



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Kuressaare kolledž

Veeudu kustutussüsteem väikelaevas

Water mist extinguishing system in a recreational craft

RAKENDUSLIKU KÕRGHARIDUSE LÕPUTÖÖ

Üliõpilane: Henri Vaikmäe

Üliõpilaskood SDR178755

Juhendaja: Mikloš Lakatoš

Doktorant-nooremteadur

Kuressaare 2021

(Tiitellehe pöördel)

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

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

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad,

kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"03" jaanuar 2022

Autor:

/ digitaalselt allkirjastatud /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." 20.....

Juhendaja: Mikloš Lakatoš

/ digitaalselt allkirjastatud /

Kaitsmisele lubatud

"....."20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Henri Vaikmäe

annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

„Veeudu kustutussüsteem väikelaevas“

mille juhendaja on Mikloš Lakatoš.

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

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

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

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

03.01.2022

Kuressaare Kolledž
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Henri Vaikmäe SDSR178755

Õppekava, peeriala: SDSR10/17 - Meretehnika ja väikelaevaehitus; väikelaevaehitus

Juhendaja(d): Doktorant-nooremteadur Mikloš Lakatoš; +372 53850727

Konsultant: Lauri Lätte; Projektijuht

HF Tulekustutus AS; +372 5015485; lauri.latte@hft.ee

Lõputöö teema:

Veeudu kustutussüsteem väikelaevas

Water mist extinguishing system in a recreational craft

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Arvutada väikelaeva jaoks vajalik sprinklersüsteem.
2. Mahutada see väikelaeva ilma muid süsteeme segamata.
3. Näidata Hi-FOG® süsteemi sobivust väikelaevale.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Lõputöö 90% esitamine ja eelkaitsmine	15.12.21
2.	Lõputöö 100% esitamine.	04.01.22
3.	Lõputöö kaitsmine	18.01.22

Töö keel: Eesti

Lõputöö esitamise tähtaeg: "03" jaanuar 2022a

Üliõpilane: Henri Vaikmäe

"03" jaanuar 2022a

/allkirjastatud digitaalselt/

Juhendaja: ".....".....20.....a

/allkiri/

Konsultant: ".....".....20.....a

/allkiri/

Programmijuht: ".....".....20.....a

/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

EESSÕNA	6
Lühendite ja tähiste loetelu.....	7
1 SISSEJUHATUS.....	8
2 TULEKUSTUTUSSÜSTEEMI DIMENSIONEERIMINE	9
2.1 Maestro Dinner.....	9
2.2 SOLASE tuleohutusnõuded läbi aegade.....	9
2.3 Laevade tulekustutussüsteemid	11
2.3.1 Erinevad kustutussüsteemid tänapäeval.....	13
2.3.2 Marioffi konstrueeritud HI_FOG süsteem.	16
2.3.3 Materjalid mida kasutatakse HI-FOG®-i süsteemis.....	18
2.3.4 Veeudu tehnoloogia üldised põhimõtted.	19
2.4 Kustutussüsteemi paigaldamise nõuded ja arvutused.	21
2.5 Arvutused kustutussüsteemi projekteerimiseks.....	23
KOKKUVÕTE	26
CONCLUSION.....	27
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	28
LISAD	29
GRAAFILINE OSA.....	33

EESSÕNA

Antud töö on valminud koostöös HF Tulekustutus AS- iga. Töö sisuks on veeudu kustutussüsteemi (Marioff HI-FOG®) projekteerimine väikelaevale. Pidin laevale mahutama trassid, pumbagrupi ja veemahuti. Veeudu kustutussüsteemide kasutamine suurtes laevades (nii reisi- kui kaubalaevades) on tänapäeval küllaltki laialt levinud, kuid selle kasutamine väikelaevades on pigem haruldane. Kuigi väikelaevadel ei ole see täna nõutav, siis arvestades laevade pidevat arengut ja sellega kaasnevat kallinemist oleks kustutusüsteemid täna väga praktilised. Peamiseks väljakutseks süsteemi integreerimisel väikelaeva on vajadus arvestada piiratud ruumiressursiga nii seadmete paigutamisel kui ka torustike kulgemisteede määramisel.

Ühtlasi annab töö ülevaate meretuleohutusest – selle aluseks olevate dokumentide arengust, mõningatest ajaloolistest aspektidest ning erinevatest enamkasutatud tulekustutussüsteemidest ja nende puudustest võrreldes veeudu tulekustutussüsteemidega.

Lühendite ja tähiste loetelu

D_0 - toru välisläbimõõt

t - toru seina paksus

D_i - toru sisediameeter

l - toru pikkus

Q - vooluhulk

E - poognate arv

B - toru painete arv

v - voolu kiirus

Δp - rea rõhukadu

$\Sigma \Delta p$ - rõhukadu kokku

ρ - vedeliku massi tihedus

μ - dünaamiline viskoossus

ε - suhteline karedus

Re - Reynold`s number

λ_l - laminaarvoolu hõõrdetegur

λ_t - turbulentse voolu hõõrdetegur

Δp_l - rõhukadu, laminaarne

Δp_t - rõhukadu, turbulentne

Δp_1 - rõhukadu ilma väiksemate rõhukadudeta

Δp_c - väikesed rõhukaod, komponendid

$\Sigma \zeta$ - väikese rõhukao koefitsient, kokku

ζ_E - väikese rõhukao koefitsient, poognad

ζ_B - väikese rõhukao koefitsient, painded

K - *Faktor* - kasutatakse düüsist vedeliku väljalaske kiiruse arvutamiseks.

1 SISSEJUHATUS

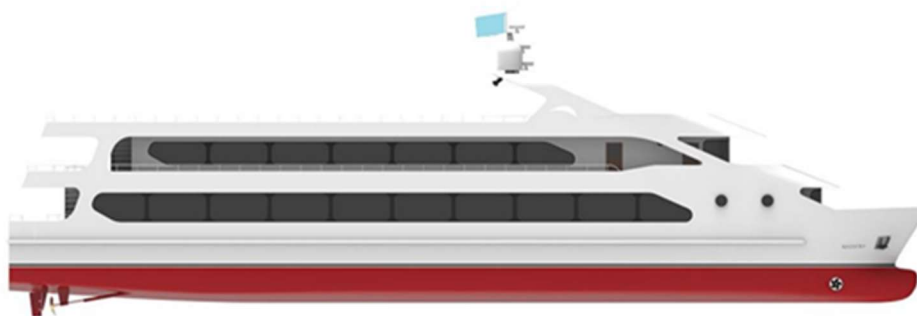
Ehkki tule põlisvaenlast – vett – on laeva ümbritsemas küllaga, on tulekahjud laevadel väga ohtlikud ning põhjustanud lugematu arvu laevade ja nendel olnud inimeste hukkumist. Vältimaks tulekahjude puhkemist ning levikut laevadel, on juba ammustest aegadest kasutatud erinevaid meetodeid, mis hõlmavad laevadel kasutatavate materjalide tulekindlusomadusi, laevade ehituslikke tuleohutuslahendusi (tulekindlad vaheseinad ja avatäited), tulekahju varase avastamise süsteemi ning tulekustutussüsteeme.

Nagu kõikides eluvaldkondades, muutuvad ka meretuleohutuses nõuded ja tingimused järjest rangemaks – näiteks on algselt reisilaevadele mõeldud regulatsioonid on aja jooksul laienenud ka kaubalaevadele ning tänased tuleohutusnõuded laevadel on samaväärsed (või karmimadki) hoonete tuleohutusnõuetega. Regulatsioonide karmistudes ning tehnika arenedes on arenenud ka laevadel kasutatavad tulekustutussüsteemid. Kõige kaasaegsemaks tulekustutussüsteemiks, mis esmalt võetigi kasutusele laevadel ja mererajatistel (nt naftaplatvormid), kuid on praeguseks levinud ka maismaaehitistesse, võib pidada veeudu tulekustutussüsteemi.

Käesoleva töö ülesandepüstitus tõukub eelnevast – ehkki väikelaevade nõuded tuleohutussüsteemidele ei eelda täna tulekustutussüsteeme ning neid laiemalt sel otstarbel ka ei kasutata, muutub järjest suuremate, moodsamate ja kõrgetasemelisema varustuse ning sisustusega (seega ka järjest kallimate) väikelaevade kasutuselevõtmisel majanduslikult otstarbekamaks ka efektiivsete tulekustutussüsteemide kasutamine väikelaevadel. Täna ei ole väikelaevade seadusest tulenevaid norme, paigaldamiseks neile automaatseid tulekustutussüsteeme, nõutud on ainult kaks komplekti tuletõrjuja varustust, kaks komplekti hingamisaparaate ja avarii hingamisaparaadid. Seega tekkis nõ tulevikku vaatavalt mõtte katsetada suurte veesõidukite ja ehitiste jaoks välja töötatud veeudu tulekustutussüsteemi integreerimist väikelaevale, arvestades sellest tulenevate ruumipiirangutega – vajadusega mitte raisata väikelaeva niigi piiratud kasulikku pinda ja mahutada nii seadmed kui torustikud ära laevaruumide sihipärast kasutust takistamata. Oma töös kasutasin ma joonestamiseks AutoCad-i, tabelite vormistamiseks ja arvutuste tegemiseks Microsoft Excelit.

2 TULEKUSTUTUSSÜSTEEMI DIMENSIONEERIMINE

2.1 Maestro Dinner



Joonis 1. Maestro Dinner

Tabel 1. Laeva andmed.

Pikkus	Laius	Süvis	Reisijate arv
50m	10m	2m	300

Laeva kolmele tekile paigaldasin kokku 40 HI-FOG® sprinklerpead. Esimesele ja teisele tekile läks mõlemale 14 sprinklerpead ja kolmandale tekile läks 12 sprinklerpead. Sprinklerpead paigaldasin laeva paigaldatud nende kustutusulatuse järgi. Edasi arvutasin välja torustikud, veehulgad, pumpade võimsuse ja mahuti suuruse.

2.2 SOLASE tuleohutusnõuded läbi aegade

Esimesed tulekaitstenõuded töötati välja osana 1914 aasta SOLAS (Safety Of Life At Sea) konventsioonist, mille koostamise ajendiks oli Titanicu hukkumine 1912. aastal.

