

Tuomas Tella

KEVYEN POLTTOÖLJYN KÄYTTÖMAHDOLLISUUDET KYMIJÄRVI 2 -VOIMALAITOKSELLA

Opinnäytetyö

Energiatekniikan koulutusohjelma

Prosessi- ja automaatiotekniikka

Maaliskuu 2015



KYAMK
University of Applied Sciences



Tekijä Tuomas Tella	Tutkinto Energiatekniikan insinööri	Aika Tammikuu 2014
Opinnäytetyön nimi Kevyen polttoöljyn käyttömahdollisuudet Kymijärvi 2-voimalaitoksella		67 sivua 14 liitesivua
Toimeksiantaja Lahti Energia Oy		
Ohjaajat Prosessi-insinööri Mikko Anttila Tutkimusinsinööri Tuomo Pimiä Lehtori Arja Sinkko		
Tiivistelmä Toimeksiantaja on pyytänyt selvitystä kevyen polttoöljyn käyttömahdollisuudesta Kymijärvi 2 jätteenkaasutusvoimalaitoksella. Maakaasun toimittajan lopettaessa kaasun syöttämisen verkkoon voimalaitosta ei pystytä käynnistämään eikä sähköä tai lämpöä pystytä tuottamaan Lahden kaupungille eikä sähköverkon alueille. Onkin äärimmäisen tärkeää, että tällaisessa kriisitilanteessa on olemassa keino ajaa voimalaitosta toimitusvaikeuksista huolimatta. Työssä tehdään alustava suunnitelma nykyisen maakaasujärjestelmän rinnalle tulevalle kevyen polttoöljyn järjestelmälle, jota voidaan ajaa kaikissa tilanteissa. Soihtu- ja sytytyspolttimissa öljykäyttö ei ole mahdollinen. Näille suunnitellaan propaanikäyttö, säiliö ja putkisto. Käynnistys- ja kuormapolttimeen suunnitellaan öljykäyttö ja uudelle öljysäiliölle, putkistolle, pumppuhuoneelle ja pumpuille tehdään alustava suunnitelma. Työssä tutkitaan myös polttoaineiden eroavaisuudet, sekä vaatimukset, joita polttoaineenvaihto tuo. Lopussa tiivistetään saadut tulokset ja tehdään yhteenveto suunnitellusta järjestelmästä. Suunnitelman alustavuuden vuoksi järjestelmä on suunniteltu siten, että se olisi teknisesti ja turvallisuuden kannalta oikein suunniteltu. Taloudelliset seikat on rajattu toimeksiantajan pyynnöstä pois. Toimeksiantaja voi käyttää työtä omassa päätöksenteossään ja selvitystyössään.		
Asiasanat Suunnittelu, Putkisto, Säiliö, Kevytpolttoöljy, Nestekaasu		

Author Tuomas Tella	Degree Bachelor of Engineering	Time March 2015
Thesis Title Possibilities to Use Light Fuel Oil in Kymijärvi 2 Power Plant		67 pages 14 pages of appendices
Commissioned by Lahti Energia Oy		
Supervisors Mikko Anttila, Process Engineer Tuomo Pimiä, B.Sc. (Eng.) Research Engineer Arja Sinkko, Senior lecturer		
<p>Abstract</p> <p>The objective of the thesis was to prepare a preliminary plan for a light fuel oil system that can be used in almost any situation. Light fuel oil usage for a torch burner and ignition burner was not possible. Because of the propane system, tank and pipes were designed for those burners. For the boiler burner and start burner, light fuel oil usage, tank, pipeline, pump and pump facilities were planned. Differences and requirements of new and used fuels were also examined.</p> <p>Kymijärvi 2 power plant gasifies waste into burning gas. If the supplier of natural gas stops to distribute gas, the power plant cannot be started. This leaves Lahti without heat and electricity. It is extremely important that there is a way to produce energy even in this crisis situation.</p> <p>Because of the preliminary nature of this thesis, only technical and safety matters were taken into consideration. All economic aspects were left out due to a request from the company. As a final result, all process values were gathered in one chart and a plan for the light fuel oil system was presented. Lahti Energia Oy can use this thesis in its own decision making and research work.</p>		
Keywords Planning, Pipeline, Tank, Light fuel oil, Propane		

