APPLIED HVAC SYSTEM IN MARINE & OFFSHORE

VOLUME 2

AUNG MYAT THU

အမှာစာ

ဤစာအုပ်ထဲတွင် ပါသော အကြောင်းအရာ များသည် HVAC (Heating, Ventilating and Air Conditioning) System in Marine and Offshore အတွက် အဓိက ရည်ရွယ်ပြီး ရေးပါသည်။ Applied HVAC in Marine and Offshore ဟုအမည်ပေး ထားသည့် အတိုင်း theory များကို သိပ်ပြီး ဖော်ပြ မထားပါ။ တခြားသူများ ရေးထားသော theory အသားပေး စာအုပ်များကို ဖတ်ရှုကြပါရန်လည်း အလေးအနက် တိုက်တွန်းပါသည်။ တခါတရံ theory အထိုက်အလျောက် သိသော်လည်း project တစ်ခု ဘယ်လို စလုပ်ရတယ်၊ အလုပ်ရဲ့ သဘောတရား တွေက ဘယ်လိုဆိုတာ တစ်ချို့က သိပ်မသိကြ သော ကြောင့် သိစေလိုသောဆန္ဒဖြင့် ဒီစာအုပ်ကိုရေးခြင်း ဖြစ်သည်။ ကျောင်းဆင်းကာစ အလုပ်စဝင်မည့် beginner များအတွက် ပိုပြီး ရည်ရွယ်၍ တစ်စုံတစ်ရာ အကျိုးရှိမည် ဆိုပါက ကျေနပ်ပါသည်။

HVAC field သည်လည်း တခြား field များနည်းတူ ကျယ်ဝန်းလှ သဖြင့် ခြုံငုံ မိအောင် ရေးဖို့ မလွယ်လှပါ။ ရှိသမျှသော mechanical components များသာမက instruments များ၊ electronic devices များ၊ electrical control များ အစုံပါဝင် ပေသည်။ အားလုံးကို နားလည်မှသာ designer ကောင်းတစ်ယောက် ဖြစ်ပေလိမ့်မည်။

ယခင်စာအုပ် (Volume 1) တွင် air side အတွက် အတော်အသင့် intro လုပ်ပေးနိုင်ခဲ့သည်ဟု ယုံကြည်ပါသည်။ ယခုစာအုပ် (volume 2) တွင် water side အတွက် နှင့် ပထမ စာအုပ်တွင် ထည့်သွင်းရန် ရည်ရွယ်ခဲ့သော်လည်း ကျန်နေသည့် တစ်ချို့ အကြောင်းအရာ များကို ထည့်သွင်း ထားပါသည်။ ယခုစာအုပ်တွင် chilled water system အကြောင်းများကို အဓိက ထား၍ ရေးသားထား သဖြင့် direct expansion system အတွက်တော့ ကျန်ရှိနေပေသေးသည်။ မည်သို့ပင်ဖြစ်စေ volume 1 နှင့် volume 2 နှစ်ခုပေါင်းပါက project တစ်ခု အတွက် အထိုက်အလျောက် ခြုံငုံ မိလိမ့်မည်ဟု ထင်မြင်မိပါသည်။

အောင်မြတ်သူ

၁၆-၀၄-၂၀၁၆

Table of Content

Chapter 1. P&ID, D&ID & Electrical Block Diagram

Chapter 2. Overview of Compressors and Water Cooled Chillers

Chapter 3. HVAC Pump

Chapter 4. Expansion Tank

Chapter 5. Chemical Dosing Pot

Chapter 6. Glycol Solution

Chapter 7. HVAC Valves

Chapter 8. Functional Design Specification

Chapter 9. Fire Prevention

Chapter 10. Gas Detection System

Chapter 11. Differential Pressure Monitoring System

Chapter 12. What is Noise

Chapter 1

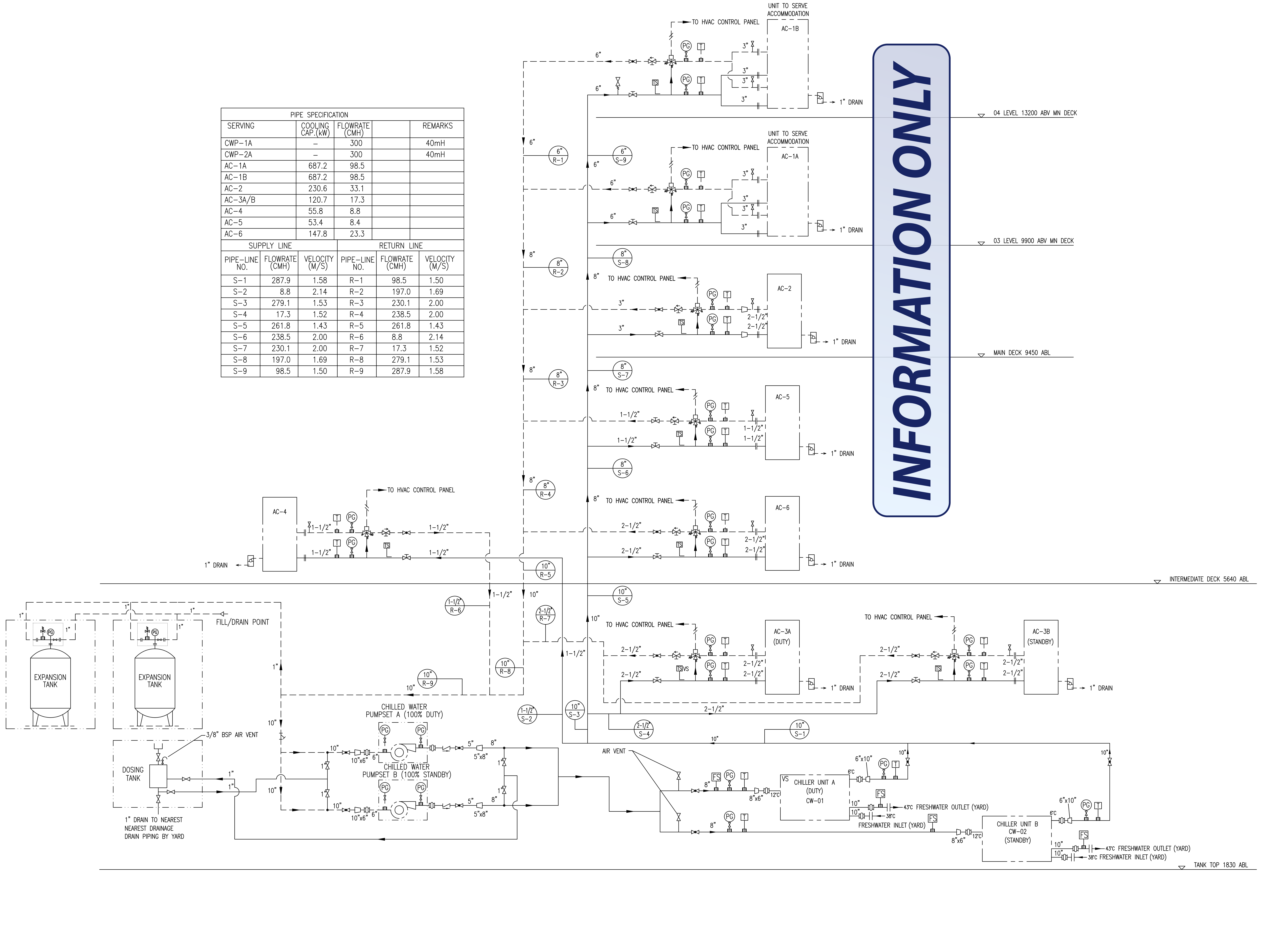
P&ID, D&ID & Electrical Block Diagram

P&ID

P&ID ဆိုသည်မှာ piping and instrumentation diagram ကိုဆိုလိုပါသည်။ HVAC system (chilled water system) တွင်တော့ piping သည် chilled water နှင့် cooling water pipes များကို ဆိုလိုသည်။ ၎င်းပိုက်လိုင်း များကို sub-contractor ကတော့ မလုပ်ပါ။ သင်္ဘောကျင်းက supply and install လုပ်လေ့ ရှိသည်။ ယခင် အခန်းများတွင် ပြောခဲ့သလို cooling water သည် သင်္ဘောကျင်းရဲ့ scope အောက်မှာ ရှိတဲ့ အတွက် ပိုက်ဆိုဒ်ကိုလည်း ၎င်းတို့ကသာ ဆုံးဖြတ်လေ့ ရှိသည်။ Chilled water pipe size ကိုတော့ vendor ဓါ် sub-contractor ကပေးပါသည်။ သင်္ဘောကျင်းက material နှင့် installation တာဝန်ယူသည်။

Instrumentation အနေနဲ့ system တွင်ပါဝင်သမျှ valves and instruments များကို ၎င်း drawing တွင် ဖော်ပြထားသည်။ ပိုက်ဆိုဒ်၊ flow rate၊ valves and instruments များနဲ့ ပတ်သက်သည့် information တွေကို အကုန်တွေ့နိုင်သည်။ Information အကုန်နီးပါးကို ဒီ drawing တွင် အကုန်ကြည့်နိုင်သော ကြောင့် အဓိက ကျသော drawing ဖြစ်သည်။ တစ်ချို့က ဒီ drawing ကိုကြည့်ရကောင်းမှန်း မသိ။ Reference လုပ်ရမှန်း မသိကြပဲ အတော်များများသော implementation ပိုင်းကလူတွေက ကိုယ်နဲ့ သိပ်မဆိုင် သလို လုပ်ကြတာ တွေ့ရသည်။ သူတို့ အဓိက စိတ်ဝင်စား တာက double line drawing တွေကိုသာ ဖြစ်သည်။ အတွေ့အကြုံ ကောင်းကောင်း ရှိသော လူများကသာ ကောင်းစွာ အသုံးချ ကြသည်။

Fig.1.1 တွင် နမူနာ ပြထားသည်။ ၎င်းသည် P&ID သည် မည်သို့ဖြစ်သည် ဆိုတာကို သိစေရန် အတွက်သာ ဖော်ပြထားခြင်း ဖြစ်၍ လက်တွေ့တွင် ၎င်းအတိုင်း design လုပ်၍ မရနိုင်ပါ ဆိုတာကို သိစေလိုသည်။



INFORMATION ONLY

PIPE SPECIFICATION

SERVING	COOLING CAP.(kW)	FLOWRATE (CMH)	REMARKS
CWP-1A	–	300	40mH
CWP-2A	–	300	40mH
AC-1A	687.2	98.5	
AC-1B	687.2	98.5	
AC-2	230.6	33.1	
AC-3A/B	120.7	17.3	
AC-4	55.8	8.8	
AC-5	53.4	8.4	
AC-6	147.8	23.3	

SUPPLY LINE			RETURN LINE		
PIPE-LINE NO.	FLOWRATE (CMH)	VELOCITY (M/S)	PIPE-LINE NO.	FLOWRATE (CMH)	VELOCITY (M/S)
S-1	287.9	1.58	R-1	98.5	1.50
S-2	8.8	2.14	R-2	197.0	1.69
S-3	279.1	1.53	R-3	230.1	2.00
S-4	17.3	1.52	R-4	238.5	2.00
S-5	261.8	1.43	R-5	261.8	1.43
S-6	238.5	2.00	R-6	8.8	2.14
S-7	230.1	2.00	R-7	17.3	1.52
S-8	197.0	1.69	R-8	279.1	1.53
S-9	98.5	1.50	R-9	287.9	1.58

LEGEND

- GATE VALVE
- GLOBE VALVE
- CHECK VALVE (SWING TYPE)
- BUTTERFLY VALVE
- BALANCING VALVE
- FLEXIBLE JOINT C/W TIE RODS
- TS TEMPERATURE SENSOR(CLAMP ON PIPE)
- PG PRESSURE GAUGE C/W GAUGE COCK
- FLAT STEM TYPE THERMOMETER
- REDUCER
- 3-WAY VALVE (THERMOSTATIC)
- FLOAT TRAP
- 1/2" NPT THREAD SOCKET
- FLEXCON 1" CONNECTION SET
- RELIEF VALVE
- STRAINER
- 1/2" AIR VENT (MANUAL)
- 1/2" AIR VENT (AUTOMATIC)

NOTES

1. INSULATION FOR CHILLED WATER SUPPLY AND RETURN PIPING:
   2" SECTIONAL ROCKWOOL OR FIBREGLASS WRAPPED WITH ALUMINUM FOIL FOR INDOOR PIPING.
   2" SECTIONAL ROCKWOOL OR FIBREGLASS WRAPPED WITH 0.2mmt ALUMINIUM JACKET FOR OUTDOOR PIPING.
2. MAX. WORKING PRESSURE ON CHILLED WATER PIPING SHALL NOT BE MORE THAN 150 PSI @ 120°F.
3. CHILLED WATER TEMPERATURE IN/OUT : APPROX. 6°C / 12°C.
4. COOLER PRESSURE DROP : APPROX. 67.9 ftwg.
   CONDENSER PRESSURE DROP : APPROX. 22.3 ftwg.
5. ALL FIELD PIPINGS TO BE SUPPLIED AND INSTALLED BY YARDS.
6. FOUNDATION FOR ALL EQUIPMENT TO BE SUPPLIED AND DONE BY YARD.
7. ALL VALVES AND ACCESSORIES FOR VALVE PANEL SHALL BE SUPPLIED LOOSE.
8. ALL DRAIN CONNECTION TO NEAREST DRAINAGE DONE BY YARD. AHU DRAIN TRAP WILL BE SUPPLY BY H&H.

Fig. 1.1. P&ID

D&ID

D&ID ဆိုသည်မှာ ducting and instrumentation diagram ကိုဆိုလိုသည်။ ၎င်း diagram တွင် ducting, air flow, instruments စသည်တို့ ပါသင်သည်။ Duct size ကတော့ ကိုယ်တင်ပြ ချင်တဲ့ အပေါ်မူတည်၍ ထည့်သွင်းနိုင်သည်။ ဥပမာ - ducting အတွက် single line diagram (SLD) ဆိုပြီး သတ်သတ် drawing ရှိနေပါက ၎င်းနှင့် သက်ဆိုင်သော အသေးစိတ် များကို ချန်လုပ် ထားခဲ့နိုင် ပါသည်။

Fig. 1.2 တွက် နမူနာ ဖော်ပြထားသည်။ ထိုပုံတွင်တော့ electrical control line များပါ ဖော်ပြထားသည့် အတွက် အလွယ်တကူ နားလည်နိုင် ပါသည်။ ပါဂါလိုင်း၊ control လိုင်းများ၊ feedback signal, common alarm ပါ control panel နှင့်တကွ စုံလင်စွာ ပြထားသည့် အတွက် အတော်ရှင်းလင်းစွာ ကြည့်မြင် သဘောပေါက် နိုင်လိမ့်မည် ဟု မျှော်လင့်ပါသည်။ Electrical control panel နှင့် ပတ်သက်၍ အဂင်အထွက် (power lines and control lines) များကို အကြမ်းဖျင်း ရှင်းပြလိုပါသည်။ ပြထားသော system သည် hard wire ကိုသုံးထားသော system ဖြစ်သည် ကို ပထမ ဦးစွာ မှတ်ထားပါ။ PLC သုံးထားသော system နှင့် ပတ်သက်သည် များကို အခန်း (၈) Functional design specification တွင် ကြည့်ပါ။

- HVAC panel သည် သူ့ဆီမှ တဆင့် ပေးရမည့် power and control များအတွက် power distribution (utility load) ကို အရင်တွက်၍ breaker side ဘယ်လောက်သုံးမည် ဆိုတာကို အရင် သတ်မှတ်ရသည်။ Panel ကိုဂင်လာမည့် main power supply ပါမည်။

- Main power supply သည် 440 or 480 and 3Ph ဖြစ်သည့် အတွက် နောက်ထပ် supply or control voltage အတွက် 230V တစ်လိုင်း power supply အနေနဲ့ လိုသည်။

- Ventilation fans များအတွက် မော်တာသို့ ပါဂါ ပေးရသည်။ Local control အတွက် local switch (control switch) ကိုသုံးထားပါက ၎င်းအတွက် control line တစ်လိုင်းပေးရသည်။ ဒါက fan နှင့် ပတ်သက်လို့ ဖြစ်သည်။ ပုံကို ကြည့်၍ နားလည်အောင် လုပ်ပါ။

- Fig. 1.2 တွင် ပြသထားသော AHU သည် တခြား deck တွင်ရှိသော galley room အတွက်ဖြစ်သည်။ AHU room သည် အောက်အထပ်တွင် ထားရှိသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ ပုံတွင် cooling and heating နှစ်လိုင်း

တွေ့လိမ့်မည်။ ထိုလိုင်းများသည် galley room ထဲတွင် တပ်ဆင်ထားသော temperature controllers များသို့ သွားသော လိုင်းများ ဖြစ်သည်။ Cooling သည် 3-way valve အတွက် ဖြစ်ပြီး၊ heating သည် AHU အတွင်းတွင် ရှိသော heater အတွက် ဖြစ်သည်။

- AHU တွင် UV system ပါပြီး UV panel ကို HVAC panel မှ ပါဝါပေးရသောကြောင့် ပါဝါ တစ်လိုင်း ရှိသည်။ Fault ဖြစ်ပါက HVAC system မှသိရှိရန် အတွက် alarm အတွက် တစ်လိုင်း ရှိသည်။ UV system သည် cooling coil နှင့် AHU အတွင်းရှိ bacteria များကို သတ်ရန် အတွက် အသုံးပြု ခြင်း ဖြစ်သည်။

- Fan motor အတွက် ပါဝါ တစ်လိုင်း (On/Off) နှင့် trip ဖြစ်ပါက HVAC panel မှသိရန် alarm တစ်ခု ရှိသည်။

- Heating coil အတွက် ပါဝါပေးရန် တစ်လိုင်း နှင့် over heat or other faults တွေ အတွက် alarm တစ်လိုင်း ရှိသည်။

- Cooling အတွက် 3-way valve ကို အဖွင့် အပိတ် modulating အတွက် actuator ကိုသွားသော control လိုင်း တစ်လိုင်း ရှိသည်။

- 18°C thermostat အတွက် control လိုင်း တစ်လိုင်း။ ၎င်းသည် မပါ မနေရတော့ မဟုတ်ပေ။ Chilled water temperature အနည်းဆုံး 18°C ရှိမှ 3-way valve စတင်ဖွင့် ပေးရန် ထည့်ထားခြင်းသာ ဖြစ်သည်။

- Filter အတွက် pressure differential သည် mechanical type ဖြစ်ပြီး local indication အတွက်သာ ဖြစ်သည့် အတွက် electrical connection မလိုအပ်ပေ။

- Fire damper တွင် solenoid valve energize ဖြစ်စေရန် ပါဝါ တစ်လိုင်း၊ limit switches တွေအတွက် တစ်လိုင်း (close and close contacts) ရှိသည်။ Damper position သည် damper panel သို့ signal သွားမည် ဖြစ်သည်။

- Emergency shutdown အတွက် တစ်လိုင်း ရှိသည်။ Emergency condition တွင် VMS (vessel management system) မှ remotely HVAC panel ကို shutdown လုပ်ရန် ဖြစ်သည်။

- Common fault အတွက် VMS ကို fault signal ပေးရန် တစ်လိုင်း

- တခြား AHU များနှင့် interlock လုပ်ထားသည့် အတွက် feedback signal တစ်လိုင်း

ဒါဆိုလျှင် electrical panel အဝင် အထွက်တွေ နှင့် ပတ်သက်၍ နားလည်မည်ဟု ယူဆပါသည်။ ကိုယ့်ဟာ ကိုယ်လဲ နားလည် သဘောပေါက်အောင် ထပ်မံ လေ့လာစေလိုပါသည်။

INFORMATION ONLY

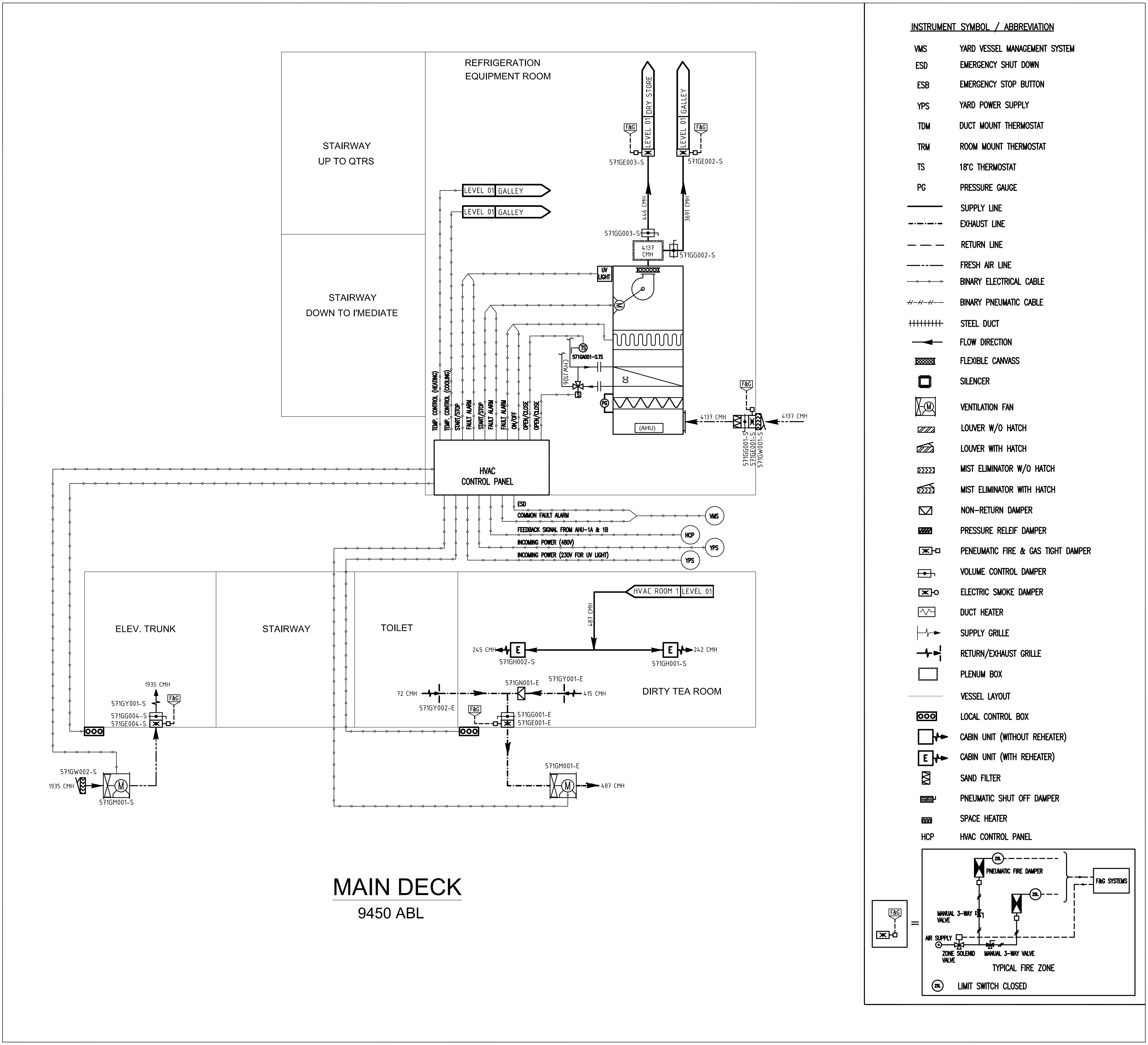


Fig. 1.2. D&ID

Electrical Block Diagram

Fig. 1.3 to 1.5 သည် electrical block diagram များကို ဖော်ပြထားခြင်း ဖြစ်သည်။ ဒါကို ကြည့်ခြင်းအားဖြင့် equipments and instruments များသို့ သွားသော electrical wiring (cables) များကို သဘောပေါက် နားလည် မည်ဖြစ်သည်။ ယေဘုယျ အားဖြင့် electrical နှင့်ပတ်သက်သမျှ အားလုံးကို electrical engineer မှ တာဝန်ယူ လုပ်ဆောင်ရန် ဖြစ်သော်လည်း တစ်ခါတစ်ရံ utility load list တွက်တာတို့ main contractor (shipyard) ကို ကိုယ်သုံးမည့် power consumption အတွက် design engineer ကလုပ်ရတာတွေ လည်း ရှိပါသည်။ ထို့အတွက် power consumption နှင့်ပတ်သက်၍ design engineer ကတွက်တတ် ထားသင့်သည် (သို့) အနည်းဆုံးတော့ နားလည် သဘောပေါက် ထားသင့်သည်

အောက်ကပုံကို ကြည့်ပါ။ Cable size ကတော့ electrical သမားရဲ့ အလုပ်ဖြစ်သည်။ ကိုယ်ကတော့ ဘာတွေကို connect လုပ်ရမည် ဆိုတာ သိထားသင့်သည်။ ဘာကြောင့် လုပ်ရသည် ဆိုတာလဲ သိထားဖို့ လိုသည်။ Electrical panel မှ electrical components များသို့ ဆက်သွယ်သော cable များရှိသကဲ့သို့ main power supply (from shipyard) မှ HVAC panel သို့ ဆက်သွယ်သော အပိုင်းများလဲ ပုံတွင် ဖော်ပြထားသည်။ ကိုယ့်ဟာကိုယ် နားလည်အောင် ကြည့်ရင်းနှင့် သဘောပေါက် နားလည်မည်ဟု ယူဆပါသည်။

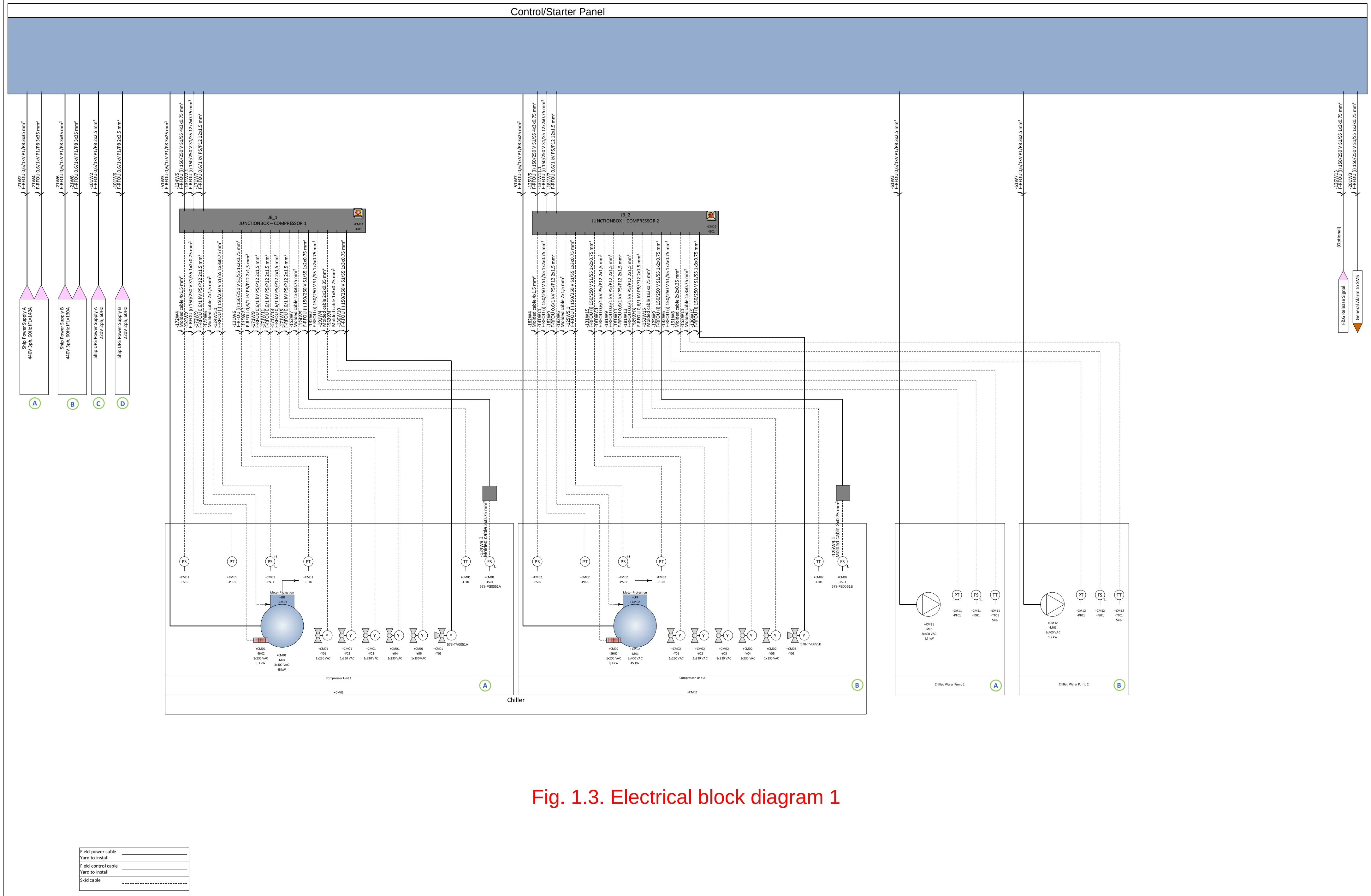


Fig. 1.3. Electrical block diagram 1

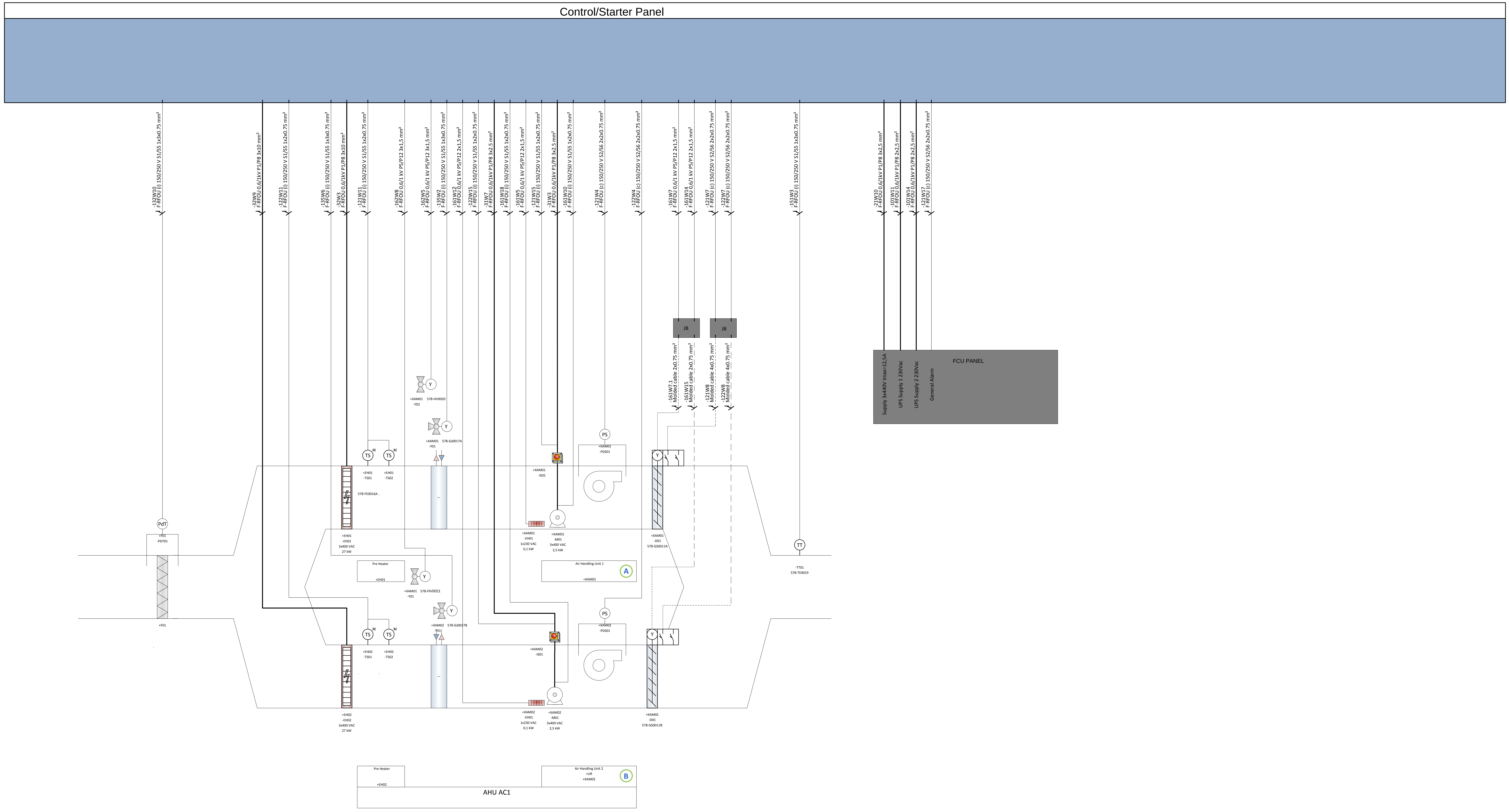


Fig. 1.4. Electrical block diagram 2

Field power cable Yard to install	
Field control cable Yard to install	
Skid cable	

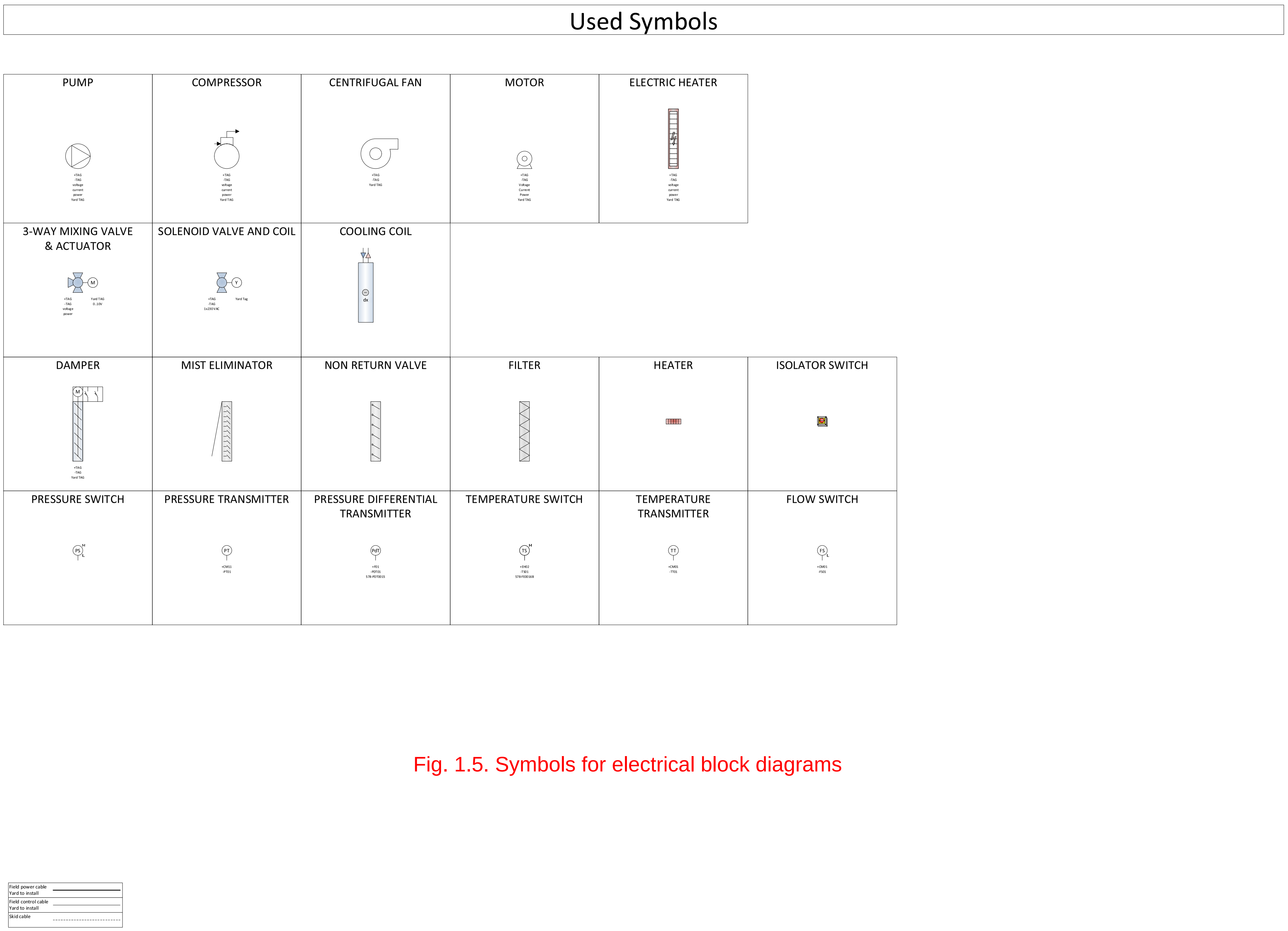


Fig. 1.5. Symbols for electrical block diagrams

Chapter 2

Overview of Compressors and Water Cooled Chillers

Chiller များကို အသုံးပြုသော compressor type အပေါ်တွင် မူတည်ပြီး ခေါ်ဝေါ်ကြသည်။ အခြေခံအားဖြင့် compressor လေးမျိုး ရှိသည်ဟု မှတ်ယူနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် chiller type သည်လည်း လေးမျိုး ဟုဆိုနိုင်ပေသည်။ ၎င်းတို့မှာ -

1. Reciprocating

2. Rotary

3. Centrifugal

4. Absorption တို့ဖြစ်သည်။

1. Reciprocating

Reciprocating compressor သည် positive displacement machine ဖြစ်၍ အလုပ်လုပ်ပုံမှာ automobile engine များ၏ အလုပ်လုပ်ပုံ နှင့် ဆင်တူသည်။ ပါဝင်သော အစိတ်အပိုင်း များမှာလည်း piston, connecting rod, crankshaft စသည်တို့ ဖြစ်ပြီး motor ဖြင့်မောင်းသည်။ Piston အောက်သို့ ဆင်းသွားသော အခါ suction (inlet) valve ပွင့်သွားပြီး refrigerant များကို cylinder ဆီသို့ ဆွဲယူသွားသည်။ Upward stroke တွင် pressure မြင့်တက်လာပြီး suction valve ကိုပိတ်လိုက်သည်။ Cylinder ထဲတွင် ရှိနေသော pressure သည် discharge line တွင် ရှိနေသော pressure ထက်များလာသော အခါ discharge valve ကိုတွန်းဖွင့်၍ ဖိအားကြောင့် ပူနေသော gas ကို discharge pipe အတွင်းသို့ ရောက်ရှိသွားစေသည်။

Reciprocating compressor များသည် open type (သို့) hermetic type များဖြစ်နိုင်သည်။ Open type တွင် external drive ဖြစ်သည့် motor သည် housing ၏ အပြင်ဖက်တွင် ရှိ၍ hermetic type တွင် compressor နှင့် motor သည် housing တစ်ခုတည်း အတွင်းမှာ ပင်တည်ရှိသည်။ Motor shaft ကို compressor crankshaft နှင့် integral ပြုလုပ်ထား၍ motor သည် refrigerant နှင့် ထိတွေ့နေသည်။ Hermetic

compressor များကို welded shell ထဲတွင် လုံးဝ အလုံပိတ် ထား၍ semi-hermetic compressor တွေကိုတော့ welded မလုပ်ပဲ bolt ကိုအသုံးပြု၍ seal ပြုလုပ်ထားသည်။ ထို့ကြောင့် repair လုပ်လိုက လုပ်နိုင်ပြီး hermetic တွေကတော့ ဂဟေဆော်ပြီး အသေပိတ်ထားသောကြောင့် ပြင်လို့မရပေ။ Semi-hermetic compressor တွေကို water chiller တွေမှာ အတော်လေး အသုံးများသည်။ Semi-hermetic compressor များတွင် ဆလင်ဒါ 12 လုံးအထိ ရှိနိုင်သော်လည်း 4 လုံး (သို့) 6 လုံးသည် အသုံး အများဆုံး ဖြစ်သည်။

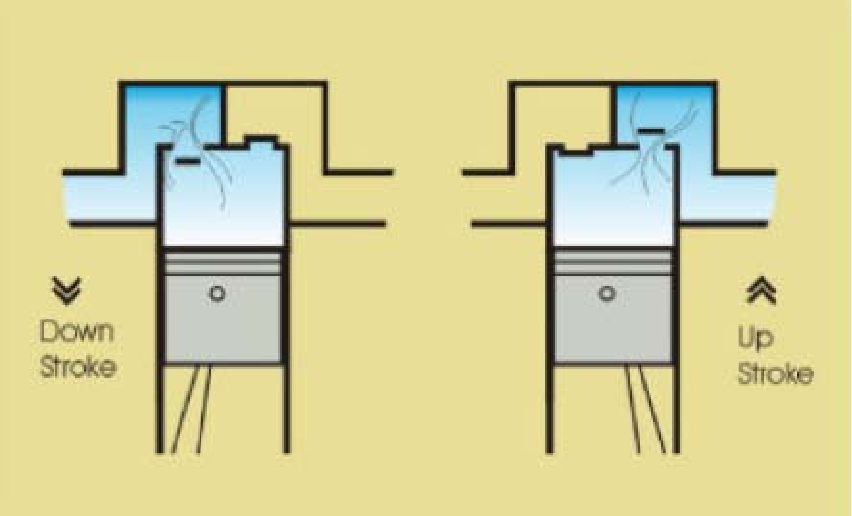


Fig. 2.1. Reciprocating compressor

Reciprocating compressor တွေ၏ capacity control ကို အောက်ပါ အတိုင်း ပြုလုပ်သည်။

1. Cycling the compressor on/off, with or without multiple compressors

2. Using cylinder unloaders

3. Using hot gas by pass or

4. All above three methods

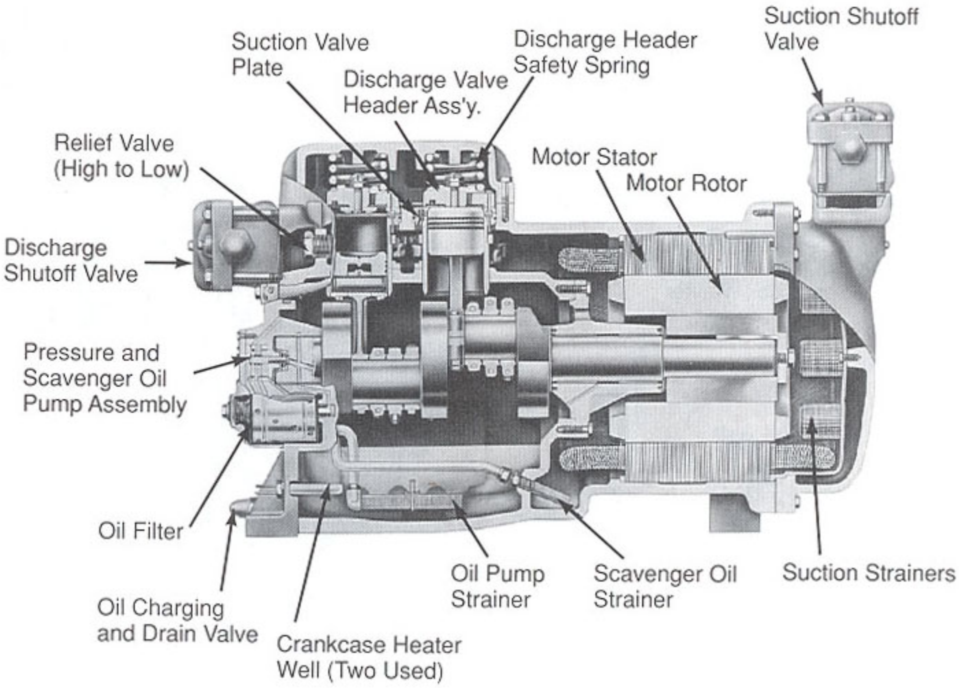


Fig. 2.2. Semi-hermetic reciprocating compressor

No.1 နည်းသည် cost-effective နှင့် energy-efficient ဖြစ်စေသော strategy ဖြစ်သည်။ အထူးသဖြင့် compressors တွေ အများကြီး သုံးထားသော system တွေတွင် ဖြစ်သည်။ Compressor cycling ကို ခပ်မြန်မြန် အဖွင့် အပိတ် လုပ်စေခြင်းသည် motor failure ဖြစ်စေသည်။ အဆိုပါ motor failure ဖြစ်ခြင်းကို ကာကွယ်ရန် အတွက် control circuit relay သည် compressor restarting time ကို delay လုပ်ပေးပြီး အခြား relays တွေသည် compressor ကို minimum amount of time ဖြင့် မောင်းနှင်စေခြင်း ဖြင့် ပြုလုပ်နိုင်သည်။

Unloader သည် suction gas valve ကို မတင်ပေးခြင်းဖြင့် piston သည် gas ကို compress မလုပ်စေသည့် device ဖြစ်သည်။ Piston သည် unloaded condition မှာပဲ အလုပ်လုပ်နေသည့် အတွက် part-load energy efficiency သည် cycling method ထက်တော့ နည်းနေပေလိမ့်မည်။

Hot gas bypass နည်းသည် compressor discharge line မှထွက်လာသော hot gas ကို evaporator ဆီသို့ ပြန်၍ ပို့ပေးသည့် နည်းဖြင့် အလုပ်လုပ်သည်။ Low suction pressure မှ control ပြုလုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ Hot

gas bypass သည် load လုံးဝ မရှိသည့် အခြေအနေ (zero load) မှာတောင် chiller ကို run စေသဖြင့် energy saving မရှိပေ။ ထို့ကြောင့် hot gas bypass နည်းကို critical low load applications တွေမှာသာ အသုံးပြု သင့်သည်။

2. Rotary

HVAC နယ်ပယ်တွင် rotary compressors များစွာ အသုံးပြုလျှက် ရှိရာ scroll, fixed vane (single blade), rotating vane, and screw (helical-rotary) types တို့ အပါအဝင် ဖြစ်သည်။ Scroll, single blade နှင့် rotating vane compressors များမှာ capacity သေးငယ်သော application များတွင် အသုံးပြု ကြသည်။ အထူးသဖြင့် scoll compressor များမှာ package units များတွင် အသုံးများသည်။ Emerson company မှထုတ်လုပ်သော copeland scroll compressor များမှာ သုံးရတာ reliable ဖြစ်သည့် အတွက် ကျယ်ကျယ် ပြန့်ပြန့် အသုံးပြုကြသည်။ Capacity အတန်အသင့် များတဲ့ application တွေမှာတော့ screw compressor တွေသည် package units များအတွက် အသုံးများသည်။ Single screw and twin screw ဟူ၍ type နှစ်မျိုး ရှိသည်။