Kuigi 1914 aasta SOLAS konventsiooni jõustumist takistas I maailmasõda, sisaldas see ikkagi põhilisi tuleohutusnõudeid, mis kanti üle 1929. aasta SOLAS konventsiooni. [1] 1934. aastal toimus tulekahju reisilaeval „Morro Castle“, põhjustades 134 inimese surma [2] Selle tulekahju uurimisel saadud õppetunnid määrasid olulist rolli mittepõlevate ehitusmaterjalide väljatöötamisel ning tollased põhimõtted on tänaseni reisilaevade tuleohutuseeskirjade aluseks. II maailmasõja ajal tehti palju edusamme meretehnoloogias, samuti muutus arusaadavatel põhjustel olulisemaks laevade tuleohutuse teema. See kõik viis 1948 aasta SOLAS konventsiooni vastuvõtmiseni. Selles pandi varasemast oluliselt suuremat rõhku tuleohutusele, mida ilmestab kolme uue, üksnes tuleohutusele pühendatud osa (D, E ja F) väljatöötamine ja lisamine 1948. aasta SOLAS konventsiooni teise peatükki. 1948. aasta SOLAS konventsioon kehtestas reisilaevadele kolm ehitusmeetodit ja kaubalaevadele tulekaitse põhinõuded. 1948. aastal vastu võetud SOLAS konventsiooni uuendati 1960. aastal vastu võetud SOLAS konventsiooniga. 1960. aasta SOLAS konventsiooni kõige olulisem tuleohutusega seotud muudatus oli teatavate reisilaevade tuleohutusnõuete kohandamine kaubalaevadele. 1981. aasta muudatustega, mis jõustusid 1. septembril 1984, uuendati täielikult SOLAS peatükk II-2i, muudatused hõlmasid nõudeid kaubalaevade tuleohutuse kohta. 1990. aastal hukkus reisilaeva „Scandinavian Star“ pardal toimunud tulekahju tõttu 158 inimest. [3] See juhtum tõi esile mitmeid tulekaitse ja evakueerimisega seotud probleeme. 1992. aasta detsembris võttis IMO (International Maritime Organization) vastu ulatuslike tuleohutusala nõuete muudatuste komplekti, mida kohaldatakse nii uute kui ka olemasolevate reisilaevade suhtes. Muudatused nõudsid reisilaevadel samade uusimate tuleohutuslahenduste kasutamist nagu hotellides - näiteks ATS, automaatsed tulekustutussüsteemid, mittesüttivate materjalide kasutamist tuletõkkeseintes. Täiustati ka evakuatsiooniteede nõudeid, näiteks avariivalgustus seinade alumises osas.

Samuti nõustus tuleohutuse allkomitee 1992. aastal põhjalikult läbi vaatama SOLAS II-2 peatüki, kuna leiti, et aastate jooksul toimunud erinevate muudatuste sisseviimine on teinud peatüki kasutamise ja rakendamise keeruliseks. Tehnoloogia areng ja õnnetustest saadud õppetunnid alates peatüki viimasest läbivaatusest 1981. aastal nõudsid olemasolevate sätete muutmist ja uute lisamist. Selle kaheksa aastat väldanud jõupingutuse tulemuseks oli oluliselt rohkem, kui muudatuste „kasutajasõbralik“ liitmine. Solas II-2 sai täiesti uue struktuuri, mis sobib paremini sadamatele ja lipuriikidele ning ka laevade projekterijatele, lihtsustades tuleohutusküsimustega tegelemist. Eelkõige oli vanas peatükis palju ebamääraseid väljendeid nagu näiteks „administratsiooni rahuldaval viisil“ või „vahendeid tuleb varuda“, sellised fraasid olid kokku üle kaheksa. Lisaks puudus olemasoleval peatükil

tugistruktuur, kuhu saaks lisada uudseid kujundusi ja funktsioone, ning vähe keskenduti inimlikule elemendile - probleemile, millele pööratakse praegu suurt tähelepanu, arvestades, et 80% mereõnnetustest on tingitud inimteguritest. SOLAS II-2 peatüki 1996. aasta muudatused hõlmasid muudatusi üldises sissejuhatuses, B osas (reisilaevade tuleohutusmeetmed), C osas (kaubalaevade tuleohutusmeetmed) ja D osas (tankerite tuleohutusmeetmed). Samuti töötati välja uus rahvusvaheline tulekatsemenetluste kohaldamise koodeks ja see tehti 1. juulil 1998. aastal kohustuslikuks. Koodeks FTP (Fire Test Procedures) on ette nähtud administratsioonidele kasutamiseks toodete heakskiitmisel nende lipu all sõitvatesse laevadesse paigaldamiseks.

FTP koodeks sätestab rahvusvahelised nõuded laboratoorsetele katsetele, tüübikinnitusele ja tulekatsemenetlustele järgmistel juhtudel:

- mittesüttivuse katse;
- suitsu ja mürgisuse katse;
- test „A”, „B” ja „F” klassi vaheseintele;
- tuletõkkeuste juhtimissüsteemide katse;
- pinna süttivuse test;
- esmaste tekikatete test;
- vertikaalselt toetatud tekstiilide ja kilede test;
- pehme mööbli test;
- voodipesu komponentide test.

2000. aasta detsembris võttis IMO vastu täielikult muudetud SOLAS peatüki II-2, mis jõustus 1. juulil 2002.

Uus struktuur keskendub „tulekahju stsenaariumile”, mitte laevatüübile, nagu oli üles ehitatud eelmine SOLAS II-2 peatükk. Seega algavad nüüd eeskirjad tulekahju ennetamise ja avastamisega seotud küsimustega ning evakuatsioonitee nõuete kirjeldamisega. Lisaks sellele, et SOLAS II-2 peatükk on muudetud kasutajasõbralikumaks, on uude rahvusvahelisse tuleohutussüsteemide koodeksisse üle viidud konkreetsed süsteemiga seotud tehnilised nõuded.

2.3 Laevade tulekustutussüsteemid

Juba vanal ajal olid tulekahjud laevadel suureks probleemiks. Ründerelvade ja nende vastase kaitse väljatöötamise kassi-hiire mäng on kestnud juba sajandeid. [4] Süüteraketid olid kasutusel juba antiikajal ja hakkasid kiiresti edasi arenema Vana

Kreeka ajal. Nende vastu hakati leiutama ja kasutusele võtma süttimisvastaseid ja tule kustutamise vahendeid. Peamine tulekustutusvahend oli muinasajal äädikas, mis jäi soolasisalduse tõttu puidu pinnale ja aitas seda kustutada. Teistest kustutusvahenditest levinumad olid liiv, talk, toored nahad, uriin (sisaldab ammoniaaki ja fosfaate) ja maarjas e. alumiiniumkaaliumsulfaatdodekahüdraati. Laevu kasteti äädikaga, kaeti talgiga ja äädikas leotatud toornahkadega. Kuid isegi juhul, kui laevad olid tulekindlad, põhjustas kaost ja ohvreid see, et meeskonna riided ei olnud tulekindlad. Seetõttu hakati kasutama tulekindlaid rõivaid, mida valmistati erinevate ainete riidele peale määrimisel või riiete leotamisel. Nii Araabia kui ka Bütsantsi mereväes olid tuletõrjujad eliitühik: sõjalaevade madrused pidid läbima ranged koolitused ja mehi valiti väga hoolikalt. [5]

Läbi aegade on ehitatud ka spetsiaalseid tulekahjude kustutamiseks mõeldud veesõidukeid. [6] Vanim kasutuses olev tuletõrjelaev on 1900. aastal USA-s ehitatud Edward M. Cotter, mille ehitas New Jerseys Elizabeth Porti Crescenti laevatehas. Laev algne nimi oli William S. Grattan, Buffalo linna esimese palgalise tuletõrjekomissari järgi. Laev oli 118 jalga (36 m) pikk, selle laius oli 24 jalga (7,3 m). Ümber kere oli paigaldatud jää murdmiseks 1,5 tolli (38,1 mm) paksune Rootsi terasest vöö. Jõuallikateks olid kaks Babcock & Wilcoxi söeküttel töötavat katelt koos aurumasinatega, mille võimsus oli 900 hobujõudu (670 kW). Laeva käitis üks propeller ja nimikiirus oli 13 sõlme. Laeva lõplik ehitusmaksumus oli 91 000 dollarit. Laev oli varustatud kolme auru jõul töötava veepumbaga, mis andsid kolmele veekahurile vett 9 000 gallonit minutis. 28. juulil 1928 läks William S. Grattan kustutama naftatankerit James F. Cahill, mille laadungiks 5 000 barrelit toornaftat ja mis põles lahtise leegiga. Pärast 17 tundi kestnud põlemist andsid tankuri sildumiskööied järele ja alus hakkas triivima, katse kinnitada pukseerimisköis luhtus ja tanker tabas tühja naftatankerit B.B. McColl. Tühja tankeri naftaaurud plahvatasid ja tulekahju tabas ka William S. Grattanit. Meeskond hülgas laeva ja ujus läbi leekide kaldale, selles õnnetuses hukkus laeva peamehaanik ja seitse meeskonnaliiget said vigastusi. Järelevalveta jäänud kateldes aurustus vesi ja katlad plahvatasid. 12 kuud kulus otsustamisele, kas taastada laev 99 000 dollariga või osta uus 225 000 dollarit maksev alus. Lõpuks otsustati taastamise kasuks ja ümberehituse käigus seda ka moderniseeriti. 1954. aastal remonditi teda uuesti ja 1955 aastal nimetati ta ümber Edward M. Cotter. 7. oktoobril 1960 läks Edward M. Cotter appi kustutama Canadas Ontario osariigis Colborne sadamas süttinud viljaleevaatoreid. Väidetavalt oli see esimene kord, kui Ameerika Ühendriikide tuletõrjelaev ületas rahvusvahelise merepiiri, et aidata teise riigi päästeametit. Edward M. Cotter on Buffalo tuletõrjekomando käsutuses töövalmis ka tänapäeval.

1909. aastal ehitatud Seattle Fireboat Duwamish on Ameerika Ühendriikides vanuselt teine tuletõrjepaat. [7] See on needitud teraskerega laev, mille pikkus on 120 jalga, laius 28 jalga ja 9,6 jalase lastiruumi sügavusega. Ta oli aastatel 1909–2003 maailma võimsaim tulepaat, mis pumpas 22 800 gallonit minutis. Laeva disainis Eugene L McAllister ja see sai valmis 3. juuli 1909, ehitas ettevõtte Richmond Beach Shipbuilding Co. ehk Puget Sound Shipbuilding Co. Laeva maksumus oli 126400 dollarit. 1949 ehitas ettevõtte Commercial Ship Repair of Winslow laeva ümber ja selle maksumus oli 149257 dollarit. Ehitati algselt 1909. aastal aurulaevana ja 1949. aastal ehitati ümber diiselelektrilaevaks, mille jõuallikaks on kaks Cooper Bessemer Supercharged 900 HP mootorit, mis toidavad kahte 1945. aasta General Electricu alalisvoolu 765 hj elektrimootorit koos kahe Detroit Diesel 671 abimootoriga, laeval on kaks nelja labaga propellerit mille läbimõõt on 82 tolli. Esimene tulekahju, millega Duwamish võitles, toimus 20. mail 1910 Independent Asphalt Co. Viimane tulekahju, millega Duwamish võitles, toimus West Marginal Way'il 8. septembril 1984.