SISÄLLYS

1	Johdanto.....	6
2	Toimeksiantajan esittely	7
3	Nykyiset polttimet.....	8
3.1	Käynnistyspolttimet.....	9
3.2	Kuormapolttimet.....	12
3.3	Soihutupoltin.....	14
4	Tarvittavat muutokset	16
4.1	Käynnistyspolttimet.....	16
4.2	Kuormapolttimet.....	17
4.3	Soihutupoltin.....	19
5	Propanijärjestelmä	20
5.1	Propanin ominaisuudet	20
5.2	Propanisäiliön suunnittelu.....	22
5.3	Propanisäiliön mitoitus.....	25
5.4	Putkiston suunnittelu.....	26
5.5	Putkiston mitoitus.....	28
6	Kevyt polttoöljy	29
7	Kevyen polttoöljyn säiliö	31
7.1	Säiliön mitoitukseen ja rakentamiseen liittyvät säädökset	31
7.2	Suunnittelu ja mitoitus.....	33
7.2.1	Lämpöarvo	33
7.2.2	Säiliön suunnittelu	34
7.2.3	Säiliön mitoitus	36
7.2.4	Suojaavan vallin suunnittelu ja mitoitus.....	37
7.3	Öljynerotusjärjestelmät	40
7.4	Sijoitus	43
8	Öljyputkisto	45
8.1	Putkiverkoston rakenne ja toiminta	45
8.2	Putkilinjan suunnittelu	46

8.3	Putkiston mitoitus.....	49
9	Pumppuhuone	52
9.1	Pumppulaitteiston sijoitus	53
9.2	Pumppuhuoneen varustelu ja standardit	53
9.3	Pumpputyypit	54
9.4	Siirtopumpun valinta	57
9.5	Paineenkorotuspumpun valinta.....	58
10	Yhteenveto järjestelmästä	62
11	Johtopäätökset.....	64
	LÄHTEET.....	65

LIITTEET

Liite 1. Säiliölaskut

Liite 2. Vallitilalaskut

Liite 3. Putkistolaskut

Liite 4. Säiliön suojaetäisyydet

Liite 5. Säiliön vaaraetäisyydet

Liite 6. Putkistoa

Liite 7. Sulkuventtiili

Liite 8. Moodyn käyrästä

Liite 9. Kertavastukset

Liite 10. DN-putkikoot

1 JOHDANTO

Tämän työn tarkoituksena on antaa tietoa öljyjärjestelmän toteuttamisen päätöksentekoa varten. Suunnitelma on laadittu siten, että järjestelmä olisi teknisesti ja turvallisuuden kannalta oikein suunniteltu, taloudelliset seikat on rajattu toimeksiantajan pyynnöstä pois. Alustavan suunnitelman perusteella voidaan laatia yksityiskohtaiset toteutus suunnitelmat yrityksen tarpeita varten.

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Lahti Energia Oy. Yritys on merkittävä alueellinen työllistäjä ja sähkön ja lämmön tuottaja, sekä edelläkävijä uusiutuvan energian käytön kehittämisessä. Työssä selvitetään mahdollisuudet avustavan hätäjärjestelmän toteuttamiseen II-voimalaitoksen käynnistysprosessissa. Toimeksiantaja on asettanut lähtökohdaksi kevytpolttoöljyjärjestelmän tutkimisen ja se tullaan käymään läpi tarkemmin. Kymijärvi I:n käynnistyspolttoainetarvetta ei tutkita, koska voimalaitos on käyttöikänsä päässä, eikä uusia investointeja enää tehdä.

Tarve polttoainemuutokseen tuli varmuustekijöistä. Käynnistyspolttoaineen puuttuminen estäisi prosessin käynnistymisen sekä käyttämisen, ja kriisitilanteessa sähkön ja lämmöntuotanto vaarantuisi. Polttoöljy on helposti säilöttävää toisin kuin maakaasu, jota siirretään siirto- jakelu- ja käyttöputkistosta tarpeen mukaan ja jonka saatavuus on erittäin riippuvainen toimittajasta.

Luku 2 antaa yleiskuvan toimeksiantaja yrityksestä Lahti Energiasta. Luvuissa 3 - 4 tutkitaan polttoainevaihtoehtoja kunkin polttimen kohdalta, selostetaan prosessin osat, joihin muutos kohdistuu ja käydään läpi tarvittavia muutostoimia. 5. luvussa esitellään propaanijärjestelmä ja seikat, jotka täytyy huomioida vaihdettaessa polttoaine maakaasusta nestekaasuun. Lisäksi tehdään alustava suunnitelma ja mitoitus propaanisäiliölle ja putkistolle. Luvut 6 – 9 on omistettu kevytpolttoöljyjärjestelmälle. Luvussa 7 käydään läpi säiliön mitoitus, suunnittelu ja siinä huomioitavat asiat. Luvussa 8 perehdytään virtaustekniikkaan putkiston suunnittelussa ja mitoituksessa. Luku 9 käsittelee pumppuhuonetta ja pumppuja. Luvussa 10 käydään läpi syntyneet johtopäätökset ja kommentit ratkaisusta joihin päädyttiin.