Single Screw

Single screw compressor တွင် single cylindrical main rotor ပါဝင်၍ gate rotors တစ်စုံ နှင့် တွဲ၍ အလုပ်လုပ်သည်။ Main rotor shaft မှ compressor ကိုမောင်း၍ gate rotors များက follow လုပ်သည်။ Main rotor ကလှည့်ပေးသောကြောင့် screw ရဲ့ တစ်ဖက်တစ်ချက် မှာရှိသော gate rotors များ၏ အသွားများ နှင့် casing ကြားတွင် refrigerant သည် ပိတ်မိနေသည်။ အဆက်မပြတ် လည်ပတ်နေခြင်းကြောင့် groove volume သည် ပို၍ပို၍ သေးငယ်လာပြီး compression ကိုဖြစ်စေသည်။

Screw compressor ကို compressor casing အတွင်းတွင် ရှိသော slide valve က control လုပ်သည်။ Single screw ရဲ့ တစ်ဖက်တစ်ချက် တွင်ရှိသော slide valves များသည် independently အလုပ်လုပ် သောကြောင့် fully modulating process ဖြင့် အလုပ် လုပ်ဆောင်နိုင်ပြီး part-load energy performance ကိုကောင်းစွာ ရရှိစေသည်။

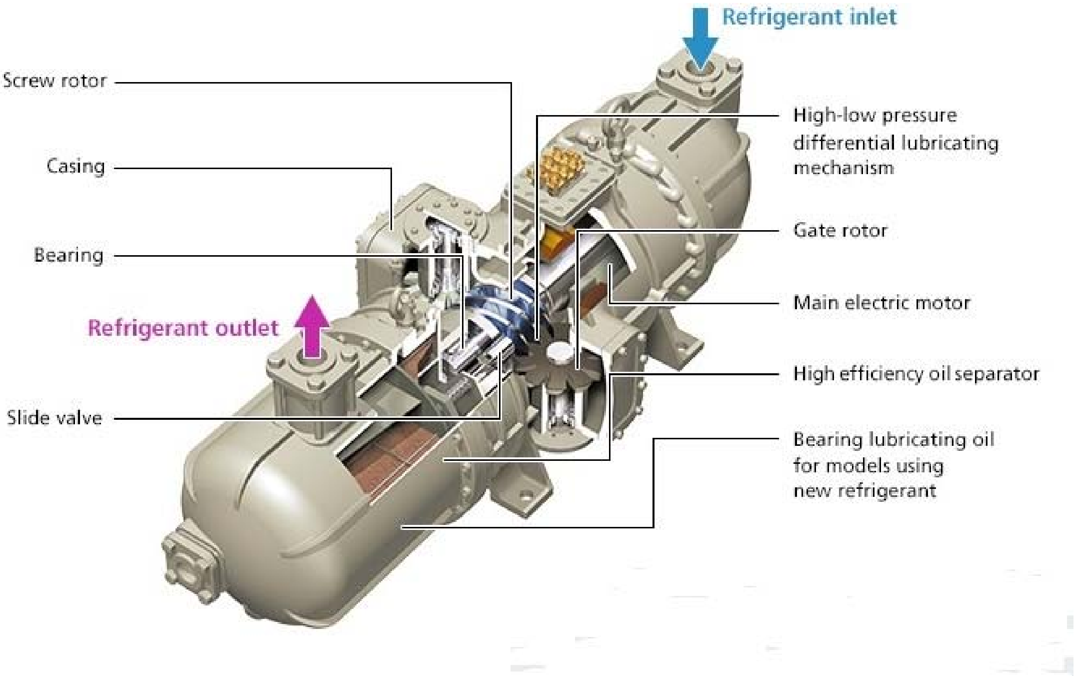


Fig. 2.3. Single screw compressor

Twin screw

Twin screw သည် duble rotary screw နှစ်ခုပါသော compressor ဖြစ်သည်။ Twin screw တွင် helical grooved rotor နှစ်ခု ပါဝင်၍ တစ်ခုက male၊ အခြားတစ်ခုက female ဖြစ်သည်။ ထိုနှစ်ခု ထဲကမှ male ပဲဖြစ်ဖြစ်၊ female ပဲဖြစ်ဖြစ် တစ်ခုက အမောင်း (drive) ဖြစ်လျှင် အခြားတစ်ခုက အမောင်းခံ (driven) ဖြစ်သည်။ Compressor ရဲ့ suction side တွင် male နဲ့ female rotor နှစ်ခု ကြားမှ ဟာနေသော နေရာတွင်းသို့ gas ဝင်လာသည်။ Rotor ကလှည့်ပေးသောကြောင့် male နဲ့ female rotor နှစ်ခုသည် mesh ဖြစ်ကာ လိုက်လည်ပတ်ပြီး gas ကို casing အတွင်း၌ ပိတ်မိနေစေသည်။ အဆက်မပြတ် လည်ပတ်နေခြင်းကြောင့် space သည် ကျဉ်းမြောင်းသည်ထက် ကျဉ်းမြောင်းလာပြီး gas ကို ဖိသိပ်ပေးသည်။ ထို့နောက် gas သည် rotors များ၏ အဆုံးမှ compressor ၏ discharge မှထွက်သွားသည်။

Twin screw တွေတွင် capacity control အတွက် slide valve ပါရှိ၍ rotor ရဲ့discharge side အနားတွင် တည်ရှိသည်။ အတွင်း၌ ပိတ်မိနေသော gas တစ်ချို့ကို bypass လုပ်ကာ compressor ၏ suction side သို့ ပြန်ပို့ပေးခြင်းဖြင့် capacity control ပြုလုပ်ပေးသည့် နည်းဖြစ်သည်။

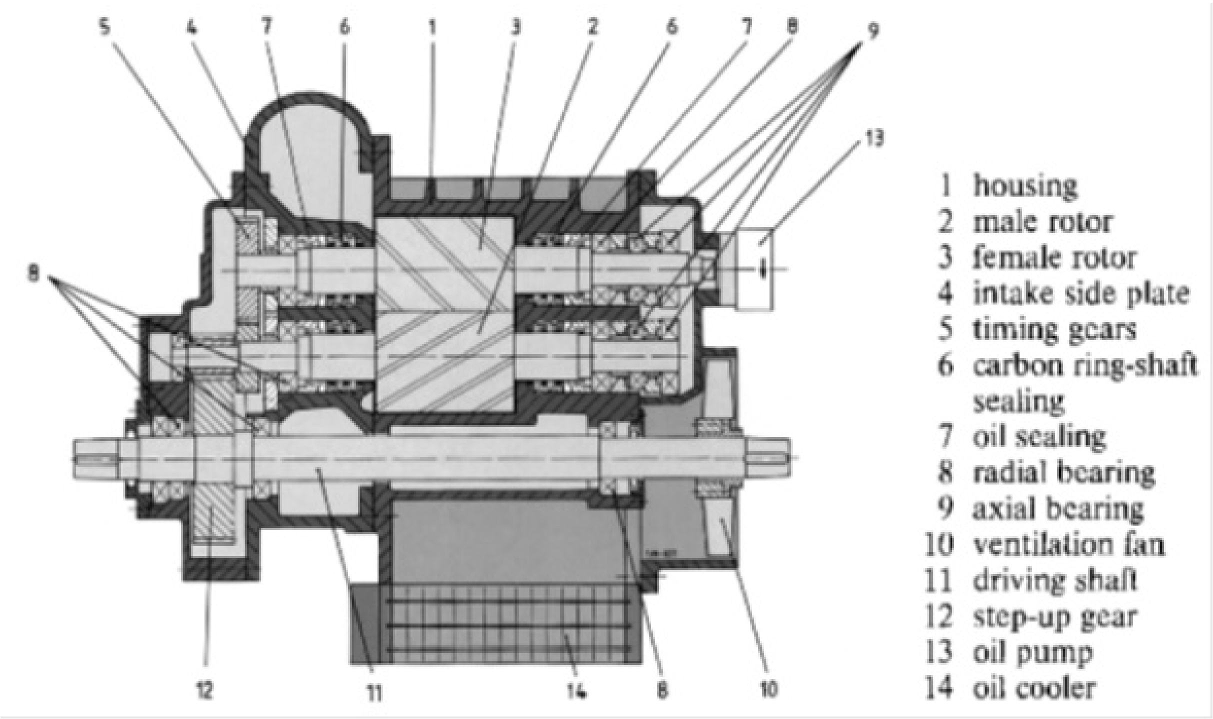


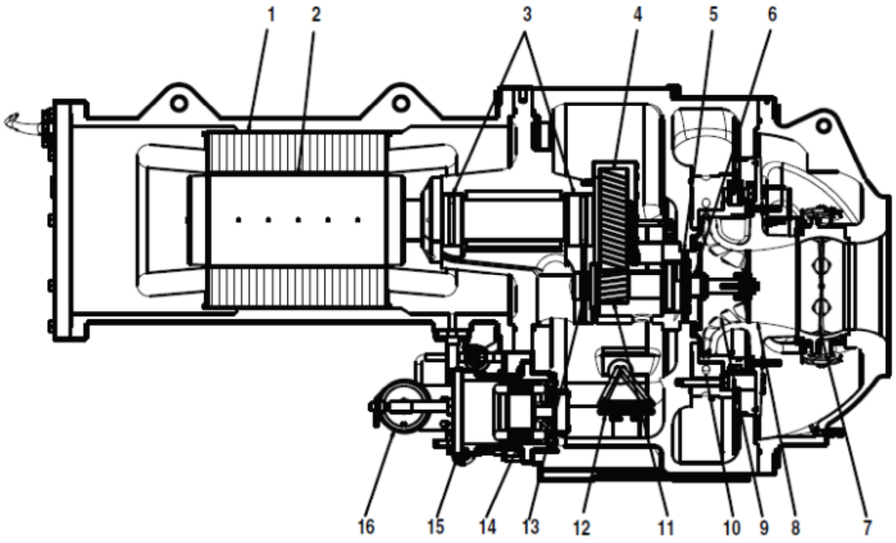
Fig. 2.4. Twin screw compressor

Fig. 2.5. Carier twin screw chiller (1300 kW cooling capacity)

3. Centrifugal

Centrifugal pumps များလိုပင် centrifual chillers များသည် impeller ရှိ၍ ယင်းသည် high speed နှင့် လည်ပတ်နေသည်။ Refrigerant သည် လည်ပတ်နေသော impeller ဆီသို့ axial direction အတိုင်းဝင်လာပြီး radial direction အတိုင်း higher velocity နှင့် ပြန်ထွက်သွားသည်။ Centrifugal compressor သည် single stage (one impeller) သို့မဟုတ် multistage (two impellers or more) ရှိနိုင်သည်။ Multistage centrifugal compressor တွင် first impeller မှ ထွက်လာသော discharge gas သည် second impeller ၏ suction side သို့ ဝင်ရောက်လာ သကဲ့သို့ တခြား stage တွေတွင်လည်း ထိုနည်း လည်းကောင်း ဖြစ်သည်။ Rotary compressor များကဲ့သို့ပင် multistage centrifugal compressors များသည်လည်း economizers များကို ထည့်သွင် ပေါင်းစပ် ထားနိုင်သည်။ Economizer သည် intermediate pressure ၌ liquid line မှ flash gas ကို အမျိုးမျိုးသော comression stages များ၏ suction ဆီသို့ inject လုပ်ပေးသည်။ အကျိုးကျေးဇူးကတော့ efficiency ကိုမြင့်တက်လာစေသည်။

Reciprocating cmpressors များကဲ့သို့ပင် centrifugal compressors များသည်လည်း open or hermetic type တွေရှိသည်။ Open centrifugal compressore များတွင် motor သည် casing ၏ အပြင်ဖက်တွင် ထားရှိပြီး shaft သည် casing ကိုဖောက်ပြီး ဝင်ထားပြီး ၎င်းနေရာကို seal လုပ်ထားသည်။ Hermetic type ကတော့ထုံးစံ အတိုင်း houseing တစ်ခုအတွင်းမှပဲ compressor ကော motor ကော ထည့်ထားပြီး motor သည် refigeant နှင့် တိုက်ရိုက် ထိတွေ့ (direct contact) နေသည်။ Compressor ၏ compression ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသော discharge pressure သည် impeller tip velocity ရဲ့ function ဖြစ်ခြင်းကြောင့် impeller speed ပို၍ မြန်လေလေ ပို၍ သေးငယ်သော impeller diameter ဖြစ်ဖို့ လိုလေလေဖြစ်သည်။ ထိုနည်းတူပင် သတ်မှတ်ထားသော pressure တစ်ခု၌ compression stage ပို၍ များလေလေ ပို၍ ပို၍ သေးငယ်သော impeller diameter လိုလေလေဖြစ်သည်။ တစ်ချို့ထုတ်လုပ်သူများသည် smaller impeller ရဲ့ speed ကို မြှင့်တင် နိုင်ရန် အတွက် gear drive များကို အသုံးပြုကြ၍၊ တစ်ချို့ကတော့ larger impeller (သို့) multiple stages များကို direct drive နှင့်တွဲ၍ အသုံးပြုကြသည်။ Direct drive machines များတွင် moving parts, ပါဝင်မှု ပို၍ နည်းပြီး beaing လည်းပို၍ နည်းပြီး တခြား machine တွေနှင့် နိုင်းယှဉ်လျှင် ပို၍ ရိုးရှင်းပေသည်။



LEGEND

1 — Motor Stator
2 — Motor Rotor
3 — Motor Shaft Journal Bearings
4 — Low Speed Bull Gear
5 — High Speed Shaft Thrust Bearing
6 — High Speed Shaft Bearing
7 — Variable Inlet Guide Vanes
8 — Impeller Shroud
9 — Impeller
10 — Pipe Diffuser
11 — High Speed Pinion Gear
12 — Oil Heater
13 — High Speed Shaft Bearing
14 — Oil Pump Motor
15 — Oil Pump Cover
16 — Oil Filter

Fig. 2.6. Components of Centrifugal Compressor

Centrifugal compressor တွေ၏ capacity ကို နည်းသုံးနည်း ဖြင့် control လုပ်သည်။ Inlet guide vanes (or) prerotational vanes နှင့် control လုပ်ခြင်းသည် အသုံးများသော နည်းဖြစ်သည်။ Adjustable vanes သည် impeller eye ၏ suction side တွင်တည်ရှိပြီး refrigerant ကိုလည်ပတ်ပြီး ဝင်ရောက် လာစေသည်။ ၎င်းသည် impeller ၏ volumetric flow characteristics ကိုပြောင်းလဲစေပြီး unloading ကိုအထောက်အပံ့ ဖြစ်စေသည်။

Fig. 2.7. Inlet guide vanes

ဒုတိယ နည်းကတော့ inlet guide vanes များနှင့် ပေါင်းစပ်အသုံးပြုပြီး impeller ၏ speed ကိုပြောင်းလဲ ပေး တာပဲ ဖြစ်သည်။ Variable speed fan or pump တို့နှင့် မတူပဲ impeller speed ကိုလျှော့ချ ပေးခြင်းဖြင့် အတော်ကောင်းမွန်သော part load energy characteristics ကိုရရှိစေသည်။ Impeller သည် လုံလောက်သော pressure diffeential (lift) ကိုထုတ်လုပ်ပေးနိုင်ဖို့ လိုသည်။ သို့မှသာ refrigeant ကို low side (evaporator) မှ high side (condenser) သို့ပို့လပေးနိုင်မည် ဖြစ်သည်။ ရှိရမည့် minimum speed of impeller ကို ဆုံးဖြတ်ပေးသည်မှာ ဤ life ပင်ဖြစ်သည်။ Lift နိမ့်လေ evaporator နှင့် condenser ကြား၏ temperature difference နီးကပ်လေ ဖြစ်ပြီး impeller ၏လည်ပတ် နိုင်မှု သည်လည်း ပို၍ နှေးလေ ဖြစ်သည်။ Impeller သည် အဖြစ်နိုင်ဆုံး အနှေးဆုံး speed နှင့် လည်ပတ်နေသော အချိန်တွင် inlet guide vane ကို အသုံးပြုပြီး capacity ကို ပို၍ ချပေးနိုင်ပေသည်။

Capacity control အတွက် တတိယ နည်းလမ်းမှာ hot gas bypass ဖြစ်သည်။ တခြား compressor type တွေလိုပင် hot gas bypass သည် chiller ကို zero unload နှင့်မောင်းနှင်စေနိုင်ပြီး hot gas ကို compressor discharge side မှ suction side သို့ ပြန်ပို့ပေးသည်။ Hot gas bypass နည်းဖြင့် part load energy savings တော့ မရှိပါ။

Centrifugal compressor များ၏ characteristics များထဲမှ တစ်ခုကတော့ "surge" ဖြစ်နိုင်ခြင်း ဖြစ်သည်။ Surge ဆိုသည်မှာ compressor က low volumetric flow အခြေအနေမှာ high lift ကိုထုတ်ပေးဖို့ လိုအပ်သော အချိန်တွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် အခြေအနေ (condition) တစ်ခု ကိုခေါ်သည်။ Surge မဖြစ်စေရန် centrifugal compressor တွေကို control လုပ်ပေးရမည်ဖြစ်ပြီး ယင်းသည် part load perormance အပေါ်တွင် limit တစ်ခု ထားခြင်းဖြစ်သည်။ Surge condition အခြေအနေတွင် refrigerant သည် compressor အတွင်းတွင် ရှေ့သွားလိုက် နောက်ပြန်လာ လိုက်နှင့် အပြန်ပြန် အလှန်လှန် ဖြစ်နေပြီး ဆူညံမှု၊ တုန်ခါမှု နှင့် heat ကို ဖြစ်ပေါ်စေသည်။ ဒီအခြေအနေတွင် operation ကကြာနေပါက compressor ပျက်စီးနိုင်သည်။ Compressor ကိုပေးနေသော eletrical current သည် တက်လိုက် ကျလိုက် ဖြစ်နေပြီး refrigerant flow သည်လည်း ပြောင်းလဲနေပါက surge ဖြစ်နေသည် ကို အလွယ်တကူ သိရှိနိုင်သည်။

Fig. 2.8. Carier centrifual chiller

4. Absorption

Absorption chiller နှင့် ပတ်သက်၍ HVAC နယ်ပယ်တွင် သုံးလေ့ မရှိသဖြင့် မတင်ပြတော့ပါ။

Chiller Efficiency

Peak design condition တွင် chiller များ၏ efficiency ကို COP (coefficient of performance) နှင့် သတ်မှတ်သည်။ COP သည် refrigeration capacity (heat removal) ကို power input to compressor (energy input) နှင့် စားထားသော အချိုး ဖြစ်သည်။

$$\text{COP} = \frac{\text{Refrigeration Capacity}}{\text{Power Input to Compressor}}$$

COP တန်ဖိုးများလေ chiller ၏ energy efficient ဖြစ်မှု ပိုများလေ ဖြစ်သည်။ Electrical power နည်းနည်းပေးရပြီး refrigeration effect များများရပါက energy savings ပိုကောင်းသည့် သဘော ဖြစ်သည်။ ဥပမာ - 28 ton capacity ရှိသော chiller အတွက် 25 kW power input compressor ကိုပေးရ ပါက -

1 RT (refrigerantion ton) = 3.517 kW

COP = (28x3.517) kW/25 kW = 3.9 ဖြစ်သည်။

COP 3.9 သည်ကောင်းသည်ဟု ဆိုရမည်။ 3.0 လောက်ဆိုလျှင် လက်ခံနိုင်သည့် အတိုင်းအတာ ဖြစ်၍ specification များစွာသည် min. COP 3.0 ရှိရမည် ဟုပဲ requirement အနေနဲ့ သတ်မှတ်ကြသည်။

Standard chiller ratings များသည် ARI conditions (American Refrigeration Institute) အပေါ်တွင် အခြေခံ ကြ၍ အမျိုးမျိုးသော machines များ၏ capacity rating အတွက် parameters များကို သတ်မှတ်ကြသည်။ ၎င်း parameters များကို ARI Standard 550, 560 and 590 များတွင် အခိုင်အမာ သက်သေပြု ဖော်ပြပြီး water chillers များအတွက် ARI conditions များမှာ အောက်ပါ အတိုင်း ဖြစ်သည်။

Leaving Chilled Water Temperature	44°F
Evaporator Water Flow Rate	2.4 gpm/ton
Entering Condenser Water Temperature	85°F
Condenser Water Flow Rate (Electric)	3.0 gpm/ton
Condenser Water Flow Rate (Absorber)	3.6 to 4.5 gpm/ton
Ambient Air (for air-cooled)	95°F
Fouling Factor	0.00010 $h*ft^2*F/Btu$ (Evaporator) 0.00025 $h*ft^2*F/Btu$ (Condenser)

Table 2.1. ARI conditions for water chillers

Methods of Selection

အောက်တွင် ဖော်ပြထားသာ အချက်များမှာ guide အနေနဲ့ water chiller များ ရွေးချယ်ရာတွင် စဉ်းစားနိုင်ရန် ဖြစ်သည်။

Cooling Capacity	Water Chiller Type
Up to 25 tons (88 kW)	Reciprocating
25 - 80 tons (88-280 kW)	Reciprocating or Screw
80 - 200 tons (280-700 kW)	Reciprocating, Screw or Centrifugal
200 - 800 tons (700-2800 kW)	Screw or Centrifugal
Above 800 tons (above 2800 kW)	Centrifugal

Table 2.2. Selection for water chillers

Chapter 3

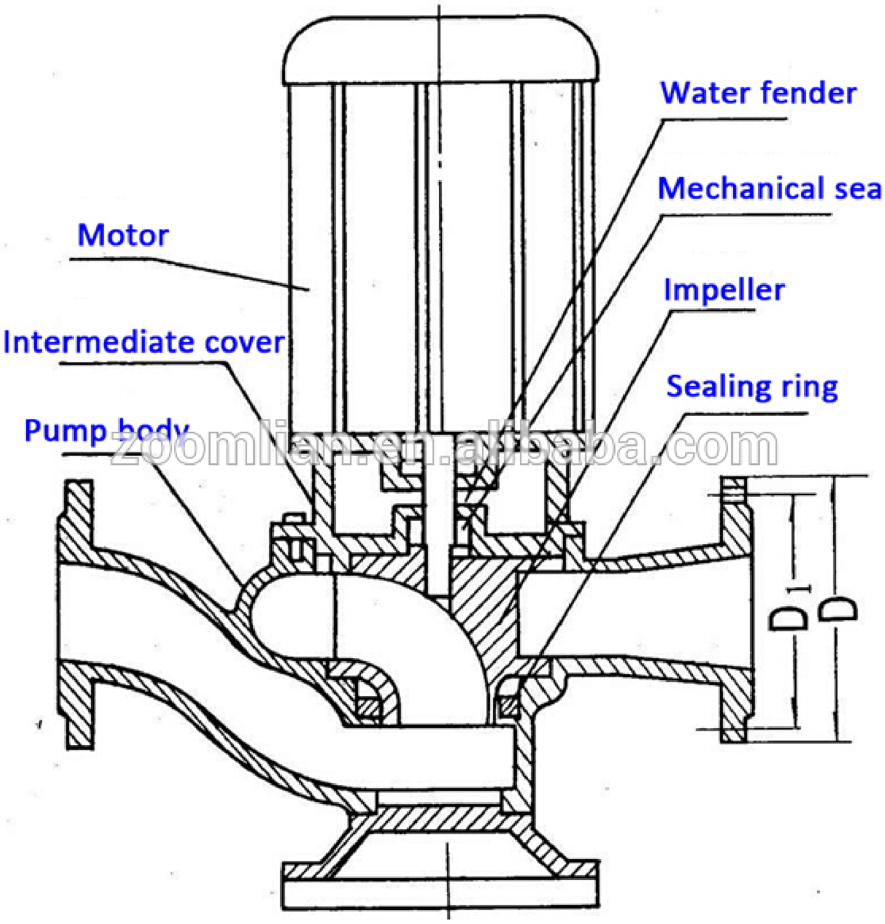
HVAC Pump

အသုံးပြုသော pump နှစ်မျိုးရှိ၍ chilled water pump နှင့် condenser pump တို့ဖြစ်သည်။ Type အနေနဲ့ centrifugal pump များသာ အသုံးပြုကြ၍ vertical inline pump များမှာ ၎င်းတို့၏ compact ဖြစ်မှုကြောင့် space constraint ရှိသော marine and offshore နယ်ပယ်တွင် အလွန် အသုံးများသည်။ မော်တာ သည် pump casing ၏ အပေါ်တွင် တည်ရှိ၍ pipe နှင့် connect လုပ်ရန် pump ၏ inlet and outlet မှာ horizontal ဖြစ်သည်။ Condenser တွင် heat exchange လုပ်ရန် အတွက် လိုအပ်သော cooling water ကို shipyard မှသာ တာဝန်ယူလေ့ ရှိသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော cooling water system သည် HVAC အတွက်သာ လိုအပ်သည် မဟုတ်ပဲ engine cooling system or other cooling systems များအတွက်ပါ လိုအပ်သောကြောင့် အားလုံးအတွက် source တစ်ခု၊ system တစ်ခု အနေနဲ့သာ ပြုလုပ်သောကြောင့် ဖြစ်သည်။

Fresh water cooling system ဖြစ်ပါက ၎င်း fresh water ကို sea water ဖြင့် ပြန်လည် အအေးခံ ၍ အသုံးပြုသည်။ Sea water သည် fresh water ထက် temperature ပိုနိမ့် သောကြောင့် ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် ဤအခန်းတွင် chilled water pump အကြောင်းသာ တင်ပြသွားမည် ဖြစ်သည်။ သဘောတရား ချင်းမှာမူ အတူတူပင်ဖြစ်သည်။ Close loop system အတွက်သာ ဖြစ်သည်။ Chilled water ကို chiller မှ AHU အသီးသီးသို့ chilled water pump မှတွန်းပို့ ပေး၍ ထို AHU များမှ return လိုင်းမှ ပြန်လာသည်။ ရေသည် ဤနည်းအားဖြင့် အဆက်မပြတ် လှည့်လည် နေပေသည်။ ၎င်း system ကို close system ဟုခေါ်သည်။ များသောအားဖြင့် primary pump တစ်လုံးသာ လိုအပ်လေ့ ရှိသည်။ VFD (variable frequency drive) သုံးသော system များတွင်တော့ pump နှစ်လုံး သုံးလုံး တွေ့နိုင်ပါသည်။ ယေဘုယျ အားဖြင့် တစ်လုံးနှင့် လုံလောက်သည်။ သို့သော်လည်း တစ်လုံး fail ဖြစ်လျှင် နောက်တစ်လုံး နှင့် မောင်းရန် 2x100% တော့ အနည်းဆုံး အသုံးပြုရသဖြင့် stand-by pump တစ်လုံးတော့ အမြဲတမ်း ရှိသည်။

Materials

Centrifugal pumps များကို bronze-fitted (or) iron-fitted construction များအနေနဲ့ ထုတ်လုပ်လေ့ရှိသည်။ အသုံးပြုမည့် liquid နှင့် ထိတွေ့နေမည့် အပိုင်း (parts) အပေါ်မူတည်၍ material ကိုရွေးချယ်လေ့ရှိသည်။ Bronze-fitted pump တွေတွင် impeller နှင့် rear rings တွေသည် bronze ဖြစ်၍ shaft သည် stainless steel (or) bronze ဖြစ်သည်။ Casing ကတော့ cast iron ဖြစ်သည်။ Domestic water applications တွေမှာတော့ all bronze construction ကိုတွေ့နိုင်ပါသည်။



zoomlian.en.alibaba.com

Fig. 3.1. Vertical inline centrifugal pump

Mechanical Seal

Rotating shaft က pump casing အထဲကို ဝင်လာသောကြောင့် ၎င်းနေရာတွင် leak မဖြစ်အောင် seal လုပ်ရသည်။ ၎င်းကို mechanical seal ဟုခေါ်သည်။

shaft sleeve

Shaft sleeve သည် motor (သို့) pump shaft ကို ကာကွယ်ထားရန် အတွက် သုံးခြင်း ဖြစ်သည်။

Wear Ring

Wear ring သည် impeller (သို့) casing ကို ပွန်းစားမှု အဖြစ်အောင် ကာကွယ်ပေးရန် သုံးခြင်းဖြစ်၍ ပွန်းစား သွားပါက အလွယ်တကူ လဲလှယ် နိုင်သည်။

အထက်ဖော်ပြပါ items များသည် 2 years spare parts အနေနဲ့ recommend လုပ်ရလေ့ ရှိသော အရာများ ဖြစ်သည်။

Pump Operation

Motor သည် impeller ကိုလည်ပတ်စေ၍ impeller rotation ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသော energy သည် fluid ဆီသို့ ရောက်ရှိသွားသည်။ ထိုမှတဆင့် centrifugal force အားဖြင့် လိုအပ်သော နေရာများသို့ fluid ကို တွန်းပို့သည်။ Pump casing သည် fluid ၏ velocity energy မှ pressure energy အဖြစ်သို့ အမြင့်ဆုံး ကူးပြောင်း သွားနိုင်သည့် ပမာဏ ကိုခံနိုင်စေရန် design လုပ်ထားသည်။

Pump Type

Hydronic system တွင် အသုံးပြု နေကြသော centrifugal pump အများစုသည် single stage with single- or double-inlet impeller အမျိုးအစား များဖြစ်ကြသည်။ Double-inlet impeller type pump များကိုတော့ ယေဘုယျ အားဖြင့် high flow application တွေတွင် အသုံးပြုကြသည်။

Centrifugal pump တစ်လုံးတွင် volute (သို့) diffuser casing ပါဝင်သည်။ Volute casings ပါသော pumps တွေသည် impeller မှ ရေကို collect လုပ်၍ pump shaft နှင့် ထောင့်မှန်ကျအတိုင်း ရေကို discharge လုပ်သည်။ Diffuser casings ပါသော pumps တွေကတော့ ရေကို pump shaft နှင့် အပြိုင် discharge လုပ်သည်။

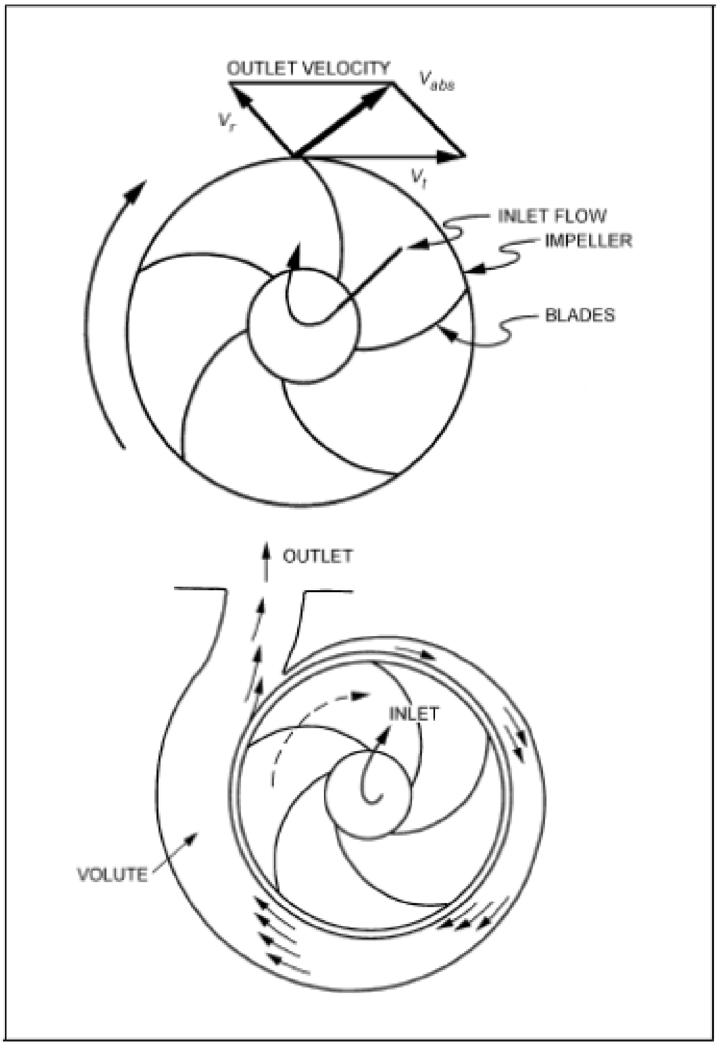


Fig. 3.2. Impeller and volute interaction

Fig. 3.3. Vertical in-line centrifugal pump

Pump performance curves

Centrifugal pumps များ၏ performance ကို manufacturers တွေရဲ့ performance curves တွေနှင့်သာ ဖော်ပြလေ့ ရှိသည်။ Fig.3.4 သည် density 1000kg/m3 ရှိသော ရေအတွက် flows နှင့် impeller diameters အမျိုးမျိုးတို့ အပေါ်တွင် လိုအပ်သော pump ၏ ပါဂါကို ဖော်ပြထားသည်။ Curve သည် standard tests များမှ ရရှိလာခြင်း ဖြစ်သည်။ Variable flows အမျိုးမျိုး အတွက် constant speed တစ်ခု အပေါ်၌ စမ်းသပ်မှု များ ပြုလုပ်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။

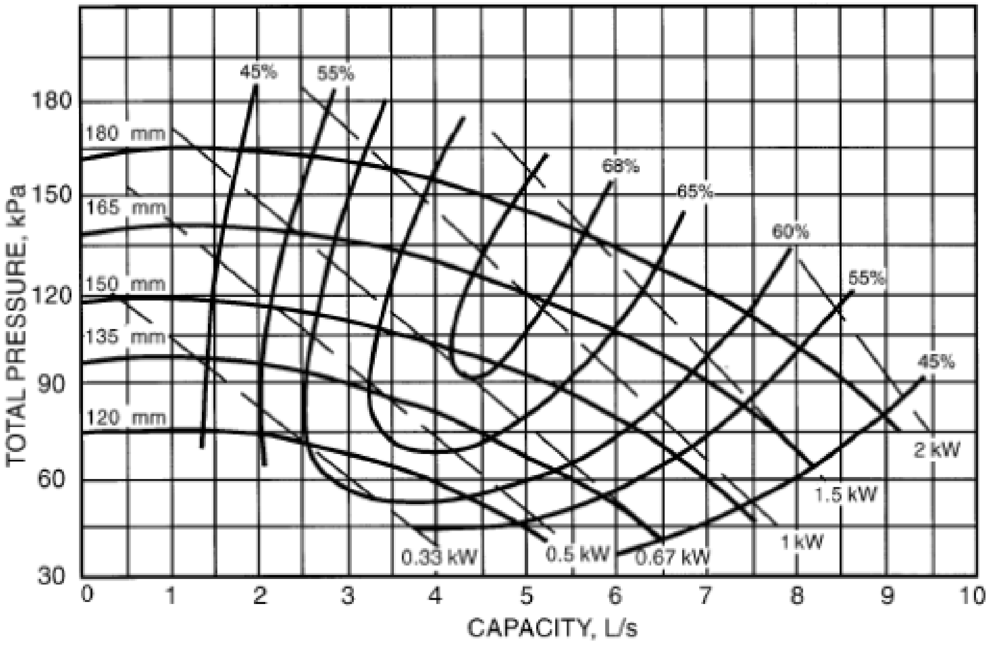


Fig. 3.4. Typical pump performance curve

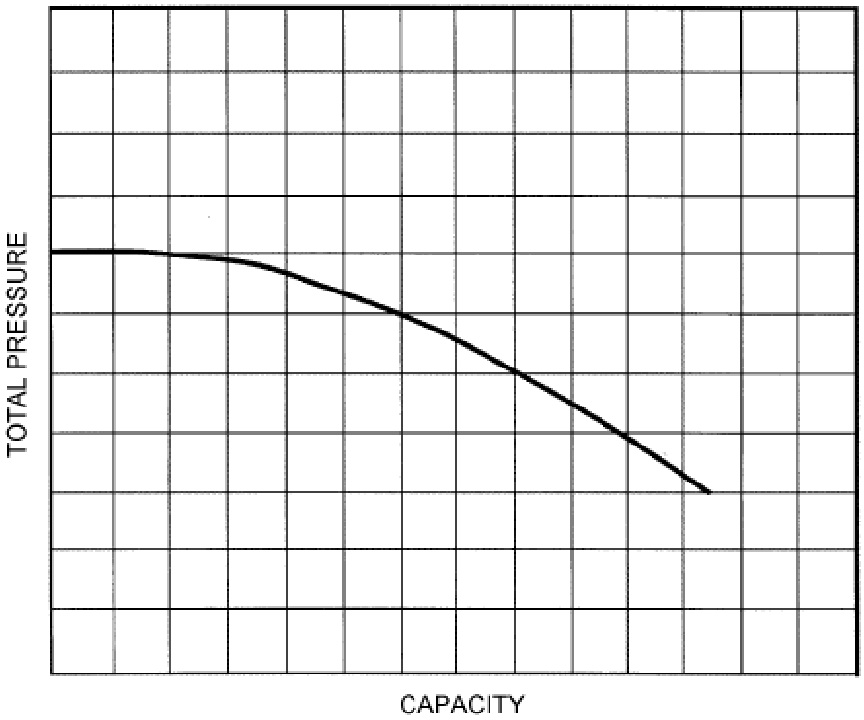


Fig. 3.5. Typical pump curve

Pump curves များသည် တူညီသော အခြေအနေ အောက်တွင် ဒီဇိုင်းအရ ထပ်တူညီမှု ရှိသော pumps အမျိုးမျိုးကို စမ်းသပ်မှု မှ ရရှိလာသော average results များကို ကိုယ်စားပြုသည်။ Fig. 3.5 ကိုကြည့်ပါ။ Flow များလာသည် နှင့် အမျှ discharge pressure သည် ကျဆင်းလာသည်။ တိကျစွာ သတ်မှတ်ထားသော impeller size နှင့် maximum flow အတွင်းတွင် flow requirements အားလုံး၌ motor operation ကို safe ဖြစ်စေရန် အတွက် overload မဖြစ်စေရန် motor ကို ရွေးချယ်လေ့ ရှိသည်။

Pump characteristic curve တွေကို ထပ်မံ၍ flat curve နှင့် steep curve ဟူ၍ နှစ်မျိုး ခွဲခြား ဖော်ပြနိုင်သေးသည်။ Shut-off အချိန် ၌ pressure သည် best efficiency point ၌ ရှိသော pressure ၏ 1.10 to 1.20 အဆ ရှိပါက flat curve ဟုသတ်မှတ် နိုင်သည်။ Flat characteristic curve အမျိုးအစားကို close system တွင် 2-way modulating control valve တွေနှင့် တွဲ၍ အသုံးပြုလေ့ ရှိသည်။ ၎င်း type သည် flow များလာသော်လည်း discharge pressure သည် သိသိသာသာ ကျဆင်းလာမှု မရှိပေ။ ထို့ကြောင့် variable flow တွေအတွက် သင့်တော်သည်။ Steep characteristic curve အမျိုးအစားကိုတော့ cooling tower ကဲ့သို့သော open system များတွင် အသုံးပြုလေ့ ရှိသည်။ ၎င်း type သည် pressure များများနှင့် constant flow အတွက် သင့်လျော်သောကြောင့် ဖြစ်သည်။

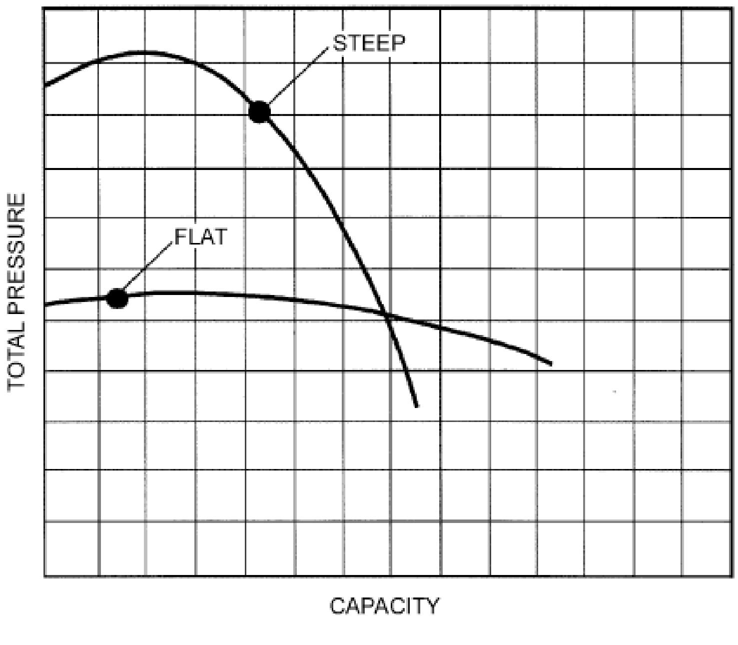


Fig. 3.6. Flat and steep performance curves

Hydronic system curves

Pipe line ထဲတွင် စီးဆင်းသွားသော fluid ၏ friction ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသော pressure drop ကို Darcy-Weisbach equation နှင့် ဖော်ပြနိုင်သည်။

$$\Delta p = f\frac{L}{D}\rho\frac{V^2}{2}$$ ....Equation 1

Hydronic system (pipe, fittings and equipments) တစ်ခု အတွင်းတွင် ဖြစ်ပေါ်သော pressure drop သည် flow နှစ်ထပ်ကိန်း (V2 or Q2) နှင့် တိုက်ရိုက် အချိုးကျသည်ကို equation 1 တွင် တွေ့နိုင်သည်။ လက်တွေ့ စမ်းသပ်ချက်များကတော့ pressure drop သည် $V^{1.85}$ နှင့် $V^{1.9}$ အကြားတွင် ရှိသော တန်ဖိုးနှင့် ပိုပြီး နီးကပ်စွာ အချိုးကျ လျှက် ရှိသည် (သို့) Fig. 3.7 တွင်ပြထားသော parabolic curve နှင့် ပိုပြီး နီးကပ်စွာ အချိုးကျ မှု ရှိသည် ဟုဆိုသည်။ System design (number of terminals and flows, the fittings and valves, mains pipe or branches pipe length တွေကတော့ curve shape ကို ပြောင်းလဲစေမှာတော့ အမှန်ဖြစ်သည်။

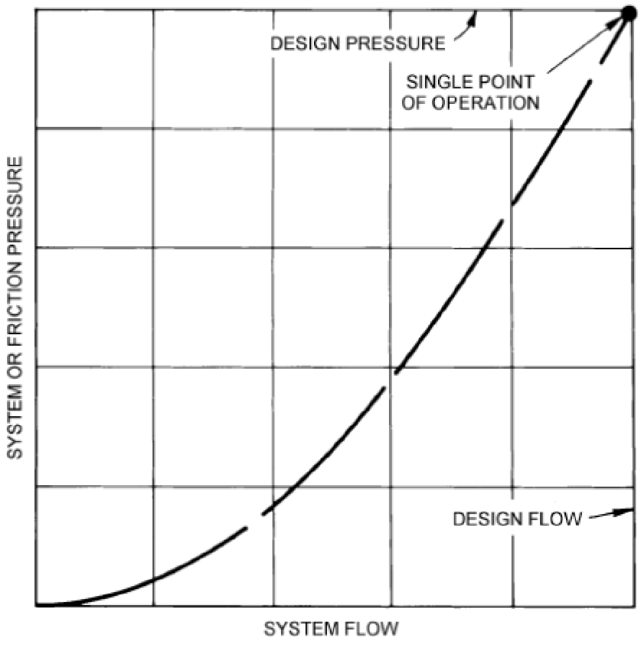


Fig. 3.7. Typical system curve

Equation 1 ကို specific energy form အသွင်ဖြင့် ဖော်ပြပါက

$$\Delta h = \frac{\Delta p}{\rho g} = f\frac{L}{D}\frac{V^2}{2g}$$ ....Equation 2

where

Δh = loss through friction, m (of fluid flowing)
Δp = pressure drop, Pa
ρ = fluid density, kg/m^3
f = friction factor, dimensionless
L = pipe length, m
D = inside diameter of pipe, m
V = fluid average velocity, m/s
g = gravitational acceleration, 9.8 m/s^2

Fig. 3.7 သည် piping system design တစ်ခုတွင် given flow rate နှင့် characteristics များကို ထုတ်ပေးနိုင်ရန် လိုအပ်သော pressure ကို define လုပ်သည်။ လိုချင်သော flow ကို ထုတ်ပေးရန် အတွက် system pressure သည် pipe friction, inside pipe surface roughness, actual fitting losses, actual valve losses, fluid ၏ viscosity ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သော flow resistance, possible system effect losses စတာ တွေကို overcome ဖြစ်ဖို့ လိုသည်။

Pump Power

ရေကို system ထဲတွင် လှည့်လည် နေစေရန် အတွက် ပေးရသော ပါဝါကို water power (P_w) ကိုအောက်ပါ အတိုင်း တွက်နိုင်သည်။

$$P_w = \dot{m}\Delta p / \rho$$ ....Equation 3

where

$\dot{m}$ = mass flow of fluid, kg/s
Δp = pressure increase, Pa

Fig. 3.8 သည် flow နှင့် လိုက်၍ power ဘယ်လို တိုးလာသလဲ ဆိုတာ ပြထားသည်။

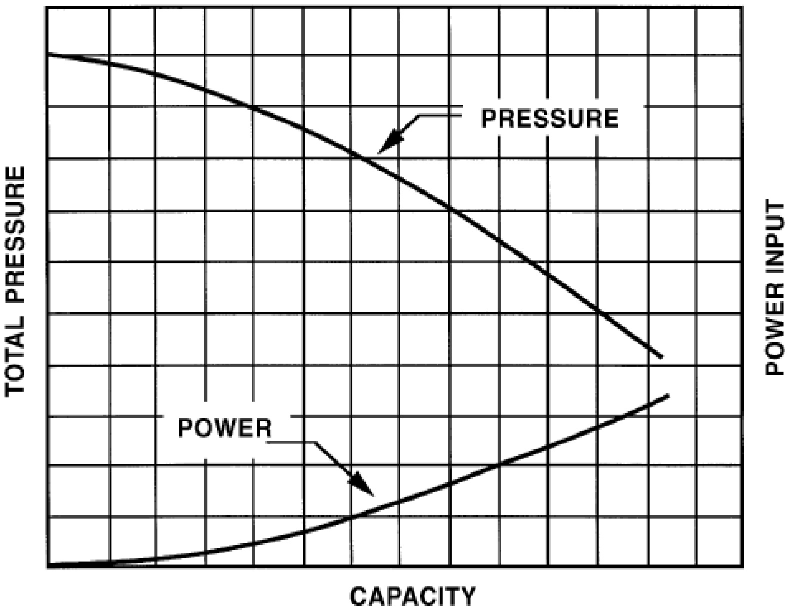


Fig. 3.8. Typical pump water power increase with flow

Pump Efficiency

Pump efficiency သည် output power နှင့် input power တို့၏ အချိုး ဖြစ်သည်။

$$\text{Efficiency} = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} = \frac{P_w}{P_t} \times 100\%$$