2.3.1 Erinevad kustutussüsteemid tänapäeval.

Gaaskustutus (a) koosneb CO2 balloonidest, jaotustorustikust, pihustitest ja tuleandurist mis käivitab vajadusel CO2 süsteemi. Süsteem töö põhimõte; andurid reageerivad tulekahju korral temperatuuri tõusule ja seejärel vallandatakse automaatika abil gaas. [8]

Süsteemi plussid.

- saab paigaldada tugev- ja nõrkvoolu ruumidesse.
- kustutab kiiresti ja efektiivselt.
- gaas tungib kõikidesse pragudesse, ka mööbli alla.

Süsteemi puudused.

- võimalik kasutada ainult teatud ruumides (reeglina masinaruumid).
- tehnilised erinõuded CO2 ruumile (uks otse välistekile, eraldi tehnosüsteemid, asukoht laevas kõrgel).
- kulukad ja kaalult rasked tehnilised lahendused süsteemile, torustikele ja kaitstavatele ruumidele.
- dubleeritud rasked balloonid.
- sulgklappidega varustatud paksust terasest tuulutustorud.
- pikk suure läbimõõduga ühendustorustik kaitstavate ruumide (laevas madalal paiknevad masinaruumid) ja CO2 ruumi (laevas kõrgel paiknev) vahel.
- gaasikindlad tuletõkkeuksed kaitstavatel ruumidel.
- automaatselt sulguvad õhukanalite klapid kaitstavatel ruumidel.
- mitmesugused indikatsiooni- ja häiresüsteemid kaitstavates ruumides ja sillal.

Ohutusega seotud aspektid:

- süsteem on rakendumisel surmava toimega.

- kõik kaitstavates ruumides töötavad isikud peavad olema välja õpetatud.
- torustikke ei tohi juhtida läbi eluruumide.
- süsteemi katsetamine on komplitseeritud.
- nõutavad on mitmesugused ohutussüsteemid.

Sprinklersüsteem (b) koosneb veemahutist, pumbagrupidest, torustikust ja sprinklerpeadest. Sprinklersüsteemi tööpõhimõte on sama nagu veeudu süsteemil, sprinklerpea kuumaga lõhkeb ja hakkab vett pihustama. [9]

Süsteemi plussid.

- tulekahju kustutamise kõrge efektiivsus.
- disaini lihtsus.
- süsteem on rakendamisel inimesele ohutu.

Süsteemi puudused.

- piirangud süsteemi projekteerimisel ja rakendamisel.
- ei saa kasutada elektriseadmete ruumides.
- ei saa kasutada nõrkvooluseadmete ruumides.
- kulukad ja kaalult rasked tehnilised lahendused süsteemile.
- suure läbimõõduga torustikud, eriti süsteemi pumbakeskuse juures.
- vajadus suure veekoguse järgi, s.h. süsteemi täitmisel pärast kasutust või leket süsteemis.

Probleemid kasutamisel:

- suured (reeglina ka teistesse ruumidesse ja korrustele ulatuvad) veekahjustused, kuna sprinklerist väljuv veekogus on suur.

Voolikusüsteem (c) koosneb veemahutist, pumbagrupidest, torustikust ja voolikukappidest. See ei ole automaatne süsteem, sellega kustutada saab ainult inimese abiga. Seintel (kappides) on voolikurullid, mis tuleb sealt enne kasutamist välja võtta ja lahti kerida, seejärel avada kraan ja siis saab kustutama hakata. [10]

Süsteemi plussid.

- toimimisaeg kuni 60 minutit.
- joapikkus kuni 10 meetrit.
- võimalik kasutada enesekaitsevahendina.

Süsteemi puudused.

- piirangud süsteemi projekteerimisel ja rakendamisel.
- ei saa kasutada elektriseadmete ruumides.
- kulukad ja kaalult rasked tehnilised lahendused süsteemile.
- suure diameetriga arvukad tõusutorud.
- suur hulk voolikukappe, kuna vooliku maksimaalpikkus on 30 m.

Probleemid kasutamisel

- süsteem ei ole automaatne, vaid nõuab inimese tegutsemist.
- kogu meeskond peab olema välja õpetatud.
- väljaõppeta personal (reisijad) ei oska ega taha süsteemi kasutada.

Veeudu (d) süsteem koosneb veemahutist, pumbagrupidest, torustikust ja sprinklerpeadest. [11]

Süsteemi eelised:

- veeudu süsteemiga kaetud aladel ei ole ükski tulekahju edasi levinud ruumist kust ta alguse sai.
- suurepärase tulekustutusvõime.
- HI-FOG® pihustab vee laiali nii peente osadena, et veekahjustused ruumis on minimaalsed.
- väikesed torud ja keermetatud surveleitmikud muudavad torude paigaldamise ja muutmise kiireks ja tõhusaks.
- väike kaal ja väike ruumivajadus.
- kuna enam kui kaks kolmandikku sprinklersüsteemist koosneb 12 mm (1/2") torudest, on süsteemi kaal väike, torusid saab hõlpsasti mahutada ka kõige kitsamatesse kohtadesse ja 50–80% kaalusääst võrreldes tavaliste sprinklersüsteemidega ei ole ebatavaline.
- patenteeritud adapter, mis on varustatud tagasilöögiklapiga, hõlbustab oluliselt sprinkleri hooldust ja vahetamist. Süsteemis saab survet testida, kasutades sprinklerite asemel ajutisi pimekorke.
- kiire aktiveerimine.
- HI-FOG® sprinkleri pirn reageerib kiiresti tulekahjule ja 25-baarine ooterežiimi rõhk hakkab vett välja laskma juba enne, kui pumbaagregaat on tööle hakanud.
- HI-FOG® 3000 sprinkleri katvusala 34 m² saab vihmute arvu ning torustike ja paigaldustööde mahtu oluliselt vähendada.
- süsteem on rakendumisel inimestele ohutu.
- kuna see on inimestele täiesti kahjutu, saab HI-FOG®-i aktiveerida tulekahju tuvastamise hetkel. Võrdluseks, CO₂ süsteemi aktiveerimine võtab ettevalmistusteks keskmiselt 20 minutit.
- kuna puudub vajadus ruumi evakueerimiseks, ventilatsiooni sulgemiseks ja avade sulgemiseks, saab tuld kustutama asuda juba selle algfaasis, hoides nii kahjud minimaalsed.
- saab täismahus testida.
- pärast kasutamist on süsteem alati uueks aktiveerimiseks valmis.

Süsteemi puudused:

- Kõrge hind.
- Paigaldada saavad ainult selleks spetsiaalse ettevalmistusega inimesed.
- Hooldada tohib seda ainult paigaldajafirma.



Joonis 2. (a)



Joonis 3. (b)



Joonis 4. (c)



Joonis 5. (d)

2.3.2 Marioffi konstrueeritud HI_FOG süsteem.

HI-FOG® kustutussüsteem klassifitseeritakse kõrgsurvesüsteemide hulka (NFPA 750 3.3.10 Standard on Water Mist Fire Protection Systems). Kustutussüsteemis kasutatakse kustutusainena vett, mis kõrgsurve all pihustatakse ülipeenteks veetilksadeks, mis võimaldavad tekkiva udupilve vallandamisel summutada tuld. Veeudu (keskmine veepiisa suurus on 50-120 μm) paisatakse välja sprinkerpeade pihustitest suure liikumiskiirusega, mille saavutamiseks kasutatakse kõrgsurvepumpasid kuni 140 baari suuruste rõhkudega. Kõrgsurvel töötava veeudu kustutussüsteemi ülimalt efektiivne tule summutav mõju saavutatakse kolme põhimehhanismi abil: Leegi ja tuleloidu maha jahutamine. Muutudes uduks (auruks), neelab vesi rohkem kuumust ($> 2 \text{ MJ/kg}$) kui mistahes teine tule kustutav aine. Juuresoleva hapniku kõrvaletõrjumine (inertimine) leegist, veeudu (auru) mõjul. Aurustumisel paisub vesi oma mahus (>1760 korda), tekitades leekide ümber hapniku ja õhu ligipääsu takistava veekihi. Vee aurustumise kiirus sõltub vaba pindala olemasolust, mida väiksemad on veepiisad, seda kiirem on aurustumine ja seda efektiivsem on jahutamine ja inertimine. Soojuskiirguse leviku blokeerimine Väikeste veepiiskade tihe pilv absorbeerib ja hajutab efektiivselt kuumust, kaitstes seeläbi tulekahju vahetut ümbrust. Veepiisa suurusel on arvestatav

mõju pindala suurusele ja veepiiskade arvule. Veepiisa 10-ks jagamine suurendab pindala (ja aurustumise kiirust) kümnekordselt ja veepiiskade hulka 1000-kordselt. Sellest tulenevalt on tule summutamiseks vaja palju vähem vett kui tavalistes sprinklersüsteemides. Lisaks sellele kaitstakse tulekollet ümbritsevaid ruume ja esemeid soojuskiirguse eest.

HI-FOG® veeudu kustutusüsteemi saab kasutada A klassi (tahkekütused) ja B klassi (vedelkütused) tüüpi, samuti ka elektriseadmete tuleohtude puhul. HI-FOG® veeudu tulekustutusüsteem saab asendada mitte ainult tavalisi sprinkler-tüüpi tulekustutusüsteeme, vaid ka gaasil ja vahuainel põhinevaid tulekustutusüsteeme. HI-FOG® veeudu kustutusüsteem on inimestele ja keskkonnale ohutu ning viib miinimumini katkestused laeva toimimises, juhul kui süsteem vallandub valehäire või tegeliku hädaohu tõttu.

Kustutusüsteemi talitusmeetodiks on märg veeudu-kustutusüsteem (NFPA750 p.7.4.2).

Valmisolekurežiim on režiim, mille puhul kogu süsteem ja pumbaüksus on sisse lülitatud ja ooteseisundis. Kogu süsteemi rõhku ja veevoolu jälgitakse ja kontrollitakse pidevalt pumbaüksuse juhtimissüsteemi poolt. Kustutusüsteemi valmisolekurežiimis (standby) on kogu sprinklertorustik täidetud veega. Vesi sprinklertorustikus on 25 bar-ise surve all, mida hoiab pumbaüksus iseseisvalt. Pumbakomplektile on tagatud püsiv elektritoide, ning veetoide veemahutitest.