2 TOIMEKSIANTAJAN ESITTELY

Lahti Energian tuotanto koostuu kuvassa 1 olevista Kymijärven voimalaitoksista ja Heinolan voimalaitoksesta. Varsinkin talvella lämmöntuotannossa käytetään myös jakeluverkon pienvoimaloita ja kaukolämmön huippu- ja varakeskuksia, kuten Mukkulan kaukolämpökeskusta. Osakkuusyhtiöiden kautta yritys omistaa osuuksia vesivoimasta, tuulivoimasta ja ydinvoimasta.

Sähköä myydään maanlaajuisesti ja kaukolämpö toimitetaan verkon alueille Lahteen, Hollolaan, Nastolaan ja Asikkalaan. Energialähteinä käytettiin viime vuonna kierrätyspolttoainetta, maakaasua, kivihiiltä, biopolttoainetta, öljyä ja biokaasua.

Kymijärvi I alkaa olla käyttöikänsä päässä. Kymijärvi III tulee korvaamaan ykkösvoimalan. Laitoksen kattilaksi suunnitellaan kiertoleijukattilaa. (1.) Projekti tunnetaan nimellä Bio2020 ja voimalaitoksen arvioitu valmistumisaika onkin vuonna 2020. Voimalaitosta tullaan esiselvityksen mukaan käyttämään uusiutuvilla polttoaineilla, mutta kivihiilen polttomahdollisuus pidetään huoltovarmuusseikkojen takia. Kymijärvi II:n olemassa olevaa laitteistoa pyritään selvityksen mukaan hyödyntämään mahdollisimman paljon.

Vuonna 1975 valmistunut Kymijärvi I -voimalaitos käyttää polttoaineenaan kivihiiltä ja kaasuttimen tuotekaasua, joka korvaa 15 - 20 % fossiilisesta polttoaineesta. (2.) Aiemmin Kymijärvi I:ssä käytettiin jäteperäistä polttoainetta, mutta II:n valmistuttua jätekaasutus on siirtynyt kokonaan II:n puolelle ja I:n kaasuttimessa käytetään puuainesta. Kymijärvi I:llä maakaasua käytetään kaasuturbiinilaitoksella ja kattilan sekä apukattiloiden polttimissa. Laitoksen sähköteho on 200 MW ja kaukolämpöteho 250 MW. (2.)

Opinnäytetyön kohteena oleva kaasutuslaitos Kymijärvi II on ensimmäinen laatuaan koko maailmassa. Vuonna 2012 valmistunut voimalaitos on maailman ensimmäinen energijätteitä polttoaineenaan käyttävä kaasutusvoimalaitos. Energijätteestä koostuva kierrätyspolttoaine kaasutetaan kaasuttimissa. Muodostunut tuotekaasu puhdistetaan ja poltetaan tavallisessa kaasukattilassa. Kaasutettava energijäte tulee

voimalaitokselle tarkasti lajiteltuna, lajittelematonta sekajätettä ei pystytä käyttämään. Laitoksen kierrätyspolttoaineen kulutus on parhaimmillaan 250 000 tonnia vuodessa (2). Laitoksen käytettävyyttä on onnistuttu nostamaan sekoittamalla kierrätyspolttoaineen sekaan kierrätyspuuta. Kymijärvi II:n sähköteho on 50 MW kaukolämpöteho 90 MW. (3.)



Kuva 1. Kymijärvi II vasemmalla, Kymijärvi I oikealla ja vastaanottokeskus etualalla

3 NYKYISET POLTTIMET

Maakaasua käytetään polttimissa käynnistyksessä ja tarvittaessa tuotekaasua korvaavana apupolttoaineena. Jätteenkaasutusprosessissa varsinainen polttoaine, lajiteltu energijäte, tuodaan rekoilla polttoainesiloille, joissa sitä pystytään varastoimaan. Siiloista jäte kuljetetaan voimalaitokselle hihnakuuljettimella. Laitoksella polttoaineesta valmistetaan tuotekaasua kahdessa kaasuttimessa. Kaasutettu tuotekaasu suodatetaan kuumasuodattimissa. Suodatettu tuotekaasu virtaa kattilan kuormapolttimiin kahden tuotekaasulinjan kautta. Kattila tuottaa höyryä, joka pyörittää turbiinia ja tuottaa sähköä generaattorilla. Kaukolämpö tuotetaan kaukolämmönvaihtimissa.