....Equation 4

Pump manufacturer များသည် designer များအလွယ်တကူ pump တစ်လုံးကို ရွေးချယ်နိုင်ရန် အတွက် pump curve ပေါ်တွင် given volute and impeller size အတွက် efficiencies အသီးသီးကို plot ချပေးထားသည်။ Fig. 3.9 ကိုကြည့်ပါ။ The best efficiency point (BEP) သည် pump တစ်လုံး၏ optimum efficiency ဖြစ်သည်။ ၎င်း point ၏ အထက် (သို့) အောက်ဖက်တွင် ရှိသော operation သည် စွမ်းဆောင်ရည် သိပ်မကောင်းပေ။

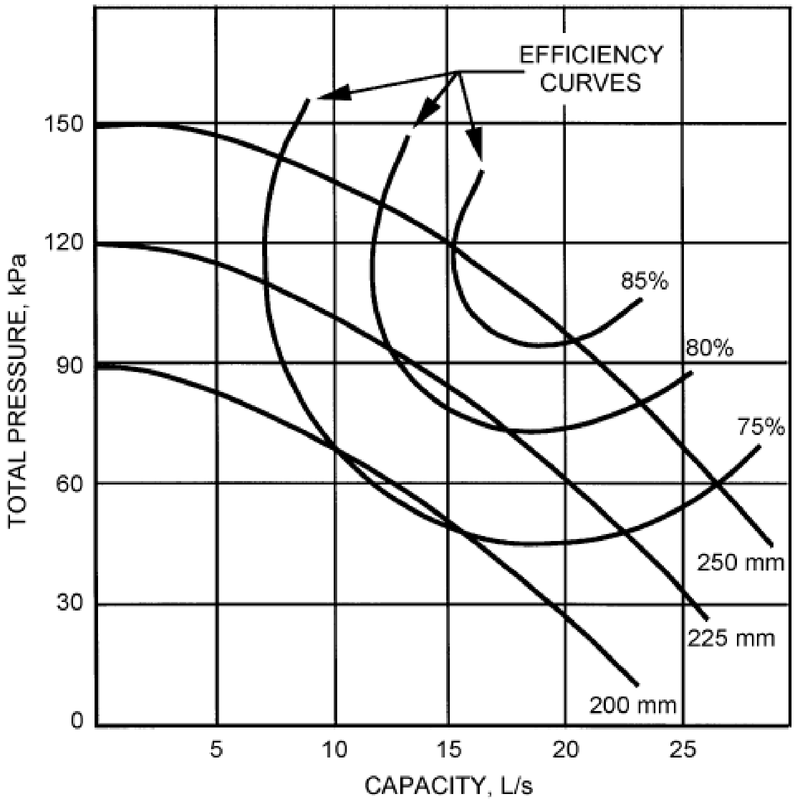


Fig. 3.9. Pump efficiency curves

Affinity Law

1. Flow (capacity) သည် rotating speed နှင့် အချိုးကျ ပြောင်းလဲသည် (peripheral speed of impeller ကိုဆိုလိုသည်)။

2. Pressure သည် rotating speed နှစ်ထပ် နှင့် အချိုးကျ ပြောင်းလဲသည်။

3. Power သည် rotating speed သုံးထပ် နှင့် အချိုးကျ ပြောင်းလဲသည်။

Affinity law သည် အမျိုးမျိုးသော rotating speed (သို့) impeller diameter တို့တွင် ရရှိနိုင်သော pump ၏ performance ကို ခန့်မှန်းရာတွင် အသုံးဝင်သည်။

Table 1 Pump Affinity Laws

Function	Speed Change	Impeller Diameter Change
Flow	$Q_2 = Q_1\left(\frac{N_2}{N_1}\right)$	$Q_2 = Q_1\left(\frac{D_2}{D_1}\right)$
Pressure	$p_2 = p_1\left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2$	$p_2 = p_1\left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2$
Power	$P_2 = P_1\left(\frac{N_2}{N_1}\right)^3$	$P_2 = P_1\left(\frac{D_2}{D_1}\right)^3$

Darcy-Weisbach Equation

Pump head တွက်ရန် အတွက် pressure drop calculation မှစရသည်။ Pipe line ထဲတွင် စီးဆင်းသွားသော fluid ၏ friction ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသော pressure drop ကို Darcy-Weisbach equation နှင့် တွက်ယူနိုင်သည် ဆိုတာကို အထက်တွင် equation 1 အနေနဲ့ ဖော်ပြ ပြီးဖြစ်သည်။

$$\Delta p = f\frac{L}{D}\rho\frac{V^2}{2}$$ ....Equation 1

Pipe size နှင့် flow rate ကို သိရှိထားပြီး ဖြစ်လျှင် မသိကိန်း ဆို၍ friction factor (f) သာကျန်တော့သည်။

Friction factor သည် pipe roughness ε, inside diameter D နှင့် parameter Re, Reynolds number တို့၏ function သာဖြစ်သည်။

$$\mathrm{Re} = DV\rho/\mu$$ ....Equation 5

where

Re = Reynolds number, dimensionless
ε = absolute roughness of pipe wall, m
μ = dynamic viscosity of fluid, Pa·s

Friction factor ကို Moody Chart တွင် Reynolds number နှင့် parameter ε/D တို့၏ function အနေနဲ့ တင်ပြလေ့ ရှိသည်။ အောက်တွင် chart ကို ကြည့်ပါ။

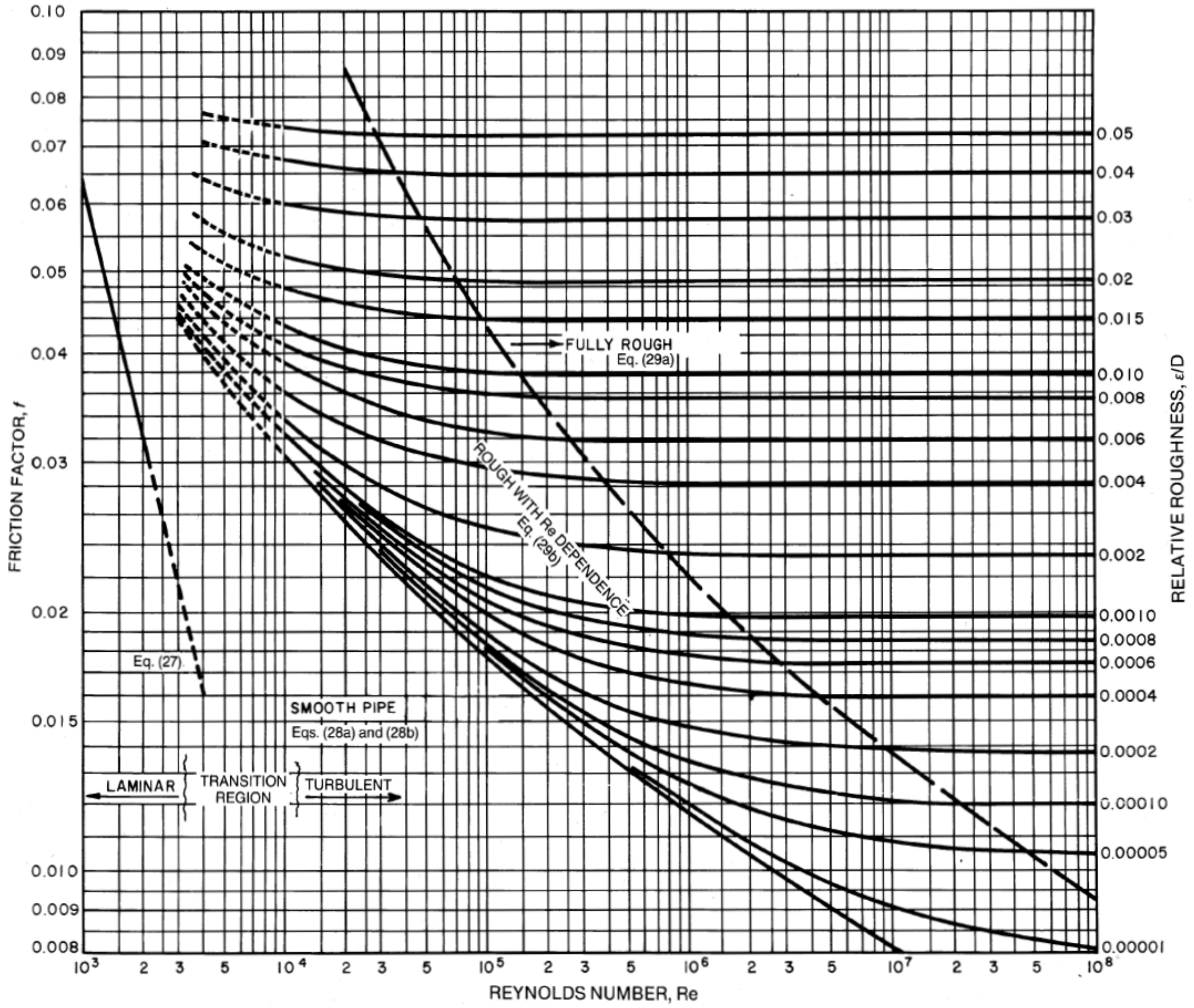


Fig. 3.10. Relationship between friction factor and Reynolds number

Turbulent flow regime အတွက် အသုံးဝင်သော တခြား equation မှာ Colebrook equation ဖြစ်သည်။

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.74 - 2\log\left(\frac{2\varepsilon}{D} + \frac{18.7}{\mathrm{Re}\sqrt{f}}\right)$$

....Equation 6

Equation 6 သည် limiting cases တွေကို ဖော်ပြရာတွင် ပို၍ အသုံးဝင်သည်။ ဥပမာ - ε/D သည် သုည သို့ချဉ်းကပ် သွားသောအခါ (smooth limit) နောက် terms ဖြစ်တဲ့ 18.7/Re$\sqrt{f}$ သည်သာ အဓိက ကျတော့သည်။ ε/D သည် သုည သို့ချဉ်းကပ် သွားရခြင်းမှာ ပိုက်အတွင်း မျက်နှာပြင် သည် အလွန် ချောမွေ့နေသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ Effective roughness တန်ဖိုး (ε) ကိုအောက်တွင် ကြည့်ပါ။ Fully rough limit ဖြစ်သွားလျှင်တော့ ε/D တန်ဖိုးသည် မြင့်လာမည် ဖြစ်ပြီး ပထမ terms 2 ε/D တန်ဖိုးက ပို၍ အဓိက ကျသော terms ဖြစ်ပေလိမ့်မည်။

Colebrook equation တွင် friction factor တန်ဖိုးသည် equation ၏နှစ်ဖက် စလုံးတွင် ပါဝင် နေသောကြောင့် iteration method နှင့်ရှင်းမှသာ ပြေလည်ပေလိမ့်မည်။ Moody chart ကိုသာ ကြည့်၍ friction factor ကိုရယူ တွက်ချက်တာ များသည်။

Table 2. Effective Roughness of Conduit Surfaces

Material	ε, ft
Commercially smooth brass, lead, copper, or plastic pipe	0.000005
Steel and wrought iron	0.00015
Galvanized iron or steel	0.0005
Cast iron	0.00085

Valves and Fittings Losses

နောက်ထပ် valves and fittings တွေကြောင့် ဖြစ်သော pressure drop ကိုတွက်ဖို့ လိုသည်။ ၎င်းတို့ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သော pressure losses သည် ပိုက် friction သက်သက်ကြောင့် ဖြစ်တာထက် ပို၍ များသည်။ ထို pressure loss အတွက် အောက်ပါ equation ကို အသုံးပြု၍ တွက်နိုင်သည်။

$$\Delta p = K\rho\left(\frac{V^2}{2}\right) \quad \text{or} \quad \Delta h = K\left(\frac{V^2}{2g}\right)$$ ....Equation 7

Where, K = geometry- and size-dependent loss coefficient (Tables 3 & 4)

Table 3. K Factors - Threaded Pipe Fittings

Nominal Pipe Dia., mm	90° Standard Elbow	90° Long-Radius Elbow	45° Elbow	Return Bend	Tee-Line	Tee-Branch	Globe Valve	Gate Valve	Angle Valve	Swing Check Valve	Bell Mouth Inlet	Square Inlet	Projected Inlet
10	2.5	—	0.38	2.5	0.90	2.7	20	0.40	—	8.0	0.05	0.5	1.0
15	2.1	—	0.37	2.1	0.90	2.4	14	0.33	—	5.5	0.05	0.5	1.0
20	1.7	0.92	0.35	1.7	0.90	2.1	10	0.28	6.1	3.7	0.05	0.5	1.0
25	1.5	0.78	0.34	1.5	0.90	1.8	9	0.24	4.6	3.0	0.05	0.5	1.0
32	1.3	0.65	0.33	1.3	0.90	1.7	8.5	0.22	3.6	2.7	0.05	0.5	1.0
40	1.2	0.54	0.32	1.2	0.90	1.6	8	0.19	2.9	2.5	0.05	0.5	1.0
50	1.0	0.42	0.31	1.0	0.90	1.4	7	0.17	2.1	2.3	0.05	0.5	1.0
65	0.85	0.35	0.30	0.85	0.90	1.3	6.5	0.16	1.6	2.2	0.05	0.5	1.0
80	0.80	0.31	0.29	0.80	0.90	1.2	6	0.14	1.3	2.1	0.05	0.5	1.0
100	0.70	0.24	0.28	0.70	0.90	1.1	5.7	0.12	1.0	2.0	0.05	0.5	1.0

Source: Engineering Data Book (Hydraulic Institute 1979).

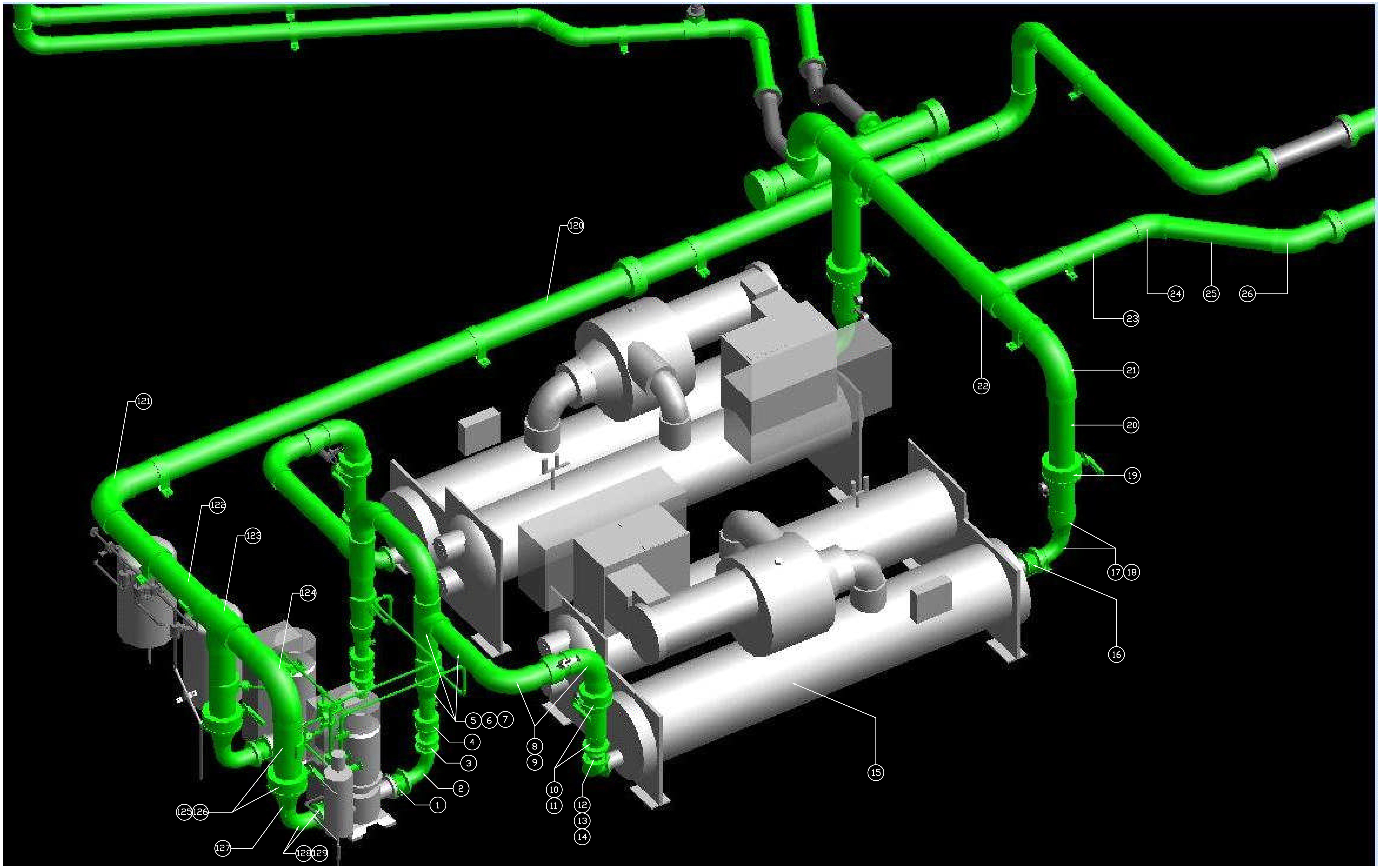
Table 4. K Factors - Flanged Welded Pipe Fittings

Nominal Pipe Dia., mm	90° Standard Elbow	90° Long-Radius Elbow	45° Long-Radius Elbow	Return Bend Standard	Return Bend Long-Radius	Tee-Line	Tee-Branch	Globe Valve	Gate Valve	Angle Valve	Swing Check Valve
25	0.43	0.41	0.22	0.43	0.43	0.26	1.0	13	—	4.8	2.0
32	0.41	0.37	0.22	0.41	0.38	0.25	0.95	12	—	3.7	2.0
40	0.40	0.35	0.21	0.40	0.35	0.23	0.90	10	—	3.0	2.0
50	0.38	0.30	0.20	0.38	0.30	0.20	0.84	9	0.34	2.5	2.0
65	0.35	0.28	0.19	0.35	0.27	0.18	0.79	8	0.27	2.3	2.0
80	0.34	0.25	0.18	0.34	0.25	0.17	0.76	7	0.22	2.2	2.0
100	0.31	0.22	0.18	0.31	0.22	0.15	0.70	6.5	0.16	2.1	2.0
150	0.29	0.18	0.17	0.29	0.18	0.12	0.62	6	0.10	2.1	2.0
200	0.27	0.16	0.17	0.27	0.15	0.10	0.58	5.7	0.08	2.1	2.0
250	0.25	0.14	0.16	0.25	0.14	0.09	0.53	5.7	0.06	2.1	2.0
300	0.24	0.13	0.16	0.24	0.13	0.08	0.50	5.7	0.05	2.1	2.0

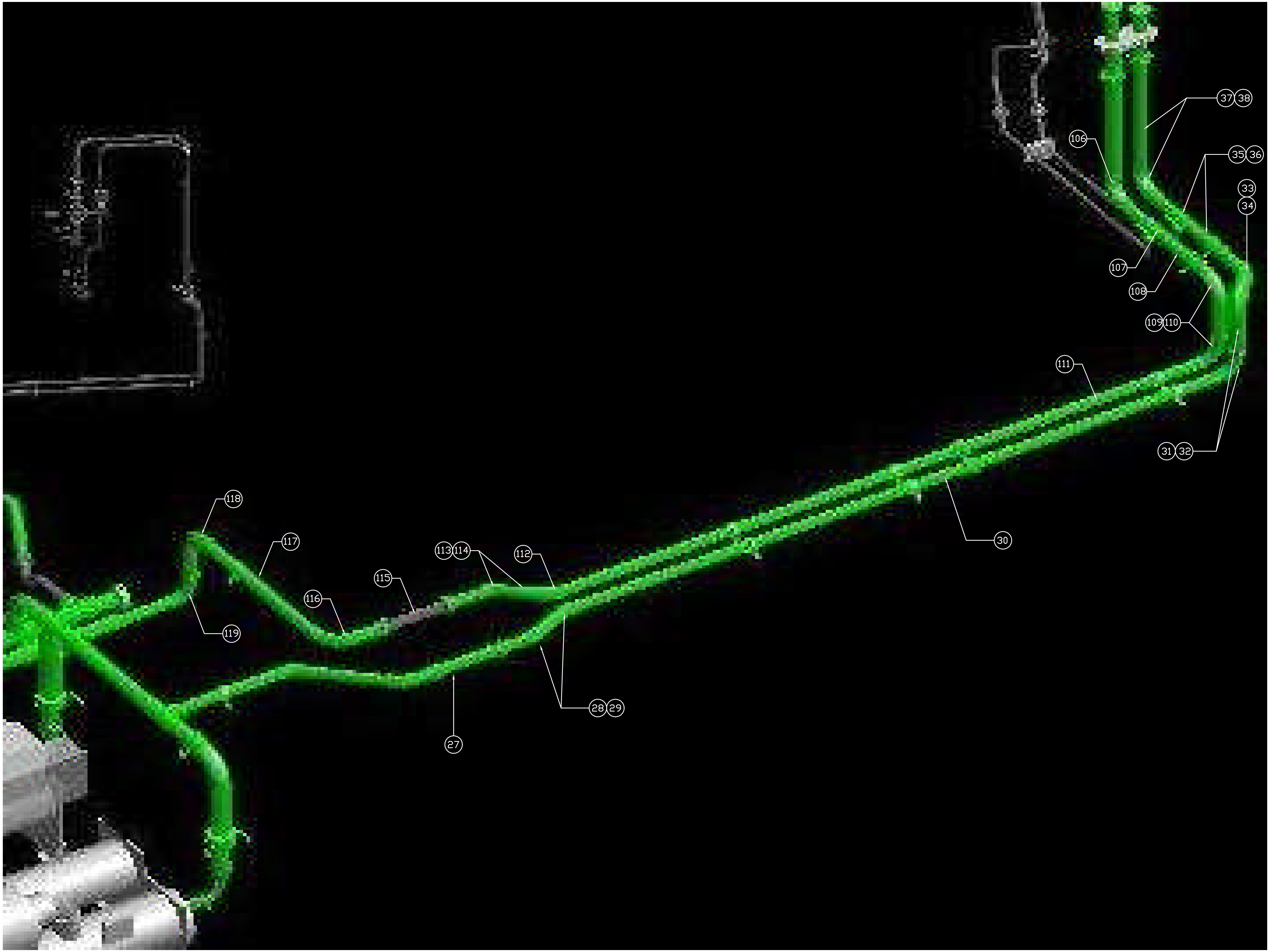
Source: Engineering Data Book (Hydraulic Institute 1979).

Example for Pressure Drop Calculation for Pump Selection

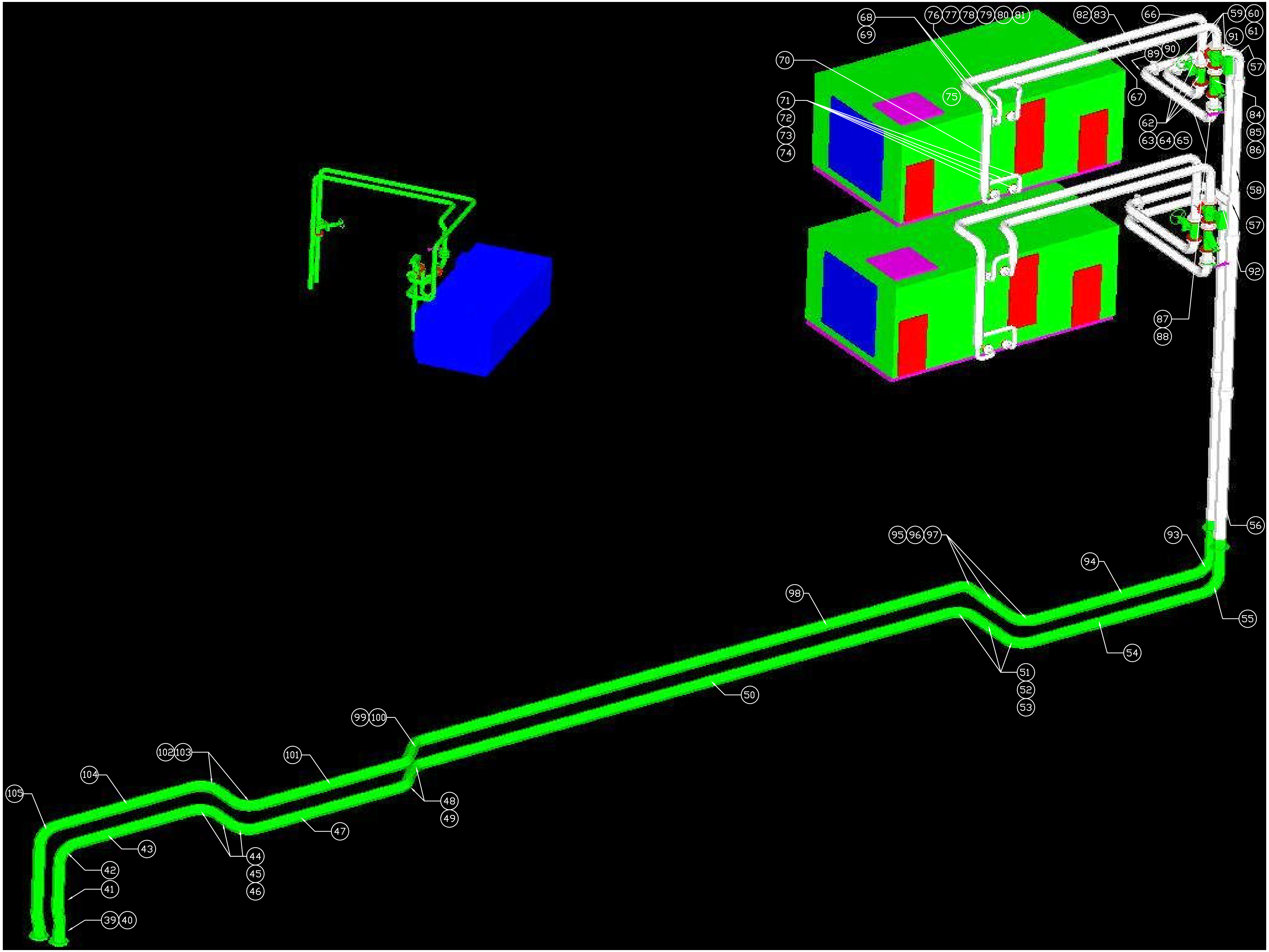
Chilled water pump ကို selection လုပ်ရန် အတွက် system pressure drop ကို အရင် တွက်ချက် ရပေမည်။ အထက်တွင် ဖော်ပြခဲ့သော Darcy-Weisbach equation နှင့် valves and fittings pressure losses တွေကို တွက်ရမည် ဖြစ်သည်။ Close loop ဖြစ်သည့် အတွက် supply ကော return pipes တစ်လျှောက် တွက်ရပေမည်။ အောက်တွင် ကြည့်ပါ။ Pipe, fitting, valve တစ်ခုချင်းစီ အတွက် စဉ်းစား တွက်ချက်ထားသည်။ Equipment (ဥပမာ chiller) အတွက် pressure drop ကို manufacturer ဆီမှ ရသည်။



120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26



37 38
106
35 36
33
34
107
108
109 110
111
31 32
118
117
113 114
112
30
115
116
119
28 29
27



68
69
70
71
72
73
74
75
76 77 78 79 80 81
82 83
66
59 60
61
91
89 90
57
67
84
85
86
62
63 64 65
58
57
92
87
88
56
93
94
95 96 97
98
55
54
51
52
53
50
99 100
48
49
101
102 103
104
105
47
43
44
45
46
42
41
39 40

SUPPLY PIPE PRESSURE LOSS CALCULATION

System: Ductwork Element		Pipe size Dia (m)	Flow Rate (m^3/hr)	Flow Rate (m^3/s)	Velocity (m/s)	Length (m)	Reynolds Number (Re)	Friction factor (f)	Valves & Fittings Loss Coeff. (K)	Loss (Pa)
1	Bellow	0.13	288	0.080	6.52				0.05	953.4
2	Elbow (90°)	0.13	288	0.080	6.52				0.18	3813.5
3	Check Valve	0.13	288	0.080	6.52				2.00	42371.8
4	Butterfly valve	0.13	288	0.080	6.52				0.20	4237.2
5	Taper (125x200)	0.20	288	0.080	2.55				0.37	1196.9
6	Tee-branch	0.20	288	0.080	2.55				0.58	1875.0
7	Pipe	0.20	288	0.080	2.55	0.90	749314	0.012		176.8
8	Elbow (90°)	0.20	288	0.080	2.55				0.16	517.2
9	Elbow (90°)	0.20	288	0.080	2.55				0.16	517.2
10	Butterfly valve	0.20	288	0.080	2.55				0.20	646.5
11	Taper (150x200)	0.20	288	0.080	2.55				0.19	614.6
12	Bellow	0.15	288	0.080	4.52				0.05	459.8
13	Elbow (90°)	0.15	288	0.080	4.52				0.18	1839.1
14	Elbow (45°)	0.15	288	0.080	4.52				0.19	1941.2
15	Evaporator									202958.0
16	Bellow	0.15	288	0.080	4.52				0.05	459.8
17	Elbow (90°)	0.15	288	0.080	4.52				0.18	1839.1
18	Taper (150x250)	0.25	288	0.080	1.63				0.40	530.0
19	Butterfly valve	0.25	288	0.080	1.63				0.20	264.8
20	Pipe	0.25	288	0.080	1.63	1.00	599451	0.013		67.0
21	Elbow (90°)	0.25	288	0.080	1.63				0.14	185.4
22	Tee-branch	0.25	288	0.080	1.63				0.53	701.8
23	Pipe	0.20	230	0.064	2.03	1.40	598879	0.013		182.8
24	Elbow (45°)	0.20	230	0.064	2.03				0.17	351.0
25	Pipe	0.20	230	0.064	2.03	1.00	598879	0.013		130.5
26	Elbow (45°)	0.20	230	0.064	2.03				0.17	351.0
27	Pipe	0.20	230	0.064	2.03	1.50	598879	0.013		195.8
28	Elbow (45°)	0.20	230	0.064	2.03				0.17	351.0
29	Elbow (45°)	0.20	230	0.064	2.03				0.17	351.0
30	Pipe	0.20	230	0.064	2.03	9.50	598879	0.013		1240.2
31	Elbow (90°)	0.20	230	0.064	2.03				0.16	330.4
32	Pipe	0.20	230	0.064	2.03	2.80	598879	0.013		365.5
33	Elbow (90°)	0.20	230	0.064	2.03				0.16	330.4
34	Elbow (45°)	0.20	230	0.064	2.03				0.17	351.0
35	Pipe	0.20	230	0.064	2.03	2.00	598879	0.013		261.1
36	Tee-branch	0.20	197	0.055	1.74				0.58	877.9
37	Elbow (90°)	0.20	197	0.055	1.74				0.16	242.2
38	Pipe	0.20	197	0.055	1.74	3.30	512730	0.013		324.6
39	Elbow (15°)	0.20	197	0.055	1.74				0.10	151.4
40	Elbow (15°)	0.20	197	0.055	1.74				0.10	151.4
41	Pipe	0.20	197	0.055	1.74	0.90	512730	0.013		88.5
42	Elbow (90°)	0.20	197	0.055	1.74				0.16	242.2
43	Pipe	0.20	197	0.055	1.74	2.30	512730	0.013		226.3
44	Elbow (90°)	0.20	197	0.055	1.74				0.16	242.2
45	Pipe	0.20	197	0.055	1.74	0.38	512730	0.013		36.9
46	Elbow (90°)	0.20	197	0.055	1.74				0.16	242.2
47	Pipe	0.20	197	0.055	1.74	2.80	512730	0.013		275.4
48	Elbow (45°)	0.20	197	0.055	1.74				0.17	257.3
49	Elbow (45°)	0.20	197	0.055	1.74				0.17	257.3
50	Pipe	0.20	197	0.055	1.74	10.50	512730	0.013		1032.9
51	Elbow (90°)	0.20	99	0.027	0.87				0.18	68.1
52	Pipe	0.20	197	0.055	1.74	1.00	512730	0.013		98.4
53	Elbow (90°)	0.20	197	0.055	1.74				0.18	272.5
54	Pipe	0.20	197	0.055	1.74	3.50	512730	0.013		344.3

55	Elbow (90°)	0.20	197	0.055	1.74				0.18	272.5
56	Pipe	0.20	197	0.055	1.74	7.60	512730	0.013		747.6
57	Tee-branch	0.20	197	0.055	1.74				0.58	877.9
58	Pipe	0.15	99	0.027	1.55	2.60	341820	0.014		289.9
59	Elbow (90°)	0.15	99	0.027	1.55				0.18	215.3
60	Pipe	0.15	99	0.027	1.55	1.00	341820	0.014		111.5
61	Elbow (90°)	0.15	99	0.027	1.55				0.18	215.3
62	Pipe	0.15	99	0.027	1.55	0.65	341820	0.014		72.5
63	Elbow (90°)	0.15	99	0.027	1.55				0.18	215.3
64	Globe Valve	0.15	99	0.027	1.55				6.00	7175.7
65	Tee-branch	0.15	99	0.027	1.55				0.62	741.5
66	Elbow (90°)	0.15	99	0.027	1.55				0.18	215.3
67	Pipe	0.15	99	0.027	1.55	3.90	341820	0.014		434.9
68	Elbow (90°)	0.15	99	0.027	1.55				0.18	215.3
69	Elbow (90°)	0.15	99	0.027	1.55				0.18	215.3
70	Pipe	0.15	99	0.027	1.55	1.40	341820	0.014		156.1
71	Tee-branch	0.15	99	0.027	1.55				0.62	741.5
72	Pipe	0.075	49	0.014	3.10	0.40	341820	0.014		356.8
73	Elbow (90°)	0.075	49	0.014	3.10				0.27	1291.6
74	Elbow (90°)	0.075	49	0.014	3.10				0.27	1291.6
75	Cooling Coil									44190.0
Total (Supply Pipe)										**338433.1**
								Total		**338433**
									Head Loss, m	**34.5**

RETURN PIPE PRESSURE LOSS CALCULATION

System: Ductwork Element		Pipe size Dia (m)	Flow Rate (m^3/hr)	Flow Rate (m^3/s)	Velocity (m/s)	Length (m)	Reynolds Number (Re)	Friction factor (f)	Valves & Fittings Loss Coeff. (K)	Loss (Pa)
76	Elbow (90°)	0.075	49	0.014	3.10				0.27	1291.6
77	Pipe	0.075	49	0.014	3.10	0.30	341820	0.014		267.6
78	Elbow (90°)	0.075	49	0.014	3.10				0.27	1291.6
79	Pipe	0.075	49	0.014	3.10	0.19	341820	0.014		169.5
80	Elbow (90°)	0.075	49	0.014	3.10				0.27	1291.6
81	Tee-branch	0.15	99	0.027	1.55				0.62	741.5
82	Pipe	0.15	99	0.027	1.55	3.70	341820	0.014		412.6
83	Elbow (90°)	0.15	99	0.027	1.55				0.18	215.3
84	Butterfly valve	0.15	99	0.027	1.55				0.20	239.2
85	Balancing Valve	0.15	99	0.027	1.55				6.00	7175.7
86	3-way valve									800.0
87	Elbow (90°)	0.15	99	0.027	1.55				0.18	215.3
88	Pipe	0.15	99	0.027	1.55	1.70	341820	0.014		189.6
89	Elbow (90°)	0.15	99	0.027	1.55				0.18	215.3
90	Pipe	0.15	99	0.027	1.55	1.30	341820	0.014		145.0
91	Elbow (90°)	0.15	99	0.027	1.55				0.18	215.3
92	Tee-branch	0.20	197	0.055	1.74				0.58	877.9
93	Elbow (90°)	0.20	197	0.055	1.74				0.18	272.5
94	Pipe	0.20	197	0.055	1.74	3.20	512730	0.013		314.8
95	Elbow (45°)	0.20	197	0.055	1.74				0.17	257.3
96	Pipe	0.20	197	0.055	1.74	0.30	512730	0.013		29.5
97	Elbow (45°)	0.20	197	0.055	1.74				0.17	257.3
98	Pipe	0.20	197	0.055	1.74	10.80	512730	0.013		1062.4
99	Elbow (45°)	0.20	197	0.055	1.74				0.17	257.3
100	Elbow (45°)	0.20	197	0.055	1.74				0.17	257.3
101	Pipe	0.20	197	0.055	1.74	2.40	512730	0.013		236.1

102	Elbow (90°)	0.20	197	0.055	1.74				0.18	272.5
103	Elbow (90°)	0.20	197	0.055	1.74				0.18	272.5
104	Pipe	0.20	197	0.055	1.74	2.70	512730	0.013		265.6
105	Elbow (90°)	0.20	197	0.055	1.74				0.18	272.5
106	Elbow (90°)	0.20	197	0.055	1.74				0.18	272.5
107	Tee-branch	0.20	197	0.055	1.74				0.58	877.9
108	Pipe	0.25	280	0.078	1.58	2.50	582794	0.013		159.0
109	Elbow (90°)	0.25	288	0.080	1.63				0.14	185.4
110	Elbow (90°)	0.25	288	0.080	1.63				0.14	185.4
111	Pipe	0.25	280	0.078	1.58	9.30	582794	0.013		591.5
112	Elbow (45°)	0.25	280	0.078	1.58				0.17	212.8
113	Pipe	0.25	280	0.078	1.58	0.40	582794	0.013		25.4
114	Elbow (45°)	0.25	280	0.078	1.58				0.17	212.8
115	Pipe	0.25	280	0.078	1.58	1.80	582794	0.013		114.5
116	Elbow (90°)	0.25	288	0.080	1.63				0.14	185.4
117	Pipe	0.25	280	0.078	1.58	2.50	582794	0.013		159.0
118	Elbow (90°)	0.25	288	0.080	1.63				0.14	185.4
119	Elbow (90°)	0.25	288	0.080	1.63				0.14	185.4
120	Pipe	0.25	280	0.078	1.58	11.00	582794	0.013		699.7
121	Elbow (90°)	0.25	288	0.080	1.63				0.14	185.4
122	Pipe	0.25	280	0.078	1.58	3.60	582794	0.013		229.0
123	Tee-branch	0.25	288	0.080	1.63				0.53	701.8
124	Elbow (90°)	0.25	288	0.080	1.63				0.14	185.4
125	Pipe	0.25	280	0.078	1.58	0.70	582794	0.013		44.5
126	Butterfly valve	0.13	288	0.080	6.52				0.20	4237.2
127	Taper (150x250)	0.25	288	0.080	1.63				0.40	530.0
128	Elbow (90°)	0.15	288	0.080	4.52				0.18	1839.1
129	Bellow	0.15	288	0.080	4.52				0.05	459.8
Total (Return Pipe)										**32445.9**
Total (Supply Pipe)										**338433.1**
Total (Whole System)										**370879.0**
									Head Loss, m	**37.8**

The capacity of selected pump is 40 m Head
Therefore, the selected pump is suitable for the system.