Töörežiimis, tulekahju toimel veega survestatud torustikuvõrgu külge ühendatud sprinklerpeade ja/või temperatuuritundlike vabastusklappide juures temperatuuri tõustes käivituskuumuseni puruneb temperatuuritundlik ampull. Sprinklerpeade mikrodüüse läbiv vesi tekitab koheselt veevoolu kaitstavale alale ning vastava sektsiooni sprinklertorustikus, sektsiooniklapis ja pumbaüksuses. Samaaegselt veevoolule alaneb ka sprinklertorustikus olev 25 bar-ine püsirõhk, mille langust jääb ajutiselt kompenseerima pumbaüksuse rõhuhoidepump. Püsirõhu (25 bar) langemise tuvastab rõhulüliti.

Automaatne käivitus ja seiskamine. Väikseima vooluhulgaga sprinkleripea reageerimine tekitab piisava veevoolu ja rõhulanguse süsteemis. Kui rõhk on langenud süsteemis alla 17 bari kauemaks kui 10 sekundit (mida jääb kompenseerima rõhuhoidepump) ja/või tuvastab veevooluandur veevoolu pikemalt kui 10 sekundit, läheb pumbaüksus automaatselt kustutusrežiimile ja antakse tulekahjuhäire. Pumbaüksuse rakendumisel kustutusrežiimile käivituvad automaatselt üksteise järel pumbaüksuses asuvad pumbamoodulite elektrimootorid, tehes seda mõnesekundiliste vahedega, vältimaks elektrilise ülekoormuse tekkimist. Pumbaüksus tagab väljuva veevoolu rõhuga 140 bar-i. Pumbaüksus seiskub automaatselt sektsioonklapi sulgemisel.

Käsitsi käivitus ja seiskamine. Pumbaüksust on võimalik tööle rakendada või peatada igal ajal ka manuaalselt pumbaüksuse käivituskilbist start/stopp nuppu lülitades.

Pumbaüksust on võimalik peatada ka sprinklertorustiku sektsioonklapist ja/või sprinklertorustiku peaventiilist, sulgedes need käsitsi ning peatades sellega veevoolu. Samuti on võimalik pumbaüksuse käivituskilbist pumbamooduleid tööle rakendada ükshaaval.

2.3.3 Materjalid mida kasutatakse HI-FOG®-i süsteemis.

Olen töös lähtunud Marioffi konstrueeritud HI-FOG®-i süsteemist, mille põhiversioon koosneb kõrgsurvepumbast, ventiilidest, roostevabast terasest torustikust ja spetsiaalsetest HI-FOG®-i pihustitest.

HI-FOG®-i kinnised pihustid (e) on suletud tüüpi, mis tähendab seda, et need on varustatud soojustundlike klaasampullidega. Nende valikul lähtutakse kasutusvaldkonnast ja temperatuurist, mille saabumisel peab süsteem käivituma. Kinnised pihustid tagavad maksimaalsed tulekustutamise omadused minimaalse veekoguse kasutamisel. HI-FOG®-i kinniseid pihusteid on erineva viimistluse ja erinevate paigaldussüsteemidega.

HI-FOG®-i lahtised pihustid (f) on avatud tüüpi, s.t neil puuduvad klaasampullid. Need kvaliteetsest roostevabast terasest pihustid on mõeldud spetsiifiliseks kasutuseks ja tuleohtude kaitseks ning need tagavad maksimaalsed tulekustutamise omadused minimaalse veekoguse kasutamisel.

HI-FOG®-i ventiilid (g) on valmistatud messingist või roostevabast terasest. Need aktiveeritakse kas käsitsi või automaatselt, elektriliste, hüdrauliliste või pneumaatiliste signaalide abil.

HI-FOG®-i torud (h) on valmistatud kvaliteetsest roostevabast terasest. Võrreldes traditsiooniliste sprinklersüsteemide torudega on 12 kuni 60 mm läbimõõduga torud väga väikesed. Torud painutatakse õigesse asendisse kohapeal ning neid on lihtne paigaldada märkamatu ka kitsastesse kohtadesse.



Joonis 6. (e)



Joonis 7. (f)



Joonis 8. (g)



Joonis 9. (h)

2.3.4 Veeudu tehnoloogia üldised põhimõtted.

HI-FOG® kustutussüsteem klassifitseeritakse kõrgsurvesüsteemide hulka (NFPA 750 3.3.10 Standard on Water Mist Fire Protection Systems). Kustutussüsteemis kasutatakse kustutusainena vett, mis kõrgsurve all pihustatakse ülipeenteks veetilksadeks, mis võimaldavad tekkiva udupilve vallandamisel summutada tuld. Veeudu (keskmine veepiisa suurus on 50-120 μm) paisatakse välja sprinkerpeade pihustitest suure liikumiskiirusega, mille saavutamiseks kasutatakse kõrgsurvepumpasid kuni 140 baari suuruste rõhkudega. Kõrgsurvel töötava veeudu kustutussüsteemi ülimalt efektiivne tule summutav mõju saavutatakse kolme põhimehhanismi abil: Leegi ja tulelõidude maha jahutamine. Muutudes uduks (auruks), neelab vesi rohkem kuumust ($> 2 \text{ MJ/kg}$) kui mistahes teine tule kustutav aine. Juuresoleva hapniku kõrvaletõrjumine (inertimine) leegist, veeudu (auru) mõjul. Aurustumisel paisub vesi oma mahus (> 1760 korda), tekitades leekide ümber hapniku ja õhu ligipääsu takistava veekihi. Vee aurustumise kiirus sõltub vaba pindala olemasolust, mida väiksemad on veepiisad, seda kiirem on aurustumine ja seda efektiivsem on jahutamine ja inertimine. Soojuskiirguse leviku blokeerimine Väikeste veepiiskade tihe pilv absorbeerib ja hajutab efektiivselt kuumust, kaitstes seeläbi tulekahju vahetat ümbrust. Veepiisa suurusel on arvestatav mõju pindala suurusel ja veepiiskade arvul. Veepiisa 10-ks jagamine suurendab pindala (ja aurustumise kiirust) kümnekordselt ja veepiiskade hulka 1000-kordselt. Sellest tulenevalt on tule summutamiseks vaja palju vähem vett kui tavalistes sprinklersüsteemides. Lisaks sellele kaitstakse tulekollet ümbritsevaid ruume ja esemeid soojuskiirguse eest. HI-FOG® veeudu kustutussüsteemi saab kasutada A klassi (tahkekütused) ja B klassi (vedelkütused) tüüpi, samuti ka elektriseadmete tuleohtude puhul. HI-FOG® veeudu tulekustutussüsteem saab asendada mitte ainult tavalisi sprinkler-tüüpi tulekustutussüsteeme, vaid ka gaasil ja vahuainel põhinevaid tulekustutussüsteeme. HI-FOG® veeudu kustutussüsteem on inimestele ja keskkonnale ohutu ning viib miinimumini katkestused laeva toimimises, juhul kui süsteem vallandub valehäire või tegeliku hädaohu tõttu. Kustutussüsteemi talitlusmeetodiks on märg veeudu-kustutussüsteem (NFPA750 p.7.4.2).

Valmisolekurežiim on režiim, mille puhul kogu süsteem ja pumbaüksus on sisse lülitatud ja ooteseisundis. Kogu süsteemi rõhku ja veevoolu jälgitakse ja kontrollitakse pidevalt pumbaüksuse juhtimissüsteemi poolt. Kustutussüsteemi valmisolekurežiimis (standby) on kogu sprinklertorustik täidetud veega. Vesi sprinklertorustikus on 25 bar-ise surve all, mida hoiab pumbaüksus iseseisvalt. Pumbakomplektile on tagatud püsiv elektritoide, ning veetoide veemahutitest.

Töörežiimis, tulekahju toimel veega survestatud torustikuvõrgu külge ühendatud sprinklerpeade ja/või temperatuuritundlike vabastusklappide juures temperatuuri tõustes käivituskuumuseni puruneb temperatuuritundlik ampull. Sprinklerpeade mikrodüüse läbiv vesi tekitab koheselt veevoolu kaitstavale alale ning vastava sektsiooni sprinklertorustikus, sektsiooniklapis ja pumbaüksuses. Samaaegselt veevoolule alaneb ka sprinklertorustikus olev 25 bar-ine püsirõhk, mille langust jääb ajutiselt kompenseerima pumbaüksuse rõhuhoidepump. Püsirõhu (25 bar) langemise tuvastab rõhulüliti.

Automaatne käivitus ja seiskamine. Väikseima vooluhulgaga sprinkleripea reageerimine tekitab piisava veevoolu ja rõhulanguse süsteemis. Kui rõhk on langenud süsteemis alla 17 bari kauemaks kui 10 sekundit (mida jääb kompenseerima rõhuhoidepump) ja/või tuvastab veevooluandur veevoolu pikemalt kui 10 sekundit, läheb pumbaüksus automaatselt kustutusrežiimile ja antakse tulekahjuhäire. Pumbaüksuse rakendumisel kustutusrežiimile käivituvad automaatselt üksteise järel pumbaüksuses asuvad pumbamoodulite elektrimootorid, tehes seda mõnesekundiliste vahedega, vältimaks elektrilise ülekoormuse tekkimist. Pumbaüksus tagab väljuva veevoolu rõhuga 140 bar-i. Pumbaüksus seiskub automaatselt sektsioonklapi sulgemisel.

Käsitsi käivitus ja seiskamine. Pumbaüksust on võimalik tööle rakendada või peatada igal ajal ka manuaalselt pumbaüksuse käivituskilbist start/stopp nuppu lülitades. Pumbaüksust on võimalik peatada ka sprinklertorustiku sektsioonklapist ja/või sprinklertorustiku peaventiilist, sulgedes need käsitsi ning peatades sellega veevoolu. Samuti on võimalik pumbaüksuse käivituskilbist pumbamoduleid tööle rakendada ükshaaval.

2.4 Kustutussüsteemi paigaldamise nõuded ja arvutused.

Laevas olevaid ruume kaitseb sprinklerpeade võrgustik, mis on joonistel, joonised töö lisana kaasas. Sprinklerpead on ühendatud sprinklertorustikuga. Sprinklertorustiku võrgustik on jaotatud laeva tekkide arvust tulenevalt seksioonideks, millest iga seksioon on varustatud normaalselt avatud seksiooniklapiga. Kustutussüsteemi sprinklertorustik on jagatud laevas 3-ks seksiooniks. Sprinklertorustiku iga seksioon on ühenduses sprinklertorustiku peamagistraaliga (püstik). Sprinklertorustiku peamagistraal on ühenduses pumbakomplektiga. Kõik seadustest tulenevad paigaldamise nõuded on töö lisana tabelis kaasas.

Sprinklerpead ja nende paigaldus.