Käynnistysprosessi aloitetaan kuormapolttimilla. Kattilan painetta nostetaan lämmityskäyrän mukaisesti portaittain. Kattila ajetaan täyteen paineeseen ja turbiini käynnistetään. Lopulta turbiini on kytketty verkkoon ja kuormapolttimet ajetaan vaiheittain täyteen maakaasutehoon. Ensimmäinen käynnistyspoltin käynnistetään ja noin neljän tunnin kuluttua myös toista kaasutinta aletaan lämmittää, kun toinen käynnistyspoltin käynnistyy. Arviolta 20 tunnin kuluttua toinen kaasutin on toiminnassa, mikä puolittaa kattilan apupolttoaineen tarpeen tuotekaasun korvatta apupolttoainetta. Toista käynnistyspoltinta ajetaan niin kauan kunnes toinenkin kaasutin saadaan tuottamaan tuotekaasua ja apupolttoaineen tarvetta ei enää ole.

Tarkastellaan Kymijärvi II:n kolmea polttinryhmää joihin muutos kohdistuu: käynnistyspolttimia, kuormapolttimia ja soihutupoltinta.

3.1 Käynnistyspolttimet

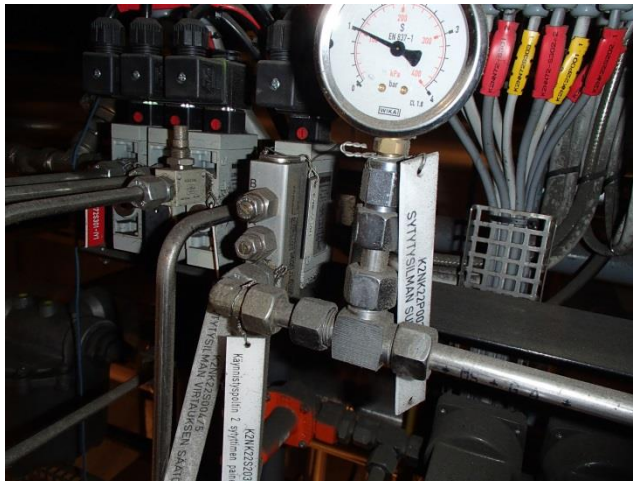


Kuva 2. Käynnistyspolttimen syöttölinjat ja käyttölaitteet

Maakaasukäyttöinen käynnistyspoltin lämmittää kaasuttimen käynnistysprosessissa. Polttimia on kaksi identtistä kappaletta, yksi

kummallekin kaasuttimelle. Yhden käynnistyspolttimen nimellisteho on 10 MW.

Kuvassa 2 on käynnistyspolttimen maakaasun syöttö ja käyttölaitteet. Keltaisella varoitusvärillä merkitty putki virtaa vasemmalta suodattimen ja virtausmittauksen läpi. Mutkan jälkeen on sijoitettu kaksi pikasulkuventtiiliä, jotka ovat paineilmatoimisia. Venttiileitä ohjataan valvomosta ja ne ovat kiinni/auki tyyppisiä. Paineen hävitessä venttiilistä jousitoiminen sulku estää kaasun pääsyn kaasuttimeen. Sulkujen välissä on apuvaroventtiili, joka poistaa poistoputkea pitkin venttiilien sulkeutuessa sulkujen väliseen tilaan jääneen kaasun ja estää paineen nousun. Kaasun pääsy kaasuttimeen on ehdottomasti estettävä kun poltin ei käy, sillä kaasun kerääntyminen luo räjähdysherkän tilan. Sulkuventtiilien jälkeen linjassa on säätöventtiili, jolla säädetään kaasun virtausta valvomosta. Kaasu syötetään lanssille linjasta joka on merkitty numerolla 1. Ylempänä on sytytyspolttimelle johtava venttiilikeskus ja paineensäätö. Keskuksessa säädetään suutinpaine ja palamisilmaksi syötettävä paineilma kuvan 3 säätöruuveilla.



Kuva 3. Paineilman ja kaasun suhteen säätöruuvit

Kaasu kulkee suodattimen läpi pikasulkuventtiileille. Venttiileiltä kaasu syötetään sytytyspolttimelle kuvaan 2 merkittyä linjaa numero 2 pitkin. Lisäksi molemmissa putkistossa on käsikäyttöisiä venttiilejä käyttölaitteiden huoltoon.