Note :
(a) Reynolds Number, $Re = \rho VD / \mu$
(b) Pressure Drop Equations derived from ASHRAE Fundamental 2001 :-

Pipe Pressure Loss :- $\Delta p = f\,(L/D)\,(\rho V^2/2)$ *- Darcy-Weisbach Equation*

Valves & Fittings Pressure Loss :- $\Delta p = K\,\rho(V^2/2)$

where,

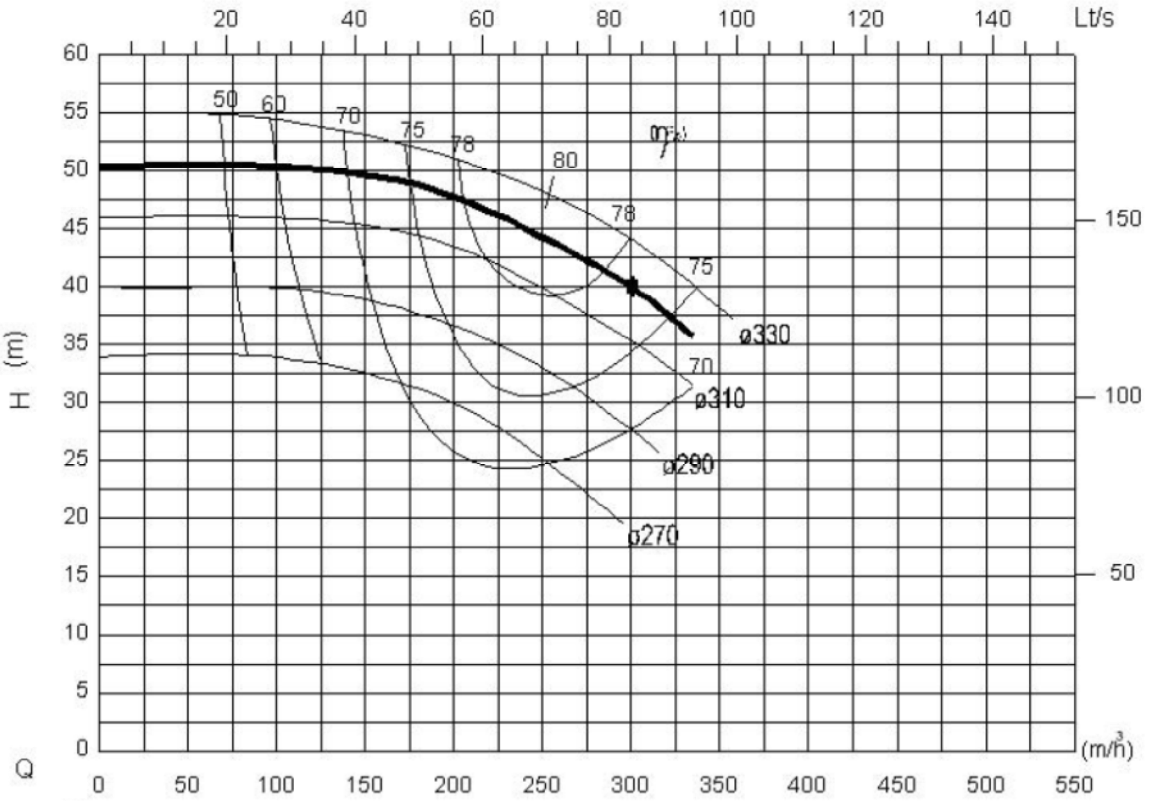
Δp = pressure drop, Pa
f = friction factor, dimensionless (from Moody chart, Figure 13 in Chapter 2, ASHRAE)
L = length of pipe, m
D = internal diameter of pipe, m
ρ = water density at 38°C, 998 kg/m³
V = average velocity, m/s
K = geometry- and size-dependent loss coeefficient (Tables 1 through 5 in Chapter 35, ASHRAE)
μ = dynamic viscosity of water, 38°C, 0.678 x 10^{-3} kg/m.s

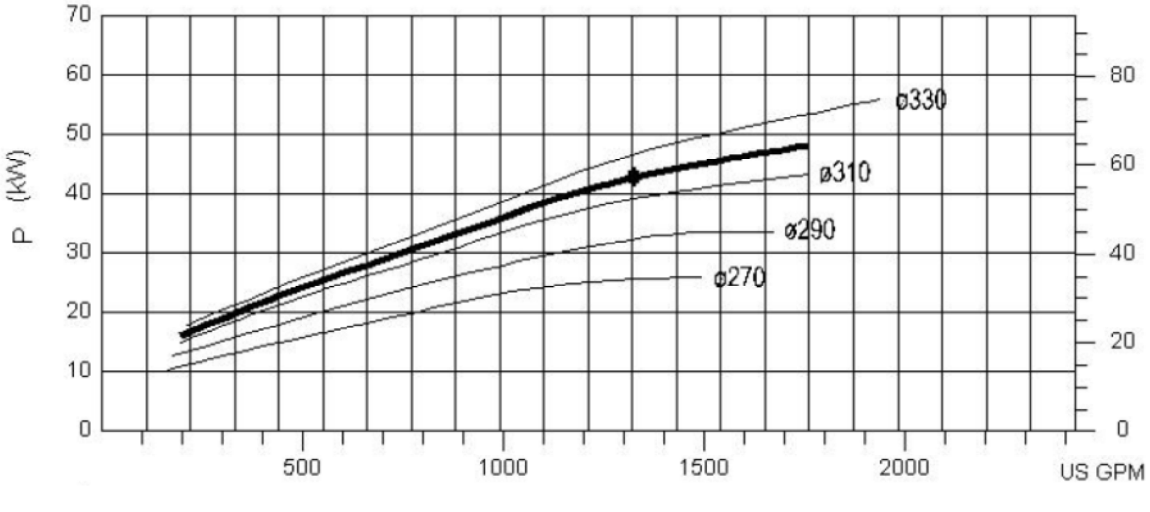
အထက်ပါ equation ကိုတွက်ရန် pipe size သည် သိပြီးသား ဖြစ်သည်ဟု ယူဆသည်။ Chilled water P&ID တွင် pipe size ပါ တစ်ပါတည်း suggest လုပ်ပါက modeling လုပ်လို့ရပြီ ဖြစ်သည်။ Water flow ကတော့ AHU အသီးသီး အတွက် ဘယ်လောက် လိုတယ် ဆိုတာ သိပြီး ဖြစ်သည်။ ARI rating အရ chilled water flow 2.4 gpm per ton ဖြစ်၍ cooling water အတွက် 3 gpm per ton ဖြစ်သည်။ Capacity (kW) ဘယ်လောက် လိုတယ် ဆိုတာ cooling load တွက်စဉ်က ရထားပြီး ဖြစ်သည်။ AHU manufacturer နှင့် ထပ်၍ စစ်ကြည့်နိုင်သည်။ လိုအပ်သော capacity နှင့် cooling coil size တွင်flow rate ဘယ်လောက် လိုသည် ဆိုတာ ကို cooling coil datasheet တွင်လည်း တွေ့နိုင်သည်။ ပိုက်ဆိုဒ် ကို 2 m/s ထက်များအောင် sizing မလုပ်ကြပေ။

သင်္ဘောကျင်းက modeling လုပ်ကို လုပ်ရသည်။ ဖြစ်နိုင်သမျှ equipments တွေ၊ ပိုက်တွေ၊ cable တွေ အကုန် 3D modelling လုပ်ရသည်။ Clash check ဟုခေါ်သော တခြား disciplines တွေနှင့် install လုပ်သော အခါ မငြိစေရန် အတွက်ကြိုတင် ရှင်းထားနိုင်သည်။ 3D modelling မှ working drawing (autocad) convert လုပ်ပြီး install လုပ်ရန် အတွက် drawing ပါတစ်ခါတည်း ရသည်။

အထက်ပါ ဥပမာ calculation တွင် safety factor ကို အသုံးပြု မထားပေ။ ပုံမှန်အားဖြင့် 10% လောက်တော့ အနည်းဆုံး ယူလေ့ ရှိကြသည်။ တွက်၍ ရတာက 38m လောက်ရှိ၍ ရွေးထားသော pump ၏ head သည် 40m ဖြစ်သည့် အတွက် အတော်လေး risk ရှိသည်။ သို့သော်လည်း ၎င်း ပန့်သည် ကောင်းကောင်းမွန်မွန် နှင့် desired condition အတိုင်း အလုပ်လုပ်လျှက် ရှိသည်။ Undersize ဖြစ်မသွားခဲ့ပါ။ များသောအားဖြင့် စိုးရိမ်စိတ်ကြောင့် safety factor ယူကာ တွက်ကြ သဖြင့် လက်တွေ့တွင် oversized pump တွေသာ တွေ့ရပေသည်။

Head loss သိပြီဆိုတော့ ထုတ်လုပ်သူရဲ့ pump curve ကိုကြည့်ပြီး ကိုယ်လိုချင်တာနဲ့ အနီးစပ်ဆုံး ဖြစ်သော system အတွက် အသင့်လျော်ဆုံး ဖြစ်သော pump တစ်လုံးကို ရွေးချယ် နိုင်ပြီ ဖြစ်သည်။ အောက်တွင် ဖော်ပြထားသော pump curve တွင် flow rate အနေနဲ့ အနီးစပ်ဆုံး 300m3/h တွင် head သည် 40m ရှိသည့် အတွက် ရွေးချယ်ရန် သင့်လျော်ပေသည်။ Efficiency သည်လည်း 77% လောက်ရှိတဲ့ အတွက် ကောင်းတယ်ဟု ဆိုရမှာပါ။


Lt/s
20
40
60
80
100
120
140
H (m)
H(ft)
50
60
70
75
78
80
78
75
70
ø330
ø310
ø290
ø270
(m³/h)
Q


P (kW)
P (HP)
ø330
ø310
ø290
ø270
US GPM

300m3/h သည် US GPM (gallon per minute) 1320 လောက်ရှိတဲ့ အတွက် power curve တွင်ကြည့်ပါက 42 (or) 43 kW လောက်ရှိသည်။ Impeller diameter ကတော့ 320mm ရှိသည်။ Calculation ကိုပြန်ကြည့် မည်ဆိုလျှင် impeller power (or) water power ကိုတွက်ရန် equation 3 ကို သုံးရပေမည်။

$$P_w = m^{\cdot} \Delta p / \rho$$

$$m^{\cdot} = \rho Q$$

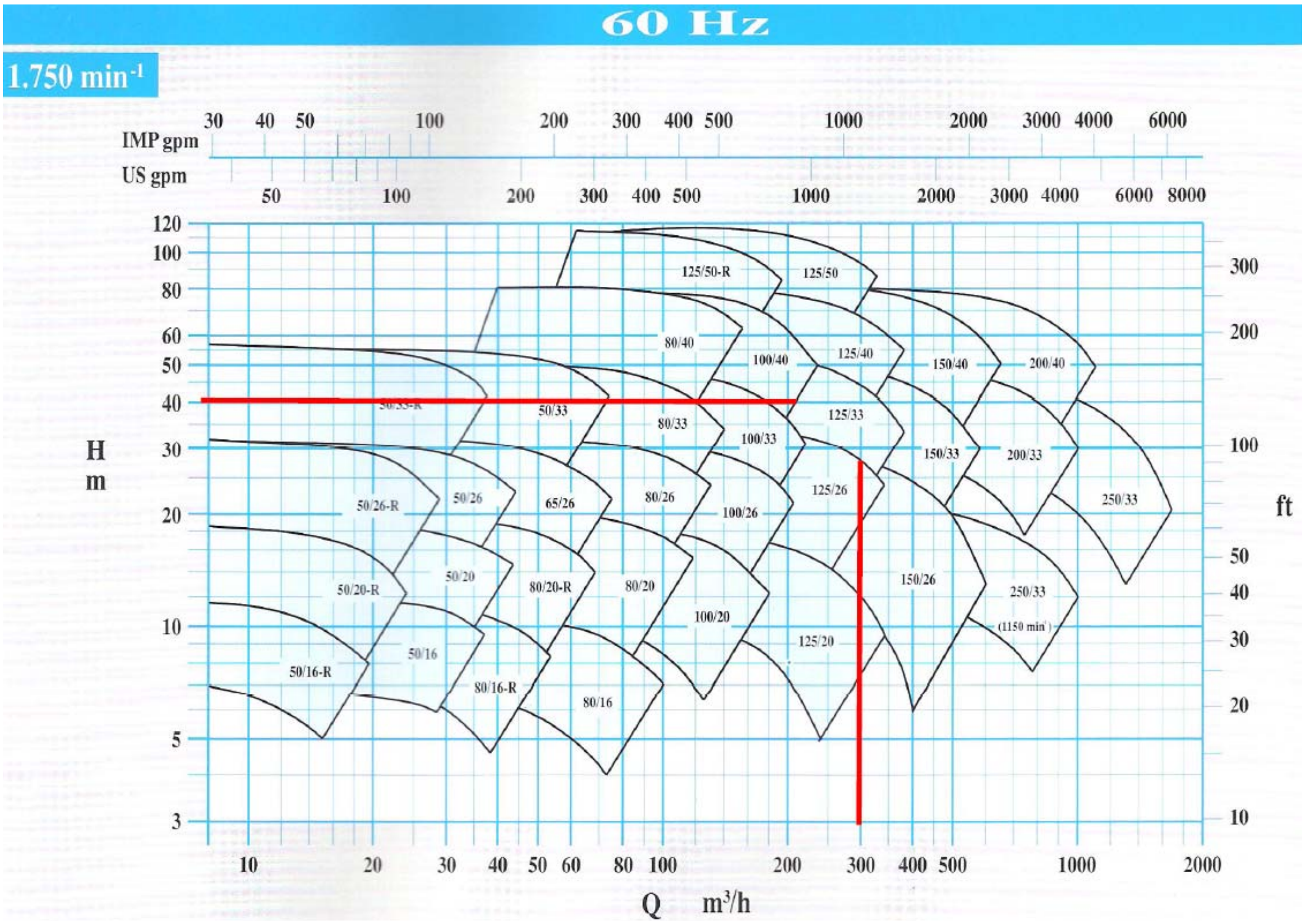
40m ကို Pa (N/m2) သို့ပြောင်းပါက 392.2 kPa ရသည်။

$$P_w = Q\Delta p = 300/3600 m3/s \times 392.2 kN/m2 = 32.68 kW$$

Efficiency 77% ထည့်တွက်ပါက 32.68/0.77 = 42.4 kW ရရှိမည်။ ၎င်းသည် pump ရဲ့ absorb power ဖြစ်သည်။ Motor ရဲ့ ပါဝါကတော့ ဒါထက် ပိုများသည်။

အောက်တွင် ဖော်ပြထားသော manufacturer ရဲ့ envelope ကိုကြည့်ပါက 40m head နှင့် 300m3/h အတွက် available ဖြစ်သော pump series မှာ 125/33 သာဖြစ်သည်။ 125 မှာ pump ၏ discharge size in mm ဖြစ်၍ 33 ကတော့ impeller ရဲ့ diameter in cm ဖြစ်သည်။ အပေါ်တွင် ရရှိခဲ့သော pump curve တွေအရ impeller diameter 320mm (32cm) သည် လုံလောက်နေပြီ ဖြစ်သော်လည်း available ဖြစ်သော pump type (or) pump series ကိုသာ ရွေးချယ်ရပေသည်။

60Hz လား 50Hz လား ဆိုတာကတော့ ကိုယ့် vessel ရဲ့ power supply အပေါ် မူတည်၍ ရွေးချယ်ရန် ဖြစ်သည်။ RPM အနေနဲ့ကတော့ 3 Phase အတွက် 1750 rpm သည် အသင့်လျော်ဆုံး ဖြစ်သည်။


60 Hz
1.750 min⁻¹
IMP gpm
US gpm
H
m
ft
Q m³/h
125/50-R
125/50
80/40
100/40
125/40
150/40
200/40
50/33
80/33
100/33
125/33
150/33
200/33
250/33
50/26-R
50/26
65/26
80/26
100/26
125/26
150/26
50/20-R
50/20
80/20-R
80/20
100/20
125/20
250/33
(1150 min⁻¹)
50/16-R
50/16
80/16-R
80/16

Chapter 4

Expansion Tank

Expansion vessel များကို close loop for heating or cooling system အတွက် သုံးသည်။ Expansion vessel များသည် ရေ၏ ထုထည် တိုးခြင်း၊ လျော့ခြင်း များကို ထိန်းညှိပေးပြီး system pressure ကို maintain လုပ်ပေးသည်။

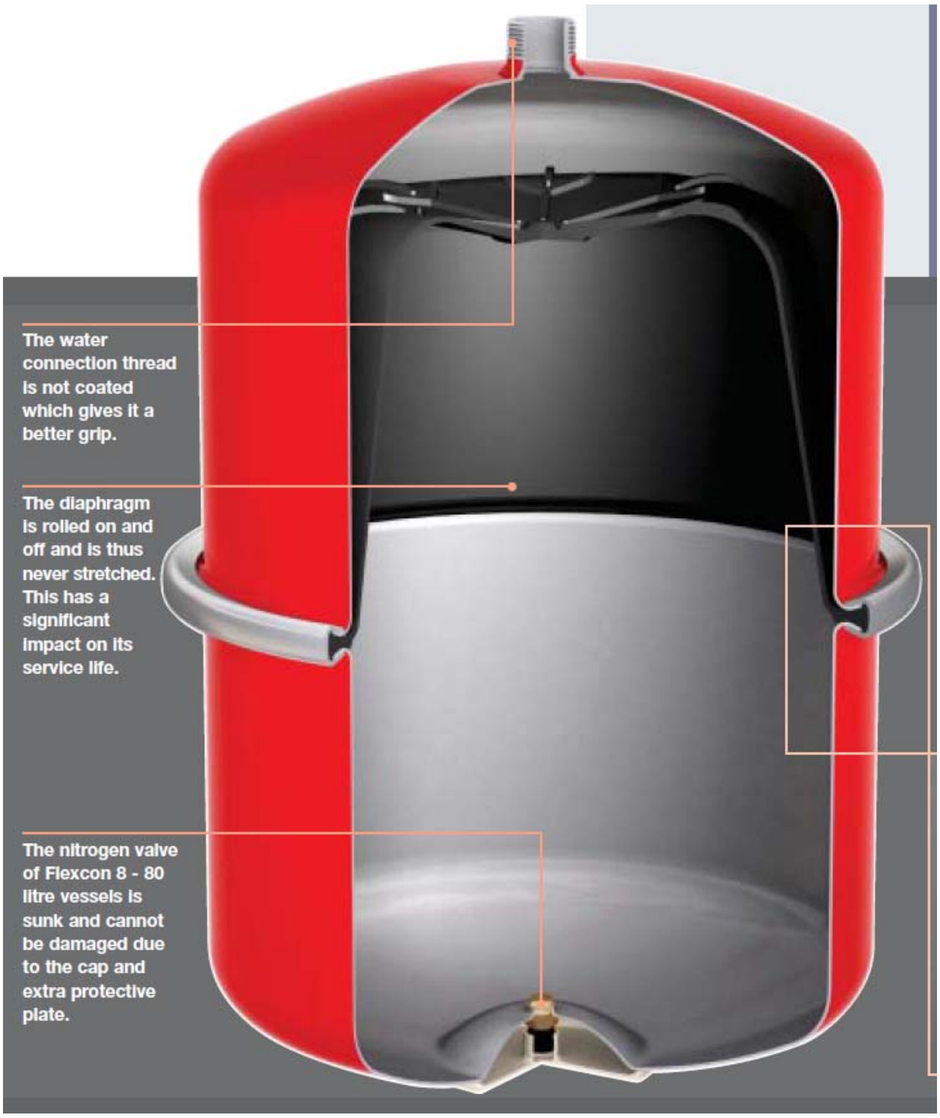


Fig.4.1. Diaphragm type expansion vessel

Cooling System

System အေးနေသောအခါ ရေ၏ ထုထည်သည် ကျုံ့သွားသဖြင့် expansion vessel သည် ၎င်း၏ အတွင်းတွင် ရှိနေသော ရေကို system အတွင်းသို့ ပြန်ပို့ပေး၍ system pressure ကို ထိန်းသိမ်းပေးသည်။

System ရပ်သွားသောအခါ ရေ၏ အပူချိန်သည် တဖြည်းဖြည်းချင်း ambient temperature နှင့် အတူတူ ဖြစ်သွား ပေလိမ့်မည်။ ပူလာသည်နှင့် အမျှ ရေ၏ ထုထည်သည်လည်း တိုးလာသည်။ ထိုအခါ vessel သည် တိုးလာသော water volume ကို vessel အတွင်းသို့ စုပ်ယူ ပေးထားခြင်းဖြင့် system pressure ကို ထိန်းသိမ်းပေးသည်။

ဥပမာ diaphragm type vessel အလုပ်လုပ်ပုံတွင် vessel အတွင်း၌ diaphragm ရှိ၍ နှစ်ပိုင်းခွဲခြား ထားသည်။ အောက်ပိုင်းသည် nitrogen ဖြည့်ထား၍ အပေါ်ပိုင်းကတော့ ရေဝင်နိုင်သည်။ System တွင် ရေထုထည် ကျုံ့သွား၍ ရေလိုအပ်ပါက ၎င်း diaphragm က အပေါ်သို့တွန်း၍ vessel အတွင်းရှိ diaphragm အပေါ်ပိုင်းတွင် ရှိနေသော ရေကို system အတွင်းသို့ ပြန်ပို့ပေးသည်။ ထိုနည်းတူ system တွင် ရေထုထည် ပွလာပါက diaphragm ကအောက်ကို ဖိ၍ အပေါ်ပိုင်းတွင် ရေဝင်လာစေပြီး vessel အတွင်းသို့ ရေကို စုပ်ယူ ထားသည်။ Pressure rise အရမ်းများလာပါက (pressure set point ကျော်လာပါက) safety valve သည် ပိုလာသော ရေကို ထုတ်ပစ်မည် ဖြစ်သည်။ Safety valve တပ်ဆင်ထားပုံကို Fig. 4.3 တွင် ကြည့်ပါ။

Calculation for Cooling System

Expansion vessel တစ်လုံးအတွက် လိုအပ်သော volume ကို တွက်ချက်ရန် (သို့) sizing လုပ်ရန်အတွက် အောက်ပါ အချက်များကို သိထားဖို့ လိုသည်။

1. System အတွင်းရှိ ရေ၏ ထုထည်

2. Glycol ပါဝင်မှု ရာခိုင်နှုန်း

3. အနိမ့်ဆုံး temperature

4. System ရဲ့ အမြင့်ဆုံး temperature (highest ambient temperature)

5. Static height of the system above the vessel

6. Maximum working pressure

Expansion vessel ၏ initial pressure ကို static height of the system above the vessel နှင့် match ဖြစ်စေရန် ရွေးချယ်ပေးရသည်။ အောက်ပါ ဖော်မြူလာကို lowest operating pressure ၌ filled level (filled content) ကို တွက်ချက်ရန် အသုံးပြုသည်။

Filled level = (lowest operating pressure - initial pressure) / lowest operating pressure

Residual factor = 1-filled level

End pressure (သို့) final pressure သည် safety valve ၏ set pressure ထက် 0.5 bar နည်းရမည်။ ဥပမာ safety valve တွင် 3 bar set pressure ရှိပါက system ၏ final pressure သည် 2.5 bar maximum ဖြစ်ရမည်။

Output (efficiency) = [(end pressure - lowest operating pressure) / end pressure] x residual factor

Note:

* pressure in bar absolute

* temperature in vessel must remain above -10°C

<u>Example for Vessel Sizing</u>

Water content - 1000 lit

Normal water သာဖြစ်၍ glycol ရောထားခြင်းမရှိ

Lowest temperature +4°C

Highest ambient temperature +30°C

Percentage of volume increase @ +30°C is 0.43% (table 1 တွင်ကြည့်ပါ)

Static height 4m

Initial pressure 0.5 bar

Lowest operating pressure 1 bar

Blow-off pressure of safety valve 3 bar

Final pressure (end pressure) 2.5 bar

Calculation

Filled content = (lowest operating pressure - initial pressure) / lowest operating pressure

Filled content = [(1+1)-(1+0.5)] / (1+1) = 0.25

Absolute pressure ဖြစ်စေရန် atmospheric pressure 1 bar ပေါင်းခြင်း ဖြစ်သည်

Residual factor = 1 - Filled content = 1 - 0.25 = 0.75

Efficiency = [(end pressure - lowest operating pressure) / end pressure] x residual factor

Efficiency = [(1+2.5) - (1+0.5) / (1+2.5)] x 0.75 = 0.32

The expansion factor @ +30°C is 0.43%, 1000 lit x 0.0043 = 4.3 lit

Required gross contents of the expansion vessel = 4.3/0.32 = 13.4 Lit

ထို့နောက် အနီးစပ်ဆုံး available ဖြစ်တဲ့ expansion vessel ကိုရွေးချယ် အသုံးပြု ရန်သာ လိုတော့သည်။

Expansion vessel များသည် ရေနှင့် glycol ရောထားသော system များတွင် အသုံးပြုနိုင်သည်။ Glycol ပါဝင်မှု အမျိုးအစား ပေါ်မူတည်၍ ရေ၏ ထုထည် တိုးလာသော ယေဘုယျ တန်ဖိုးများကို အောက်ပါ ဇယားတွင် ကြည့်ပါ။

Expansion coefficient of water with and without added anti-freeze

Temperature [°C]	Percentage of glycol					
	0%	10%	20%	30%	40%	50%
10	0.04	0.35	0.67	0.89	1.31	1.63
20	0.18	0.50	0.82	1.04	1.46	1.78
30	0.43	0.75	1.07	1.29	1.71	2.03
40	0.79	1.11	1.43	1.65	2.07	2.39
50	1.21	1.53	1.85	2.07	2.49	2.81
60	1.71	2.03	2.35	2.57	2.99	3.31
70	2.25	2.60	2.92	3.14	3.56	3.88
80	2.89	3.22	3.54	3.76	4.18	4.52
90	3.58	3.91	4.23	4.45	4.87	5.19
100	4.35	4.63	4.95	5.17	5.59	5.90

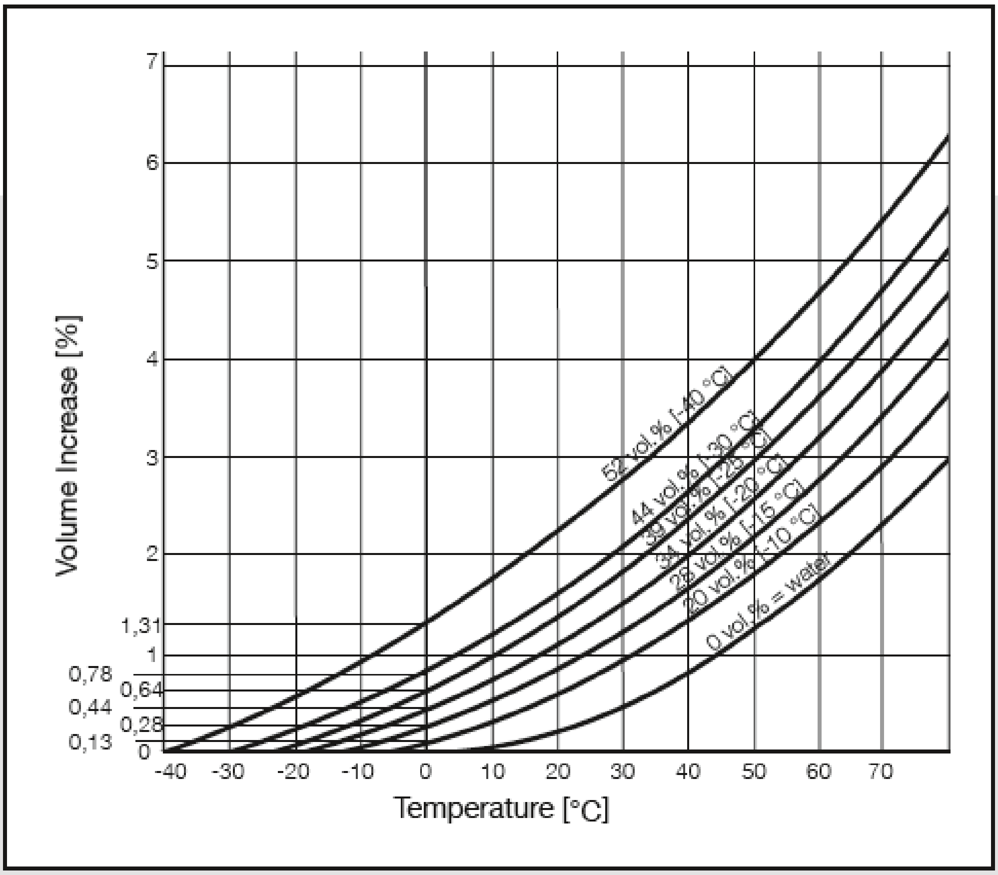


Fig.4.2. Volume increase (%)

Heating System

System water capacity ဆိုသည်မှာ system တစ်ခုလုံး (entire system) တွင်ရှိသော heat source, radiators, pipe work, စသဖြင့် အရာ အားလုံးတွင် ရှိနေသော ရေ၏ total volume ကို ဆိုလိုသည်။ Expansion volume ကိုတွက်မည် ဆိုလျှင်

Expansion volume = water capacity x increase in volume at average heating temperature

ဆိုပါစို့ - heating temperature 90/70°C ရှိပါက average temperature သည် 80°C ဖြစ်၍ expand ဖြစ်သွားမည့် volume သည် 2.89% (for pure water) ဖြစ်သည်။ အထက်တွင် ဖော်ပြထားသော ဇယားကို ကြည့်ပါ။

ထုတ်လုပ်သူများက central heating system အတွက် safety factor 25% ယူဖို့ recommend လုပ်ကြသည်။ Gross capacity of vessel အတွက် အောက်ပါ အတိုင်း တွက်သည်။

Gross capacity of vessel = (expansion volume x 1.25) /output

Output = (end pressure - initial pressure) / end pressure

Note: pressure သည် absolute pressure ဖြစ်ရမည်

- Vessel volume ဆိုသည်မှာ expansion vessel ရဲ့ total capacity ကို ခေါ်သည်

- Vessel efficiency ဆိုသည်မှာ vessel ထဲတွင် ထည့်ထားနိုင်မည့် maximum amount of expansion water ကိုခေါ်သည်

- Static height ဆိုသည်မှာ system ၏ အမြင့်ဆုံး point နှင့် expansion vessel ကြားတွင် ရှိသော အမြင့်ကို water column meter နှင့် တိုင်းတာ ရရှိသည့် တန်ဖိုးကို ခေါ်သည်။

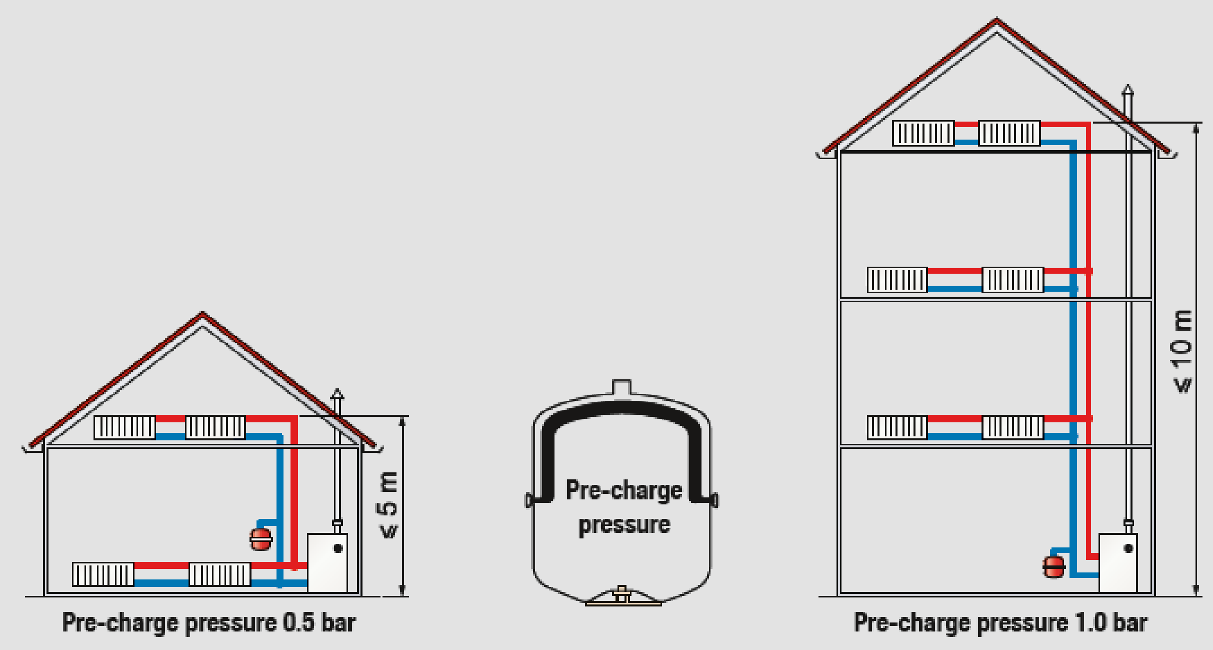


Fig.4.3. Pre-charge pressure depending on the static height

Example

- Water capacity = 340 Lit
- Average heating temperature = 70/90°C = 80°C
- System height = 8m
- End pressure = 3 bar

Calculation

Increase in volume in % = 2.89%

Expansion volume = 340x2.89/100=9.86 Lit

Safety factor 25% taken, 9.86x1.25 = 12.4 Lit

Output = [(1+3)-(1+0.5)] / (1+3) = 0.63

Required gross capacity of expansion vessel = 12.4/0.63 = 19.7 Lit

အောက်တွင် ဖော်ပြထားသော table သည် အမျိုးမျိုးသော initial pressure နှင့် end pressure တို့အတွက် output (efficiency) များကို တစ်ခါတည်း ယူသုံးနိုင်ရန် အတွက် ပေးထားခြင်း ဖြစ်သည်။ Margin အနေနဲ့ initial နှင့် end pressure ကြားတွင် အနည်းဆုံး 1.5 bar ယူရန် ထုတ်လုပ်သူများမှ recommend လုပ်ထားကြသည်။

Static height [m]	Initial pressure [bar]	End pressure [bar]			
		3	6	8	10
5	0.5	0.63	-	-	-
10	1	0.50	0.71	-	-
15	1.5	0.38	0.64	0.72	-
20	2	0.25	0.57	0.67	-
25	2.5	0.13	0.50	0.61	0.68
30	3	-	0.43	0.56	0.64
35	3.5	-	0.36	0.50	0.59
40	4	-	0.29	0.44	0.55
45	4.5	-	0.21	0.39	0.50
50	5	-	-	0.33	0.45
55	5.5	-	-	0.28	0.41
60	6	-	-	0.22	0.36
65	6.5	-	-	0.17	0.32
70	7	-	-	-	0.27
75	7.5	-	-	-	0.23
80	8	-	-	-	0.18

Fig.4.3. Connection set (manometer set)

အထက်ပါ ပုံသည် expansion vessel အတွက် accesories ဖြစ်သည်။ အောက်ဖက်က vessel နှင့် connect လုပ်ရန် ဖြစ်၍ ညာဖက်က shut-off valve နှင့် port သည် fill/drain အတွက်ဖြစ်သည်။ ရှေ့တည့်တည့် မှ port သည် satety valve နှင့် connect လုပ်ရန် ဖြစ်သည်။ ပိုမို ရှင်းလင်းစွာ နားလည် စေရန် install လုပ်ထားသော ပုံကို ကြည့်ပါ။

Safety valve မှလာသော pipe သည် pressure set point ကို system pressure ကျော်လွန် သွားပါက ရေကို ၎င်းပိုက်မှ release လုပ်ပစ်မှာ ဖြစ်သည်။ Fill/drain valve ကတော့ water top up လုပ်သော အခါတွင် ၎င်း၊ drain လုပ်ချင်သော အခါတွင် ၎င်း အသုံးပြုသည်။

Fig.4.3. Expansion tank installation

Chapter 5

Chemical Dosing Pot

Chemical dosing pot ကို chilled water system တွင် glycol ရောနှောရန် အတွက် အသုံးပြုသည်။ Material အနေနဲ့ mild steel ကော stainless steel ပါ အသုံးပြုသည်။ Owner ရဲ့ requirement အပေါ် မူတည်သည်။ HVAC system အတွက် stainless steel မဖြစ်မနေ မလိုအပ်ပေ။ Water pipe တွေ ကိုယ်၌က stainless steel မဟုတ်သောကြောင့် ဖြစ်သည်။ Pot capacity အနေနဲ့ 50 lit လောက်က ယေဘုယျ ပြောရလျှင် အများဆုံးလောက် ဖြစ်သည်။ အဘယ်ကြောင့် ဆိုသော် pot (tank) size က အရေးမကြီး သောကြောင့် ဖြစ်သည်။ ဘယ်နှစ်ကြိမ် ရောလဲ ဆိုတာက ပိုအရေးကြီးပေသည်။ ဥပမာ - glycol 30 lit ရောရမည် ဆိုလျှင် 6 lit capacity ရှိသော pot (tank) ကို အသုံးပြု၍ ၅ ကြိမ် system အတွင်းသို့ ထည့်နိုင် သည်။ Standard အနေနဲ့ 3.5, 6, 11, 18, 25, 35, 40, 50 lit စသဖြင့် ထုတ်လုပ်ကြသည်။ Maximum working pressure 4, 5, 8, 10 bar စသဖြင့် ရှိကြသည်။ Manufacturer တစ်ယောက်နဲ့ တစ်ယောက်တော့ မတူညီ နိုင်ပေ။

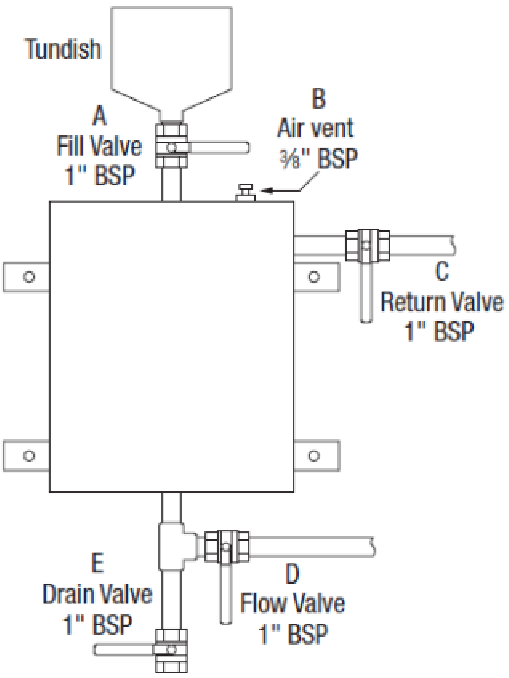


Fig.5.1. Chemical dosing pot

အလုပ်လုပ်ပုံမှာ အောက်ပါ အတိုင်းဖြစ်သည်။

1. Isolation လုပ်ချင်လျှင် ပါရှိသော valves တွေ အကုန်ပိတ် (air vent အပါအဝင်)

2. Drain (or) cleaning လုပ်ချင်လျှင် valve "A" နှင့် "E" ကိုဖွင့်၊ ကျန်တာ အကုန်ပိတ်

3. Charging လုပ်ချင်လျှင် valve "E" ကိုပိတ်၊ chemical (glycol) ကို ကတော့မှလောင်းထည့် valve "A" မှတဆင့် tank အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်သွားလိမ့်မည်

4. Air vent မှတဆင့် လေမခိုအောင် ထုတ်ပစ်ဖို့ လိုသည်

5. System အတွင်းသို့ dosing လုပ်ရန် အတွက် valve "C" နှင့် "D" ကို အပြည့် ဖွင့်ပါ

6. Dosing လုပ်ပြီးပါက valve "C" နှင့် "D" ကို ပိတ်ပါ

Fig.5.2. 50 Lit chemical dosing pot

Fig.5.3. 50 Lit Chemical dosing pot installation

Chapter 6

Glycol Solution

Glycol solution ကို HVAC နယ်ပယ် တွင်တော့ antifreeze application အတွက် အသုံးပြုကြတာ များသည်။ Corrosion control အတွက်လည်း အသုံးပြု နိုင်သေးသည်။ Ethylene glycol & propylene glycol ဟူ၍ နှစ်မျိုးရှိရာ Ethylene glycol ကိုသာ အသုံးပြုလေ့ ရှိသည်။ အကန့်အသတ် နှင့် သတ်မှတ်ထားသော အချိုးအဆ အတိုင်းသာ အသုံးပြု ခြင်းဖြစ်သည်။ Ethylene glycol သည် propylene glycol ထက် ပိုမို ကောင်းမွန်သော physical properties များရှိခြင်းကြောင့် low temperature application များတွင် များစွာ အသုံးပြု ကြသည်။ Propylene glycol သည် toxic ဖြစ်မှု အနေနဲ့ ကြည့်ပါက ethylene glycol ထက်ပို၍ နည်းပါးသဖြင့် လူနှင့် ထိတွေ့ လုပ်ဆောင်ရသော application များတွင် ပို၍ သင့်လျော်သည်။

Property	Ethylene Glycol	Propylene Glycol
Relative molecular mass	62.07	76.10
Density at 20°C, kg/m^3	1113	1036
Boiling point, °C		
at 101.3 kPa	198	187
at 6.67 kPa	123	116
at 1.33 kPa	89	85
Vapor pressure at 20°C, Pa	6.7	9.3
Freezing point, °C	−12.7	Sets to glass below −51°C
Viscosity, mPa·s		
at 0°C	57.4	243
at 20°C	20.9	60.5
at 40°C	9.5	18.0
Refractive index n_D at 20°C	1.4319	1.4329
Specific heat at 20°C, kJ/(kg·K)	2.347	2.481
Heat of fusion at −12.7°C, kJ/kg	187	—
Heat of vaporization at 101.3 kPa, kJ/kg	846	688
Heat of combustion at 20°C, MJ/kg	19.246	23.969

Table 6.1. Physical properties of ethylene glycol and propylene glycol

ထိုနှစ်မျိုး စလုံးသည် အရောင်မရှိ၊ အနံ့မရှိသော liquid အမျိုးအစား များဖြစ်၍ ရေ (သို့) တခြားသော chemical componds များနှင့် ကောင်းစွာ ရောစပ်နိုင်သည်။ Ethylene glycol ကို mass အားဖြင့် 60% အထက်ရောစပ်ပါက solutions များရဲ့ freezing point ကို မြင့်တက်စေသည်။ Propylene glycol ကို mass

အားဖြင့် 60% အထက်ရောစပ်ပါက freezing point မရှိတော့ပဲ ၎င်း propylene solutions သည် glass အဖြစ်သို့ပြောင်းသွားပေလိမ့်မည်။

Percent Ethylene Glycol		Freezing Point, °C	Boiling Point, °C at 100.7 kPa
By Mass	By Volume		
0.0	0.0	0.0	100.0
5.0	4.4	−1.4	100.6
10.0	8.9	−3.2	101.1
15.0	13.6	−5.4	101.7
20.0	18.1	−7.8	102.2
21.0	19.2	−8.4	102.2
22.0	20.1	−8.9	102.2
23.0	21.0	−9.5	102.8
24.0	22.0	−10.2	102.8
25.0	22.9	−10.7	103.3
26.0	23.9	−11.4	103.3
27.0	24.8	−12.0	103.3
28.0	25.8	−12.7	103.9
29.0	26.7	−13.3	103.9
30.0	27.7	−14.1	104.4
31.0	28.7	−14.8	104.4
32.0	29.6	−15.4	104.4
33.0	30.6	−16.2	104.4
34.0	31.6	−17.0	104.4
35.0	32.6	−17.9	105.0
36.0	33.5	−18.6	105.0
37.0	34.5	−19.4	105.0
38.0	35.5	−20.3	105.0
39.0	36.5	−21.3	105.0
40.0	37.5	−22.3	105.6
41.0	38.5	−23.2	105.6
42.0	39.5	−24.3	105.6
43.0	40.5	−25.3	106.1
44.0	41.5	−26.4	106.1
45.0	42.5	−27.5	106.7
46.0	43.5	−28.8	106.7
47.0	44.5	−29.8	106.7
48.0	45.5	−31.1	106.7
49.0	46.6	−32.6	106.7
50.0	47.6	−33.8	107.2
51.0	48.6	−35.1	107.2
52.0	49.6	−36.4	107.2
53.0	50.6	−37.9	107.8
54.0	51.6	−39.3	107.8
55.0	52.7	−41.1	108.3
56.0	53.7	−42.6	108.3
57.0	54.7	−44.2	108.9
58.0	55.7	−45.6	108.9
59.0	56.8	−47.1	109.4
60.0	57.8	−48.3	110.0
65.0	62.8	a	112.8
70.0	68.3	a	116.7
75.0	73.6	a	120.0
80.0	78.9	−46.8	123.9
85.0	84.3	−36.9	133.9
90.0	89.7	−29.8	140.6
95.0	95.0	−19.4	158.3

[a]Freezing points are below −50°C.

Table 6.2. Freezing and boiling points of aqueous solutions of ethylene glycol

Percent Propylene Glycol		Freezing Point, °C	Boiling Point, °C at 100.7 kPa
By Mass	By Volume		
0.0	0.0	0.0	100.0
5.0	4.8	–1.6	100.0
10.0	9.6	–3.3	100.0
15.0	14.5	–5.1	100.0
20.0	19.4	–7.1	100.6
21.0	20.4	–7.6	100.6
22.0	21.4	–8.0	100.6
23.0	22.4	–8.6	100.6
24.0	23.4	–9.1	100.6
25.0	24.4	–9.6	101.1
26.0	25.3	–10.2	101.1
27.0	26.4	–10.8	101.1
28.0	27.4	–11.4	101.7
29.0	28.4	–12.0	101.7
30.0	29.4	–12.7	102.2
31.0	30.4	–13.4	102.2
32.0	31.4	–14.1	102.2
33.0	32.4	–14.8	102.2
34.0	33.5	–15.6	102.2
35.0	34.4	–16.4	102.8
36.0	35.5	–17.3	102.8
37.0	36.5	–18.2	102.8
38.0	37.5	–19.1	103.3
39.0	38.5	–20.1	103.3
40.0	39.6	–21.1	103.9
41.0	40.6	–22.1	103.9
42.0	41.6	–23.2	103.9
43.0	42.6	–24.3	103.9
44.0	43.7	–25.5	103.9
45.0	44.7	–26.7	104.4
46.0	45.7	–27.9	104.4
47.0	46.8	–29.3	104.4
48.0	47.8	–30.6	105.0
49.0	48.9	–32.1	105.0
50.0	49.9	–33.5	105.6
51.0	50.9	–35.0	105.6
52.0	51.9	–36.6	105.6
53.0	53.0	–38.2	106.1
54.0	54.0	–39.8	106.1
55.0	55.0	–41.6	106.1
56.0	56.0	–43.3	106.1
57.0	57.0	–45.2	106.7
58.0	58.0	–47.1	106.7
59.0	59.0	–49.0	106.7
60.0	60.0	–51.1	107.2
65.0	65.0	a	108.3
70.0	70.0	a	110.0
75.0	75.0	a	113.9
80.0	80.0	a	118.3
85.0	85.0	a	125.0
90.0	90.0	a	132.2
95.0	95.0	a	154.4

[a]Above 60% by mass, solutions do not freeze but become a glass.