Kustutussüsteemi sprinklerpeade valiku määrab ära laevas kaitstavate alade parameetrid. Sprinklerpead (pihustiotsikud) asetsevad laevas lagede all, aladel kuhu kuumusel on võimalik koguneda ning akumulieruda ja on varustatud individuaalse kuumustundliku ampulliga. Sprinklerid tuleb ühendada selleks tarbeks mõeldud paigaldusadapteritega ja neile paigaldatakse korrosioonikindlad katteplaadid vastavalt laetüübile. Sprinklerite paigaldamisel tuleb jälgida ruumide sisustuse, konstruktsioonide ja tehnosüsteemide reaalselt paiknemist. Sprinklerpeade samm on valitud vastavalt tuletesti tulemusele, mille alusel on tõestatud sprinklerpeade tulekustutuse ja tulekahju kontrollimise efektiivsus laeva kaitstava ala ja kaitstava ala parameetrite suhtes.

Seksiooniklapid ja nende paigaldus. Laeva igasse seksiooni paigaldatakse enne sprinklerpeade võrgustikku seksiooniklapp. Seksiooniklappide asukohad on näidatud kustutussüsteemi tekkide joonistel, joonised lisana. Seksiooniklapid valitakse vastavalt torustiku läbimõõdule, süsteemi töörežiimidele ja vajadustele. Seksiooniklapp lukustatakse alati avatud positsiooni, välja arvatud ajal kui viiakse läbi seksiooni hooldustöid või pärast seda kui kustutussüsteemi seksioon on töös olnud, selleks et süsteem sulgeda. Seksiooniklapid peavad asetsema selliselt, et nendele oleks tagatud ligipääs hädaolukorral ja hooldustöödeks.

Sprinklertorustik ja selle paigaldus. Sprinklertorustik koosneb kõrgsurvetorudest, jaotusliitmikest, otseliitmikest, T-liitmikest ja paigalduseks mõeldud toruklambrist. Sprinklertorustiku jaotusvõrk ühendatakse laevas ilma keevitusteta ja tuletööde vajaduseta. Sprinklertorud on roostevabast terasest AISI316L, vastavalt DIN17457 nõuetele, mis tagavad torustiku pika eluea ja puhta vee süsteemis. Laevas

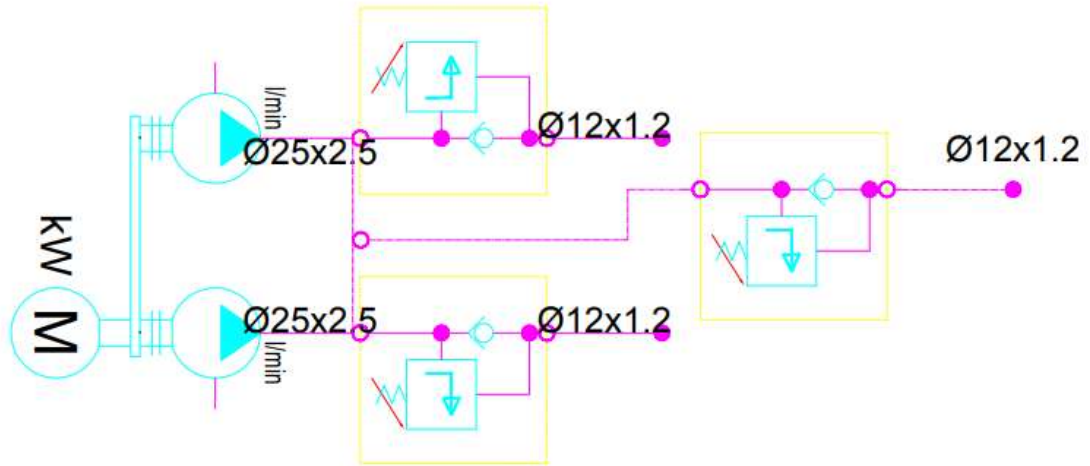
kasutatakse sprinklertorusid Ø30 mm ja Ø12 mm. Sprinklertorustik ühendatakse surveliitmike (otseliitmikud, T-liitmikud, jaotusplokid) abil. Kogu sprinklertorustik paigaldatakse objektile. Iga sprinklertorustiku sektsioon on varustatud hooldusventiiliga (läbipesu, tühjendus) sektsiooni tehniliselt võimalikult kaugemas punktis. Hooldusventiil tuleb paigaldada sellisel, et sellele oleks tagatud ligipääs ka paigaldusjärgselt (vajadusel paigaldada hooldusluuk). Sprinklertorustik paigaldatakse hüdrauliliselt kõige efektiivsemal viisil ja võimalusel Tellija soove arvestades paigaldatakse sprinklertorustik kus võimalik horisontaalselt ja pinnapealselt lae alla. Peamagistraalid paigaldatakse võimalikult peidetult lae alla ja püstikud paigaldatakse selleks ette nähtud šahtidesse või seintele. Kogu torustik paigaldatakse puhtust ja puhast tööd silmas pidades ning paigaldusliinid peavad jooksuma võimalikult otse. Torustike läbiviigid tuletõkketarinditest tuleb teha tarindi tulepüsivust kahjustamata. Läbiviigid (läbimõõt alla 50 mm) tuleb tihendada ja täita tuletõkkeks ettenähtud paisuva tihendusmassiga.

Läbipesu. Sprinklertorustikule tuleb teostada läbipesu tagamaks sprinklertorustiku puhtust. Loputus on nõutav enne süsteemi ühendamist peasüsteemiga või pumbaüksusega. Hooldusventiil tuleb ühendada alalise torustiku või sobiva kõrgsurvevooliku abil äravooluga. Torustik täita veevõrgu madalarõhulise sisendi ja sprinklerite loputuse tarviku abil veega ning lasta õhk kõikidest harudest välja. Loputuse kestus peab olema piisav põhjalikuks puhastuseks.

Survetest. Läbipesule järgnevalt tuleb sprinklertorustikule teostada survetest. Tuleb arvestada, et survetest on ohtlik toiming. Järgida kõiki asjakohaseid riiklikke määraseid. Survetesti ala on soovitatav kogu katse toimumise ajaks kõrvalistest isikutest vabastada. Enne katse alustamist veenduda, et kõik kraanid on õiges asendis ja pihustid on oma kohal või korgitud, nagu nõutud. Survetest viiakse läbi igale sprinklertorustiku sektsioonile eraldi. Sektsioonid survestatakse Kui suurim tööõhk on 140 baari või vähem, siis tuleb katsetada 1,5-kordse tööõhuga. Kui suurim tööõhk on üle 140 baari, siis tuleb katsetada suurimast tööõhust 70 baari võrra kõrgema rõhuga. Tavaliselt tuleb rõhku hoida 30 minutit. Katse loetakse läbituks, kui survetesti ajal ei täheldatud rõhu langust.

2.5 Arvutused kustutussüsteemi projekteerimiseks.

Süsteemi toimimiseks katsin kõigepealt laeva vajalikud (põlemiskoormusega) kohad sprinklerpeadega, seejärel arvasin vajalikud torustikud, pumbad ja veemahuti. [12]



Joonis 10. Pumbagrupp ja sektsioonklapid.

Toru siseläbimõõdu arvutamine.

$$D_1 = D_0 - 2t \quad (1)$$

Ühele sprinklerpeale vajalik vooluhulk.

$$Q = \sqrt{(P_0) * P_1} \quad (2)$$

Kogu vajalik vooluhulk.

$$Q_t = 4 * Q \quad (3)$$

Vedeliku kiirus.

$$v = \frac{Q}{\pi D_i^2} / 4 \quad (4)$$

Reynolds-i arv.

$$Re = \rho v D_i / \mu \quad (5)$$

Laminaarse vooluhulga hõõrdetegur.

$$\lambda_1 = 64 / Re$$

Colebrooke'i võrrandit Moody diagrammi saamiseks.

$$\frac{1}{(\lambda_1)^{1/2}} = -2 \left(\left(\frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda_1}} \right) + \frac{e}{3,72 D_1} \right) \quad (6)$$

Laminaarne rõhukadu.

$$\Delta p_1 = \lambda_1 \left(\frac{l}{D_1} \right) \left(\frac{\rho v^2}{2} \right) \quad (7)$$

Turbulentne rõhukadu.

$$Dp_t = lt \left(\frac{l}{D_1}\right) \left(\frac{pv^2}{2}\right) \quad (8)$$

Komponentide rõhukadu.

$$Dp_c = \Sigma \zeta \left(\frac{rv^2}{2}\right) \quad (9)$$

Rõhukao koefitsient kokku.

$$\Sigma \zeta = E\zeta_E + B\zeta_B \quad (10)$$

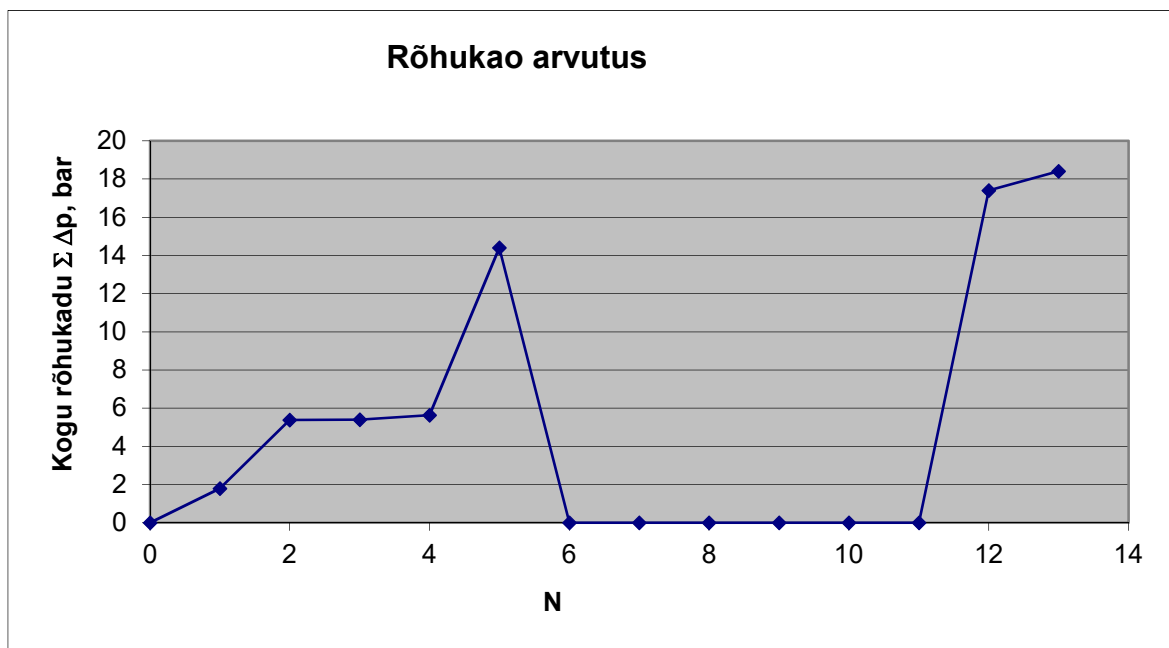
Rõhukadu.

$$\Delta p = Dp_t + Dp_c \quad (11)$$

Tabel 2. Rõhukao arvutamine.

