitoksia voidaan tehdä useampi samanaikaisesti: esim. T-haaraosan kaikki kolme liitosta voidaan tehdä kerralla. Haittana muoviputkien kanssa on, että ne tarvitsevat enemmän kannakkeita, joiden hitsaaminen kuluttaa aikaa.

Kannakkeiden hitsaaminen lisää yhteenlaskettua asennusaikaa merkittävästi, jolloin se on suunnilleen sama kupariputkien asennusajan kanssa.

Taulukossa 8 on arvioitu keskimääräinen asennusaika, joka kuluu yhden muoviputken liitoksen tekoon. Siinä otetaan huomioon asennustyön eri vaiheet, josta muodostuu yhteenlaskettu kokonaisaika. Taulukko on laadittu yhdessä työnjohtajan kanssa sekä käyttämällä Georg Fischerin hitsausaikataulukkoa.

Taulukko 8. Muoviputken sähköhitsiliitoksen keskimääräinen asennusaika

Liitoksen teko sähköhitsaamalla	Aika [h:min:s]
Putken leikkaus	0:00:20
Putken ja osan puhdistus	0:00:40
Asettaminen	0:00:50
Sähköhitsaus	0:01:05
Jäähdytys	0:02:00
Yhteensä	0:04:55

Vastaavasti taulukossa 9 on vertailun kannalta kupariputken liitoksen tekemiseen kuluva asennusaika pienelle putkelle. Liitos tehdään juottamalla haaroitettuun tai muhvitettuun kupariputkeen.

Taulukko 9. Kupariputken liitoksen keskimääräinen asennusaika

Liitoksen teko juottamalla	Aika [h:min:s]
Putken leikkaus	0:00:30
Puhdistaminen	0:00:40
Haaroitus/muhvaus	0:02:00
Juottaminen	0:02:30
Jäähdytys	0:00:30
Yhteensä	0:06:10

Taulukossa 10 on arvioitu jäänmurtajan 6. kannen asennustyöhön kuluva aika ja hinta. Asennusaika on laskettu käytettyjen osien määrän ja taulukon 7 yhteenlasketun asennusajan avulla. Asennustyön hinnaksi on määritetty 35 €/h. Taulukossa on otettu huomioon kannakkeet, joille on arvioitu hitsausajaksi 5 min.

Taulukko 10. Asennuksen hinta muoviputkille

Osa	Määrä [kpl]	Aika [h:min:s]	Asennuksen hinta [Eur]
Electrofusion coupler PB 20	2	0:09:50	5,72
Electrofusion coupler PB 32	2	0:09:50	5,72
Electrofusion coupler PB 40	1	0:04:55	2,86
Electrofusion elbow 90° PB 20	8	0:39:20	22,87
Electrofusion elbow 90° PB 32	6	0:29:30	17,15
Electrofusion elbow 90° PB 40	4	0:19:40	11,43
Electrofusion tee equal 20	8	0:39:20	22,87
Electrofusion tee equal 32	1	0:04:55	2,86
Electrofusion tee equal 40	2	0:09:50	5,72
Electrofusion tee 25-20-25	4	0:19:40	11,43
Electrofusion tee 32-20-32	15	1:13:45	42,88
Electrofusion tee 25-20-20	3	0:14:45	8,58
Electrofusion tee 40-20-40	3	0:14:45	8,58
Electrofusion reducer 32-20	1	0:04:55	2,86
Electrofusion reducer 32-25	3	0:14:45	8,58
Electrofusion reducer 40-20	1	0:04:55	2,86
Electrofusion reducer 40-32	3	0:14:45	8,58
Adaptor union spigot 20/ thread RP 1/2"F	33	2:42:15	94,33
Adaptor union electr 20/ thread RP 1/2"	3	0:14:45	8,58
Adaptor union electr 20/ thread RP 1/2"F	4	0:19:40	11,43
Adaptor union electr 40/ thread RP 1/4"F	2	0:09:50	5,72
Muoviputkien asennustyö yhteensä	109	8:55:55	311,56
Kannakkeita	168	14:00:00	245,00
6. kannen asennustyö yhteensä		22:55:55	801,56

Taulukossa 11 on vastaava arvio yhteenlasketusta asennuksen ajasta ja hinnasta kupariputkien juotosliitoksille. Juotosliitoksien määräksi on arvioitu sama mikä on muoviputkien osien määrä. Kannakkeita on puolet vähemmän kuin muoviputkissa.

Taulukko 11. Asennuksen hinta kupariputkille

	Määrä [kpl]	Aika [h:min:s]	Asennuksen hinta [Eur]
Juotosliitoksia	109	11:12:10	392,31
Kannakkeita	84	7:00:00	122,50
6. kannen asennustyö yhteensä		18:12:10	637,81

Taulukoiden 9 ja 10 tuloksia vertailemalla huomataan, että kupariputkien yhteenlaskettu asennusaika ja hinta ovat hieman alhaisempia kuin muoviputkilla, kun otetaan huo-

mioon kannakkeiden asennus. Ilman kannakkeita muoviputket ovat edullisempia asentaa.