Table 6.3. Freezing and boiling points of aqueous solutions of propylene glycol

Glycol concentration ရွေးချယ်မှုသည် အသုံးပြုမည့် application အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ HVAC နယ်ပယ်တွင် vessel operation လုပ်မည့် နေရာသည် ဆောင်းတွင်း ၌ -10°C, -20°C စသဖြင့် ရှိသည့်အတွက် chilled water (or) cooling water pipes များတွင် ရှိနေသော ရေ ခဲမသွားစေရန် glycol mixture ကို အသုံးပြုရပေသည်။ ၎င်းရေ ဘယ်က လာသလဲ၊ ဘယ်ကို ဖြတ်သွားသလဲ ဆိုတာ စဉ်းစားဖို့ လိုသည်။ ဆောင်းတွင်းတွင် chiller မောင်းစရာ မလိုသော်လည်း ပိုက်လိုင်း၏ တစ်ချို့ နေရာတွေသည် outdoor (expose to weather) တွင်ရှိနေပါက glycol mixture လိုသည်။ ထို့အတူ ဆောင်းတွင်းတွင် AHU အတွင်းသို့ ဝင်လာသော လေသည် ဥပမာ -20°C နှင့် ဝင်လာပါက ၎င်းလေသည် cooling coil ကိုဖြတ်သော အခါ အတွင်းတွင် ရှိနေသော ရေကို ခဲသွားစေသည်။ ထို့အတွက် 30% ethylene glycol (သို့) 35% propylene glycol သည် ရောစပ်ရန် သင့်လျော်သော အချိုးအစားဟု ASHRAE 2001 Handbook တွင်ဆိုထားသည်။ ထို့အပြင် အဆိုပါ low temperature condition တွင် fluid ကို entirely liquid အနေနဲ့ အမြဲ ရှိနေစေ လိုပါက ကိုယ်ခန့်မှန်းထားတဲ့ အနိမ့်ဆုံး temperature ထက် freezing point 3°C နိမ့်သော concentration ကို ရွေးချယ် သင့်သည်ဟု လည်း ဆိုသည်။

အထက်တွင် ဆိုခဲ့သလို ethylene glycol ကိုသာ အသုံးပြုကြသည်မို့ table.6 တွင်ကြည့်ပါ။ -20°C တွင် ရှိသော အခြေအနေ အတွက် သူ့ထက် freezing point 3°C နိမ့်သော ethylene glycol concentration ကိုရွေးချယ်ရန် 17°C freezing point ၌ 34% (mass အားဖြင့်) သို့မဟုတ် 31.6% (volume အားဖြင့်) ရောနှော သင့်ပေသည်။

အောက်ပါ graph သည် ရေနှင့် ethylene glycol အရောအနှော အမျိုးမျိုး တို့အတွက် အချိုးအစား အပေါ်လိုက်၍ ထုထည် တိုးလာမှု ကိုပြထားသည်။ ကိန်းဂဏန်း တန်ဖိုးများသည် ယေဘုယျ တန်ဖိုးများ ဖြစ်၍ Hoechst for Antifrogen N ဆိုသော documentation မှရယူထားခြင်း ဖြစ်သည်။

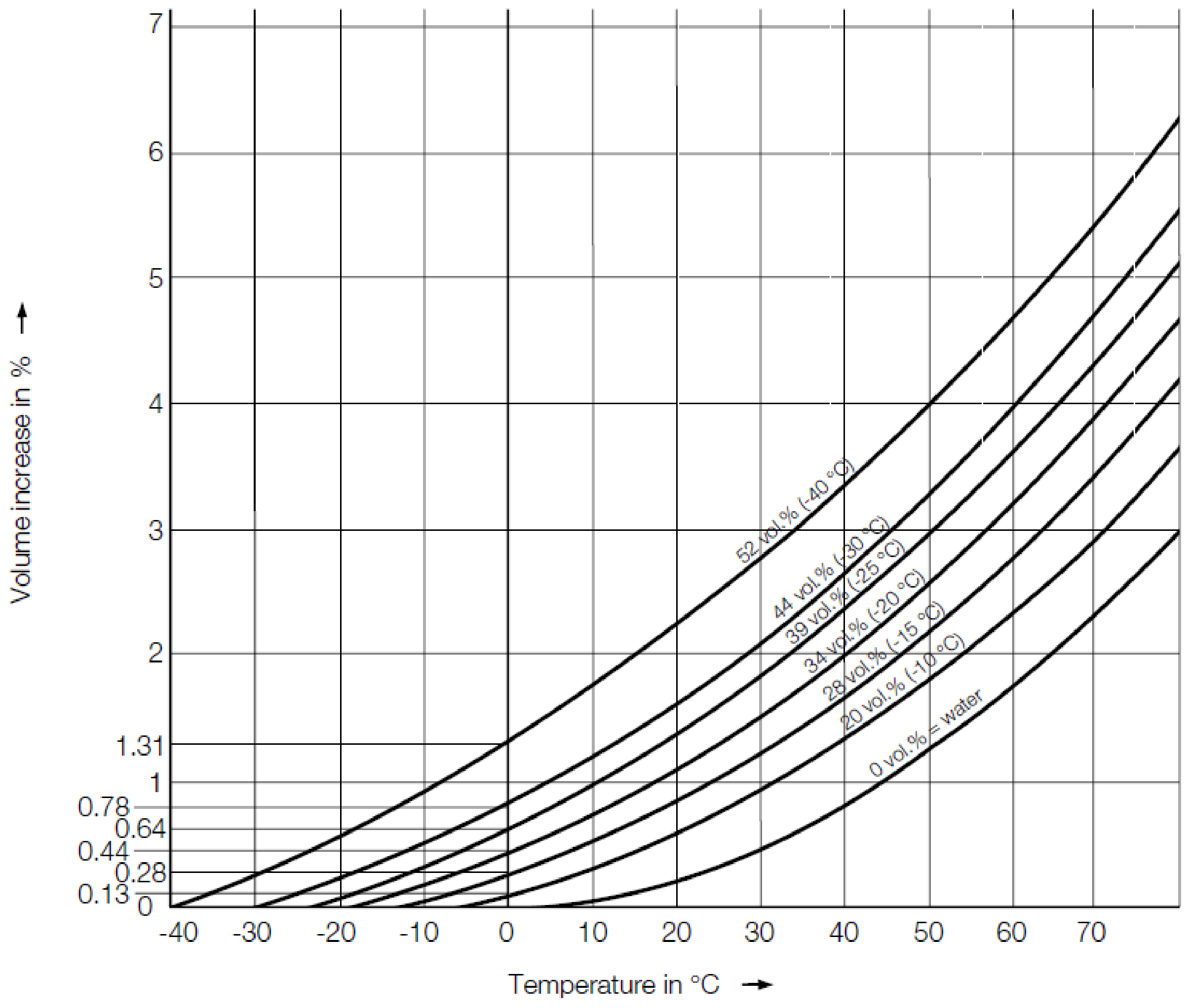


Fig. 6.1. Volume increase (%)

Temperature	Volume increase of pure water in %
5 °C	0.00%
10 °C	0.04%
15 °C	0.08%
20 °C	0.18%
25 °C	0.29%
30 °C	0.43%
35 °C	0.60%
40 °C	0.79%

Chapter 7

HVAC Valves

Valves

Valve တွေရဲ့ primary function တွေကို အောက်ပါအတိုင်း အကြမ်းဖျင်း ခွဲခြားနိုင်သည်။

- Starting, stopping and directing flow
- Regulating, controlling and throttling flow
- Preventing back flow
- Relieving or regulating pressure

Valve တွေကို မရွေးချယ်ခင် အောက်ပါ service condition တွေကို ထည့်သွင်း စဉ်းစားဖို့လိုသည်။

1. Type of liquid, vapour or gas

- Fluid သက်သက်ပဲလား၊ solid material တွေကော ပါလား
- Process တစ်ခုလုံးမှာ fluid အနေနဲ့ပဲ ရှိမှာလား၊ ရေငွေ့ပျံ မှု ရှိမလား
- တိုက်စားမှု (corrosive o erosive) ဖြစ်နိုင်တဲ့ fluid လား

2. Pressure and temperature

- ဖိအား (သို့)အပူချိန် ပြောင်းလဲမှု ရှိနိုင်သလား
- Valve material ကိုရွေးတဲ့အခါ worst case (maximum or minimum) ကို စဉ်းစားဖို့ လိုမလား

3. Flow consideration

- Pressure drop က critical လား
- Maximum wear အတွက် valve design ကိုရွေးချယ်မလား
- ရိုးရိုး shutoff အတွက်လား၊ throttling အတွက်လား
- Backflow ကိုကာကွယ်ဖို့ အတွက်လား
- Directing (mixing or diverting) အတွက်လား

4. Frequency of operation

- Valve ကမကြာခဏ operate လုပ်နေရမှာလား
- ပုံမှန်အားဖြင့် valve ကပွင့်နေပြီး တစ်ခါတစ်ရံမှသာ operate လုပ်ရမှာလား
- Operation လုပ်မှာက manually လား automatically လား

Valves အမျိုးအစားများ

1. Balancing Valve

သူ့ရဲ့ function ကတော့ balancing and shutoff ဖြစ်ပြီး system balancing အတွက် အဓိက ထားပြီး design လုပ်သည်။ Commissioning valve ဟုလည်း ခေါ်လေ့ရှိသည်။

Chiller/AHU တွေမှာ balancing valve (double regulating and commissioning type) ကို install လုပ်ရပါသည်။ Hydronic system balance အတွက် လိုချင်သော flow ရရှိစေရန် အတွက်ဖြစ်သည်။ သို့မဟုတ်ပါက chiller နှင့်ဝေးသော AHU များတွင် ရေလုံလောက်စွာ မရောက်သော ပြဿနာ ရှိတတ်သည်။

Balance လုပ်ရန်အတွက် calculated flow rate and pressure loss of the pipe ကို preset လုပ်ထားရသည်။ presetting လုပ်ရန်အတွက် လိုအပ်သော set value ကို manufacturer မှပေးထားသော flow chart မှရသည်။ Selected presetting ကို valve body ပေါ်တွင် ဖော်ပြထားသော scale တွင်ဖတ်ယူ ရရှိနိုင်သည်။ Scale နှစ်မျိုး ရှိသည်။ Basic setting longitudinal scale and fine setting peripheral scale ဟူ၍ ဖြစ်သည်။ Supply line (or) return line နှစ်နေရာ စလုံး အဆင်ပြေသည့် နေရာ တွင် install လုပ်နိုင်သည်။ Install လုပ်ရာတွင် valve body ပေါ်တွင် ပြထားသော arrow direction အတိုင်း တပ်ဆင်ရန် ဖြစ်သည်။ Valve တွင် pressure test လုပ်ရန်အတွက် threaded ports နှစ်ခု ပါရှိသည်။ ၎င်းနှစ်ခုကို flow meter တွင်ဆက်သွယ်၍ differential pressure across the valve ကို တိုင်းတာ သိရှိနိုင်ပေသည်။

Fig 7.1 Balancing Valve

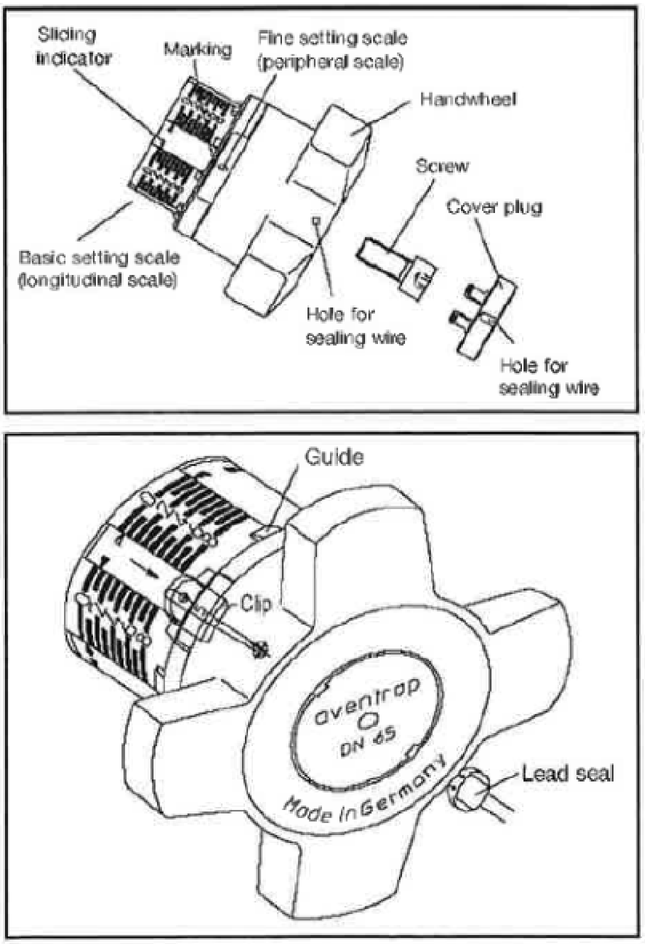


Fig 7.2 Balancing Valve

2. Ball Valve

သူ့ရဲ့ function ကတော့ shutoff အတွက်ဖြစ်ပြီး spherical shaped internal flow device ပါရှိသည်။ Quater turn လှည့်ပေးရုံဖြင့် fully close or fully open လုပ်နိုင်သည်။ The opening in spherical flow device သည် pipe size နှင့် အတူတူ (သို့) တူလုနီး ဖြစ်နေပါက full port ဟုခေါ်ပြီး pipe size ထက်ငယ်ပါက reduced port ဟုခေါ်သည်။ Full port ball valve ကို shutoff အတွက်သုံးလေ့ ရှိပြီး reduced port ကို balancing အတွက်ကော shutoff အတွက်ပါ သုံးလေ့ ရှိသည်။

Fig 7.3 Ball Valve with Actuator

3. Butterfly Valve

သူ့ရဲ့ function ကတော့ balancing and shutoff ဖြစ်ပြီး disc shaped internal flow device ပါရှိသည်။ Quater turn လှည့်ပေးရုံဖြင့် fully close or fully open လုပ်နိုင်သည်။ Quarter turn valve ဟုလည်း ခေါ်လေ့ရှိသည်။

Fig 7.4 Butterfly Valve

4. Check Valve

သူ့ရဲ့ function ကတော့ back flow ကို prevent လုပ်ပေးရန် အတွက် ဖြစ်သည်။ Non return valve ဟုလည်းခေါ်ကြသည်။ Types အနေနဲ့ ball, disc, globe, piston, swing အစုံရှိသည်။

Fig 7.5 Non Return Valve

5. Gate Valve

သူ့ရဲ့ function သည် shutoff အတွက်ဖြစ်ပြီး wedge or gate shaped internal flow device ပါရှိသည်။ Valve stem သည် vertically ရွေ့လျားပြီး အဖွင့်၊ အပိတ် လုပ်ပေးသည်။

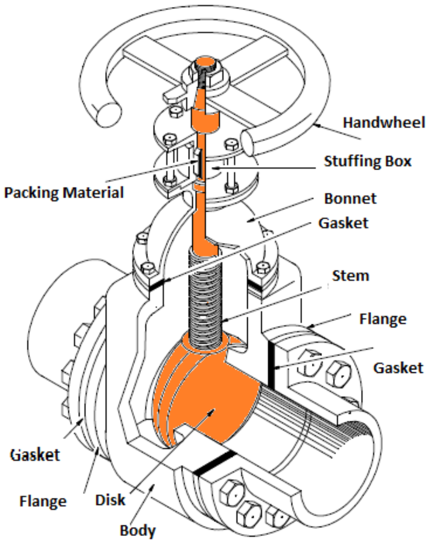


Fig 7.6 Gate Valve

6. Globe Valve

သူ့ရဲ့ function သည် throttling အတွက် ဖြစ်ပြီး cylindrical or conical shaped internal flow device ပါရှိသည်။ Rotating ပြုလုပ်ပေးခြင်းဖြင့် water flow ကို control ပြုလုပ်ပေးသည်။ Quarter turn လှည့်ပေးရုံဖြင့် fully close or fully open လုပ်နိုင်သည်။

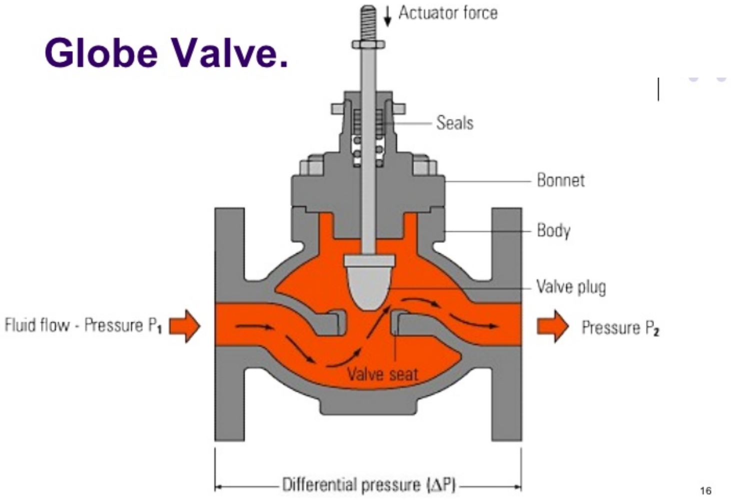


Fig 7.7. Globe Valve (single seated)

7. Plug Valve

သူ့ရဲ့ function ကတော့ balancing and shutoff ဖြစ်ပြီး cylindrical or conical shaped internal flow device ပါရှိသည်။ Rotating ပြုလုပ်ပေးခြင်းဖြင့် water flow ကို control ပြုလုပ်ပေးသည်။ သူသည်လည်း quater turn လှည့်ပေးရုံဖြင့် fully close or fully open လုပ်နိုင်သည်။

Fig 7.8. Plug Valve

Summary of valve selection chat ကိုအောက်တွင် ကြည့်ပါ။

Valve Selection Chart

Valve		Mode of Flow Regulation			Fluid				
Group	Type	On-Off	Throttling	Diverting	Free of solids	Solids in Suspension non-abrasive	Solids in Suspension abrasive	Sticky	Sanitary
Closing down	Globe:								
	–straight pattern	Yes	Yes		Yes				
	–angle pattern	Yes	Yes		Yes	special	special		
	–oblique pattern	Yes	Yes		Yes	special			
	–multiport pattern			Yes	Yes				
	Piston	Yes	Yes		Yes	Yes	special		
Sliding	Parallel gate:								
	–conventional	Yes			Yes				
	–conduit gate	Yes			Yes	Yes	Yes		
	–knife gate	Yes	special		Yes	Yes	Yes		
	Wedge gate:								
	–with bottom cavity	Yes			Yes				
	–without bottom cavity (rubber seated)	Yes	moderate		Yes	Yes			
Rotating	Plug:								
	–non-lubricated	Yes	moderate	Yes	Yes	Yes			Yes
	–lubricated	Yes		Yes	Yes	Yes	Yes		
	–eccentric plug	Yes	moderate		Yes	Yes		Yes	
	–lift plug	Yes		Yes	Yes	Yes		Yes	
	Ball	Yes	moderate	Yes	Yes	Yes			
	Butterfly	Yes	Yes	special	Yes	Yes			Yes
Flexing	Pinch	Yes	Yes	special	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
	Diaphragm:								
	–weir type	Yes	Yes		Yes	Yes		Yes	Yes
	–straight-through	Yes	moderate		Yes	Yes		Yes	Yes

အထက်တွင် ဖော်ပြထားသော valve များ၏ function အရ globe valve သည် modulating process အတွက် actuator နှင့်တွဲ၍ ရွေးချယ်သင့်သော အမျိုးအစား ဖြစ်သည်။ သို့သော် ball valve များကိုလည်း modulating အတွက် actuator နှင့်တွဲ၍အသုံးပြုကြသည်။ သုံးစွဲခဲ့ဖူးသော အတွေ့အကြုံ အရ လည်း စိတ်ကျေနပ်မှု ကို ပေးနိုင်သည်။ ယခုအခါတွင်တော့ အလွန် အသုံးများသော valve type များ ဖြစ်နေပေပြီ။ Shut-off အတွက် manual butterfly valve များကို HVAC field တွင် ပို၍ အသုံးများသည်။

Size 2" ထက်သေးငယ်သော valve များသည် threaded type (or) soldered type များဖြစ်၍ ၎င်းထက် ကြီးပါက flange type များ သုံးစွဲကြသည်။ Flange များကို သုံးလျှင် DIN (or) ANSI standard လားဆိုတာ သတိထားဖို့ လိုသည်။ Piping ကို shipyard ကတာဝန်ယူ၍ ကိုယ်က valve supply လုပ်ရသည် ရှိသော် shipyard က သူတို့လိုချင်သော flange type ကိုတောင်းဆိုလေ့ ရှိသည်။ များသောအားဖြင့် valve များကို Europe မှမှာလေ့ရှိသဖြင့် ၎င်းတို့မှာ DIN standard များသာ ဖြစ်သည်။ Korea (or) China မှမှာလျှင်တော့ ANSI flange များကို လွယ်လွယ်ကူကူ ရလေ့ရှိသည်။ DIN (PN10, 16, 20 etc) flange များသာ ရှိပါကလည်း ပြဿနာ မရှိပါ။ Counter flange (or) matching flange ပါပေးလိုက်လျှင် အဆင်ပြေပါသည်။ Cost impact တော့ ရှိသော်လည်း တစ်ခါတစ်ရံ ၎င်းနည်းက အလွယ်ဆုံးနှင့် အချိန်တို အတွင်း ဖြေရှင်းနည်း ဖြစ်သည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် matching flange ပေးမယ်၊ မပေးဘူး ဆိုပြီး ငြင်းခုံနေရင်းနဲ့ အချိန်ကုန် သောကြောင့် ဖြစ်သည်။

Chilled water piping system အတွက် အထက်ဖော်ပြပါ valves များကို အသုံးပြု ဖို့လိုသည်။ Pump အဝင်အထွက်၊ chiller အဝင်အထွက်၊ AHU အဝင်အထွက် တွေမှာ maintenance အတွက် တပ်ဆင် ခြင်း (သို့) control အတွက် တပ်ဆင်ခြင်း များ ပြုလုပ်ရသည်။ System ကို shutdown လုပ်စရာ မလိုပဲ လိုအပ်သော နေရာမှ valve များကိုသာ ပိတ်ခြင်းဖြင့် replacement (သို့) maintenance ပြုလုပ်နိုင်သည်။ AHU ၏ return line ၌ တပ်ဆင်ထားလေ့ ရှိသော valve သည် modulating valve ဖြစ်ပြီး electric actuator နှင့် control လုပ်သည်။ သူ၏ function မှာ system မှလိုအပ်သော chilled water ပမာဏ ကိုသာ AHU ၏ cooling coil သို့ဝင်နိုင်ရန် modulate လုပ်ပေးရခြင်း ဖြစ်သည်။ Thermostatic control valve (Temperature control valve) ဟုလည်းခေါ်သည်။

Automatic Temperature Control Valves (ATCV)

Automatic Temperature Control Valves များကို type of construction ပေါ်မူတည်၍ 2-way valves: single-seated and double-seated, and 3-way valves: single-seated mixing valves, double-seated diverting valves စသဖြင့် ခွဲခြားထားသည်။

2-way valves

Chilled water flow ကို regulate/modulate လုပ်ရန်အတွက် 2-way valves များကို အသုံးပြုကြသည်။ Load အပေါ်မူတည်၍ valve သည် ဖွင့်ခြင်း၊ ပိတ်ခြင်း လုပ်ပေးသည်။ single-seated 2-way valves များသည် အသုံးများသော type ဖြစ်သည်။ Double-seated 2-way valves များကို differential pressure မြင့်မားခြင်းသည် ပြဿနာ မဟုတ်ပဲ tight shutoff က အဓိက လိုအပ်ချက် မဟုတ်သော application များတွင် အသုံးပြုနိုင်သည်။ ၎င်း flow-through double-seated valves များတွင် port နှစ်ခု ရှိသည့်အတွက် တစ်ခု ကိုပိတ်သည့်အခါ အခြားတစ်ခုသည် ပွင့်နေဆဲ ဖြစ်သည်။ ထို design သည် balanced trust condition ကိုဖန်တီးပေးပြီး valve ကို high differential pressure ရှိနေစေကာမူ water hammer condition မဖြစ်စေပဲ ချောမွေ့စွာ ပိတ်နိုင်စေသည်။

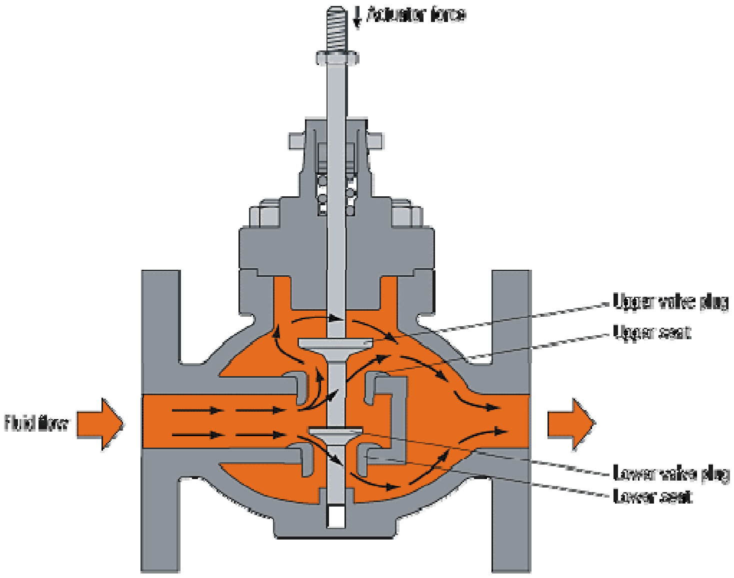


Fig 7.9. Double seated control valve

3-way valves

3-way valve များသည် single-seated (mixing valve) သို့မဟုတ် double-seated (diverted valve) များဖြစ်နိုင်သည်။ Single-seated mixing valve ကတော့ အသုံးအများဆုံး ဖြစ်သည်။ Mixing valve တွင် inlet port နှစ်ခု ရှိပြီး outlet port တစ်ခုသာ ရှိသည်။ Diverting valve တွင် inlet port တစ်ခုရှိ၍ outlet port နှစ်ခု ရှိသည်။

Chilled water flow ကို modulate လုပ်ရန် ဖြစ်သည့်အတွက် AHU (or) FCU ၏ chilled water line တွင် 3-way valve ကိုသာ သုံးရမည် ဖြစ်သည်။ Load မှ cooling demand မရှိသော အခါ chilled water သည် AHU/FCU coil အတွင်းသို့ မဖြတ်တော့ပဲ bypass line မှ တဆင့် return line သို့ သွားပေါင်းကာ recirculation ပြန်ဖြစ်မည် ဖြစ်သည်။

အောက်ကပုံ (Fig.7.10) ကိုကြည့်ပါ။ 3-way valve ကို return line တွင် install လုပ်ထားသည်။ Butterfly valve နှစ်ခုကိုတော့ AHU ၏ အဝင်၊ အထွက် တွင် service valve များအနေနဲ့ တပ်ဆင်ထား၏။ ၎င်းတို့၏ function သည် open/close အတွက်သာ ရည်ရွယ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ Return line တွင် balancing valve တစ်ခုကိုလည်း တွေ့ပါလိမ့်မည်။ AHU coil အတွက် လိုအပ်သော flow ကို ချိန်ညှိရန် အတွက် ဖြစ်သည်။

Fig 7.10. Chilled water circuit at AHU

Flow meter များကို install လုပ်သောအခါ ထုတ်လုပ်သူရဲ့ instruction များကို လိုက်နာသင့်သည်။ သို့မှသာ တိကျမှန်ကန်သော၊ စိတ်ချရသော reading ကိုရရှိမည် ဖြစ်သည်။ Temperature transmitter တွေဆိုလျှင် ပို၍ သတိထားရသည်။ ၎င်းတို့မှ sensing လုပ်၍ ပြန်ပို့သော ဒေတာ ကို အခြေခံ၍ controller မှ control လုပ်ခြင်းကြောင့် မတိကျ ပါက design condition ကိုမရရှိပဲ ပူခြင်း၊ အေးခြင်း များဖြစ်တတ်သည်။ ဥပမာ - typically အနေနဲ့ ဆိုလျှင် straight pipe တွေတွင် flow disturbance (turbulence) ကိုဖြစ်စေတဲ့ source တစ်ခုခုရဲ့ အဝေး 5 to 25 pipe diameters upstream နဲ့ 2 to 5 pipe diameters downstream ၌တပ်ဆင်သင့်သည်။ သို့မှသာ reliable reading ကိုရရှိနိုင်မည် ဖြစ်သည်။

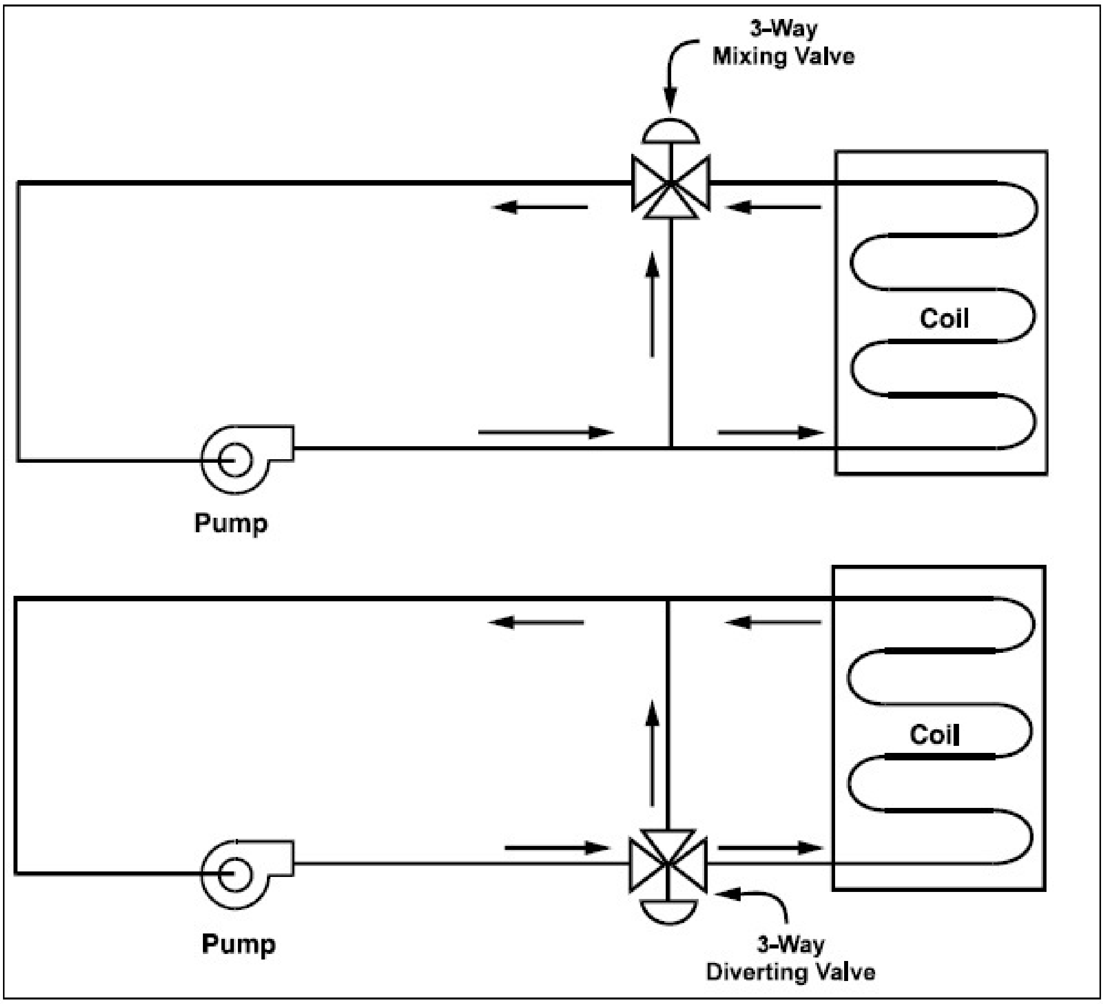


Fig 7.11. 3-way mixing valve and diverting valve diagrams

3-way diverting valve ကိုလည်း အသုံးပြု၍ ရကြောင်းကို အထက်ပါ diagram တွင်ကြည့်ပါ။ Diverting valve ကို အသုံးပြုပါက supply line (upstream the coil) တွင် တပ်ဆင်ရပြီး mixing valve ကို အသုံးပြုပါက return line (downstream the coil) တွင် တပ်ဆင်ရသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် valve ၏ construction အရ mixing valve တွင် bottom port (bypass line) သည် normally open ဖြစ်နေပြီး straight line တွင် ရှိနေသော ညာဖက်က port သည် normally close ဖြစ်နေသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ Diverting valve တွင်လည်း အလားတူ ပင်ဖြစ်သည်။ Coil အတွင်းသို့ ရေဝင်ရောက် စေရန်အတွက် controller မှ valve ၏ actuator ကို ဖွင့်စေမှု အဖြောင့် အတိုင်း ရှိသော ညာဖက်မှ port သည် ပွင့်သွားပြီး လိုအပ်သော ရေပမာဏ ကို coil အတွင်းသို့ ဖြတ်သန်း ဝင်ရောက် စေသည်။ Modulating process ဖြစ်၍ 0-100% အတွင်း ဘယ်လောက် valve ကို ကျယ်ကျယ် ဖွင့်ပေးရ မလဲ ဆိုတာ controller မှ command ပေးသည့် အတိုင်း ဖြစ်သည်။ Controller သည်လည်း duct or room mount temperature transmitter မှ ရရှိသည့် output signal အရ control လုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။

တစ်ချို့ 3-way valve များကို 2-way valve များ အနေနဲ့လည်း အသုံးပြု၍ ရသည်။ သို့ဆိုလျှင် bottom port ကို flange နှင့် ပိတ်ပစ်လိုက်ဖို့ လိုသည်။ အောက်ပါ ပုံတွင် ကြည့်ပါ။

Fig 7.12. Control valve for 2-way application

Valve များ၏ material သည် cast iron, steel and bronze များဖြစ်ကြသည်။ Valve size ကြီးပါက cast iron ကိုအသုံးပြု၍ သေးပါက brass များကို များသောအားဖြင့် သုံးကြသည်။ Bronze valve များသည် ၎င်းတို့ထက်စာလျှင် ဈေးကြီးသည်။ Valve ပေါ်တွင် ပါရှိသော flow direction အတိုင်း valve များကို install လုပ်ဖို့လိုသည်။

2-way valve သည် high differential pressure ရှိ၍ line pressure ကိုဆန့်ကျင်၍ ပိတ်ရန် ခက်ခဲသည်။ Variable flow အတွက် အသုံးပြု ကြသည်။ 3-way valve များကို constant flow အတွက် အသုံးပြုကြ၍ actuator သည် သိပ်ပြီး powerful ဖြစ်စရာ မလိုပေ။

2-way valve ၏ အားသာချက် များမှာ ဈေးသက်သာပြီး တပ်ဆင်ရတာ လွယ်ကူသည်။ Pumping energy ကိုလျှော့ချ နိုင်သော variable flow ဖြစ်ခြင်း၊ pumping and distribution system အတွက် ကုန်ကျ စရိတ် သက်သာ နိုင်ခြင်း၊ system balance ဖြစ်အောင် ပြုလုပ်ပေးရ ခြင်းကို လျှော့ချ နိုင်ခြင်း စသော ကောင်းတဲ့ အချက်များ ရှိသည်။ အားနည်းချက် များအနေနဲ့ chiller များသည် varying flow rates တွေကို ကောင်းစွာ handle မလုပ်နိုင်ခြင်း၊ Differential pressure across the valve သည် မြင့်တက်လာပြီး system controllability ကျဆင်းခြင်း တို့ဖြစ်သည်။

ဘာပဲပြောပြော လက်ရှိ HVAC application များတွင်တော့ 3-way mixing valve များသည် ကျယ်ကျယ်ပြန့်ပြန့် အသုံးပြုနေသော အရာ ဖြစ်ပေသည်။

Characteristics of control valves

Valve flow characteristics သည် valve stem သွားနိုင်တဲ့ travel (percentage of travel) နှင့် valve ကို ဖြတ်သန်းသွားတဲ့ fluid (percentage of full flow) တို့၏ ဆက်သွယ်ချက် ဖြစ်သည်။ Typical flow characteristics တွင် linear, equal percentage နှင့် quick opening ဆိုပြီး သုံးမျိုး ခွဲခြား နိုင်သည်။

Linear flow characteristics ကတော့ ရှင်းသည်။ ဥပမာ - valve က 25% ပွင့်လျှင် flow rate ကလဲ 25% ပင် ဝင်မည် ဖြစ်သည်။ Valve stem ရဲ့ position နဲ့ flow က တိုက်ရိုက် အချိုးကျသည်။ သူ့ကို 2-way valve တွေမှာ pressure or steam control အတွက် သုံးလေ့ရှိသည်။

Equal percentage valve တွေမှာ flow နဲ့ valve stem position တွေရဲ့ ဆက်သွယ်ချက်က non-linear ဖြစ်သည်။ တနည်း ဆိုရသော် exponential ဆက်သွယ်ချက် ဖြစ်၏။ Valve စစချင်း ပွင့်သည့် အချိန်တွင် flow သည် အနည်းငယ် နှင့် တိုးဖင်လာသည်။ Valve ကပို၍ ပွင့်လာသည်နှင့် တပြိုင်နက် flow ကလဲ အဆ နှင့် တိုး၍ တိုး၍ လာလေသည်။ ဘာကြောင့် equal percentage ဟုခေါ်လည်း ဆိုသော် valve သည် equal percent increment နှင့် ပွင့်လာ သကဲ့သို့ flow သည်လည်း ပြီးခဲ့သော တန်ဖိုးအပေါ်မှာ မူတည်ပြီး တူညီသော ရာခိုင်နှုန်း နှင့် တိုးလာသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ ပို၍ ရှင်းအောင် ဆိုရသော် valve သည် 30% ပွင့်နေသော အခါ 20m3/h ဆိုပါစို့၊ 40% ပွင့်လာသော အခါ 50% တိုးလာသည် ဆိုပါက 30m3/h ဖြစ်လာပေလိမ့်မည်။ ဆက်လက်၍ 50% valve ပွင့်နေသော အခါ၌ flow သည် 45m3/h ဖြစ်သည်။ 50% increment သည် ပြီးခဲ့သော တန်ဖိုး အပေါ်တွင်သာ ထပ်ထပ် တိုးသွားခြင်း ဖြစ်သည်။ Valve ပိတ်သော အခါတွင်လည်း ထိုနည်း အတူပင် ဖြစ်သည်။ ဥပမာ ထပ်ပေးရသော် - valve fully open (100%) ဖြစ်နေသော အခါ 100 GPM flow ဖြစ်ပြီး valve 10% ပိတ်လိုက်တိုင်း flow 30% လျော့သွားသည် ဆိုပါက အောက်ပါ အတိုင်းရရှိသည်။

အထက်ပါ တန်ဖိုးများကို graph ဆွဲကြည့်ပါက ရရှိလာသော curve သည် theoretical curve သာဖြစ်ပေမည်။ 0% valve position ၌ valve သည်ပိတ်ရမည် ဖြစ်သည်။ Valve fully close ဖြစ်လျှင် flow မရှိရတော့ပေ။ ထို့ကြောင့် real curve သည် valve close position နားတွင် အနည်းငယ် ခြားနားချက် ရှိပေလိမ့်မည်။ 0% valve position တွင် leakage လည်း ရှိကောင်း ရှိပါလိမ့်မည်။ Equal percentage flow characteristics ကို heating and cooling coils တွေအတွက် modulating control အနေနဲ့ အသုံးပြုရန် သင့်လျော်ပေသည်။

Quick opening flow characteristics ကလည်း အတော်လေး ရှင်းပါသည်။ ဥပမာ - butterfly valve ဆိုပါစို့။ Valve plate ကို stem မှ နည်းနည်း လှည့်ပေးရုံနှင့် မြန်မြန် ဖွင့်ပေးနိုင်သည်။ Manual or automatic သုံးနိုင်ပြီး shut-off (open/close) application တွေတွင် pump, chiller, AHU စတာတွေမှာ service valve အနေနဲ့ သုံးကြသည်။

Control Flow Characteristics		
Valve Type	Flow Characteristic Available	Application
Globe Valve	A. Linear B. Equal percentage C. Quick opening	A. Stem B. Chilled water & Hot water coils C. Open/close
Butterfly Valve	Quick opening	Shut-off for chillers, pumps, AHUs
Ball Valve	Varies	Chilled water cooling & heating coils

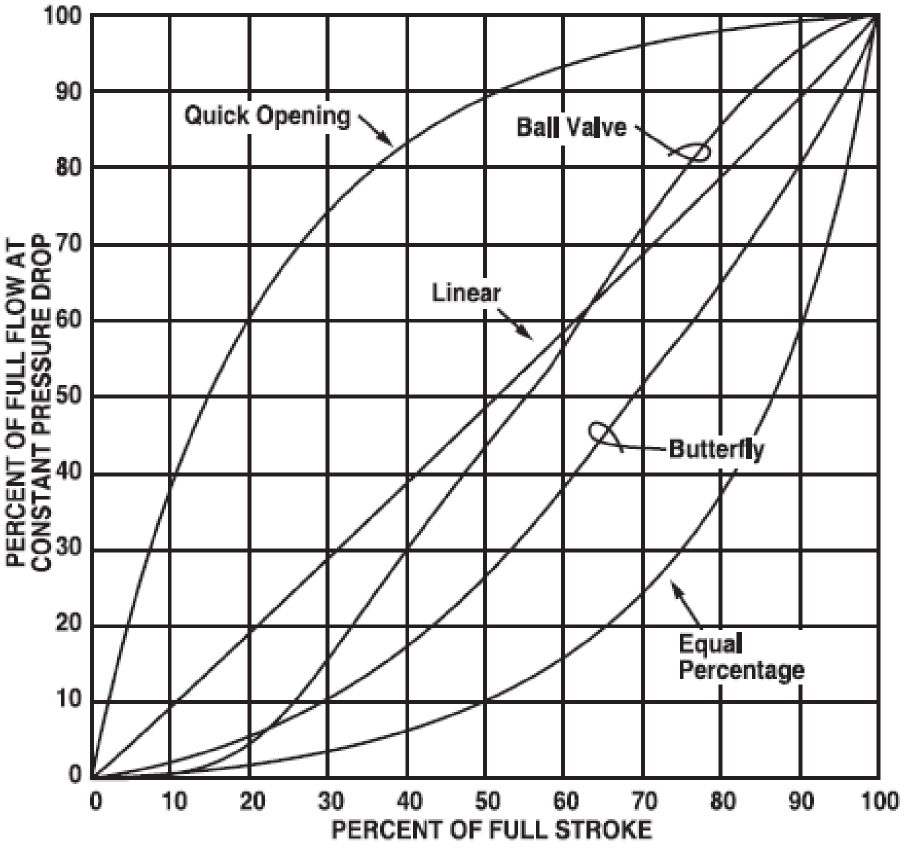


Fig 7.13. Flow characteristic curves of various types

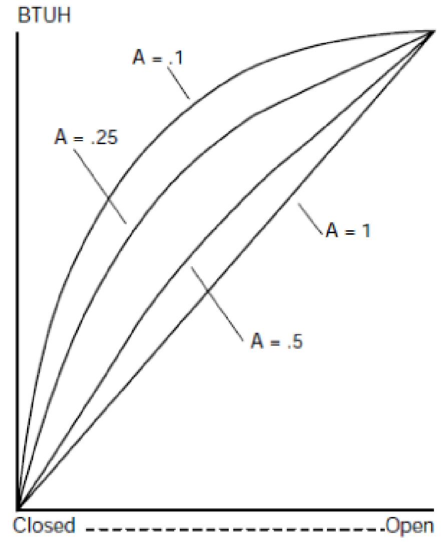
Valve Authority

Differential pressure across the control valve သည် valve အဖွင့် နှင့် အပိတ် condition နှစ်ခု ကြားတွင် ပြောင်းလဲနေသည်။ Valve ပိတ်နေချိန်တွင် system ၏ differential pressure သည် valve တစ်ခုတည်း အပေါ်တွင်သာ သက်ရောက်မှု ရှိသည်။ Valve အပြည့်အဝ ပွင့်နေသော အခါတွင်တော့ စီးဆင်းနေသော fluid flow သည် system ၏ ကျန်အစိတ်အပိုင်း များအားလုံး (coil, balancing valve, pipe, etc) ၌လည်း pressure drop ကိုဖြစ်ပေါ်စေသည်။ သို့ဆိုလျင် ၎င်း fully open အချိန်၌ control valve အပေါ်တွင် less differential pressure သာ ရှိနေမည်ဟု ဆိုနိုင်ပေသည်။

Valve Authority ဆိုသည်မှာ valve fully open အခြေအနေနှင့် valve fully close အခြေအနေ တို့ အကြားတွင် ရှိသော differential pressure အချိုးဖြစ်သည်။

Valve Authority (A) = Open valve pressure drop / Close valve pressure drop

A=1 (or) A=100% ဟုဆိုလျင် valve သည် subcircuit ထဲတွင် ဖြစ်ပေါ်တဲ့ pressure drop သာလျင် ဖြစ်တယ် လို့ဆိုလိုခြင်း ဖြစ်သည်။



A is authority. As series resistance is added to the circuit, the valve has less of the total loss. Its authority is lower. A = 1 means the authority is 100%

Fig 7.14. Effect of valve authority on a linear control valve

အထက်ပါ ပုံတွင် vale authority သည် linear valve တစ်ခု အပေါ်တွင် ဘယ်လို အကျိုး သက်ရောက်မှု ဖြစ်စေသည် ဆိုတာကို ပြသည်။ Linear characteristics သည် modulating control for water system အတွက် သင့်လျော်ခြင်း မရှိပါ။ Valve authority ပြောင်းသည်နှင့် အမျှ flow characteristics ဘယ်လို လိုက်ပြောင်းလဲ ဆိုတာ ဖော်ပြ နိုင်ရန်အတွက် တော့ ကောင်းမွန်သော ဥပမာ ဖြစ်သည်။

အောက်ပါပုံ Fig 7.15 တွင်တော့ low valve authority သည် (A=0.1 and 0.25) equal percent valve characteristic ကို ဘယ်လို သက်ရောက်မှု ရှိသလဲ ဆိုတာ ဖော်ပြသည်။ Valve authority နိမ့်သော အခါ valve stem အနည်းငယ်မျှ ရွေ့သော်လည်း ကြီးမားသော heat output ကိုဖြစ်စေသည့် အချိုးအစား မကျသော change ကို ဖြစ်စေပြီး stable control ကိုလည်း ရရှိနိုင်ဖို့ ခက်ခဲပေသည်။

အချုပ်အားဖြင့် ဆိုရသော် stable control ကို ရဖို့ရန် အတွက် high valve authority ရဖို့ လိုအပ်သည်။

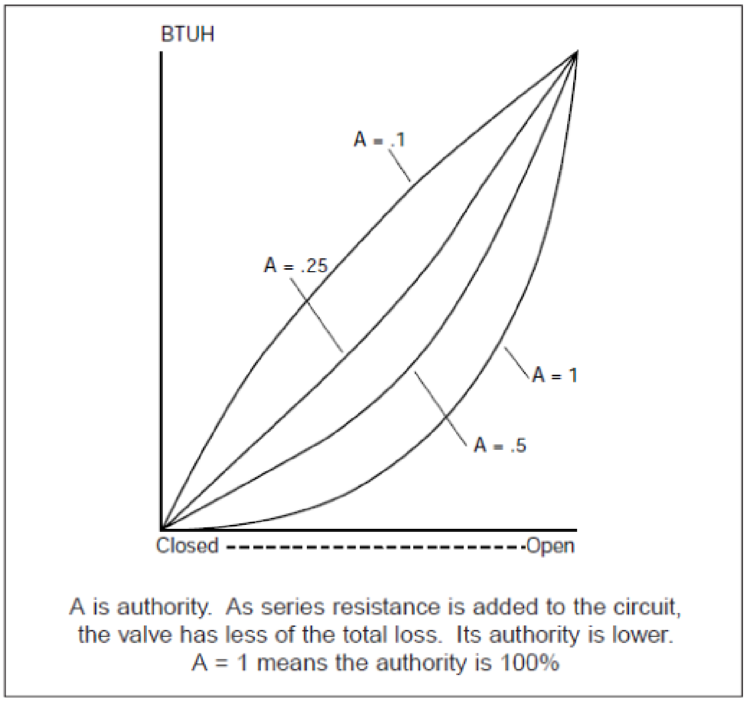


Fig 7.15. Effect of valve authority on a equal percent control valve

Location of the valve

Cooling (or) heating coil ရဲ့ အထွက်မှာ valve တွေကို တပ်ဆင်ပါတယ်။ Coil တွေတွင် ရေသည် အောက်ဖက်တွင် ရှိသော port မှ ဝင်၍ အထက်တွင် ရှိသော port မှ ထွက်သည်။ ဒီ configuration ကို လုပ်ရခြင်း အကြောင်းက အကြောင်း တစ်ခုခု ကြောင့် - ဥပမာ pump ရပ်သွားပါက coil ထဲတွင် ရေအပြည့် ရှိနေပေသေးသည်။ ထို့ကြောင့် AHU အလုပ်လုပ် နေသေးလျှင် coil ထဲမှာ ရှိနေသော ရေအေး လေးနဲ့ တစ်ခဏတော့ အဆင်ပြေနေသေးသည်။ နောက်တစ်ချက်က flow သည် အောက်မှ အထက်ကို သွားသဖြင့် ပိုက်တစ်လျှောက်လုံး ရေ အပြည့် (ပိုက် diameter အတိုင်း ရေအပြည့်) ရှိနေသဖြင့် ပိုက်ထဲတွင် လေနိုခြင်း (avoid air bubble) ကိုရှောင်ရှား နိုင်သည်။ Flow measuring devices နှင့် balancing valve ကို control valve ပြီးမှ တပ်ဆင် ရမည်။ Service valves များကို ပိုက် အဝင် နှင့် အထွက် တွင် တပ်ဆင်ရမည်။

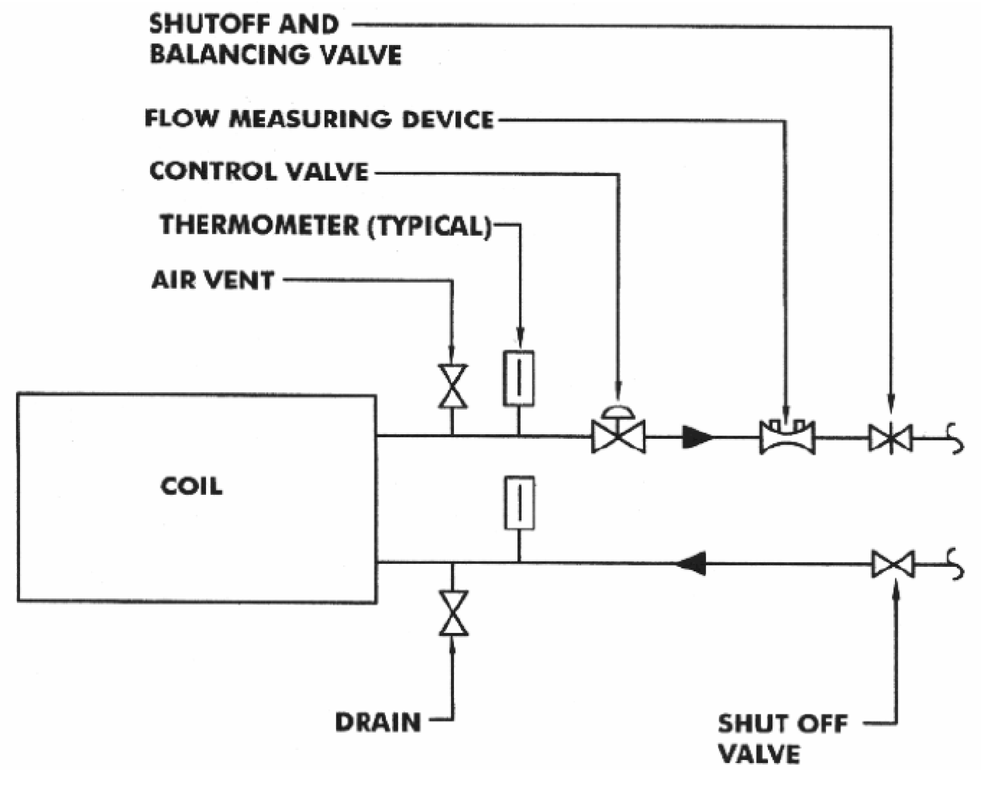


Fig 7.16. Typical configuration of chilled water circuit at FCU

3-way Control Valve Sizing

Chilled water flow rate ကို required cooling capacity ပေါ်မူတည်၍ သိခဲ့ပြီး ဖြစ်သည်။ ဆိုကြပါစို့...AHU တစ်ခုချင်းဆီ အတွက် လိုအပ်သော chilled water flow ကိုသိရှိပြီး ဖြစ်သည်။ Cooling coil header မှ chilled water inlet and outlet diameter ကို ယေဘုယျ အားဖြင့် ရရှိပြီး ဖြစ်သည်။ Cooling coil (evaporator) ဆိုဒ်ကို coil manufacturer ထံမှ ရရှိမည် ဖြစ်သည်။ Chilled water pipe သည် ၎င်းဆိုဒ်ကို follow လုပ်၍ ရနိုင်သည်။ သို့သော် control valve ကို select လုပ်သောအခါ control function ကိုကောင်းကောင်း အလုပ် လုပ်နိုင်စေရန်အတွက် design pressure drop ကိုလည်း စဉ်းစား ပေးဖို့ လိုသည်။ Fluid ရဲ့ maximum temperature, maximum inlet pressure, maximum flow rate, close-off pressure စတာတွေလည်း စဉ်းစားရမည့် အချက်တွေ ဖြစ်သည်။