<i>Nr</i>	<i>D₀</i> <i>mm</i>	<i>t</i> <i>mm</i>	<i>l</i> <i>m</i>	<i>Q</i> <i>l/min</i>	<i>Spr</i> <i>pcs</i>	<i>E pcs</i>	<i>B</i> <i>pcs</i>	<i>v m/s</i>	<i>Δp</i> <i>bar</i>	<i>Σ Δp</i> <i>bar</i>
1	12	1,20	2,5	30,4	1	0	0	7,00	1,81	1,81
2	12	1,20	1	60,8	2	0	2	14,00	3,58	5,39
3	30	2,50	0,2	60,8	2	0	1	2,06	0,01	5,40
4	30	2,50	3	121,6	4	0	0	4,13	0,23	5,63
5	30	2,50	106	121,6	4	0	16	4,13	8,77	14,41
6	25	2,00	0	0,0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
7	25	2,00	0	0,0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
8	25	2,00	0	0,0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
9	25	2,00	0	0,0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
10	25	2,00	0	0,0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
11	25	2,00	0	0,0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
Sekstisiooni klapp									3,00	17,41
Staatiline kokku									1,00	18,41

Tabel 3. Rõhukao diagramm.



Tabel 4. Pumpade arvutamine.

Nõutav vooluhulk	121,6	<i>lpm</i>		
10% varu	12,16224	<i>lpm</i>		
Vajalik vooluhulk kokku	133,78	<i>lpm</i>	2,23	<i>l/s</i>
Vajalik pumba võimsus	104,3	<i>lpm</i>		
Pumpade kogus	2,0	<i>pcs</i>		
Pumpade väljund	208,6666	<i>lpm</i>		
	3,5	<i>l/s</i>		
	12,5	<i>m³/h</i>		

Tabel 5. Mahuti suuruse arvutamine.

Töötamise aeg	60	<i>minutit</i>
Pumba väljund	208,6666	<i>lpm</i>
Nõutav mahuti suurus	12520	<i>liitrit</i>
Mahuti väikese varuga	13	<i>m³</i>

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö koostamise käigus leidis kinnitust, et algselt suurte laevade ja mererajatiste jaoks väljatöötatud HI-FOG® veeudu kustutussüsteem on, lähtudes süsteemi ruumisäästvatel eelistel – torustike väike läbimõõt ja teiste vesikustutussüsteemidega võrreldes väiksem veevajadus 60 minutise kustutusaja jaoks – edukalt kasutatav ka väikelaevas. Kasutasin laevas kinniseid sprinklerpäid. Kokku oli vaja laeva kolmele tekile paigaldada 40 sprinklerpead, nendest esimesele ja teisele tekile kummalgile läks 14 sprinklerpead ja kolmandale tekile läks 12 sprinklerpead. Probleemiks on see, et lähtuvalt HI-FOG® kustutussüsteemi tavapärasest kasutusotstarbest on väikelaeva jaoks optimaalne kõige väiksem ja vähema mootorite ja pumpade arvuga (1 mootor, mis käitab kahte pumpa) pumbasüsteem, mis ei taga tavapärasest dubleeritud toimepidevust (mootor ei ole dubleeritud).

CONCLUSION

During the preparation of this dissertation, it was confirmed that the HI-FOG® water mist extinguishing system, originally developed for large ships and offshore installations, can be successfully used in a recreational craft due to the system's space-saving advantages. I used closed sprinkler heads on the ship. A total of 40 sprinkler heads had to be installed on the three decks of the ship, 14 sprinkler heads on each of the first and second decks and 12 sprinkler heads on the third deck. The problem is that, based on the normal use of the HI-FOG® extinguishing system, the smallest pump system with the smallest number of motors and pumps (1 motor running two pumps) is optimal for a recreational craft and does not provide normal duplicate operation (motor not duplicated).

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] <https://www.solas.com/>
- [2] <https://mashable.com/feature/morro-castle-disaster>
- [3] <https://www.lifeinnorway.net/scandinavian-star-fire/>
- [4] <https://www.medievalists.net/2014/01/fireproofing-of-war-machines-ships-and-garments/>
- [5] <http://www.hellenicaworld.com/Byzantium/Military/en/ByzantineNavy.html>
- [6] <http://www.emcotter.com/home%20page.htm>
- [7] <http://fireboatduwamish.com/>
- [8] <https://accuro.at/en/solutions/gas-extinguishing-systems>
- [9] <https://kinetixfire.com/whats-the-difference-between-fire-sprinkler-and-fire-suppression-systems/>
- [10] <https://www.marineinsight.com/tech/guide-to-fire-pumps-on-ship/>
- [11] <https://www.marioff.com/>
- [12] „Rakenduslik hüdromehaanika“ Janek Laanearu 2019

LISAD

Tabel 6. Nõuded ja regulatsioonid sprinklersüsteemi paigaldamiseks.

01/07/2021

List of MARINE type approvals

ABS	Certificate number	Issued at	Valid until	HI-FOG system	Regulation
Ducts	16-LD1518446-PDA	Jun 2016	Jun 2021	EPU & SPU	Ducts ISO15371:2009
Machinery local application	16-LD1588174-PDA	Jan 2017	Jan 2022	GPU	GPU Circ.913 & 1387
Deep fat fryer	17-LD1677637-2-PDA	Jul 2019	Oct 2022	EPU & SPU & KBU	DFF ISO15371:2009
Accommodation, public spaces and storage areas HF1900	18-LD1728787-PDA	Apr 2018	Apr 2023	GPU&SPU	Hi-FOG1900 Res.A.800(19)
Ro-Ro spaces and special category spaces	18-LD1735565-PDA	May 2018	May 2023	EPU & SPU	Ro-Ro Circ.1272 & 1430
Balcony	18-LD1735585-PDA	May 2018	May 2023	EPU & SPU	Balcony Circ.1268
Machinery space low pressure bilge foam	18-LD1735573-PDA	May 2018	May 2023	Custom	Bilge foam Circ.1165
Machinery local application	18-LD1735581-PDA	May 2018	May 2023	EPU & SPU	ML5-ML9 Circ.913 & 1387
Machinery space total flooding 1500m3	19-LD1817819-PDA	May 2019	May 2024	GPU	GPU Circ.1165
Machinery space total flooding 6600m3	19-LD1884630-PDA	Aug 2019	Aug 2024	EPU & SPU	MT4 Circ.1165
Accommodation, public spaces and storage areas HF3000	19-LD1896895-PDA	Sep 2019	Sep 2024	EPU & SPU	Hi-FOG3000 Res.MSC.265(84)

Bureau Veritas	Certificate number	Issued at	Valid until	HI-FOG system	Regulation
Machinery space total flooding 1500m3	09484/D0 BV	Sep 2016	Feb 2022	GPU	GPU Circ.1165
Machinery local application	09485/D0 MED	Aug 2017	Aug 2022	GPU	GPU Circ.913 & 1387
Machinery local application	12873/D0 MED	Aug 2017	Aug 2022	EPU & SPU	ML5-ML9 Circ.913 & 1387
Machinery space low pressure bilge foam	31907/A1 BV	Aug 2017	Nov 2022	Custom	Bilge foam Circ.1165
Ro-Ro spaces and special category spaces	21458/C0 BV	Sep 2019	Sep 2024	EPU & SPU	Ro-Ro Circ.1272 & 1430
Accommodation, public spaces and storage areas HF3000	39817/A0 BV	Dec 2019	Dec 2024	EPU & SPU	Hi-FOG3000 Res.MSC.265(84)
Pipe Fittings	59887/A0 BV	May 2020	May 2025	Custom	Component approval
Machinery space total flooding 6600m3	17131/D0 BV	Jul 2020	Jul 2025	EPU & SPU	MT4 Circ.1165
Accommodation, public spaces and storage areas HF4000	43614/B0 BV	Nov 2020	Dec 2025	GPU&SPU	Hi-FOG1900 Res.A.800(19)
Deep fat fryer	35595/B0 BV	May 2021	May 2026	EPU & SPU & KBU	DFF ISO15371:2009
Ducts	45724/B0 BV	Mar 2021	Jun 2026	EPU & SPU	Ducts ISO15371:2009

Bureau Veritas MED EC Type Examination Certif. 2014/90/EU on Marine Equipment (MED)	Certificate number	Issued at	Valid until	HI-FOG system	Regulation
Machinery local application	09485/D0 MED	Aug 2017	Aug 2022	GPU	GPU Circ.913 & 1387
Machinery local application	12873/D0 MED	Aug 2017	Aug 2022	EPU & SPU	ML5-ML9 Circ.913 & 1387

Tabel 6. Nõuded ja regulatsioonid sprinklersüsteemi paigaldamisele.

01/07/2021

List of MARINE type approvals

China Classification Society	Certificate number	Issued at	Valid until	HI-FOG system	Regulation
Ducts	SW18PTB00001_05	May 2019	Mar 2023	EPU & SPU	Ducts ISO15371:2009
Deep fat fryer	SW18PTB00001_02	May 2019	Mar 2023	EPU & SPU & KBU	DFE ISO15371:2009
Machinery local application	SW18PTB00001_04	May 2019	Mar 2023	EPU & SPU	ML5-ML9 Circ.913 & 1387
Machinery space total flooding 6600m3	SW18PTB00001_03	May 2019	Mar 2023	EPU & SPU	MT4 Circ.1185
Accommodation, public spaces and storage areas HF3000	SW18PTB00001_01	May 2019	Mar 2023	EPU & SPU	Hi-FOG3000 Res.MSC.265(84)

DNV	Certificate number	Issued at	Valid until	HI-FOG system	Regulation
Quality	63724-2009-AQ-FIN-FIN	Jun 2018	Oct 2021	Quality	ISO9001
SVQ valve	TAP000006D	Nov 2015	Jun 2020	SVQ	DNV valve
Machinery local application	TAF00000E6	Sep 2016	Jun 2021	GPU	GPU Circ.913 & 1387
Machinery local application	TAF00000E5	Sep 2016	Jun 2021	EPU & SPU	MLPU Circ.913 & 1387
Machinery local application	TAF00000E7	Sep 2016	Jun 2021	EPU & SPU	ML9 Circ.913 & 1387
Combustion turbines, machinery spaces, and special hazard machinery spaces in enclosures with volumes up to, and including 260 m ³	262.1-021221-J-4, Rev.2	Mar 2020	Dec 2023	MAU	Machinery space 260 m ³
Accommodation, public spaces and storage areas HF1900	TAF00001BF	Oct 2019	Oct 2024	GPU&SPU	Hi-FOG1900 Res.A.800(19)
Pipe Fittings	TAP0000273	Nov 2020	Nov 2025	Custom	Component approval

DNVGL MED MED EC Type Examination Certif. 2014/90/EU on Marine Equipment (MED)	Certificate number	Issued at	Valid until	HI-FOG system	Regulation
Ducts	MEDB0000193	Aug 2016	Aug 2021	EPU & SPU	Ducts ISO15371:2009
Machinery space low pressure bilge foam	MEDB00003G6	Dec 2017	Dec 2022	Custom	Bilge foam Circ.1185
Machinery space total flooding 1500m3	MEDB00003SE	Feb 2018	Feb 2023	GPU	GPU Circ.1185
Deep fat fryer	MEDB000065G	Jan 2020	Jan 2025	EPU & SPU & KBU	DFE ISO15371:2009
Machinery space total flooding 6600m3	MEDB00000E9rev1	Mar 2020	Mar 2025	EPU & SPU	MT4 Circ.1185
Accommodation, public spaces and storage areas HF3000	MEDB00006R0	Jul 2020	Jul 2025	EPU & SPU	Hi-FOG3000 Res.MSC.265(84)
Balcony	MEDB00000ED rev1	Dec 2020	Dec 2025	EPU & SPU	Balcony Circ.1268
Ro-Ro spaces and special category spaces	MEDB00000EC rev1	Mar 2021	Mar 2026	EPU & SPU	Ro-Ro Circ.1272 & 1430



Tabel 6. Nõuded ja regulatsioonid sprinklersüsteemi paigaldamisele.