10 Yhteenveto ja pohdinta

Tässä insinööriyössä käsiteltiin Arctech Helsinki Shipyardin jäänmurtajien makeavesiputkiston materiaaleja sekä vertailtiin kuparista ja polybuteenista valmistettujen putkien materiaalikustannuksia. Insinööriyössä läpikäydyistä materiaaleista kupari on yleisesti käytetyin vesijohtomateriaali ja siitä on paljon kokemusta. Muovimateriaaleista polybuteenista valmistetut putket ovat ominaisuuksiltaan ja hinta-laatusuhteeltaan hyviä. Halvimpien muovimateriaalien lämpötilan ja paineen kesto ei riitä kuumavesilinjastoa varten.

Kun pyritään pitämään asemaa jäänmurtaja-aluksien markkinoilla, on pyrittävä nostamaan työtehoa koko organisaatiossa. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että kaikkien prosessissa mukana olevien osapuolten kehittävät toimintaansa, asemasta riippumatta. Arctechin Helsingin telakalla käytettiin ensimmäistä kertaa muoviputkia jäänmurtajan makeavesiputkiston materiaalina. Muoviputkien ominaisuudet antavat vaihtoehtoja perinteiselle kupariputkelle. Tärkeimmät muoviputkien ominaisuudet ovat nopea asennettavuus, korroosiottomuus ja keveys.

Insinööriyötä varten tehtyjen haastattelujen perusteella asentajien keskuudessa on ollut hieman muutosvastarintaa, kun kupariputket ovat vaihtuneet muoviputkiin. Nykyään asentajat suhtautuvat muoviputkiin positiivisemmin. Tähän on vaikuttanut muoviputkien keveys, joustavuus, mukautuva asennus sekä sähköhitsien turvallinen ja siisti asennus. Putkisto voidaan kokoonpanna ja liitokset hitsata vasta, kun putkisto on saatu sovitettua paikoilleen. D32-kokoluokan ja sitä pienempiä putkia voidaan taivuttaa käsin, jolloin ei tarvita niin paljon osia, ja kannattimien ja läpivientien pienet mittaepätarkkuudet saadaan kompensoitua.

Muoviputkitoimittajat järjestävät laajat koulutukset asentajille ja putkiasentajalta edellytetään toimittajan antamaa koulutusta ennen töiden tekoa. Tämä järjestelmä edesauttaa siinä, että mitään suuria ongelmia ei pääse syntymään, mutta kun varustelujakson huippuhetkinä asentajia on paljon ja monesta maasta, niin sekaannuksia voi tulla.

Kupariputkien juottamiseen kuuluu tulitöiden takia kaksi perusriskiä, joita ovat palovammat ja tulipalojen vaara. Lisäksi juotoksien lisäaineista syntyvät juotoskäryt ovat ihmiselle haitallisia ja voivat olla myrkyllisiä. Tulitöiden määrä työalueella on asia, mitä pyritään vähentämään. Muovien sähköhitsi- ja liimaliitokset sekä mekaaniset liitokset mahdollistavat putkiston asentamisen ilman tulitöitä. Muoviputket tosin vaativat enemmän kannakkeita, joiden hitsaaminen lisää tulitöitä niiden osalta. Turvallisuustekijät ovat tärkeä osa Arctech Helsinki Shipyard Oy:n arvoja, joten muoviputken edesauttavat tässäkin suhteessa.

Muoviputkien sähköhitsaus mahdollistaa putkiston nopean ja yksinkertaisen kokoonpanon, mutta korkeamman lämpölaajenemisen johdosta kannakkeita tarvitaan enemmän, joka lisää huomattavasti työtuntimäärää. Sähköhitsaus itsessään on nopeampi liitosta pa kuin kupariputkien juottaminen. Molempien jäänmurtajien kohdalla putkiston asentamiselle arvioitiin suurin piirtein saman verran työtunteja.

Muoviputkien materiaalikustannukset ovat arviolta hieman kalliimpia kuin kupariputkien kustannukset. Muoviputkien liittimet on suurin tekijä muoviputkien korkeampiin materiaalikustannuksiin. Lisäksi huomioon on otettava, että jäänmurtajan luovutuksen yhteydessä annettiin putkien asentamiseen tarvittava sähköhitsauslaite sekä varaosia laivan korjausta varten. Näiden hinta on huomattava jäänmurtajan kokoisessa laivassa, jossa putkistoa on suhteellisen vähän ja hinta ei kasva niin isoksi matkustajalaivoihin verrattuna. Muoviputkien kustannukset voivat osoittautua paremmin edukseen isommissa matkustajalaivoissa, joissa runkoputkistot voidaan tehdä käytävän mittaisista runkoputkistoiesivalmisteista.