On-off valve တွေအတွက်ကတော့ ရိုးရှင်းသည်။ Flow characteristics သည် သိပ်ပြီး အဓိက မကျ သဖြင့် ပိုက်ဆိုဒ် အတိုင်း ရွေးလိုက်လျင် ရသည်။ Flow coefficient များသော တန်ဖိုးကို ရွေးပေးလျင် ပိုကောင်းပေသည်။ 3-way control valve ကို select လုပ်သောအခါ ပိုက်ဆိုဒ် ထက် ကြီးချင်လည်း ကြီးမည်၊ ငယ်ချင်လဲ ငယ်နိုင် ပေသည်။ သဘာဝ အားဖြင့် valve fully open ဖြစ်နေသော အချိန်၌ maximum water flow ကိုပေးနိုင် လောက် သော အတိုင်းအတာ အထိ ကြီး ဖို့တော့ လိုသည်။ Modulating process အတွက် အသုံးပြုသော အခါ oversize ကို မရွေးချယ် မိစေရန် တော့ လိုအပ်ပေသည်။ အကယ်၍ valve အရွယ်အစား အရမ်း ကြီးလွန်း ပါက valve အနည်းငယ် ပွင့်ရုံ နှင့် လိုအပ်သော maximum water flow ကို supply လုပ်ပြီးသား ဖြစ်သွားပေမည်။ အထူးသဖြင့် valve စပွင့်သော အချိန်တွင် ဤကဲ့သို့ ဖြစ်လျင် control သိပ်မကောင်း ဟု ဆိုနိုင်သည်။ System သည် low & average load တွေအတွက် အရမ်း sensitive ဖြစ်လွန်းသဖြင့် stable control ကိုရရှိစေရန် ခက်ခဲသည် ဟုဆိုရမည် ဖြစ်သည်။ ထိုနည်းတူ valve ဆိုဒ် အရမ်းသေးနေပါကလည်း valve stem travel အတော်များများ ရောက်မှ လိုချင်သော water flow ကိုရနိုင်မည် ဖြစ်ရာ အဆင်မပြေလှချေ။

Valve ထုတ်လုပ်သူများမှ recommend လုပ်ထားသော pressure drop တန်ဖိုးများ ရှိသကဲ့သို့ rules of thumb များအရ လည်းရွေးချယ် ပေးနိုင်သည်။ Flow coefficient နှင့် pressure drop သည် valve များကို

select လုပ်ရာတွင် အဓိက ကျသော parameter များဖြစ်သည်။ Flow coefficient (K_v နှင့် C_v) ဟူ၍ နှစ်မျိုး သုံးစွဲလေ့ ရှိရာ K_v သည် metric unit အတွက် ဖြစ်ပြီး C_v သည် imperial unit အတွက် ဖြစ်သည်။

K_v အတွက် unit သည် cubic meters per hour (m3/h) of water with a pressure drop across the valve of 1 bar ဖြစ်ပြီး C_v အတွက် unit သည် US gallons per minute (gpm) of water (at 60°C) with a pressure drop across the valve of 1 psi ဖြစ်သည်။ ($K_v = 0.865\,C_v$ / $C_v = 1.156\,K_v$)

Maximum pressure drop ကို 0.01 to 0.3 bar (0.15 to 4.5psi) အတွင်း ရှိအောင် design လုပ်လေ့ရှိသည်။ အောက်တွင် basic formulas များကို ဖော်ပြထားသည်။

The basic formula to determine the Kv of a valve is:

$$Kv = Q\sqrt{\frac{SG}{Dp}}$$

Q = Flow (m³/h)
Dp = Pressure drop (bar)
SG = Specific gravity of fluid
Kv = Valve flow coefficient

There are two other ways that this formula can be used to find the flow in m³/h or pressure drop of a valve in bar:

$$Q = Kv\sqrt{\frac{Dp}{SG}} \qquad Dp = \left[\frac{Q}{Kv}\right]^2 SG$$

The basic formula to determine the Cv of a valve is:

$$Cv = Q\sqrt{\frac{SG}{Dp}}$$

Q = Flow (US gallons/min)
Dp = Pressure drop (psi)
SG = Specific gravity of fluid
Cv = Valve flow coefficient

There are two other ways that this formula can be used to find the flow in US gallons/minute or pressure drop of a valve in PSI:

$$Q = Cv\sqrt{\frac{Dp}{SG}} \qquad Dp = \left[\frac{Q}{Cv}\right]^2 SG$$

Note: Specific gravity of water ကို 1 အနေနဲ့ ယူတွက်နိုင်သည်။

Temperature Controller

လိုအပ်သော chilled water ပမာဏကို သိရှိရန် duct mount (or) room mount temperature transmitter ကိုတပ်ဆင် ထားရသည်။ Return air ကိုအခြေခံပြီး control လုပ်ပါက temperature transmitter (PI temperature controller) ကို return duct တွင် တပ်ဆင်ထားပြီး၊ free return (not ducted) ဖြစ်ပါက အခန်း (wall mount) ထဲတွင် တပ်ဆင်ထားနိုင်သည်။ တစ်ချို့လဲ supply duct တွင်တပ်ဆင်ထားသည်။ တစ်ချို့လည်း supply, return, fresh air duct အကုန်လုံးတွင် တပ်ဆင်ထားသည်။ ဘယ်လို control လုပ်မလဲ ဆိုတဲ့ philosophy အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

Duct mount and room mount temperature controller ကို ဥပမာ အနေနဲ့ အောက်တွင် ပြထားသည်။ Output signal သည် 0-10V (or) 4-20 mA/ 2-wire (or) 3-wire system စသဖြင့် design လုပ်နိုင်သည်။ 3-wire system သည် ပိုပြီး reliable ဖြစ်သဖြင့် HVAC နယ်ပယ်တွင် သုံးလေ့ရှိသည်။

အောက်တွင်ဖော်ပြထားသော controller (Fig 7.17) တွင် 5°C - 30°C အတွင်း set point လုပ်နိုင်သည်။ PI temperature controller အမျိုးအစား ဖြစ်သည်။ PI ဆိုသည်မှာ Proportional နှင့် Integral terms နှစ်ခု ကို ရည်ညွှန်း ခြင်း ဖြစ်သည်။ PI controller သည် desired set point နှင့် တိုင်းတာ ရရှိတဲ့ process variable နှစ်ခု ကြားမှာ ဖြစ်ပေါ်နေတဲ့ ကွာဟချက် အဖြစ် error value ကို အမြဲမပြတ် တွက်ချက် ပေးပြီး အချိန်အတိုင်းအတာ တစ်ခုတိုင်းမှာ ဖြစ်ပေါ်နေတဲ့ error တန်ဖိုးကို နည်းနိုင်သမျှ နည်းအောင် control variable ကို ချိန်ညှိပေးခြင်း ဖြင့် ပြုလုပ်ပေးသည်။ Control variable ဆိုသည်မှာ ဤနေရာတွင် valve position ကို ဆိုလိုခြင်း ဖြစ်သည်။

Proportional terms သည် လက်ရှိ ကွာဟ နေတဲ့ error တန်ဖိုးကို ယူသည်။ ဥပမာ - error တန်ဖိုးသည် ကြီးမား ပြီး အပေါင်းတန်ဖိုး ဖြစ်ပါက controller မှ ထုတ်ပေးသော control output သည်လည်း ကြီးမားပြီး အပေါင်း တန်ဖိုးကိုသာ ထုတ်ပေးပေမည်။

Integral terms ကတော့ ပြီးခဲ့ပြီးပြီ ဖြစ်သော error တန်ဖိုး များကို ပြန်တွက် ပြန်ပေါင်းယူ ပြီး set point နှင့် အနီးစပ်ဆုံး ဖြစ်အောင် valve position ကို adjust လုပ်ပေးသည်။ ဥပမာ ဆိုရသော် လက်ရှိ control output သည် လိုချင်သော set point ကိုရရှိနိုင်လောက်အောင် လုံလောက်မှု မရှိပါက ပြီးခဲ့သော အချိန် အတိုင်းအတာ တစ်ခု အတွင်းမှာ ဖြစ်ခဲ့သော error များကို ပေါင်းပြီး ပို၍ အားကောင်းသော control output တစ်ခုကို controller မှထုတ်ပေးခြင်း ကိုခေါ်သည်။

နောက်ထပ် Derivative terms တစ်ခု ရှိသေးသည်။ ၎င်းကတော့ လက်ရှိ ဖြစ်ပေါ်နေသော ပြောင်းလဲနှုန်း current rate of change အပေါ် အခြေခံ၍ ရှေ့လျှောက် ဖြစ်နိုင်တဲ့ error value ကို တွက်ချက်ပြီး output ထုတ်ပေးခြင်း ဖြစ်သည်။ အထက်ပါ သုံးခု ပေါင်းထားတာကို PID controller ဟုခေါ်သည်။ PI နှစ်ခု တည်းကိုတော့ PI controller ဟုခေါ်သည်။

အောက်တွင် ဖော်ပြထားသော temperature controller တွင် ကိုယ်လိုချင်သော set point temperature ကိုချိန်၍ ထားပါ။ Air temperature (set point temperature) ကို sense လုပ်၍ control output ကို controller ကထုတ်ပေးမည် ဖြစ်သည်။ Control output ဆိုရာတွင် control voltage (0-10V) သို့မဟုတ် 4-20mA output ကို 3-way valve ၏ actuator ဆီသို့ ထုတ်ပေးခြင်း ဖြစ်သည်။ 3-way valve ၏ actuator မှ လိုအပ်သော chilled water ပမာဏ ရရှိစေရန် အတွက် modulate လုပ်ပေးမည် ဖြစ်သည်။

Fig 7.17. Room mount temperature controller (5-30°C)

Fig 7.18. Duct mount temperature controller (5-30°C)

အောက်ကပုံတွင် ပြထားတာက AHU တစ်လုံး၊ control panel နှင့် temperature controller များဖြစ်သည်။ သူကတော့ hard wire system ဖြစ်သည့် အတွက် control panel တွင် HMI display မပါရှိပေ။ HMI ဆိုသည်မှာ Human Machine Interface ဖြစ်သည်။ PLC program သုံးလျှင်တော့ HMI ကိုတွေ့ပါလိမ့်မည်။ AHU ၏အပေါ်တွင် return plenum ရှိ၍ ၎င်း plenum တွင် temperature controllers များကို တပ်ဆင်ထားသည်။ ဘယ်ဖက် အစွန်ဆုံးသည် duct mount temperature controller ဖြစ်၍ cable သည် control panel သို့ရောက်အောင် မရှည် သဖြင့် အလယ်တွင် ရှိသော junction box နှင့် ဆက်ထားရသည်။ ညာဖက်ဆုံးက ရှည်မျောမျော အနက်ရောင်သည်လည်း temperature controller ပင်ဖြစ်၍ ၎င်းကတော့ heater အတွက်ဖြစ်သည်။ AHU အတွင်းတွင် cooling coil သာမက electric heater လည်းပါရှိသည်။ Heater သည် heating capacity ပေါ်မူတည်၍ single stage, 2-stage, 3-stage စသဖြင့် ရှိလေရာ set point နှင့် တိုင်းတာ ရရှိသော value အကြားတွင် ဖြစ်ပေါ်နေသော error value အပေါ် မူတည်၍ stage တစ်ခုပဲ On ရမလား၊ တခြား stage တွေကော On ရမလားဆိုသော control output ကို ထုတ်ပေးရန် ဖြစ်သည်။ PLC program ကိုသုံးလျှင်တော့ ယခုလို sensor နှစ်ခု မလိုအပ်ပေ။ တစ်ခုဆို လုံလောက်ပြီ ဖြစ်၍ program ရေးထားသည့် အတိုင်း control လုပ်သွားမည် ဖြစ်သည်။

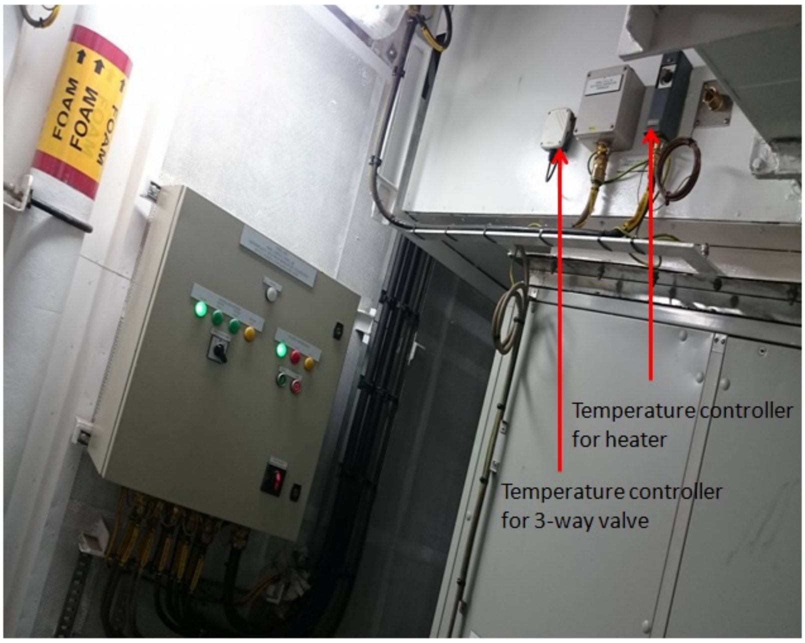


Fig 7.19. Duct mount temperatures and HVAC Control Panel

18°C Thermostat

18°C thermostat ကို chilled water supply line တွင် တပ်ဆင် အသုံးပြုလေ့ ရှိသည်။ ရည်ရွယ်ချက်မှာ အကြောင်းတစ်ခုခုကြောင့် system ရပ်သွားပြီး ပြန်စသောအခါ သိပ်မအေးသေးသော ရေများ cooling coil အတွင်းသို့ မဝင်စေပဲ by pass လမ်းမှ ဖြတ်ပြီး return မှ ပြန်သွားစေရန် အတွက် ဖြစ်သည်။ Set point temperature ကိုတော့ ကိုယ်ထားချင် သလောက်ထားနိုင်သည်။ များသောအားဖြင့် 18°C တွင်ထားလေ့ ရှိသဖြင့် 18°C thermostat ဟုဆိုခြင်း ဖြစ်သည်။ Sensing element (wire) ကို chilled water supply pipe တွင် ကပ်၍ ချည်ထားပြီး 18°C သို့ water temperature ရောက်သောအခါ တွင်မှ 3-way valve ကို စတင် modulate လုပ်စေသည်။ အောက်ကပုံတွင် ကြည့်ပါ။ အခန်း၏ design temperature သည် 22°C to 25°C လောက်အတွင်းသာ ထားကြသဖြင့် 3-way valve ကို control လုပ်ရန်အတွက် room mount or duct mount temperature controller နှင့် conflict မဖြစ်နိုင်ပါ။

Fig 7.20. 18°C thermostat for chilled water temperature

Chapter 8

Functional Design Specification

Introduction

HVAC system တွင် control ပိုင်းအတွက် control philosophy ဆိုတာ အရင် သတ်မှတ်ထားရသည်။ AHU တွေကို ဘယ်လို control လုပ်မလဲ၊ thermostat setting တွေဘယ်လိုထားမလဲ၊ time delay တွေ ဘယ်လောက် ထားမလဲ၊ interlock တွေဘယ်လို၊ alarm setting တွေကဘယ်လို စသဖြင့် ဒါတွေကို အရင် define လုပ်ထားရသည်။ ပြီးတော့မှ electrical drawing တွေကို create လုပ်ရသည်။ AHU, FCU general arrangement drawing တွေကတော့ အရင် design လုပ်ပြီး သူတို့ကို ထားမဲ့ အခန်းအတွက် (room arrangement အတွက်) ကြိုတင် ပြင်ဆင်ထားလို့ရသည်။

Chilled water system တွင် ယေဘုယျ အားဖြင့် chilled water temperature သည် အဝင် 6°C နှင့် အထွက် 12°C သည် normal design condition ဖြစ်သည်။ ဒီနေရာတွင် condenser water temperature (cooling water temperature) နှင့် မရောမိဖို့လိုသည်။ 6°C နှင့် 12°C သည် **chilled water** temperature ဖြစ်သည်။ Condenser water temperature သည် condenser တွင် heat exchange လုပ်ပေးသည့် cooling water (fresh water or sea water) ၏ temperature ဖြစ်သည်။ ယေဘုယျ အားဖြင့် cooling water ၏ entering temperature သည် 36°C - 38°C လောက်ရှိ၍ leaving temperature သည် 43°C လောက်ရှိသည်။ Cooling tower များကို marine sector တွင်မသုံးပါ။ Sea water cooled chiller ကိုသုံးလျှင် sea water ကို fresh water နှင့် ပြန်၍ အအေးခံကာ system အတွင်းသို့ ပြန် ၍ circulate လုပ်စေသည်။ Lower main deck မှာ chiller room ကိုထားလေ့ရှိသည်။

Air cooled chiller တွေကတော့ centralized AHU တွေအတွက် သုံးလေ့မရှိပါ။ သူ့ကို low capacity အတွက်သုံးလေ့ ရှိပြီး rooftop မှာထားလေ့ရှိသည်။

Chiller များတွင် soft starter build-in အနေနဲ့ ပါပြီး visual control အဖြစ်နောက်ထပ် panel တစ်ခုရှိသည်။ သူကတော့ setting တွေ adjust လုပ်ရန် နှင့် alarm reset တွေအတွက် ဖြစ်သည်။ လူတိုင်းဝင်ပြီး ဟိုဟိုဒီဒီ လျှောက်မနှိပ်နိုင် စေရန် password protection လုပ်ထားသည်။

Chilled water system တွင် typically အနေနဲ့ chiller unit (condenser, evaporator, compressor, other small components such as safety devices and instruments), chilled water pump, condenser water pump, expansion vessel, chemical dosing tank, control valves, instruments, AHU or FCU, piping system စတာတွေ ပါဝင်သည်။ Full load နှင့် partial load သာရှိ၍ land တွေမှာကဲ့သို့ မဟုတ်ပဲ အမြဲတမ်း run နေရသည်။ Shut down လုပ်ရသည် မရှိပါ။ Control room (switch board) တွေသည် အမြဲတမ်း aircon လိုအပ်နေသည် လည်းဖြစ်သည်။

Chiller set သည် ဘယ်တော့ မှ 1x100% သုံးလေ့ မရှိပါ။ System fail ဖြစ်လျှင် aircon service ရပ်သွား၍ မဖြစ်သောကြောင့် stand-by unit တစ်ခု အမြဲထားလေ့ ရှိသည်။ ထို့ကြောင့် 2x100% (1 duty and 1 stand-by) သော်လည်းကောင်း၊ 3x50% (2 duty and 1 stand-by) သော်လည်းကောင်း ထားလေ့ ရှိသည်။ တွန်းပေးမည့် pump သည်လည်း ထို့အတူ ပင်ဖြစ်သည်။ Interlock ဆိုသည်မှာ sytem A run နေချိန်တွင် system B stand-by အနေနဲ့ ရှိနေအောင် setting လုပ်ထားခြင်းဟု အကြမ်းဖျင်း မှတ်ဖို့လိုသည်။ နှစ်ခုစလုံး တပြိုင်နက် operate လုပ်မနေအောင် စီစဉ်ထားခြင်းပင်။ System တစ်ခု fail ဖြစ်ပြီ ဆိုသည်နှင့် ကျန် system တစ်ခုက operate လုပ်ပေးဖို့လိုသည်။ ဒါကို auto mode (or) manual mode ပြုလုပ်နိုင်သည်။ Safety အတွက်ပြောရလျှင် ဥပမာ- water flow switch ကို condenser အဝင်တွင် တပ်ဆင်ထားပြီး water flow မရှိပါက compressor မ run ပေ။ Water flow switch နှင့် compressor ကို interlock လုပ်ထားသည်ဟု ဆိုနိုင်သည်။

Instruments တွေအနေနဲ့ pressure gauges, thermometers စသဖြင့် တပ်ဆင်ကြသည်။ Chilled water pump အဝင်နှင့် အထွက်တွင် pressure gauges များတပ်ဆင်ထားခြင်းဖြင့် differential pressure ကိုအလွယ်တကူ သိနိုင်သည်။ Chiller ၏ အဝင် အထွက် ပိုက်လိုင်းတွင် thermometer ကိုတပ်ဆင်ထားခြင်းဖြင့် water temperature ကိုအလွယ်တကူ သိရှိနိုင်သည်။ ဒီ instrument တွေသည် system

control အတွက် မဟုတ်ပေ။ System ရဲ့ condition ကိုသိနိုင်ရန် တပ်ဆင်ထားခြင်းသက်သက် သာဖြစ်သည်။ Chiller အတွက် control devices and control wiring တွေက chiller ဝယ်ကတည်းက တစ်ပါတည်း ပါလာပြီးသား (pre-installed) ဖြစ်သည်။ Chilled water pump အတွက်ကတော့ ကိုယ့်ဟာကိုယ် panel သတ်သတ် ထားရမည်ဖြစ်သည်။ Chiller ကို remote ON/OFF (or) emergency shutdown စသဖြင့် လုပ်လိုသော် ဒီ panel မှာ integrate လုပ်နိုင်သည်။

Functional Design Specification

Functional design specification ကတော့ system ထဲတွင် ဘာတွေ ပါသည်၊ သူ့ရဲ့ function တွေကဘာ၊ ဘယ်လို condition တွေ ရှိလဲ၊ ဘယ်လို control လုပ်မလဲ၊ ဘယ်လို operating လုပ်သလဲ စတာတွေ ကို နားလည် သဘောပေါက် ခြင်းပဲ ဖြစ်သည်။ ဒီအခန်းရဲ့ ရည်ရွယ်ချက်က ကိုယ်လုပ်နေတဲ့ ဒီဇိုင်းက ဘာဆိုတာ ကို တိတိကျကျ နားလည် စေချင် တဲ့ အတွက်ဖြစ်သည်။ အောက်တွင် ဖော်ပြထားသည် များကို သဘောတရားကို နားလည်စေရန် အတွက် တင်ပြခြင်း ဖြစ်သည်။ PLC သုံးသော system တစ်ခုကို ဥပမာ အနေနဲ့ ဖော်ပြသည်။

System Functions and Facilities

- Design condition တွေ ရှိသည်။ ဥပမာ - Outdoor temperatures (min 0°C and max 40°C), RH 30% & 50%. Desired indoor temperature and RH% 50

- System တွင် centralized AHU (2x100%) တစ်လုံး ပါဝင်ပြီး 100% outside air ကိုပဲ အသုံးပြုသည်။ Chilled water system ဖြစ်၍ အခန်း ၃ ခန်းကို serve လုပ်မည်

- Chilled water cooling နှင့် electrical heater ပါဝင်မည်

- Cooling အတွက် AHU ၏ supply temperature (off-coil temperature) သည် 14°C ဖြစ်ရမည်။ Air flow သည် 4000 m3/h

- Chilled water supply temperature 7°C နှင့် return temperature 12°C

- Cooling capacity 100 kW ဖြစ်၍ heating capacity 39 kW ဖြစ်သည်။

- Heater အတွက် AHU ၏ supply temperature (off-coil temperature) သည် 19°C ဖြစ်ရမည်

- HVAC system ကို control/starter မှ control လုပ်သည်။ Control panel တွင် dedicated PLC system နှင့် HMI (Human Machine Interface) ပါဝင်၍ Auto/Manual Mode နှင့် အလုပ်လုပ်သည်။

- ပုံမှန် အခြေအနေတွင် system သည် auto mode နှင့် အလုပ်လုပ်၍ PLC သည် system ကို control နှင့် monitor လုပ်နေမည်။ Manual mode တွင် HMI မှတဆင့် လူက manually control လုပ်ရပေမည်။ PLC က system ကို monitor ပဲ လုပ်နေမည် ဖြစ်သည်။ System failure ဖြစ်သွားလျှင်တော့ PLC က သက်ဆိုင်ရာ system ကို ရပ်ပစ်မည် ဖြစ်ပြီး manually override လုပ်လို့ မရပါ

System Control and Operation Philosphy

- Control/starter panel သည် chiller, AHU စတဲ့ chilled water system တစ်ခုလုံးကို control လုပ်သည်

- Chiller သည် compressor, condenser, chilled water pump set, AHU (separate cooling coil and electric heater) စသဖြင့် 100% redundant အနေနဲ့ operate လုပ်သည်။ ထို့အတွက် system သည် အကြောင်းတစ်ခု ကြောင့် failure ဖြစ်ပါက stand-by unit က automatically take over လုပ်လိမ့်မည် ဖြစ်သည်

- System A မှ system B သို့ ပြောင်းလိုပါက (switch over လုပ်လိုပါက) manually အနေနဲ့ HMI screen တွင် ပြောင်းနိုင်၍ auto mode တွင် alarm တစ်ခု ရှိပါက တခြား stand-by system တစ်ခုကို အလိုလို ပြောင်းသွားမည် ဖြစ်သည်

- PLC သည် HMI screen failure ဖြစ်နေပါက လည်း အလုပ်ဆက်လုပ် နေနိုင်ရမည် ဖြစ်သည်

PC Control Loop

- Power on လိုက်သည်နှင့် (first start up), alarm မရှိဘူးဆိုပါက compressor set နှင့် chilled water pump set သည် stand-by ဖြစ်နေရမည်

- AHU သည် run ဖို့ အဆင်သင့် ဖြစ်နေရမည်

- AHU fan သည် run ဖို့ အဆင်သင့် ဖြစ်နေရမည်။ Fan မလည်ခင် damper တွေ ပွင့်နေလား ဆိုတဲ့ status အရင် confirm ဖြစ်ဖို့ လိုသည်။ ထိုအတွက် delay time ခံပေးဖို့ လိုသည်။ Pressure differential switch (before and after fan) ကိုလည်း system မှစစ်ဖို့လိုသည်။ ထိုအတွက်လည်း time delay ရှိဖို့ လိုသည်။

AHU Supply Air Temperature

- Supply air set point သည် 14°C ဟုသတ်မှတ် ထားပြီး ၎င်းကို supply duct တွင် တပ်ဆင်ထားသော temperature transmitter က တိုင်းတာသည်

- Cooling mode and heating mode အတွက် offset 2°C သတ်မှတ် ထားသည်။ ဥပမာ- temperature သည် 12°C (14°C -2°C) ဖြစ်နေပါက heater on မည်ဖြစ်ပြီး 14°C ရောက်သည် အထိ regulate လုပ်နေမည် ဖြစ်သည်

- 16°C (14°C+2°C) ဖြစ်နေပါက 3-way valve ပွင့်လာမည် ဖြစ်ပြီး 14°C ရောက်သည် အထိ regulate လုပ်နေမည် ဖြစ်သည်

- Supply air temperature 14°C သည် HMI screen တွင် သတ်မှတ်ထားသည့် range အတွင်း adjust လုပ်နိုင်သည်။

- The differential out of range +/- 0.5°C ထားမည် ဆိုကြပါစို့။ Heating mode အတွက် 12°C -0.5°C = 11.5°C ဖြစ်နေပါက alarm မြည်၍ stand-by unit က automatically take over လုပ်မည် ဖြစ်သည်။ Cooling mode အတွက် 16°C+0.5°C=16.5°C ဖြစ်သွားပါက တခြားယူနစ် တစ်ခုကို auto switch over ဖြစ်သွားပေမည်။

- Cooling mode or heating mode, ဘယ် mode သည် operating လုပ်နေသလဲ ဆိုတာ သည် HMI screen တွင် display လုပ်နေရမည်

- Heating control သည် Thyristor ဖြစ်၍ PID control loop ဖြစ်သည်။ Thyristor ဆိုသည်မှာ linear control ဖြစ်သည်။ ဆိုလိုသည်မှာ On/Off သာမဟုတ်ပဲ လိုသလောက် linearly control လုပ်နေမည် ဖြစ်သည်။ Temperature transmitter က measure လုပ်၍ ပေးပို့သော signal (0-10V or 4-20mA) အရ control output ကို linearly ထုတ်ပေးသည်။ PLC အားဖြင့် အလုပ်လုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။

- Cooling mode သည်လည်း ထို့အတူ ပင်ဖြစ်သည်။ Tyristor သည် heating အတွက် ဖြစ်သကဲ့သို့ 3-way control valve သည် cooling အတွက် ဖြစ်၍ cooling coil အတွင်းသို့ chilled water ဝင်ရောက်မှု ပမာဏ ကို ထိန်းချုပ်ပေးခြင်း ဖြင့် လိုအပ်သလို regulate လုပ်ပေးသည်။

- Heater ဆိုသည်နှင့် over heat protection ရှိရသည်။ Safety အတွက် နှစ်ဆင့် ခံပြီး သုံးသည် auto and manual ဆိုပြီး။ ဥပမာ auto ဆိုလျှင် 0-120°C အတွင်း adjust လုပ်နိုင်၍ set point ကို 50°C ထားမည်။ Auto မှာ တစ်ခုခု fail ဖြစ်လို့ မဖြတ်ခဲ့ဘူး ဆိုလျှင် manual အနေနဲ့ 80°C set point ထားပါက 80°C ရောက်လျှင် power cut out လုပ်လိမ့်မည်။ Reset လုပ်ချင်လျှင် လူက ပြန်ပြီး လုပ်ရသဖြင့် manual ဟုခေါ်ခြင်း ဖြစ်သည်။

- Filter သည် AHU တွေတွင် နှစ်ဆင့်ခံထားလေ့ ရှိသည်။ Coarse filter (filter အကြမ်း) တွင် pressure indicator လောက်သာ တပ်ဆင်ကြ၍ fine filter ဟုခေါ်သော bag filter တွင် pressure differential transmitter တပ်ဆင်ကြသည်။ Pressure indicator သည် filter ၏ အဝင် နှင့် အထွက် pressure difference ကို တိုင်းတာ၍ gauge တွင် ပြပေးသည်။ Pressure differential transmitter ကတော့ sensing အလုပ်သာ မက signal ကိုပါ controller သို့ transmit ပြန်လုပ်သည်။ Filter choke ဖြစ်နေပါက set point ပေးထားမှု အပေါ် မူတည်၍ alarm မြည်ပေမည်။ ဥပမာ- set point 140 Pa ပေးထားပါက ၎င်းထက် ကျော်လွန်သွားပါက alarm ပေးမည် ဖြစ်ပြီး HMI screen တွင် ပေါ်နေမည်။ တစ်ပြိုင်နက်တည်း VMS သို့လည်း general alarm အနေနဲ့ feedback signal ပေးမည် ဖြစ်သည်။

Chiller and Chilled Water Pump Set

- Chiller နှင့် pump set သည် 100% redundant ဖြစ်သည်။ ဥပမာ- chiller set A နှင့် chilled water pump A, chiller set B နှင့် chilled water pump B. ဘယ် system က operating လုပ်နေသလဲ ဆိုတာ HMI screen တွင် ပေါ်နေမည် ဖြစ်သည်။

- Alarm တစ်ခု ပေါ်သည်နှင့် တပြိုင်နက် stand-by chiller က auto take over လုပ်မည် ဖြစ်သည်။

- Chilled water temperature set point တွေကို HMI screen ပေါ်တွင် adjust လုပ်နိုင်သည်။ ဥပမာ- chilled water return temperature 12°C နှင့် supply temperature 7°C.

3-way Control Valve (0-10V or 4-20 mA)

- 3-way valve သည် supply air temperature (off-coil temperature) အထက် 2°C မြင့်နေသည် အထိ close position အတိုင်း ရှိနေမည် ဖြစ်ပြီး valve ပွင့်လာမည် မဟုတ်။ Temperature ကို adjust လုပ်နိုင်သည်။

Chilled Water Automatic Open/Close Valve

- Automatic Open/Close Valve များကို shut-off or switch over service အတွက အသုံးပြုခဲ့ပါက ပွင့်နေသလား၊ ပိတ်နေသလား ဆိုတဲ့ position status သည် HMI တွင်ပေါ်နေမည် ဖြစ်သည်။

Compressor Operation

- Rotation protection သည် မှန်ကန်ပါက compressor ကို run ဖို့ release လုပ်မည်

- Crankcase heater alarm clear ဖြစ်မှ compressor run ပေမည်။ Crankcase heater ကို standstill heater ဟုလည်း ခေါ်သည်။ Compressor ရပ်နေသော အခါ heater သည် run နေမည် ဖြစ်ပြီး compressor ကို freeze ဖြစ်မသွား စေရန် ကာကွယ်ပေးခြင်း ဖြစ်သည်။ Compressor run ပြီဆိုသည်နှင့် ၎င်း heater သည် ရပ်ရမည် ဖြစ်သည်။ Program default အနေနဲ့ များသော အားဖြင့် 8 hrs ပေးထားသည်။ ဆိုလိုတာက စ run

မည်ဆိုလျှင် 8 hrs စောင့်ရမည့် သဘောပင်။ Compressor ကို အပူပေးသည့် သဘောပင်။ အရပ် အခေါ် heat တိုက်သည် ဟုဆိုသည်။ သို့သော် indoor တွင် install လုပ်ထားပြီး အေးခဲနေသော အခြေအနေ မရှိပါက Start-up အခြေအနေတွင် by-pass လုပ်၍ ၎င်းကို reset လုပ်၍ ကျော်နိုင်သည်။

- Power ပေးပြီး၍ 3 min နေမှ pump စလည်မည်။ Time delay ပေးထားခြင်း ဖြစ်သည်။

Solenoid Valve

- Suction pressure (to compressor) သည် သတ်မှတ်ထားသော set point (ဥပမာ- 5bar) ထက် နည်းနေလျှင် valve ပွင့်နေမည် ဖြစ်ပြီး compressor မရပ်မချင်း ပွင့်နေမည် ဖြစ်သည်။

Temperature Transmitter PT-100 (Chilled Water)

Chiller set တိုင်းတွင် evaporator အထွက်တိုင်းတွင် (chilled water line) သက်ဆိုင်ရာ temperature transmitter တစ်ခုစီ ရှိ၍ အောက်ပါ အတိုင်း setting လုပ်ထားနိုင်သည်။

T entering water (T chiller inlet) < 5°C default setting : entering temp. too low

T leaving water (T chiller outlet) < 1.5°C default setting : alarm frost

T entering and T leaving > 55°C : compressor is blocked (out of operation limits)

Set point: T entering water (T inlet chiller): default setting 7°C

T entering water < 7°C , compressor stops, no alarm. Wait for further capacity control

Compressor ရပ်နေသော်လည်း chilled water pump သည် ဆက်လက် operating လုပ်နေမှာပဲ ဖြစ်သည်။

Low and High Pressure

- Compressor ၏ low pressure sensor သည် 2.0 bar အောက်ရောက်နေပါက compressor စ run ဖို့ release လုပ်လိမ့်မည်။

- LP sensor ကို compressor ကို မဝင်ခင် chilled water line တွင် တပ်ဆင်ထားပြီး low pressure ဖြစ်နေပါက အောက်ပါ alarm များပေး၍ action လုပ်နိုင်သည်။

LP below 0.5 bar compressr stops

LP below 0.3 bar chilled water pump stops

- Low side ၏ chilled water system pressure သည် 1.5 bar (adjustable) ဖြစ်သည်။ Relief valve အတွက် set point သည် 4.0 bar ဖြစ်၍ expansion vessel ၌တပ်ဆင်ထားသည်။

- High pressure sensor သည် compressor အထွက် high side (or) pressure side တွင် တပ်ဆင်ထား၍ အောက်ပါ alarm များပေး၍ action လုပ်သည်။

HP above 23 above compressor stop

HP below 16 bar reset (possible on HMI)

HP sensor သည် 4 bar လောက်သာ ပြနေပါက condenser တွင် သေချာပေါက် leakage ရှိနေပြီ ဖြစ်သည်။ Alarm သည် comdenser pressure too low ဆိုပြီး ပြနေပေလိမ့်မည်။ ဒါဆို condenser မှရေကို ဖောက်ထုတ်၍ specialist ကိုဆက်သွယ်ရန် သာရှိသည်။

- 3-way valve cooling water line တွင် တပ်ဆင်ထားပါက condenser pressure ကို regulate လုပ်နေလိမ့်မည်။ Valve ပွင့်သည် 0% - 100% အတွင်း ဖြစ်သည်။

LP an HP Pressostat

၎င်းသည် mechanically အရ extra safety protection for compressor အတွက် ဖြစ်သည်။ Setting များကို ထို pressostat ပေါ်တွင် တိုက်ရိုက် set လုပ်နိုင်သည်။

Alarm Setting

LP below 1 bar compressor stop with alarm LP (display on HMI)

HP above 24 bar compressor stop with alarm HP (display on HMI)

Flow Switch Cooling Water

- Chilled water pump နှင့် flow switch ကို interlock လုပ်ထားသည်။ အလုပ်လုပ်ပုံမှာ contact point နှင့် ဖြစ်သည်။ ဥပမာ - contact close ဖြစ်၍ 6 sec ကြာမှ chilled water pump သည် အလုပ်စလုပ်သည်။ Pump ရပ်သွားပါပြီး 6 sec ကြာလျှင် open contact ဖြစ်နေမည်။ Cooling water for condenser အတွက်လည်း ထိုနည်းတူ ပင်ဖြစ်သည်။ Close contact ဖြစ်နေမှသာ compressor အလုပ်လုပ်မည် ဖြစ်သည်။ Safety interlock ဖြစ်သည်။ ဥပမာ - flow မရှိပဲ chilled water pump run နေပါက mechanical damage ဖြစ်ပေလိမ့်မည်။

Oil heater and Oil Level

- Compessor ရပ်နေသမျှ တစ်လျှောက်လုံး oil heater အမြဲတမ်း "On" နေပေမည်။ Correct oil level သည် close contact ဖြစ်နေရမည့် အနေအထား ဖြစ်သည်။ သတ်မှတ်ချိန်ထိ oil pressure တက်မလာပဲ open contact ဖြစ်နေပါက compressor စ run မည် မဟုတ်ပဲ HMI screen တွင် alarm သွားပေါ်နေမည် ဖြစ်သည်။ Compressor သည် operating လုပ်နေချိန် ဖြစ်ပါက 60 sec delay time ဖြင့် ရပ်သွားပေလိမ့်မည်။

Motor Protection

- Compressor တိုင်းတွင် motor protection ရှိသည်။ Motor rotation မမှန်ပါက compressor ကို block လုပ်ထားမည် ဖြစ်ပြီး HMI တွင် alarm ပေးမည် ဖြစ်သည်။

Capacity Control

- Solenoid valves များကို သုံးသော capacity control ဖြစ်ပါက ၎င်းတို့သည် function အသီးသီး ဖြင့် capacity control လုပ်သည်။ ဥပမာ - solenoid လေးလုံး ရှိသည် ဆိုပါစို့။

- Compressor ရပ်နေရာမှ startup ဖြစ်ဖို့ အတွက် No.3 သည် အမြဲတမ်း energize ဖြစ်နေပြီး No.4 သည် compressor run နေချိန်တွင် oil reclaim အတွက် pulsating ဖြစ်နေသည်။

- Step control သည် chilled water return temperature ပေါ်တွင် မူတည်သည်။

- ဥပမာ - 7°C တွင် compressor ရပ်မည်

- 7°C နှင့် 8°C ကြားတွင် 50% ဖြစ်မည် (No.1 Off & No.2 On)

- 10°C နှင့် 12.5°C ကြားတွင် 75% ဖြစ်မည် (No.1 On & No.2 Off)

- 12.5°C အထက်တွင် 100% full load condition နှင့် run မည် (No.1 Off & No.2 Off)

အထက်ပါ step control ကိုကြည့်ပါက compressor သည် 50% capacity နှင့် စအလုပ်လုပ်၍ return water temperature ပေါ်မူတည်၍ capacity သည် တဖြည်းဖြည်းချင်း တက်လာသည်။

Fig.8.1. Electrical Panel with PLC

Chapter 9

Fire Prevention

Marine and offshore terms တွင် နံရံ ကို bulkhead၊ floor ကို deck ဟုခေါ်သည်။ Ships/rigs များ၌ နေရာကို လိုက်၍ division များနှင့် ခွဲခြားထားသည်။ A class, B class, C class, H class စသဖြင့် ခွဲခြားထားသည်။ ဒီအထဲမှာမှ A class division သည် fire protection system အတွက် အထူး အရေးပါသော division ဖြစ်သည်။ ၎င်းကို အဓိပ္ပါယ် ဖွင့်ရပါက division သည် bulkhead များ deck များဖြင့် ဖွဲ့စည်းထားပြီး အောက်ပါ အချက်များကို လိုက်နာပြီး တည်ဆောက်ရသည်။

1) Steel (or) equivalent material များနှင့် တည်ဆောက် ထားရမည်

2) သင့်တင့် လျှောက်ပတ်သော ခိုင်ခံ့မှု ရှိရမည်

3) Approved non-combustible materials များနှင့် insulate လုပ်ထားပြီး မီးလောင်မှု မရှိသော ဖက်တွင် မူလ အပူချိန်ထက် 140°C ပိုမို မြင့်တက်လာမှု မရှိစေရ (ဒါမှ မဟုတ်) မည်သည့် နေရာ တွင် မဆို (ရှိုင့်တွေ အပါအဝင်) အောက်တွင် ဖော်ပြထားသော သတ်မှတ်ချိန် အတွင်း မူလ အပူချိန်ထက် 180°C ပိုမို မြင့်တက်လာမှု မရှိစေရ

Class "A-60"	60 min
Class "A-30"	30 min
Class "A-15"	15 min
Class "A-0"	0 min

4) One-hour standard fire test ကြာပြီးတဲ့ အထိ flame, smoke စတာတွေကို ကာကွယ်ထားနိုင်အောင် တည်ဆောက်ရမည်

5) Integrity နှင့် temperature rise အတွက် prototype bulkhead or deck တစ်ခု နှင့် test ပြုလုပ်ရမည် ဖြစ်ပြီး ၎င်း test သည် Fire Test Procedures Code နှင့် ကိုက်ညီမှု ရှိရမည်။

H class ဆိုပြီးလည်း ရှိသေးသည်။ ၎င်းသည် hydrocarbon fire protection အတွက် ဖြစ်၍ Fire damper တွေ သုံးစွဲရာတွင် A class နှင့် တတန်းထဲ ထား၍ သုံးစွဲလေ့ ရှိသည်။ Location အပေါ်မူတည်၍

electrical components များသည် ex-proof ဖြစ်ရန် လိုအပ်ပါက သတ်မှတ် ထားသော rating ရှိသော ပစ္စည်း များကို သုံးစွဲပေးရပေမည်။

ဤအခန်းတွင် fire zone တွေ အကြောင်းပဲ ပြောသွားမည် ဖြစ်သည့် အတွက် တခြား B class, C class များအတွက် မရှင်းတော့ပေ။ ထို့အတူ H class အတွက်လည်း ထပ်မံ မရှင်းတော့ပါ။

Fire Zone သတ်မှတ်ခြင်း

Zone တွေကို group အလိုက် ခွဲခြား သတ်မှတ် ထားဖို့လိုသည်။ သို့မှသာ မီးလောင်ပြီ ဆိုလျှင် zone တစ်ခု လုံးကို safe ဖြစ်အောင် shutdown လုပ်နိုင်မည် ဖြစ်သည်။ Air-con (သို့) ventilation ducts တွေသည် နေရာ အနှံ့ အပြားသို့ serving လုပ်နေသဖြင့် အခန်း တစ်ခု မှ တစ်ခု ဆီသို့ ဖြတ်သန်း၍ install လုပ်ထားကြသည်။ မီးလောင်သော အခါ flame (or) smoke တွေသည် ၎င်း duct များမှ တဆင့် အခြား အခန်းတွေသို့ ဂင်ရောက် ပျံ့နှံ့ သွားနိုင်ပေသည်။ ဤသို့ မဖြစ်စေရန် အတွက် A rated bulkhead (or) deck တွေတွင် fire damper များ တပ်ဆင်ထားရသည်။ Fire damper များသည် A-60 rated များသာ ဖြစ်ကြ၍ A class ဆိုသည်နှင့် ၎င်း fire damper များကို penetration piece ပြီးလျှင် တပ်ဆင်လေ့ ရှိသည်။ အောက်တွင် zone သတ်မှတ်ပုံ ကို ဥပမာ အနေနဲ့ ပြထားသည်။

1. Staircase များကို port side (သင်္ဘော ဦးပိုင်းကို မျက်နှာမူ၍ ကြည့်ပါက လက်ဝဲဖက်သည် port ဖြစ်၍ လက်ယာဖက် သည် starboard ဖြစ်သည်), starboard side, center ဟူ၍ zone တစ်ခု ချင်းစီ ထားကာ စုစုပေါင်း zone သုံးခု အနေနဲ့ သတ်မှတ်ထားသည်
2. Living quarter ကို zone တစ်ခု အနေနဲ့ သတ်မှတ်ထားသည်
3. Galley ကို zone တစ်ခု အနေနဲ့ သတ်မှတ်ထားသည်