01/07/2021

List of MARINE type approvals

Lloyd's Register	Certificate number	Issued at	Valid until	HI-FOG system	Regulation
Ro-Ro spaces and special category spaces deluge	LR1900487SF-03	Feb 2020	Jan 2021	EPU & SPU	Ro-Ro Circ.1272 & 1430
Ro-Ro spaces and special category spaces sprinkler	LR1900498SF-03	Feb 2020	Jan 2021	EPU & SPU	Ro-Ro Circ.1272 & 1430
Ducts	SAS F170075	Apr 2017	Apr 2022	EPU & SPU	Ducts ISO15371:2009
Machinery local application	LR2096094SF	Aug 2020	Dec 2022	GPU	GPU Circ.913 & 1387
Machinery local application	SAS F180094	Dec 2017	Dec 2022	EPU & SPU	ML5-ML9 Circ.913 & 1387
Machinery space low pressure bilge foam	SAS F180159	Mar 2018	Mar 2023	Custom	Bilge foam Circ.1165
Balcony	LR1900473SF	Jun 2014	May 2024	EPU & SPU	Balcony Circ.1268
Deep fat fryer	LR1900480SF	Jul 2014	Jul 2024	EPU & SPU & KBU	DFE ISO15371:2009
Machinery space total flooding 6600m3	LR2015039SF	Feb 2020	Feb 2025	EPU & SPU	MT4 Circ.1165
Accommodation, public spaces and storage areas HF3000	LR2004242SF	Feb 2020	Feb 2025	EPU & SPU	HI-FOG3000 Res.MSC.265(84)
Machinery space total flooding 1500m3	LR2096154SF	Mar 2020	Mar 2025	GPU	GPU Circ.1165
Accommodation, public spaces and storage areas HF1900	LR2096244SF	Aug 2020	Aug 2025	GPU	HI-FOG1900 Res.A.800(19)
Accommodation, public spaces and storage areas HF1900	LR2096239SF	Aug 2020	Aug 2025	EPU & SPU	HI-FOG1900 Res.A.800(19)

RINA	Certificate number	Issued at	Valid until	HI-FOG system	Regulation
Machinery local application	FPE324417XG	Nov 2017	Nov 2022	EPU & SPU	ML5-ML9 Circ.913 & 1387
Machinery space low pressure bilge foam	FPE036914CS	Feb 2019	Feb 2024	Custom	Bilge foam Circ.1165
Accommodation, public spaces and storage areas HF1900	FPE047119XG	Mar 2019	Mar 2024	GPU&SPU	HI-FOG1900 Res.A.800(19)
Machinery space low pressure bilge foam	FPE036914CS	Feb 2019	Feb 2024	Custom	Bilge foam Circ.1165
Accommodation, public spaces and storage areas HF1900	FPE047119XG	Mar 2019	Mar 2024	GPU&SPU	HI-FOG1900 Res.A.800(19)
Machinery space total flooding 6600m3	FPE246919XG	Oct 2019	Oct 2024	EPU & SPU	MT4 Circ.1165
Deep fat fryer	FPE304919XG	Oct 2019	Oct 2024	EPU & SPU & KBU	DFE ISO15371:2009
Accommodation, public spaces and storage areas HF3000	FPE282319XG	Oct 2019	Oct 2024	EPU & SPU	HI-FOG3000 Res.MSC.265(84)
Balcony	FPE015720XP/002	Mar 2020	Mar 2025	EPU & SPU	Balcony Circ.1268
Ro-Ro spaces and special category spaces	FPE015720XP/001	Mar 2020	Mar 2025	EPU & SPU	Ro-Ro Circ.1272 & 1430
Ducts	FPE040421XP	Jun 2021	Jun 2026	EPU & SPU	Ducts ISO15371:2009

Tabel 6. Nõuded ja regulatsioonid sprinklersüsteemi paigaldamisele.

01/07/2021

List of MARINE type approvals

Russian Maritime Register of Shipping	Certificate number	Issued at	Valid until	HI-FOG system	Regulation
Ducts	17.00386.313	Jan 2017	Jan 2022	EPU & SPU	Ducts ISO15371:2009
Machinery local application	17.00382.313	Jan 2017	Jan 2022	EPU & SPU	ML5-ML9 Circ.913 & 1387
Machinery local application	17.00379.313	Jan 2017	Jan 2022	GPU	GPU Circ.913 & 1387
Machinery space total flooding 1500m3	17.00378.313	Jan 2017	Jan 2022	GPU	GPU Circ.1165
Machinery space total flooding 6600m3	17.00379.313	Jan 2017	Jan 2022	EPU & SPU	MT4 Circ.1165
Ro-Ro spaces and special category spaces	17.00384.313	Jan 2017	Jan 2022	EPU & SPU	Ro-Ro Circ.1272 & 1430
Machinery space low pressure bilge foam	18.50084.260	Nov 2018	Nov 2023	Custom	Bilge foam Circ.1165
Deep fat fryer	21.30005.260	Jan 2021	Jan 2025	EPU & SPU & KBU	DFF ISO15371:2009
Accommodation, public spaces and storage areas HF3000	21.30004.260	Jan 2021	Jan 2025	EPU & SPU	HI-FOG3000 Res.MSC.265(84)

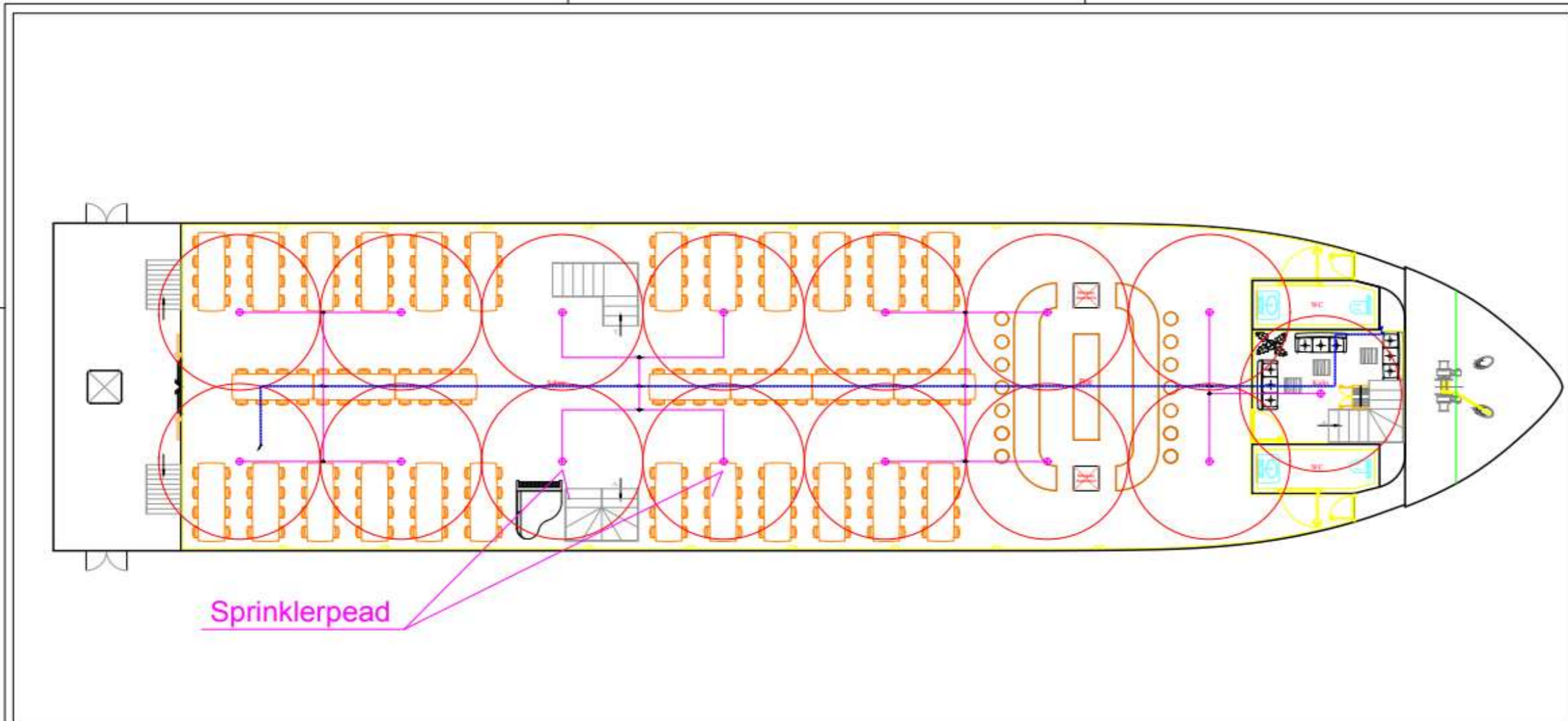
Panama Maritime Authority	Certificate number	Issued at	Valid until	HI-FOG system	Regulation
Machinery local application	SEG-TEC-RG02/06/70	Jun 2002	Continuous	EPU & SPU	MLPU Circ.913 & 1387
Accommodation and public spaces	SEG-TEC-RG02/06/80	Jun 2002	Continuous	EPU & SPU	HI-FOG2000 Res.A.800(19)