Lähteet

- 1 Häkkinen, Pentti. 2002. Laivan putkistot. Otaniemi. Teknillinen korkeakoulu.
- 2 Seilonen, Juhana. 2012. Käänteisosmoosilaitteiston asennus ja käyttöönotto pienellä matkustaja-aluksella. Insinööritö. Kymeenlaakson AMK.
- 3 World Health Organization. 2005. International Medical Guide for Ships: Include the Ship's Medicine Chest. 2nd edition.
- 4 Venäjän terveydenhoitoministeriön vesiliikenteen saniteettisäännöt. 2003. Arc-tech Helsinki Shipyard arkisto.
- 5 Huhdanpää, Maarit & Penttilä, Heli. Helsingin yliopisto. Verkkodokumentti. <www.helsinki.fi/kemia/opettaja/muovit/raaka-aineet.htm>. Luettu 14.3.2013.
- 6 Kekki, Tomi K., Keinänen-Toivola, Minna., Kaunisto, Tuija & Luntamo, Marja. 2007. Talousveden kanssa kosketuksissa olevat verkostomateriaalit Suomessa. Vesi-Instituutti/Prizztech Oy.
- 7 Järvinen, Pasi. 2008. Uusi muovitieto. Söderkulla. Muovifakta.
- 8 Rosato, Dominick V. 2003. Plastics Engineered Product Design. Oxford: Elsevier Advanced Technology.
- 9 INSTAFLEX Technical manual. 2006. Georg Fischer. Schaffhausen. Käsikirja.
- 10 Seppälä, Jukka. Polymeeriteknologian perusteet. Helsinki. Otatieto.
- 11 Planning Fundamentals Industry. 2006. Georg Fischer. Schaffhausen. Käsikirja.
- 12 Outokumpu Pori Tube Oy. 2005. Verkkodokumentti. <http://linjasaneeraus.vtt.fi/hankkeen_aineistoa/tuotekuvaukset/outokumpu/outokumpu_tub-e%20kupariputket-rt-kortti.pdf>. Luettu 10.4.2013.
- 13 Lindström, Kauko.1996. Vesi- ja viemäritekniikka. Helsinki. Opetushallitus.
- 14 Verkkodokumentti.<http://www.kupari.com/files/2009-04_Juomaveden_kuparipitoisuus.pdf>. Luettu 10.4.2013.
- 15 Kekki, Tomi K., Keinänen-Toivola, Minna., Kaunisto, Tuija & Luntamo, Marja. 2008. Vesijohtomateriaalien vauriot ja käyttöikä Suomessa. Vesi-Instituutti/Prizztech Oy.

- 16 The European Plastic Pipes and Fittings Association. Verkkodokumentti.
<<http://teppfa.eu/all-about-plastic-pipe-systems>>. Luettu 18.4.2013.
- 17 Räisänen, Pekka. 1997. Laivatekniikka. Jyväskylä. Gummerus Kirjapaino Oy.
- 18 Korroosiokäsikirja. 1988. Suomen Korroosioyhdistys SKY. Hanko. Hangon Kirjapaino Oy.
- 19 IMO Resolution A.753(18) – Guidelines for the Application of Plastic Pipes on Ships. 1993. Verkkodokumentti.
<http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=22601&filename=A753%2818%29.pdf>. Luettu 20.4.2013.
- 20 Verkkodokumentti. <<http://www.valuatlas.fi/>>. Luettu 18.4.2013.
- 21 Verkkodokumentti. <http://www.theadvancedteam.com/laser_extruder.php>. Luettu 19.4.2013.
- 22 ROXTEC läpiviennit. 2011. Materiaaliesite. Arctech Helsinki Shipyard arkisto.
- 23 Kärkkäinen, J. Fresh water treatment operation scheme. 2003. AutoCad-piirustus. Arctech Helsinki Shipyard arkisto.
- 24 Tampereen teknillinen yliopisto. Verkkodokumentti.
<<https://www.tut.fi/ms/muo/polyko/materiaalit/TTY/Laakinta/LPDF/losa3.pdf>>. Luettu 20.4.2013.
- 25 LyondellBasell Company. Plastic Pipes XVI. Barcelona, 2012. PB1 – Gades used for hot and cold water pipe applications. Verkkodokumentti.
<http://www.pbpsa.com/cms/dynimages/mb/files/PB1%20grades%20hot_cold.pdf>. Luettu 20.4.2013.
- 26 Outokumpu. Verkkodokumentti.
<http://www.outokumpu.com/SiteCollectionDocuments/Duplex_Stainless_Grade_Datasheet.pdf>. Luettu 20.5.2013.

Jäänmurtajan 6. kansi