Fire damper များသည် ဤဥပမာ၌ pneumatic type ဖြစ်၍ compressed air ကို အသုံးပြုသည်။ Supply air tank ကိုတစ်နေရာရာ တွင်ထား၍ သက်ဆိုင်ရာ damper အသီးသီးရှိ pneumatic actuator များသို့ stainless steel tubing များနှင့် connect လုပ်ထားသည်။ ၎င်း supply air ကို solenoid valve များနှင့် control လုပ်သည်။ Normally close valve type ဖြစ်၍ energize ဖြစ်လျှင် ပွင့်၍ de-energize ဖြစ်လျှင် ပိတ်မည် ဖြစ်သည်။

Group အလိုက် Damper control panel များရှိ၍ panel မှနေ၍ remotely ပိတ်နိုင်သည်။ ဥပမာ - Port side 1st level မှ staircase တွင် မီးလောင်ပါက ၎င်း zone နှင့် သက်ဆိုင်သော solenoid valve ကို de-

energize လုပ်ပစ်ခြင်း ဖြင့် ထို solenoid valve မှ တဆင့် ပေးနေသော air supply ပြတ်တောက်သွားခြင်းကြောင့် သက်ဆိုင်ရာ damper အကုန်လုံး ပိတ်သွားမည် ဖြစ်သည်။ Damper များ၏ position တွေသည် fail-safe ဖြစ်ရမည်။ ဆိုလိုသည်မှာ power supply သော်လည်းကောင်း၊ air supply သော်လည်းကောင်း ပြတ်တောက်သွားပါက damper ပိတ်ရမည် ကို ဆိုလိုခြင်း ဖြစ်သည်။ ပုံများကို ကြည့်ပါ။ Indication လုပ်ထားသော tag numbers များသည် fire damper တစ်ခုချင်း ဆီကို ကိုယ်စား ပြုသည်။

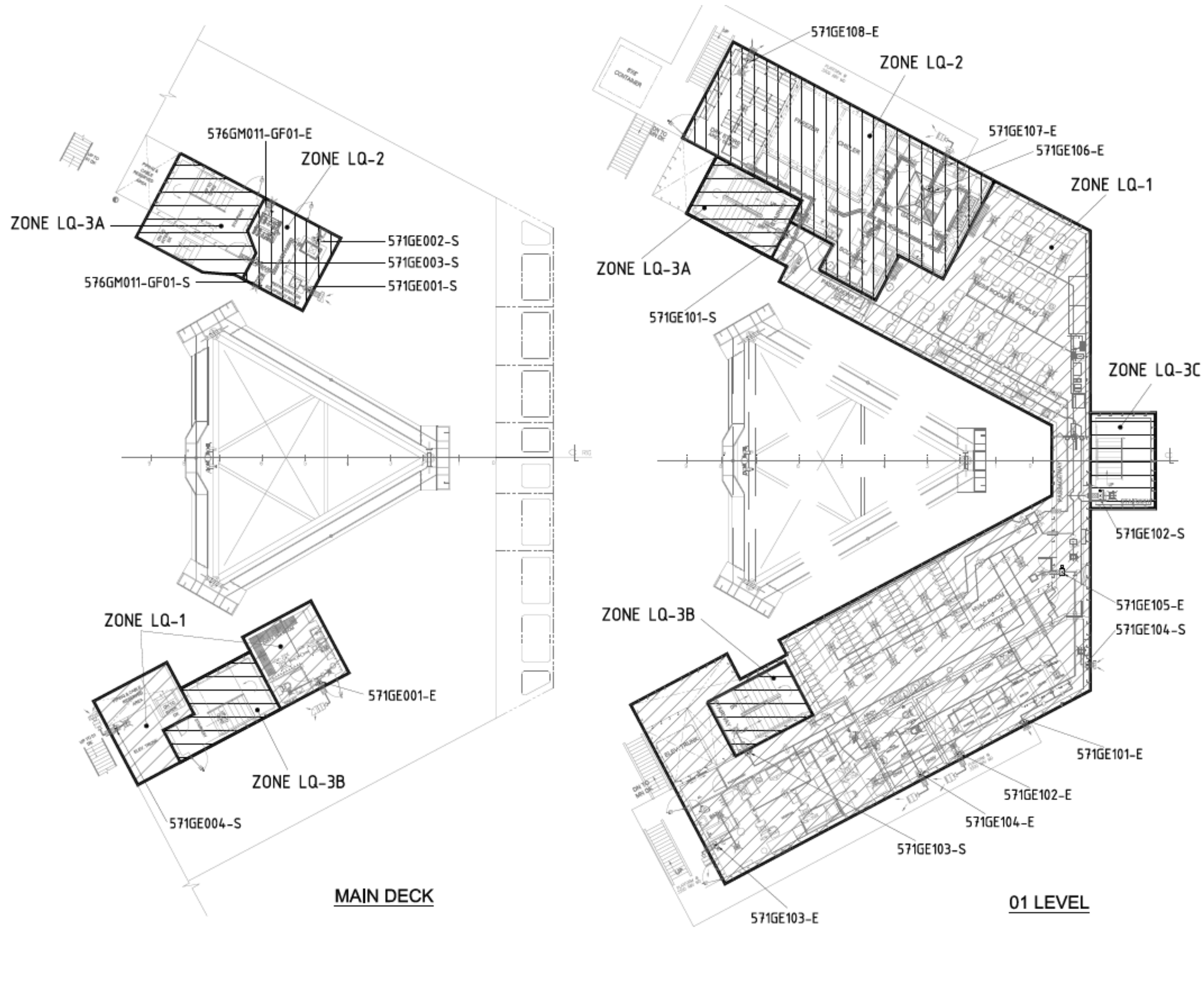


Fig. 9.1. Fire zone for main deck and 01 level

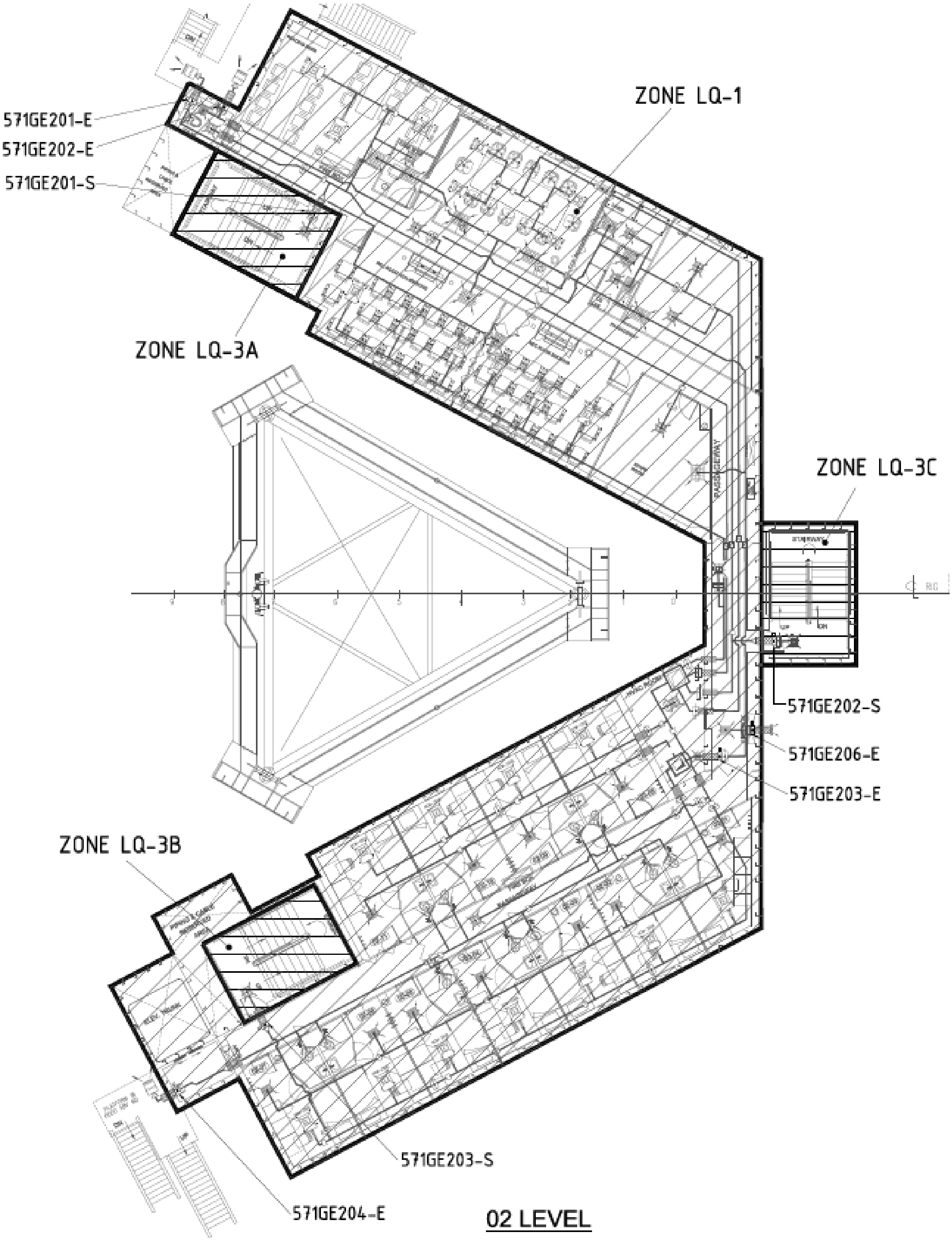


Fig. 9.2. Fire zone for 02 level

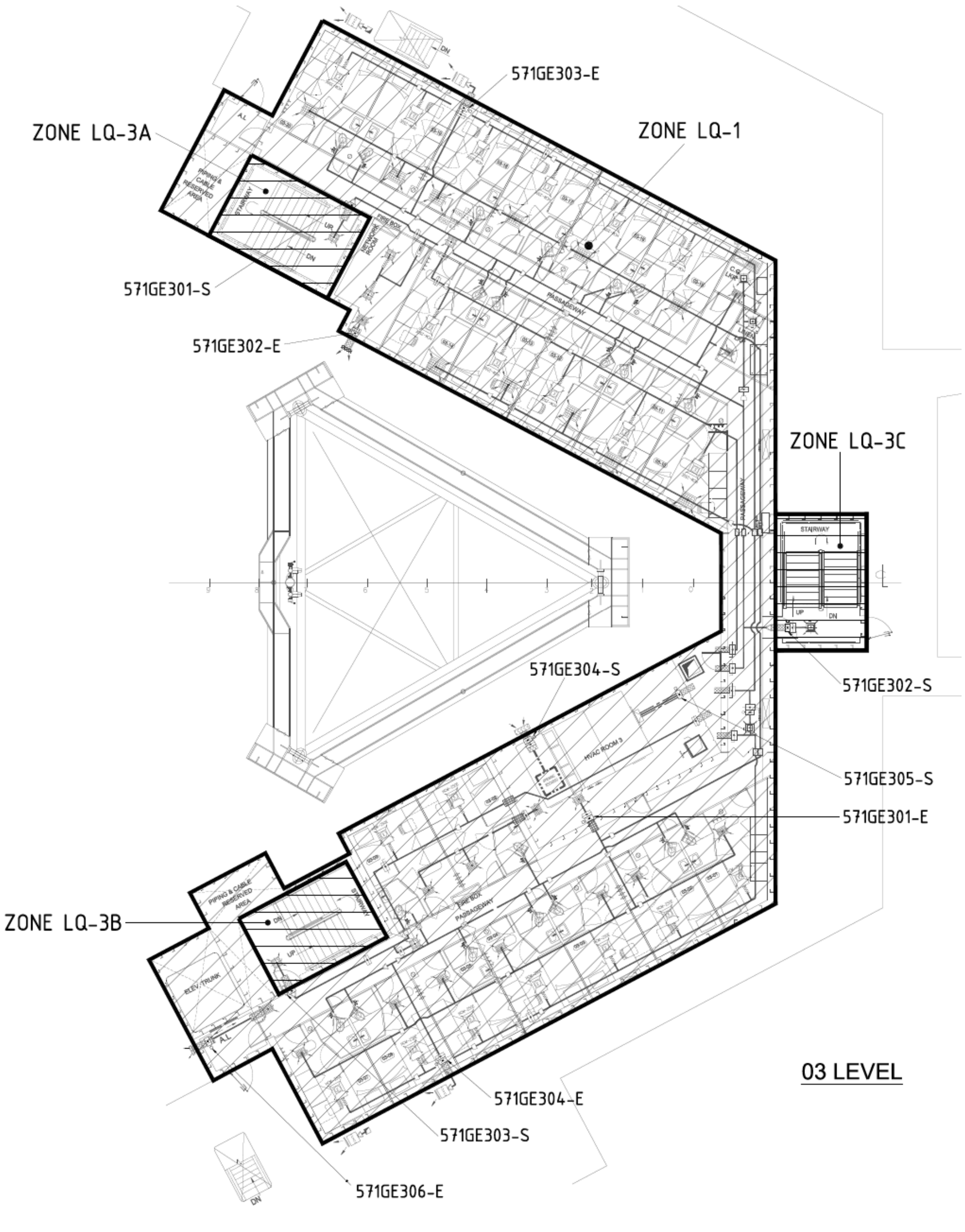


Fig. 9.3. Fire zone for 03 level

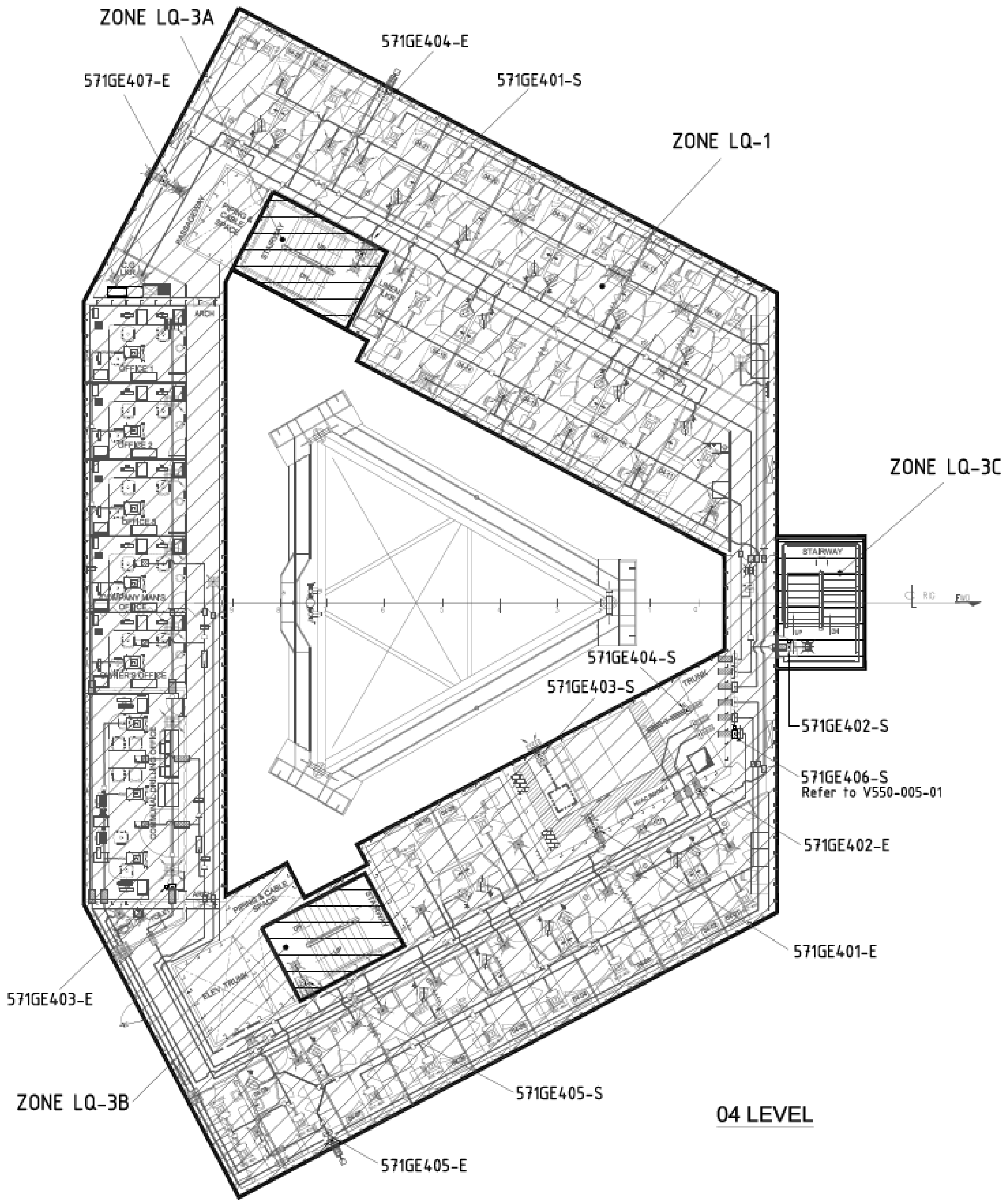


Fig. 9.4. Fire zone for 04 level

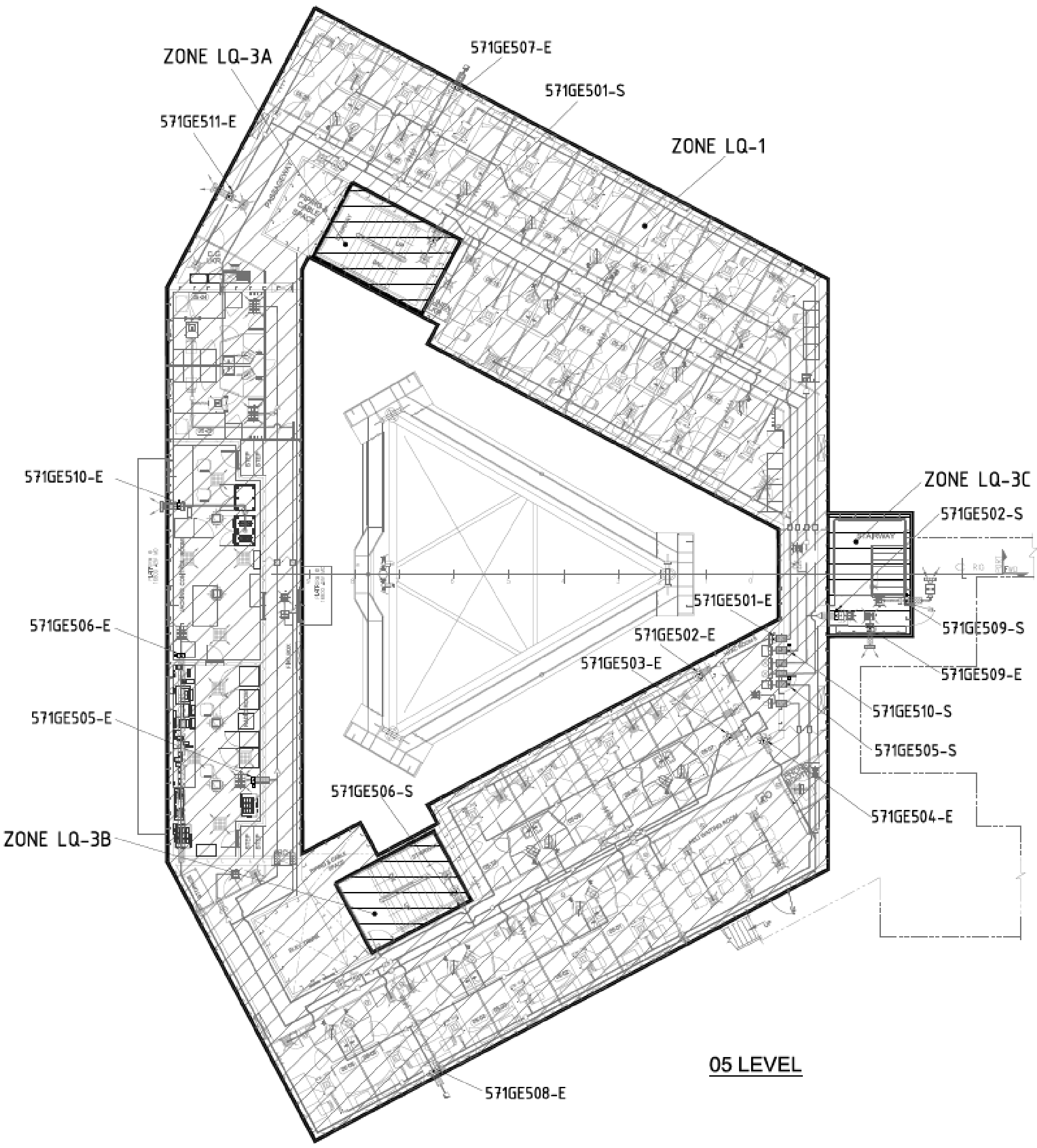


Fig. 9.5. Fire zone for 05 level

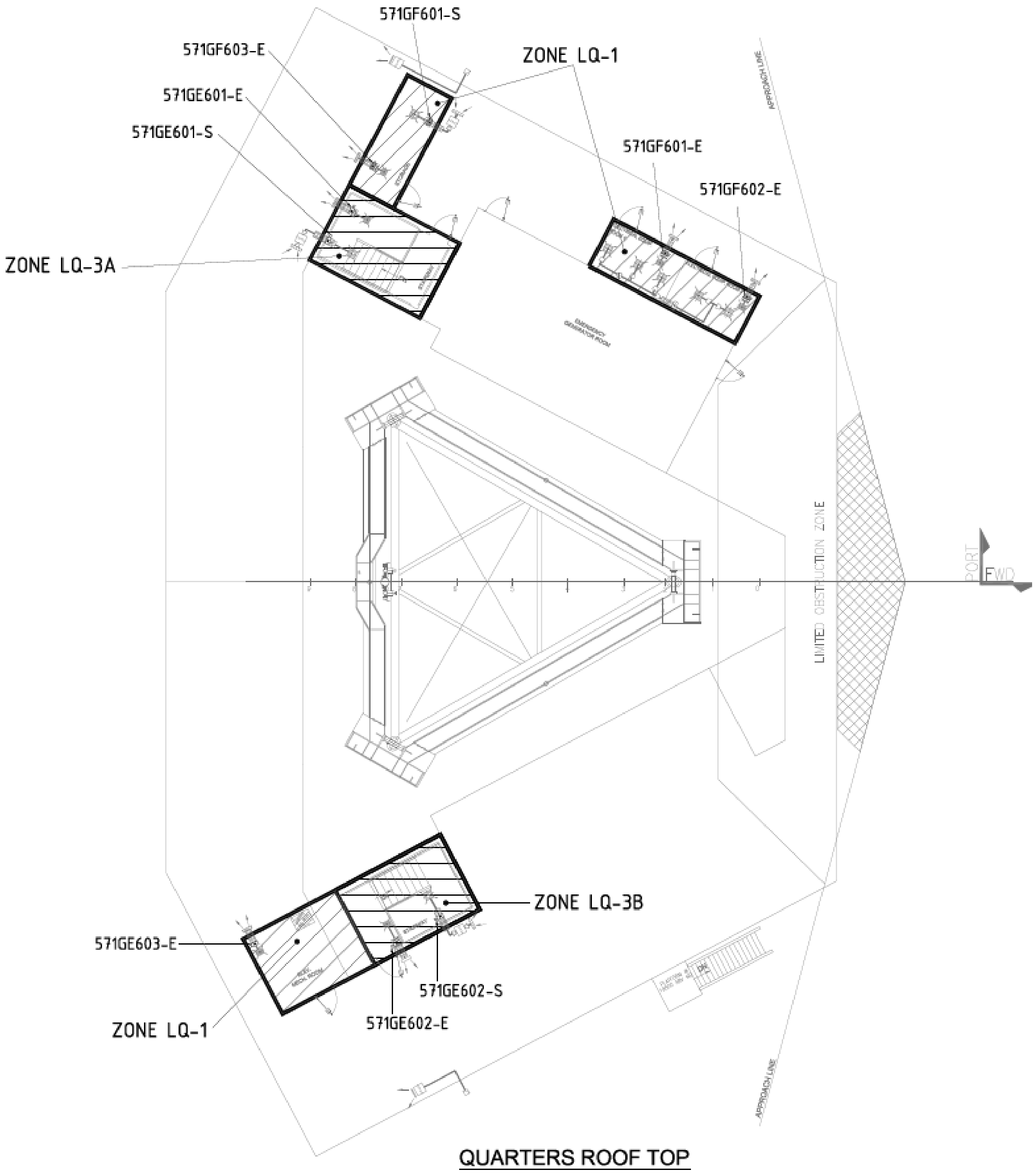


Fig. 9.6. Fire zone for rooftop

အထက်တွင် ဖော်ပြထားသော ပုံများနှင့် တွဲ၍ ကြည့်ပါ။ Tag number 571GEXXX-S စသည်တို့သည် fire damper များဖြစ်၍ valve ပုံစံ symbol လေးသည် 3-way hand valve ဖြစ်သည်။ ၎င်းသည် manually အားဖြင့် damper တစ်ခုတည်းကိုသာ ပိတ်ရန် အတွက် ဖြစ်သည်။ Group တစ်ခုလုံးကို မပိတ်ချင်လျှင် ထို hand valve ကိုအသုံးပြု၍ သက်ဆိုင်ရာ damper ကို ပိတ်နိုင်သည်။ ယေဘုယျ အားဖြင့် testing and commissioning အချိန်တွင် အသုံးပြုသည်။

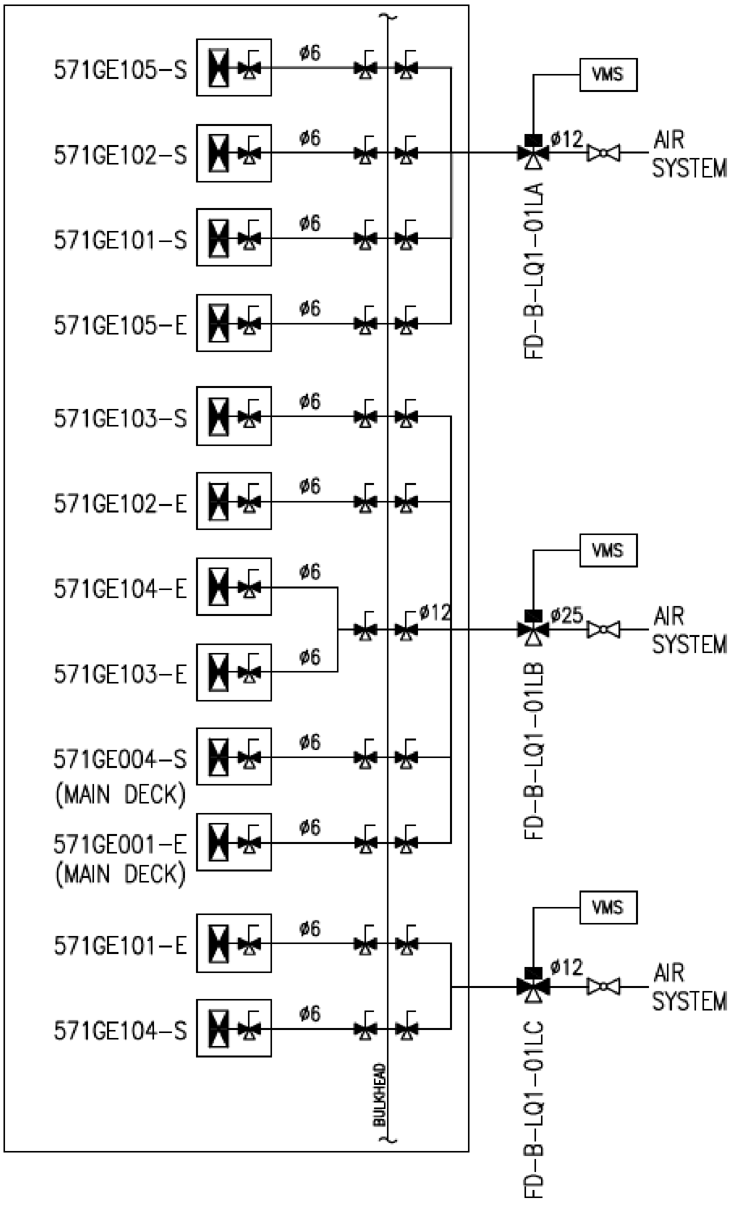


Fig. 9.7. Zone LQ-1 (Main Deck and 01 Level)

Bulkhead ၏ တစ်ဖက်တစ်ချက်တွင်လည်း hand valve နှစ်ခု ရှိသည်။ အခန်းတွင်းမှ သော်လည်းကောင်း၊ အခန်း၏ တခြားဖက်မှ သော်လည်းကောင်း damper ကို ပိတ်နိုင်သည်။ Damper control panel မှတော့ group တစ်ခု လုံးကို ပိတ်ပစ်မှ ရသည်။ Damper တစ်ခုချင်း စီကို control panel မှ ပိတ်၍ မရနိုင်ပါ။ Diameter ဖော်ပြထားသော လိုင်းတွေကတော့ pneumatic tubing များဖြစ်၍ ညာဖက်ရှိ VMS သို့သွားသော valve တွေကတော့ solenoid valves တွေ ဖြစ်သည်။ VMS ဆိုသည်မှာ vessel management system ကိုဆိုလိုခြင်း ဖြစ်၍ system တစ်ခုလုံးကို ထိုနေရာမှ monitor လုပ်နိုင်သည်။

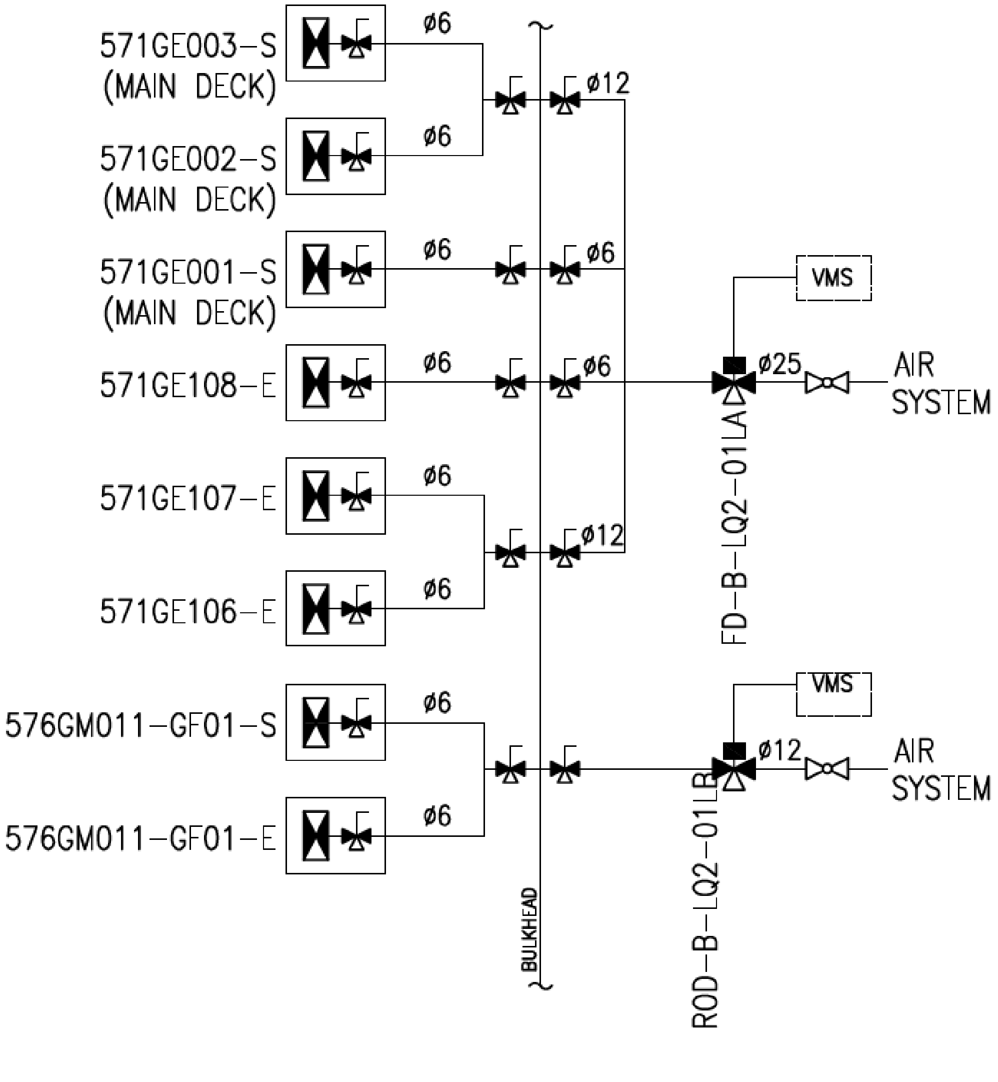


Fig. 9.8. Zone LQ-2 (Main Deck and 01 Level)

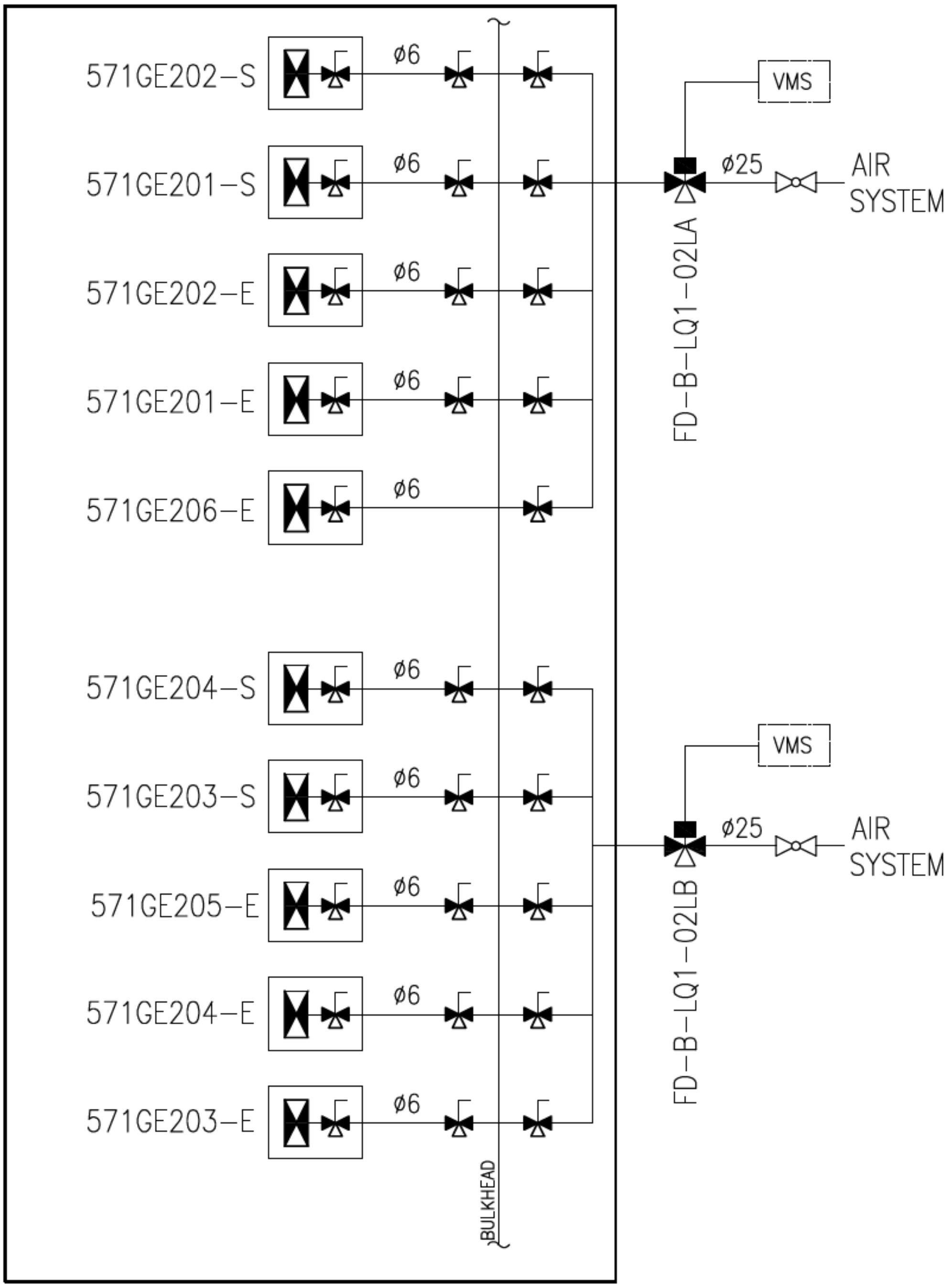


Fig. 9.9. Zone LQ-1 (02 Level)

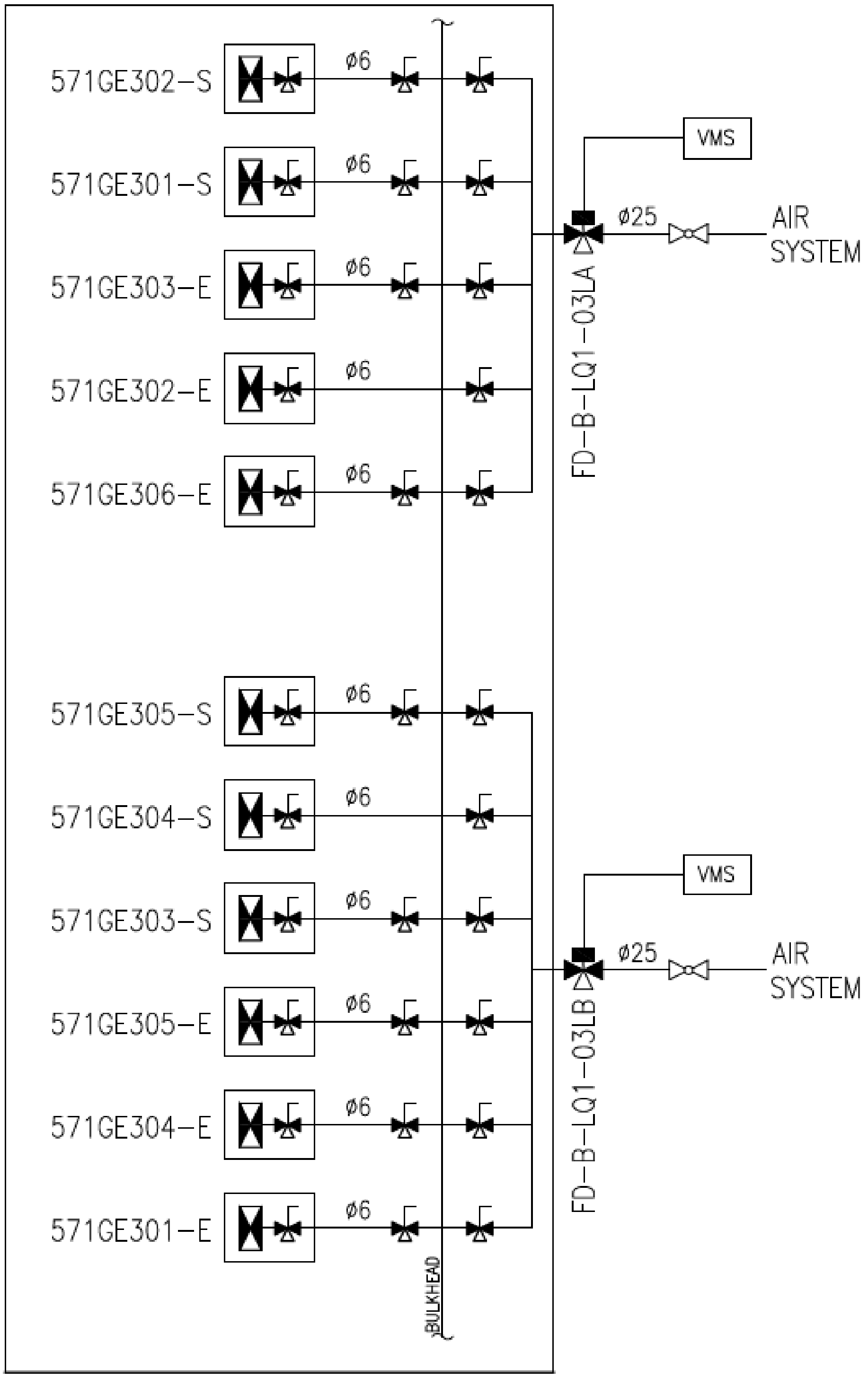


Fig. 9.10. Zone LQ-1 (03 Level)

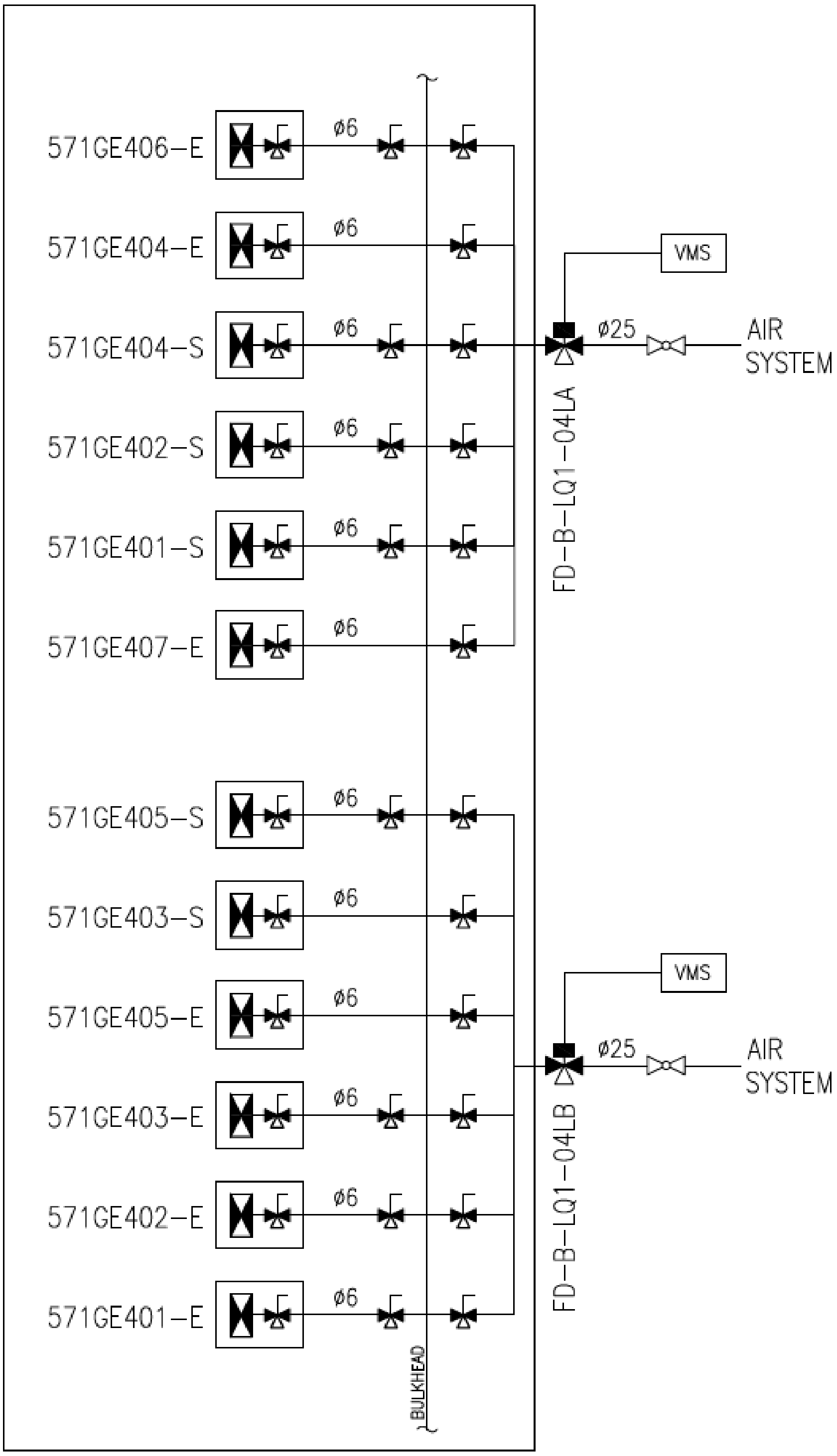


Fig. 9.11. Zone LQ-1 (04 Level)

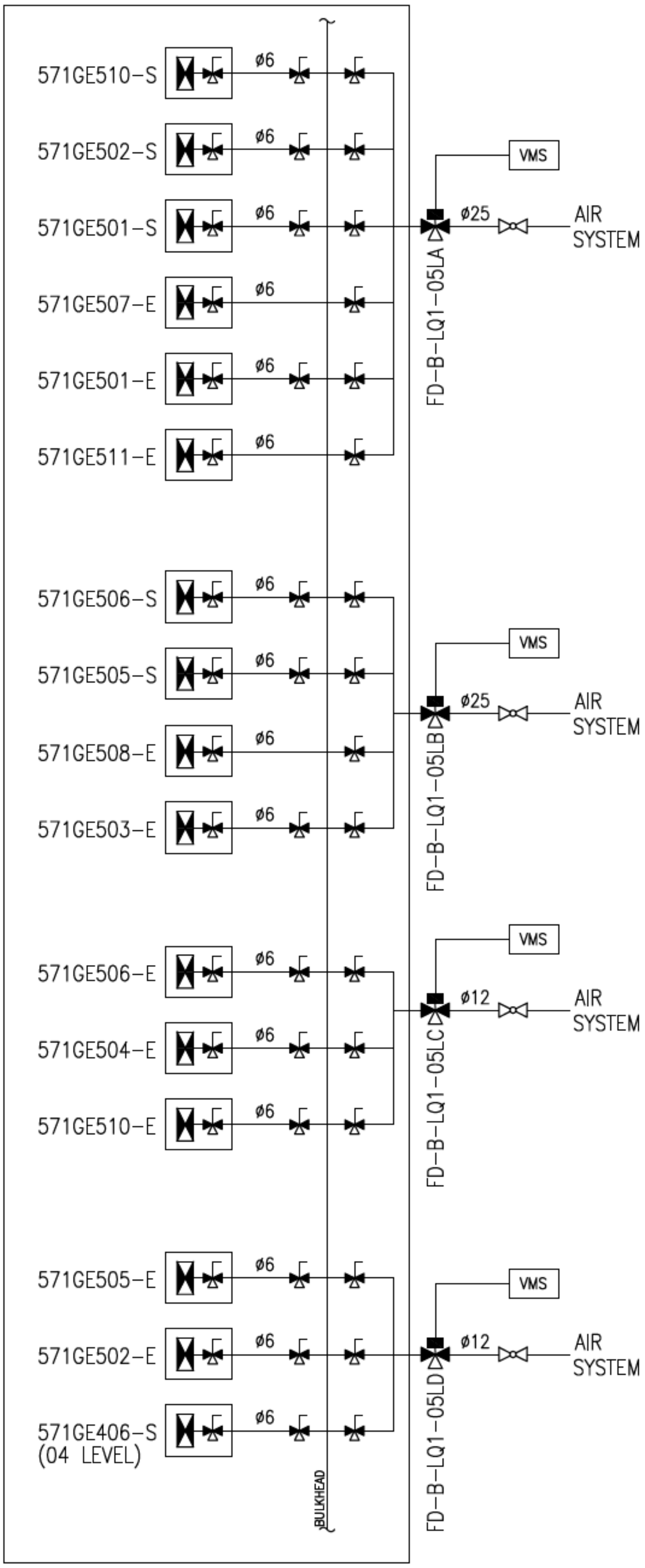


Fig. 9.12. Zone LQ-1 (05 Level)