US Coast Guard	Certificate number	Issued at	Valid until	HI-FOG system	Regulation
Machinery space total flooding 1500m3	162.135/6/0	Sep 2016	Sep 2021	GPU	GPU Circ.1165
Machinery local application	162.135/7/0	May 2018	May 2023	SPU	MLPU Circ.913 & 1387
Machinery space total flooding 6600m3	162.135/11/0	Oct 2018	Oct 2023	EPU & SPU	MT4 Circ.1165
Accommodation, public spaces and storage areas HF3000	162.135/18/0	Oct 2018	Oct 2023	EPU & SPU	HI-FOG3000 Res.MSC.265(84)
Accommodation, public spaces and storage areas HF1900&2000	162.135/9/0	Oct 2018	Oct 2023	EPU & SPU	HI-FOG1900&2000 Res.A.800(19)
Gas turbine encl., paint lockers and mach. spaces up to and including 260m³	162.135/13/0	Nov 2018	Nov 2023	MAU	Machinery space 260 m³



GRAAFILINE OSA

Joonis 11. 2. floor



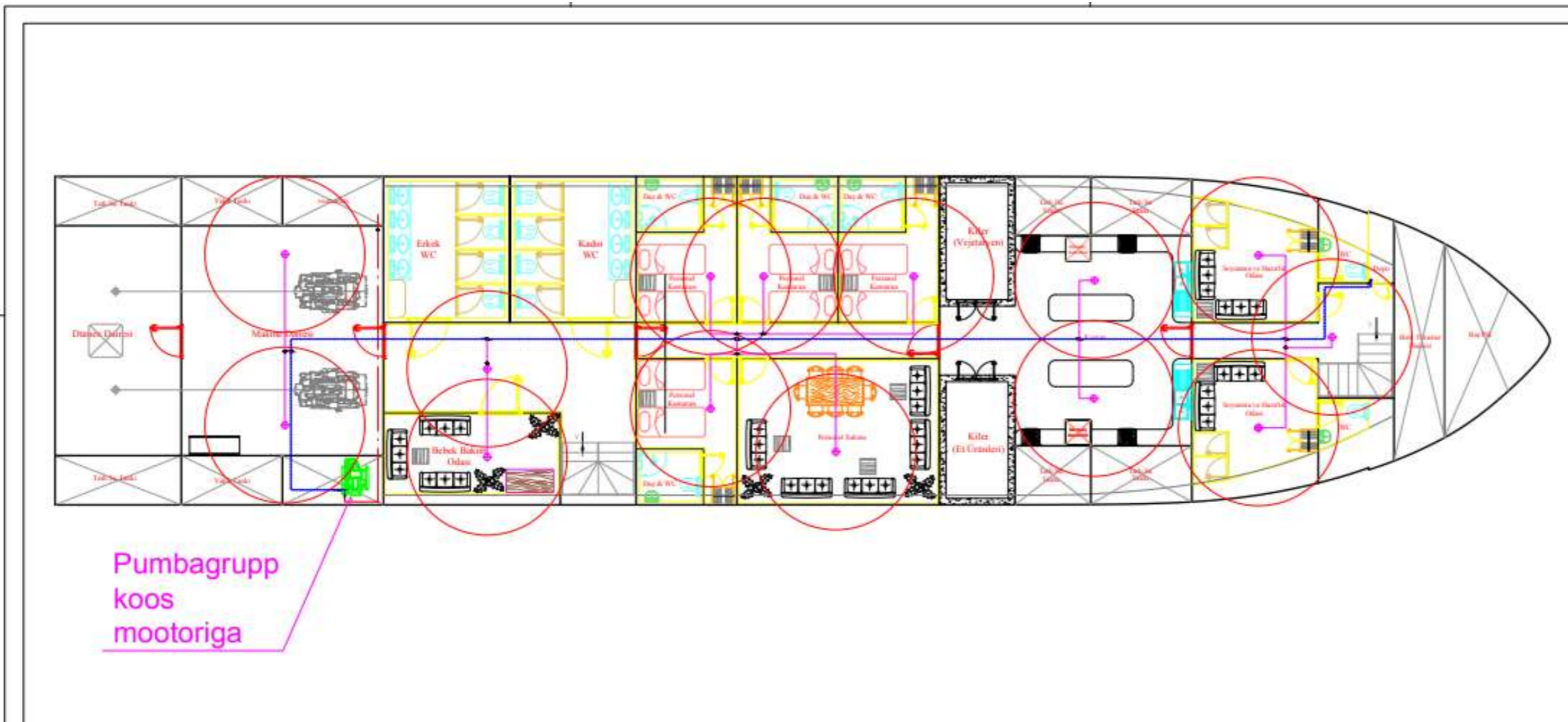
Sprinklerid			
Tingmärk	Tüüp	K-faktor	Temp
●	C20-57C	4,1	57°C

Komponendid	
Tingmärk	Nimetus
●	12mm kollek
■	Jaetusblokk 25/125
⊗	Sektsioonklapp
⊘	BKH 12 hooldusventiil

Torud AISI 316	
Ø65 mm	—
Ø75 mm	—
Ø12 mm	—

Kupäev		Muudatus		Proj	
				MÕÖT	STADIUM
				1:100	Tööprojekt
					KULUPÄEV
					15.10.2021
					LEHT
					A
OBJEKT				Maestro Dinner	
JÕONISE NIMETUS				2 floor	
JÕONISE NR				HFT-2	
MULDATUS				0	

Joonis 12. 1. floor



Pumbagrupp
koos
mootoriga

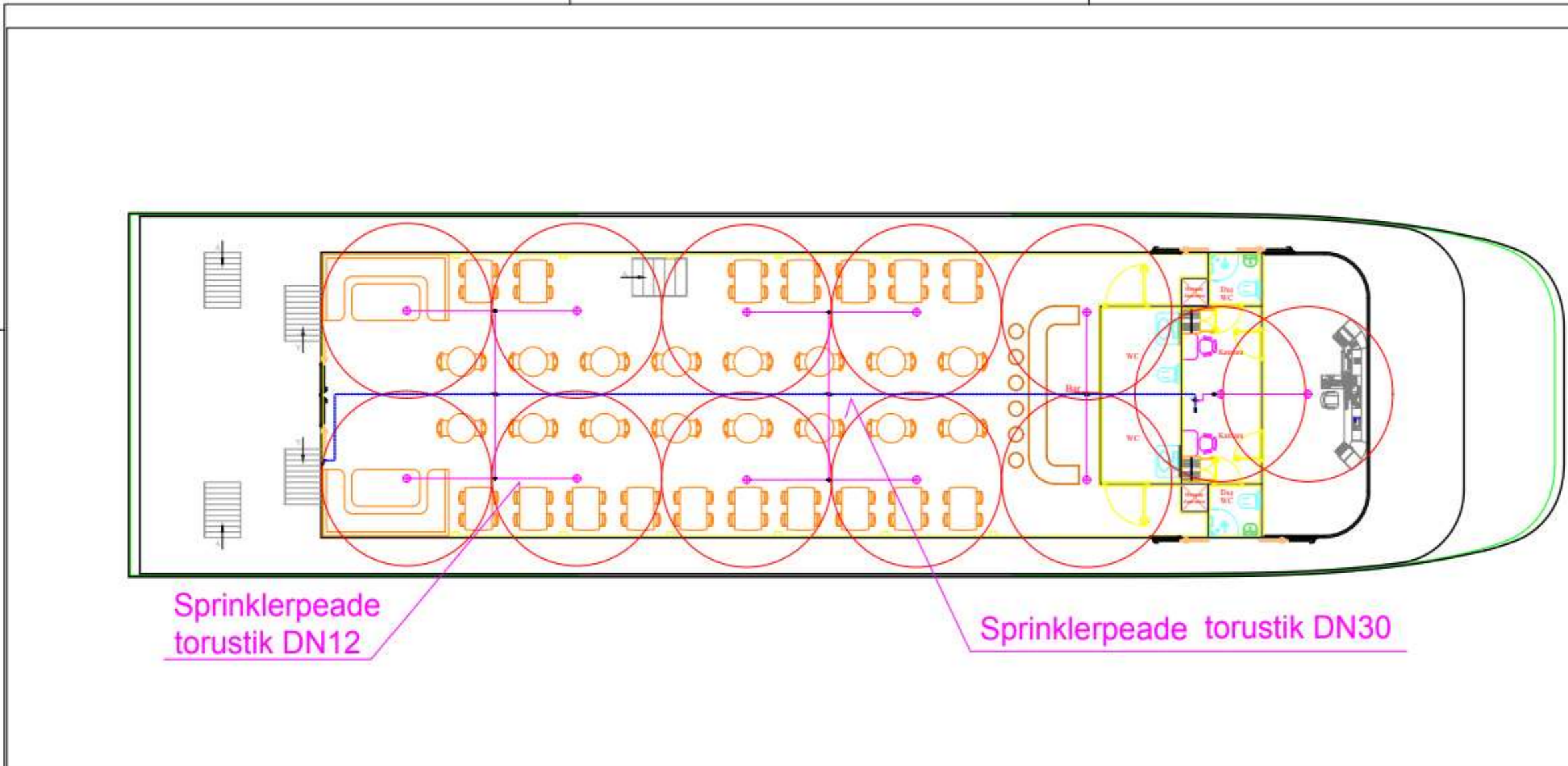
Sprinklerid			
Tingmärk	Tüüp	K-faktor	Temp
◆	(28-57C)	4,1	57°C

Komponendid	
Tingmärk	Nimeetus
—	12mm isolatsioon
■	Jäätusblokk 25/125
⊗	Sektsiooniklapp
⊗	BKH 12 haldusventiil

Torud AISI 316	
Ø65 mm	—
Ø25 mm	—
Ø12 mm	—

Kuspelev		Muudatus		Prej	
		MOOT	1:100	STADIUM	Tooprojekt
					15.11.2021
					LEHT
					A
OBJEKT		Maestro Dinner			
JORDISE NIMETUS		JORDISE NR		MUUDATUS	
1 floor		HFT-1		0	

Joonis 13. 3. floor



Sprinklerpeade torustik DN12

Sprinklerpeade torustik DN30

Sprinklerid			
Tingmärk	Tüüp	K-faktor	Temp
●	C20-57C	4,1	57°C

Komponendid	
Tingmärk	Nimetus
●	12mm kolmik
■	Jaotusblokk 25/125
■	Sektsioonklapp
■	BKH 12 hooldusventiil

Torud AISI 316	
Ø65 mm	Ø75 mm
—	—
—	—
—	—

Kuplev		Muudatus		Proj.	
				MÖÖT	STADIUM
				1:100	Tööprojekt
					15.10.2023
					LEHT
					A
OBJEKT				KULUPÄEV	
Maestro Dinner				LEHT	
JOONISE NIMETUS				MÜUDATUS	
3 floor				0	
JOONISE NR				HFT-3	