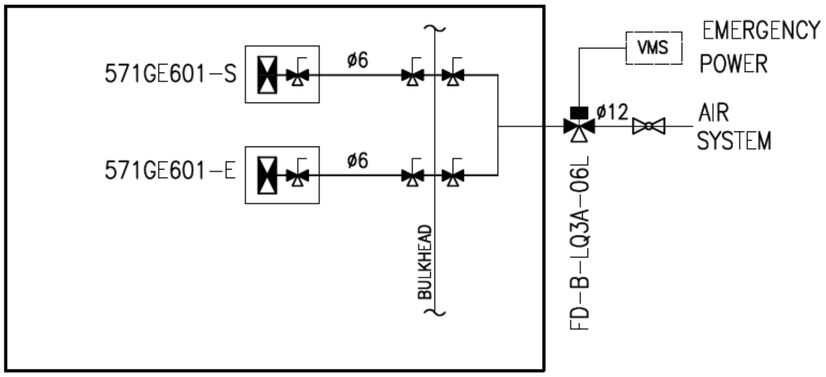


Fig. 9.13. Zone LQ-3A (rooftop)

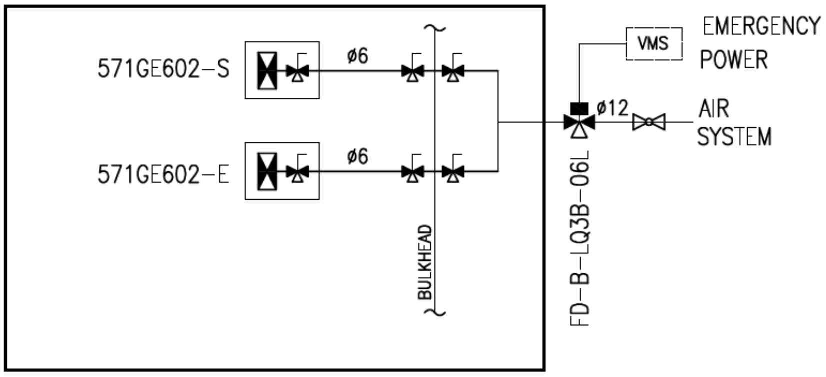


Fig. 9.14. Zone LQ-3B (rooftop)

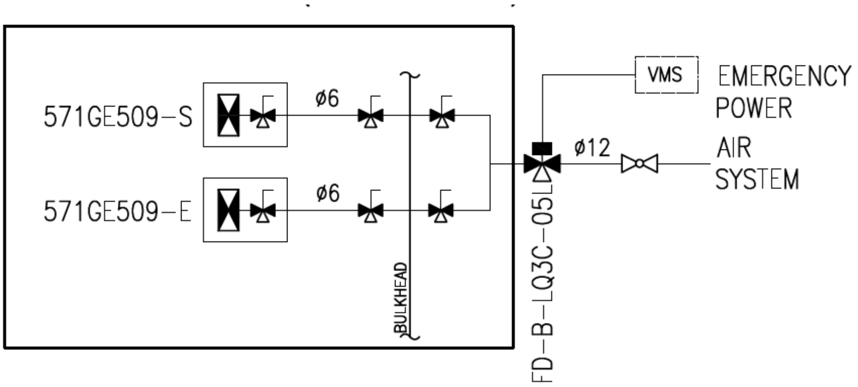


Fig. 9.15. Zone LQ-3C (05 Level)

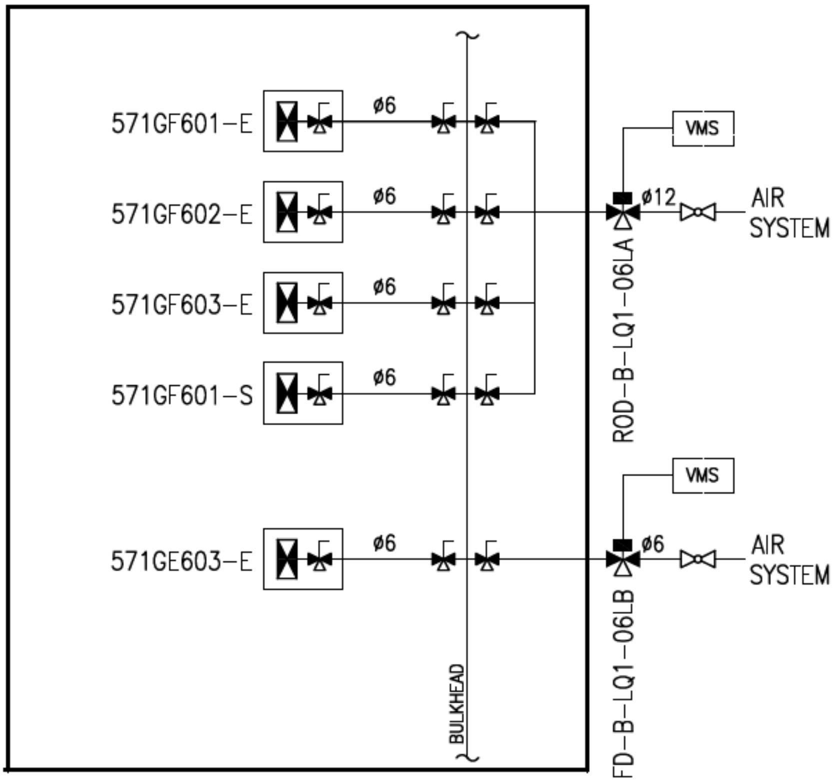


Fig. 9.16. Zone LQ-1 (rooftop)

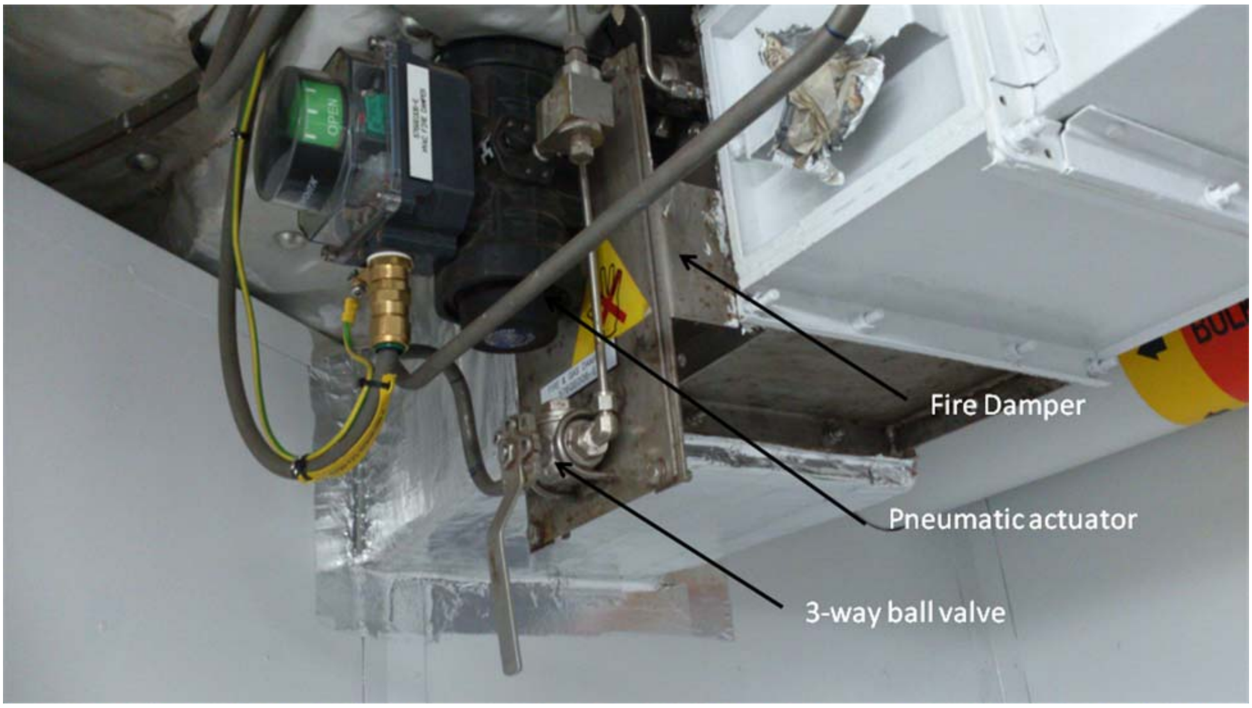


Fig. 9.17. Fire damper

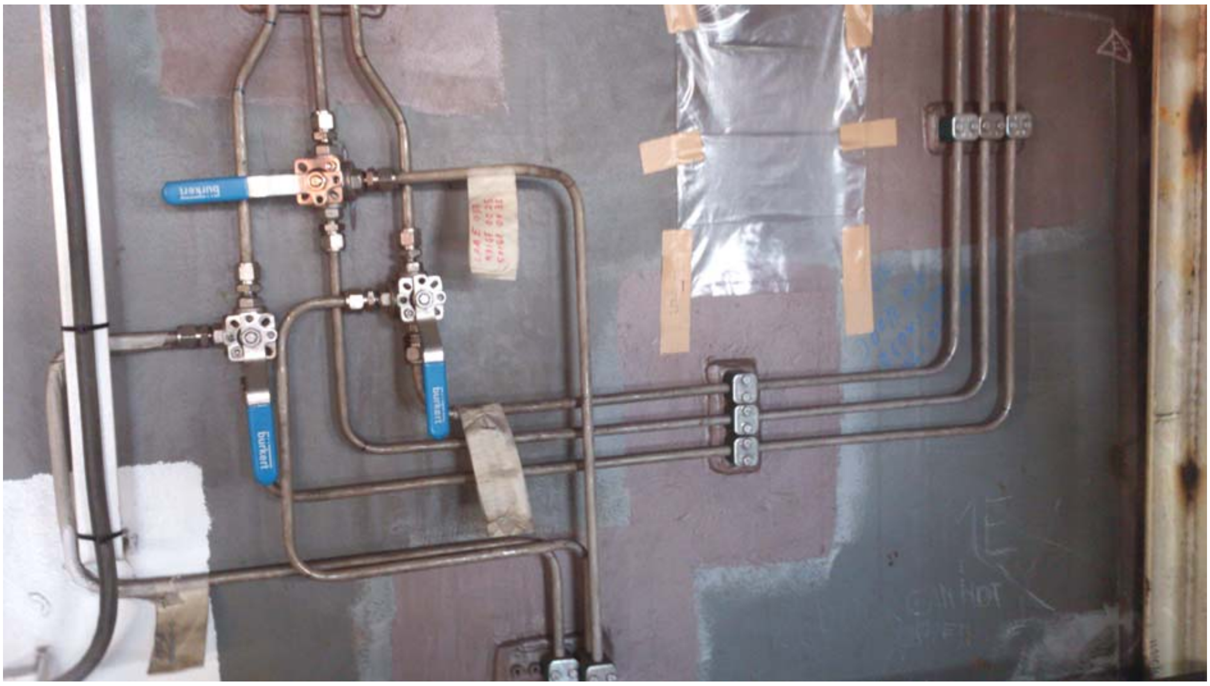


Fig. 9.18. 3-way ball valve and pneumatic tubing

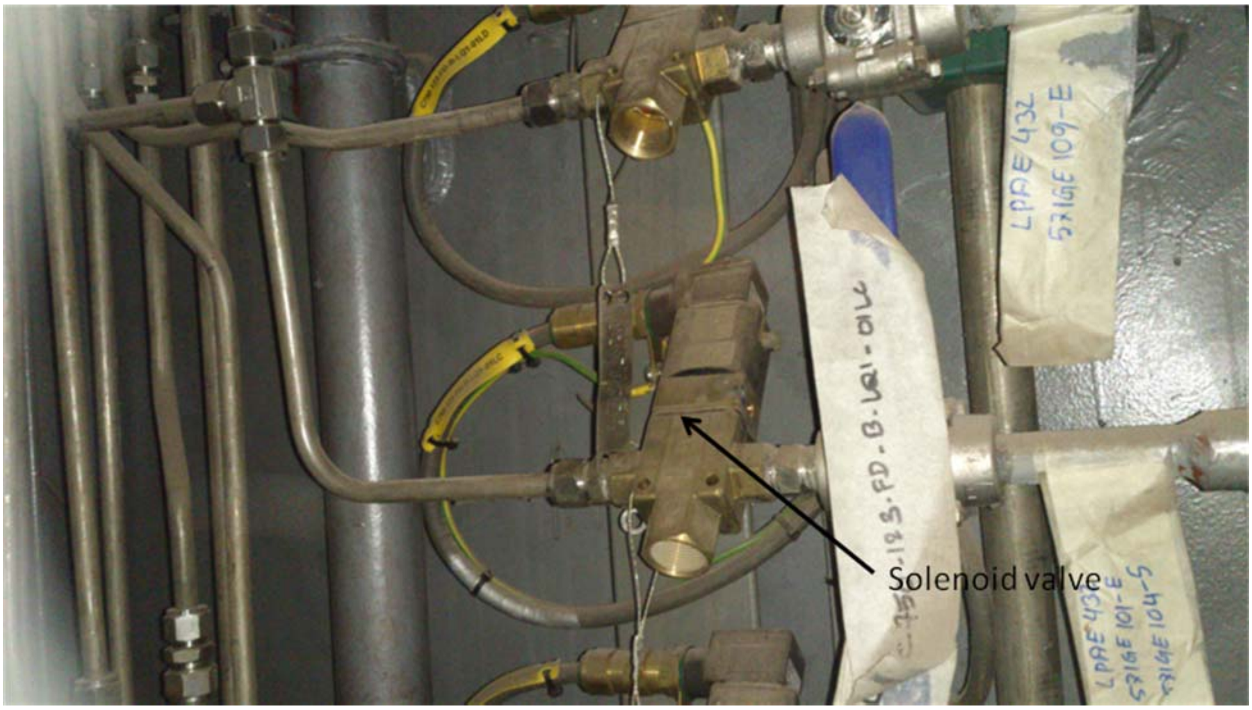


Fig. 9.19. Solenoid valves with tubing

တစ်ချို့နေရာတွေတွင်တော့ fire damper တွေ တပ်ဆင်ထားတာ မဟုတ်ပဲ gas tight damper တွေ တပ်ဆင်ထားတာ ရှိပါသည်။ မည်သို့ပင် ဖြစ်စေ damper များသည်လဲ fire အတွက်သာ မက gas

အတွက်ပါ သုံးလို့ရအောင် ထုတ်လုပ်ထားကြတာ များပါသည်။ ထိုကဲ့သို့ နှစ်မျိုးစလုံး သုံးလို့ရသော damper များကို fire and gas damper (F&G damper) ဟုခေါ်ကြသည်။

Damper တွေကို လူ့အရပ်ထက် မြင့်သော နေရာတွင် install လုပ်ထားသဖြင့် blade သည်ပွင့်နေလား၊ ပိတ်နေလား ဆိုတာကို သိစေရန် အတွက် open/close indication ပါရှိသည်။ ထို့အတူ proximity switch ကို အသုံးပြု၍ open/close signal ကို damper control panel သို့လည်းကောင်း vessel management system သို့လည်းကောင်း status monitoring အတွက် ပို့ပေးသည်။ Fig. 9.17 ကိုကြည့်ပါ။ Pneumatic actuator ၏ဘေးတွင် ရှိသော junction box ထဲတွင် proximity switch ရှိ၍ အစိမ်းရောင် လေးမှာ local open/close indication ဖြစ်သည်။

Damper Panel with Local Switch

နောက်ထပ် တစ်မျိုးမှာ local switch များကို manual hand valve များအစား အသုံးပြု ခြင်းဖြစ်သည်။ 3-way hand valve များလိုပင် ၎င်း switch များကိုလည်း bulkhead ၏ တစ်ဖက်တစ်ချက် access လုပ်နိုင်သော နေရာတွင် mount လုပ်ထား၍ group တစ်ခုလုံးရှိ fire damper များကို ပိတ်ပစ်လို့ ရသည်။ Group ကတော့ သက်ဆိုင်ရာ ဇုံ အလိုက် ဖွဲ့ရတာပဲ ဖြစ်သည်။

Local Switch (standard)

Local Switch (Ex-proof)

Fig. 9.20. Local switches

ပြထားသော local switch များသည် safe are အတွက်နှင့် hazardous area အတွက် ဖြစ်သည်။ Hazardous area အတွက် electrical components များသည် ex-rated ဖြစ်ရသည်။ Explosion ဖြစ်ခြင်းမှ ကာကွယ် ပေးနိုင်ရန် အတွက်ဖြစ်သည်။ Cable galnds တွေလည်း ex-rated တွေ ဖြစ်သည်။

Working Philosophy of Fire & Dampers

Damper တွေအတွက် working philosophy သတ်မှတ်ထားရမည်။ သို့မှသာ မည်သို့ control လုပ်မည် ဆိုတာကို design လုပ်နိုင်ပေလိမ့်မည်။ အောက်တွင် ဥပမာ အနေနဲ့ ဖော်ပြပေးထားသည်။ လိုအပ်သလို modify လုပ်ပြီး အသုံးပြု နိုင်ရန် အတွက် ဖြစ်သည်။

1. Dampers တွေအားလုံးသည် pneumatic type ဖြစ်၍ functionality အနေနဲ့ fire damper ကဲ့သို့ (သို့) gas tight damper ကဲ့သို့ အလုပ်လုပ်သည်

2. Dampers များကို group အလိုက် ခွဲခြားထားပြီး group အလိုက်သာ control လုပ်သည်

3. အခြေခံ အားဖြင့် fire damper တစ်ခု အတွက် local switch တစ်လုံးစီ bulkhead ၏ တစ်ဖက် တစ်ချက် စီတွင် ရှိသည်။ အကယ်၍ damper panel သည် damper ရှိသော အခန်းထဲတွင် ရှိနေပါက (in the same room) ထိုအခန်းအတွက် local switch မလိုပဲ ၎င်း damper panel ပေါ်ရှိ switch ကို open/close အနေနဲ့ အသုံးချ နိုင်သည်။ ချွင်းချက်အနေနဲ့ တခြားဖက် ၌ access လုပ်၍ မရနိုင်ပါက ထိုတစ်ဖက် အတွက် မလိုအပ်ပေ

4. On/off indication light သည် damper panel ၌ သော်လည်းကောင်း၊ local switch ၌ သော်လည်းကောင်း ရှိရမည်

5. Gas tight dampers များအတွက် inspection လုပ်ရန်နှင့် maintenance လုပ်ရန် အတွက် local switch တစ်လုံးသာ ထားမည်

6. Local switch တစ်ခုချင်း စီသည် damper group တစ်ခုလုံးကို ပိတ်ပစ် နိုင်သည်။ Damper တိုင်း၏ actual position status သည် damper panel ၌ သော်လည်းကောင်း၊ local switch ၌ သော်လည်းကောင်း indication ရှိနေရမည်

7. Local switch တိုင်းတွင် အားလုံး close position ရှိနေမှသာ complete group အတွက် ဖွင့်နိုင်ရမည်။

8. Control and safety sstem အတွက် damper တိုင်းအတွက် damper panel တွင် clean contact ရှိရမည်

9. Vessel ရဲ့ safety system မှ damper control panel တိုင်းကို control လုပ်နိုင်ရမည် ဖြစ်ပြီး dampers များကို ပိတ်ပစ်နိုင်ရမည်

Fig. 9.21. Damper control panel

အထက်ပါ ပုံသည် damper control panel ၏ပုံဖြစ်သည်။ Indication light သုံးစုံ ပါ၍ နှစ်စုံသည် damper နှစ်လုံး အတွက်ဖြစ်၍ အောက်ဆုံး တစ်စုံ သည် group တစ်ခု လုံး အတွက်ဖြစ်သည်။ ဘေးမှ အပြာရောင် အိုးကတော့ air tank ဖြစ်သည်။ Compressed air သည် source မှလာ၍ သူ့ဆီမှာ store လုပ်ထားသည်။ Power failure ဖြစ်သောအခါ ၎င်းဆီမှ air မှတဆင့် damper ပိတ်ရန် temporary air supply လုပ်နိုင်သည်။ Damper panel အဝင်နှင့် အထွက် pneumatic tubing တစ်လိုင်းစီ ရှိသည်။ အထွက် လိုင်းမှ damper အသီးသီးသို့ tubing တွေ ခွဲထွက်သွားသည်။ အောက်ပုံ တွင်ကြည့်ပါ။ Damper panel နောက်မှ stainless steel tubing များသည် damper အသီးသီးရှိ actuator များသို့ connect လုပ်ရန် အတွက် ဖြစ်သည်။ Damper panel အတွင်းတွင် pressure regulator ပါရှိ၍ supply air pressure နှင့် operating pressure ကို ချိန်ညှိ နိုင်သည်။ ပုံမှန် အားဖြင့် air reservoir မှ လာသော ပင်မ

လိုင်းသည် 10 bar လောက်နဲ့ လွှတ်လေ့ ရှိပြီး damper actuator များအတွက်ကတော့ 6-8 bar လောက်သာ ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် pressure regulator များလိုအပ်သည်။

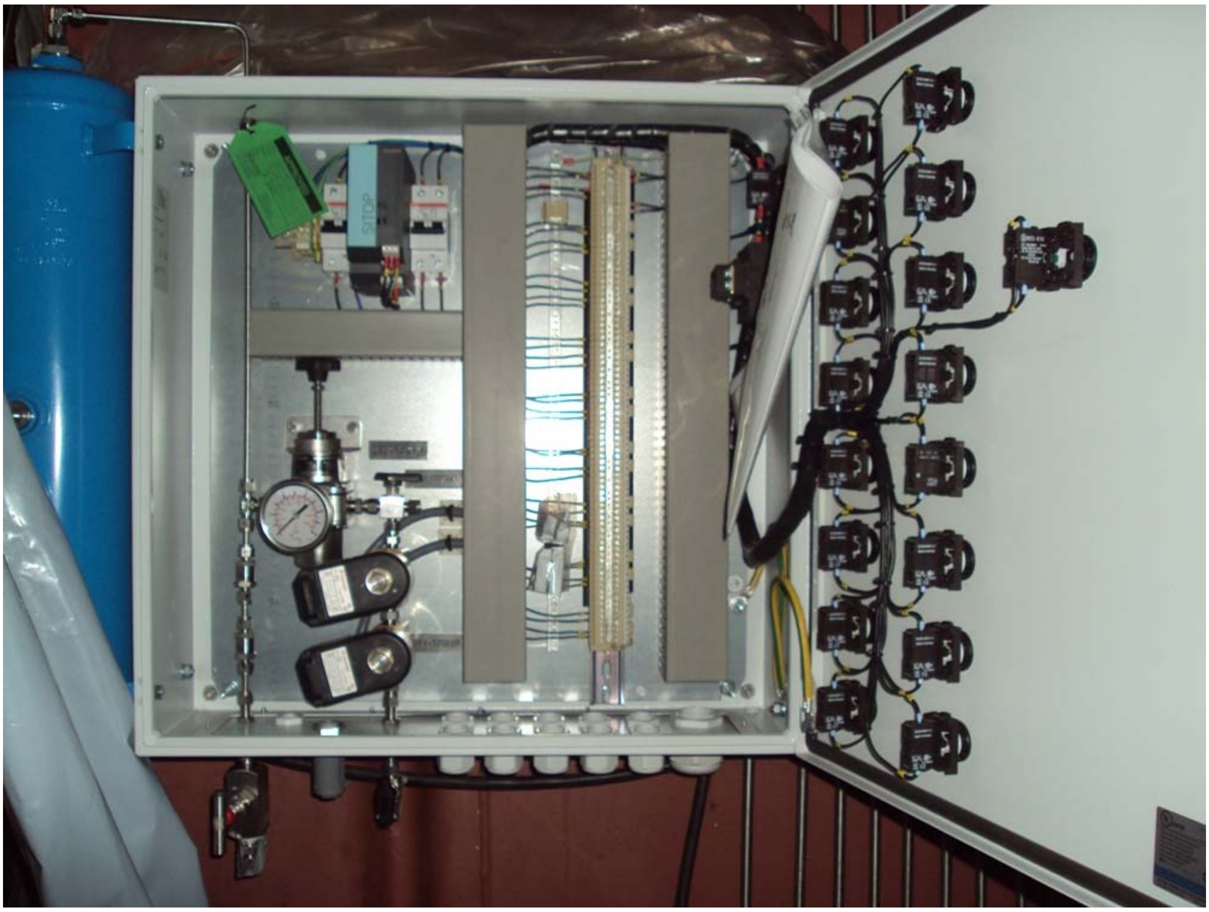


Fig. 9.22. Damper control panel installation

Chapter 10

Gas Detection System

Refrigerant leak detection သည် refrigerant leak ဖြစ်ပါက system ကို ရပ်ပစ် ရန် အတွက် သုံးခြင်း ဖြစ်သည်။ အဓိက သုံးခြင်းမှာ direct expansion system အတွက် ဖြစ်သည်။ တိတိကျကျ ဆိုရသော် refrigeration provision plant အတွက် အဓိက အသုံးပြုသည်။ သို့သော်လည်း DX စနစ်ကို သုံးသော AC units များတွင်လည်း သုံးနိုင်ပါသည်။ ထို့အတူ chiller room များတွင် gas leakage ဖြစ်ပါက အလွယ်တကူ သိရှိ နိုင်ရန် အတွက်လည်း အသုံးပြုနိုင်သည်။

System တစ်ခုတွင် controller တစ်ခု ပါဝင်၍ 1channel, 2 channels, 4 channels & 6 channels system စသဖြင့် ရှိကြသည်။ Gas sensor များကို ဆိုလိုခြင်း ဖြစ်သည်။ ဥပမာ - အခန်း ၅ ခန်းရှိ၍ sensor ၅ ခုသာ လိုအပ်ပါက 6 channels controller ကိုအသုံးပြု၍ တစ်ပေါက်ကို block လုပ်ထားဖို့ လိုသည်။ မဟုတ်ပါက alarm ဝင်နေမည် ဖြစ်သောကြောင့် ဖြစ်သည်။ HVAC system အတွက် chilled room တွင် အသုံးပြုလိုပါက sensor တစ်ခုသာ လိုအပ်၍ 1 channel controller ဆိုလျှင် လုံလောက်သည်။ Gas sensor များသည် refrigerant အမျိုးအစား အလိုက် ထုတ်လုပ်ထားသည်။ Power supply အနေနဲ့ normal feeder မှပေးပါက power fail ဖြစ်နိုင်သဖြင့် UPS power supply မှပေးထားလေ့ ရှိသည်။

Normal condition တွင် controller ပေါ်မှ indication light လေးများသည် အစိမ်းရောင် မီးလေး လင်းနေမည် ဖြစ်ပြီး gas detect ဖြစ်ပြီ ဆိုပါက alarm ပေး၍ indication light သည် အစိမ်းရောင်မှ အနီရောင် သို့ ပြောင်းသွားပေလိမ့်မည်။ Alarm သည် VMS (Vessel Management System) သို့လည်း ပို့ပေးသဖြင့် operator မှ သိရှိနိုင်ပြီး လာရောက် စစ်ဆေးဖို့ လိုသည်။ အလွယ်တကူ fix လုပ်နိုင်ပါက system shutdown မလုပ်ပဲ ပြုပြင်နိုင်ပြီး shudown လုပ်ဖို့ လိုအပ်ပါက စက်ရပ်၍ leak မဖြစ်အောင် ပြုပြင်ရမည်။

Alarm type သည် 2 level alarm ဖြစ်၍ low level (100ppm) သည် automatic ဖြစ်၍ high level (1000 ppm) သည် manual reset ဖြစ်သည်။ အောက်တွင် ဖော်ပြထားသော ပုံသည် refrigeration system တွင် သုံးထားသာ ပုံဖြစ်၍ application မှာ HVAC နှင့် အတူတူ ပင် ဖြစ်သည်။

Fig.10.1. Gas Sensor at the nearby condensing unit

Fig.10.2. Gas controller for 4 and 6 sensors

Chapter 11

Differential Pressure Monitoring System

ပထမပုံ (Fig.1) သည် room pressure monitoring system အတွက်သုံးခြင်း ဖြစ်သည်။ အခန်းတွင်းနှင့် အခန်းပြင် (သို့) pressure မတူတဲ့ နေရာ နှစ်ခုရဲ့ ဖိအား ကွာခြားချက် ဖြစ်တဲ့ differential pressure ကိုဖော်ပြရန် ဖြစ်သည်။ တစ်ချို့ အခန်းတွေတွင် pressurized ဖြစ်နေဖို့ရာ သေချာရန်အတွက် monitor လုပ်ဖို့ ဖြစ်သည်။ ဥပမာ - battery room တွင် negative pressure (or) wheelhouse တွင် positive pressure ဖြစ်နေတာ သေချာစေချင်သည်။ ထို့အတွက် အလွယ်တတူ သိနိုင်စေရန် အခန်းထဲတွင် mount လုပ်ထားသည်။

သူ့တွင် pressure switch နဲ့ Pressure gauge ပါဝင်သည်။ Pressure switch တွင် setting ကို လိုသလောက် ချိန်ညှိ နိုင်ရန် adjustable screw လေးပါသည်။ ပုံကိုကြည့်ပါ အပေါ်က ဘုကလေး ဖြစ်သည်။ အခန်းတွေသည် ယေဘုယျ အားဖြင့် 50Pa လောက် differential pressure ထားလေ့ရှိသည်။ Gauge နဲ့ switch တွင် process port လေးတွေရှိတယ်။ (+) လက္ခဏာနဲ့ (-) လက္ခဏာပြထားသည်။

Fig.11.1. Differential pressure set & pressure switch alone

အပေါင်းကတော့ High pressure side နဲ့ connect လုပ်ရမှာ ဖြစ်ပြီး အနုတ် ကတော့ low pressure side ကိုဆက်ရမှာပါ။ ဥပမာ- အခန်းက positive pressure ဆိုရင် gauge နဲ့ switch က (-) လက္ခဏာ အချင်းချင်း tube နဲ့ဆက်၊ ပြီးရင် tube ကို အခန်းအပြင်ကို ထုတ်ထားလိုက်ပြီး (+) လက္ခဏာကိုလည်း အပေါင်းချင်းဆက်ပြီး open end အနေနဲ့ အခန်းထဲမှာ ဒီအတိုင်း ထားရုံပဲ ဖြစ်သည်။ Differential pressure ကို pressure gauge တွင်ပြနေလိမ့်မည်။ အခန်းထဲတွင် overpressure duct နှင့် pressure relief damper သုံးထားပါက လိုချင်တဲ့ 50Pa မရမချင်း damper ကို adjust လုပ်နိုင်သေးသည်။

Pressure switch သက်သက်ကို flow switch အနေနဲ့ သုံးနိုင်သေးသည်။ ဥပမာ AHU fan ရဲ့ အဝင် အထွက် ရှိ pressure difference ကိုတိုင်းတာ ရန်အတွက်သုံးသည်။ ၎င်းကတော့ fan protection အတွက် ဖြစ်သည်။ အကြောင်းတစ်ခုခုကြောင့် air flow မရှိတာပဲ ဖြစ်ဖြစ်၊ flow အရမ်းနည်းနေသည့် low pressure ကြောင့်ပဲ ဖြစ်ဖြစ် fan ကိုရပ်စေရန် ဖြစ်သည်။ Carrier package unit တွင် တပ်ဆင်ထားပုံကို Fig.11.3 တွင်ကြည့်ပါ။

Fig.11.2. Differential pressure monitoring system at wheelhouse

Fig.11.3. Differential pressure switch on Carrier package unit

Chapter 12

What is Noise

Noise သည် HVAC System တွင် အရေးပါသော factor တစ်ခုအနေနဲ့ ထည့်သွင်း စဉ်းစားရလေ့ ရှိသည်။ Fan blower ကြောင့်ဖြစ်ပေါ်လာသော ဆူညံမှု ဖြစ်သည်။ ဥပမာ AHU တစ်လုံး၏ blower မှ vibration & noise သည် duct မှတဆင့် အခန်းတွေဆီသို့ ရောက်သွားသည်။ AHU room နှင့် အနီးဆုံး အခန်းတွေသည် ဒီ effect ကို ပိုပြီး ခံရသည်။ ထို့ကြောင့် ၎င်းအခန်းများကို ပိုပြီး ဂရုစိုက်ရသည်။

Vessel သည် ဘယ် Class ရဲ့ rules and regulation တွေကိုလိုက်နာ ပြီး တည်ဆောက်မလဲ၊ ဘယ် region မှာ operation လုပ်မလဲ စတာတွေအပေါ် မူတည်ပြီး noise limit တွေသည်လည်း ပြောင်းလဲသည်။

IMO A468 criteria အရ noise limit သည်အောက်ပါ အတိုင်း ဖြစ်သည်။

Area	dB(A)
Work Spaces	
Machinery spaces (continuously manned) **	90
Machinery spaces (not continuously manned) **	110
Machinery control rooms	75
Workshops	85
Non-specified work spaces **	90
Navigation spaces	
Navigating bridge and chartrooms	65
Listening post, including navigating bridges wings and windows	70
Radio rooms (with radio equipment operating but not producing audio signals)	60
Radar rooms	65
Accommodation spaces	
Cabins and hospitals	60
Mess rooms	65
Recreation rooms	65
Open recreation areas	75
Offices	65
Services spaces	
Galley, without food processing equipment	75
Serveries and pantries	75
Spaces not specified **	90

** Ear protectors should be worn when the noise level is above 85 dB(A)

UK HSE (UK OTO 2001 068 Noise & Vibration) noise limit

Specific work areas of Offshore Installations	dB(A)
Workshops	70
General stores	70
Kitchens	60
Control rooms	55
Offices	55
Laboratories	55
Radio/Communications rooms	45
Sleeping/recreation areas of Living Accommodation on Offshore Installations	
Washing facilities	60
Changing rooms	60
Toilets	60
Dining rooms	55
Recreation rooms	50
Theatre / meeting rooms	45
Television rooms	45
Sleeping areas	45
Medical rooms	45
Quiet rooms	45

UK HSE သည် Spec. ပိုမြင့်သည်။ အတွေ့အကြုံ အရ Cabin တွေတွင် within limit (45 dB(A) အတွင်း ရရှိရန် မလွယ်ပေ။ အတော် ခေါင်းခြောက် ရပေသည်။

Equipment selection စလုပ်ကတည်းက noise data ကိုကြည့်ပြီး ရွေးရသည်။ စနစ်ကျသော design များတွင် double line drawing (working drawing) firmed ဖြစ်သွားပြီ ဆိုတာနဲ့ Acoustic consultant ဆီသို့ ၎င်း drawing တွေနှင့်အတူ blower ရဲ့ noise data တွေပို့ပြီး calculation လုပ်ခိုင်းရသည်။ ဘယ် class requirement ကို follow လုပ်မည် ဆိုတာ ပြောရ၍ consultant အကြံပေးသည့် နေရာများတွင် silencer ထည့်တန်တာ ထည့်၊ line duct (acoustic duct) သုံးသင့်တာ သုံးလုပ်ရသည်။

Fundamentals of Acoustics

Sound နဲ့ ပတ်သက်သော အခြေခံ အကြောင်းအရာ များကို သိထားသင့်သည်။

အရာဝတ္ထု တစ်ခု ရွေ့လျားသွားသော အခါ လေမော်လီကျူး လေးတွေကို တုန်ခါ သွားစေပြီး အသံဖြစ်ပေါ်စေသည်။ လူရဲ့ အသံ အပေါ် သိမြင်နားလည်မှု သည် amplitude, frequency (wave length) and duration of vibrations တွေရဲ့ function ကိုဖြစ်သည်။

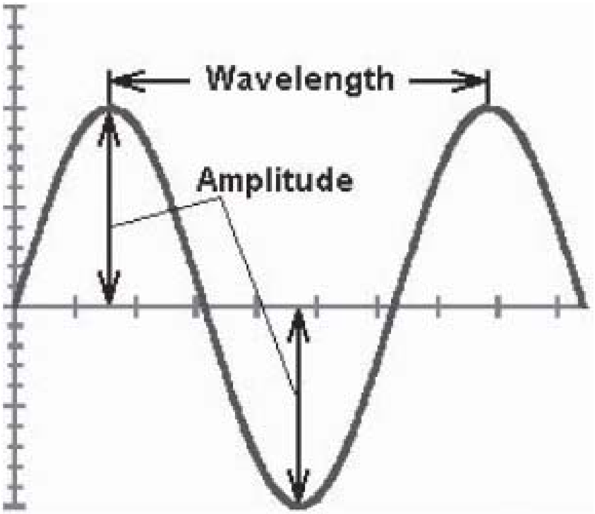


Fig. 12.1. Amplitude Vs wavelength

Amplitude of Sound (dB)

လူသည် အသံကို ကြားသည် ဆိုရာတွင် sound wave က နားစည် ကို ရိုက်ခတ်သွားသည့် ဖိအားကြောင့် ဖြစ်သည်။ ဒီ **Sound Pressure Level (SPL or L_p)** ကို decibels နှင့်ဖော်ပြသည်။

A decibel is a unit for expressing the ratio of two power-related quantities equal to 10 times the common logarithm of this ratio.

Eq. 1: $Lp = 10 \cdot \log_{10} (P^2_{(rms)}/P_o^2)$ dB

Where: Po = 20 μPa = 2 x 10-5 N/m2

Equation 1 can also be expressed as:

Eq. 2: $Lp = 20 \cdot \log_{10} (P_{(rms)}/P_o)$ dB

Sound Power Level (PWL or Lw) ကိုလည်း dB unit နဲ့ပဲ ဖော်ပြသည်။ အမြဲတမ်း SPL နှင့် confused ဖြစ်စေသည်။ PWL ကိုအောက်ပါ အတိုင်း ဖော်ပြ နိုင်သည်။

Eq. 3: $Lw = 10 \cdot \log_{10} (W_{(rms)}/W_o)$

Where: $W_o = 10^{-12}$ watts

Sound Pressure Level နှင့် Sound Power Level ကို ဘယ်လိုခွဲခြားပြီး နားလည်မလဲ?

Sound Pressure Level သည် "effect of the sound" ကိုဖော်ပြသည်။ Sound Pressure သည် sound source, environment of the sound source and receiver အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

Sound Power Level သည် " amount of sound produced by a source" ကိုဖော်ပြရာတွင် သုံးသည်။ ၎င်းသည် characteristic of only the sound သာဖြစ်၍ environment နှင့် သက်ဆိုင်မှု မရှိပေ။

ပိုမိုရှင်းလင်းအောင် 100 watt မီးလုံး နှင့် ဥပမာ ပေးစဉ်းစား ကြည့်ရအောင်။ 100 watt output သည် source ရဲ့ sound power level နှင့် အလားသဏ္ဍာန် တူပြီး၊ မီးလုံးရဲ့ အလင်းရောင် (light) ကို အခန်းရဲ့ နေရာတိုင်းမှ ကြည့်၍ မြင်နိုင်တာက sound pressure level နှင့် အလားသဏ္ဍာန် တူပေသည်။ မီးလုံးနှင့် ပိုပြီး နီးလေလေ အလင်းရောင်ကို ပိုပြီး တောက်ပစွာ တွေ့ရလေလေ ဖြစ်ပြီး မီးလုံးရဲ့ ထုတ်ပေးနိုင်သော wattage သည် အပြောင်းအလဲ မရှိ အတူတူပင် ဖြစ်သည်။ ထိုနည်းတူပင် sound source နှင့် ပိုပြီး နီးလေလေ အသံကို ပိုပြီး ကျယ်လောင်စွာ ကြားရလေလေ ဖြစ်ပြီး sound source ရဲ့ sound power level ကတော့ ပြောင်းလဲမှု မရှိပေ။ Sound Pressure Level သာ environment ပေါ်မူတည်၍ ပြောင်းလဲမှု ရှိသည်။

အရေးကြီးတာ တစ်ခု မှတ်ရမှာက Sound Power Level ကို တိုက်ရိုက် တိုင်းတာ၍ မရပဲ Sound Pressure Level မှတဆင့် ပြန်၍ တွက်ချက်ရသည်။ တိကျတဲ့ Sound Pressure Level ကို field ထဲမှာ တိုင်းတာရနိုင်ဖို့ ဆိုတာ reflection off nearby objects တွေရယ် တခြား sound source ရဲ့ အနှောက် အယှက် တွေကြောင့် မလွယ်ကူလှပါ။

Frequency of Sound (Hz)

Sound level (dB) ဆိုသည်မှာ အသံရဲ့ amplitude အတိုင်းအတာ ဖြစ်ပြီးတော့ frequency ကတော့ အသံကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသော vibration wavelength ရဲ့ အတိုင်းအတာ ဖြစ်သည်။ Fig.12.1 amplitude vs wavelength ပုံကို ကြည့်ပါ။ Wavelength တိုတဲ့ sound သည် high pitch ရှိပြီး wavelength ရှည်တဲ့ sound သည် low pitch ရှိသည်။ Sound ရဲ့ frequency ကို cycles per second or hertz (Hz) နှင့် ဖော်ပြသည်။ HVAC specifications များသည် သမားရိုးကျ အနေနဲ့ equiment sound level ကို octave band spectrum တစ်ခု အနေနဲ့ ဖော်ပြလေ့ ရှိသည်။ Octave band spectrum တစ်ခုမှာ ပါဝင်တဲ့ eight octave band centre frequencies သည် 63, 125, 250, 500, 1K, 2K, 4K, 8K (Hz) တို့ ဖြစ်သည်။

Certain frequency မှာ sound ရဲ့ wavelength ဟာ speed of sound in air (approx. 1100 ft/s) ကို frequency of sound နှင့် စားထားသော တန်ဖိုး ဖြစ်သည်။

ဥပမာ - Wavelength of sound @ 250 Hz ≈ 1100/250 ≈ 4.4 ft

Adding Decibels

Human sensitively to sound level difference ဟာ (amplitude) 3dB change ဖြစ်ရုံလောက်ဆို သိတယ် ဆိုရုံလောက်သာ ဖြစ်၍၊ 5dB change ဖြစ်သွားရင် သိသာ မြင်သာ သတိထားမိ သွားပြီး 10 dB change ဆိုရင်တော့ အသံကျယ်လောင်မှု ရဲ့ နှစ်ဆ (doubling of loudness) လောက် ထိ ဖြစ်သွားတယ် လို့ ဆိုပါတယ်။

တကယ်လို့ sound source နှစ်ခု (sound power level 88 dB ရှိသော fan နှစ်ခု) သာတပြိုင်နက် operate လုပ်နေပါက ဒီနှစ်ခုကို ပေါင်းမလား (88+88=176 dB)၊ ဒါမှ မဟုတ် 10 dB ထပ်ပေါင်းမလား ?

တစ်ခုမှ မဟုတ်ပါဘူးတဲ့။ အပေါ်မှာ ဖော်ပြထားတဲ့ အသံ ကျယ်လောင်မှု ရဲ့ နှစ်ဆ ဆိုတာက 10dB amplitude change ကိုပဲ ဆိုလိုတာပါ။ Decibels ယူနစ်ဟာ logarithmic scale ပေါ်မှာပဲ အခြေခံပြီး ဖော်ပြတာ ဖြစ်တဲ့ အတွက် ဒီ sound source နှစ်ခုကို logarithmically အရပဲ ပေါင်းရမှာ ဖြစ်ပါတယ်။

ပေါင်းဖို့ ဖော်မြူလာ ကတော့ အောက်ပါ အတိုင်းဖြစ်သည်။

Eq.4: SPL(1+2) = 10 . log10 (10SPL1/10 + 10SPL2/10)

Example:

SPL_1=50 dB, SPL_2=50 dB

$10^{SPL1/10}$ = 100,000

$10^{SPL2/10}$ = 100,000

SPL(1+2) = 10. log10 (200,000)

= 53 dB

ဒါကို ကြည့်မယ်ဆိုရင် two identical sound sources ပေါင်းခြင်းက double the loudness မဖြစ်ပါ။ Amplitude of the sound က 3dB ပဲတိုးသွားတာ ဖြစ်သည်။ ဒါက မဖြစ်စလောက် သိတယ် ဆိုရုံလောက်သာ change ဖြစ်သွားခြင်းပင်။

References

1) Acceptance testing procedures for HVAC systems by Dahtzen Chu, Charles L. Burton, Leland V. Speirs, Alison J. Pacheco, and Stacy Campbell

2) Amot 3-way temperature control valve datasheet

3) CoolTools™ chilled water plant design and specification guide by Pacific Gas and Electric Company, May 2000

4) Code on noise levels on board ships, IMO resolution A 468

5) Electric vale applications guide by Belimo actuators for HVAC (V.4.2)

6) Flexcon vessels in cooling and air conditioning installations (edition 2005)

7) Fundamentals of HVAC control systems, ASHRAE Hong Kong chapter technical workshop, 2007

8) HVAC Fundamentals (2nd Edition) by Samuel C. Sugarman

9) SOLAS, consolidated edition, 2004

10) UK HSE, noise and vibration, offshore technology report 2001/068

11) Valve Selection Handbook (5th Edition) by Peter Smith and R.W. Zappe

12) Vessel calculation for central heating systems and cooling systems by Flamco BV (2013)

13) YORK (application Guide) fundamentals of acoustics

14) 2001 ASHRAE fundamentals handbook (SI)

15) 2000 ASHRAE systems and equipment handbook (SI)