Kuva 4. Käynnistyspoltin

Kuvassa 4 on merkittynä käynnistyspolttimen pääosat, jotka ovat:

1. Ilmakaappi
2. Kaasulanssi
3. Sytytyspoltin
4. Liekinvalvontalaite
5. Palamisilman säätöpellit
6. Tarkkailulasi
7. Sulkuluukku + pneumatiikkasylineri
8. Vetosylinteri

Seuraavassa on selostettu polttimen pääosien toiminta. Poltin koostuu maakaasulanssista 2, joka luo liekin kaasuttimeen ja kaasutoimisesta

sytytyspolttimesta 3, joka luo terävän sytytysliekin maakaasun syttymistä varten. Sytytyspolttimen takaosassa on kammio, jossa sytytyskaasu ja palamisilma sekoittuvat. Kaasulanssissa kaasu johdetaan teräsputkea pitkin suutinreikiin. Polttimen ilmakehän alaosaan sijaitseva ilmapelti 5 säätelee sopivan palamisilmamäärän suhteessa polttoainemäärään. Ionisaatiotoiminen liekinvalvoja 4 valvoo pääliekkiä. Polttimen kyljessä olevasta tarkkailulasista 6 palamista ja liekinmuodostumista voidaan seurata. Polttimen on kiinnitetty kattilaan sulkuluukun 7 välityksellä. Sulkuluukku sulkeutuu ja avautuu automaattisesti polttinohjelman mukaan. Käynnistysprosessissa sulkuluukku avautuu ja pneumaattisen sylinterin 8 ohjaamat laitteet työnnetään tulipesään. Sytytyspolttin luo liekin, joka sytyttää maakaasun. Sammutuksessa polttin sammuu ja paineilmasylinteri vetää siihen liittyneet osat tulipesästä ja sulkuluukku sulkeutuu. Tämä estää petimateriaalin kulkeutumisen polttimeen. Jäähdytysilmaa syötetään jatkuvasti sytytyspolttimen läpi ja liekinvalvojan yhteeseen niin kauan kun polttin on päällä.

3.2 Kuormapolttimet



Kuva 5. Kuormapolttin

Kuormapolttimia käytetään tuotekaasun ja maakaasun polttoon kattilassa. Polttimet ovat SAACKEn SSBG 200 – LCG 1500 maakaasulla toimivia 40 MW nimellistehoisia pyörrepolttimia. Polttimen on tarkoitettu erittäin pieni-

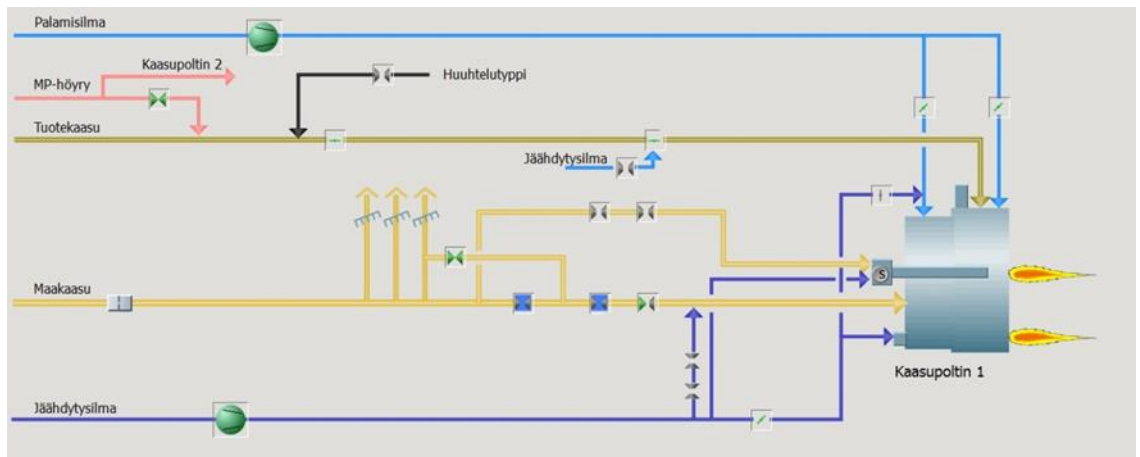
lämpöarvoisten polttoaineiden polttoon (2,5 MJ/m³). SAACKEn kehittämässä systeemissä muhveli saa pyörteisen liekin palamaan tasaisesti. Tämä takaa pienet NO_x -päästöt polttoaineen lämpöarvosta huolimatta. (4.)

Kuvassa 5 on kuormapoltin kuvattuna kattilan päältä. Polttimessa maakaasu virtaa pyöreään kanavaan, josta se syötetään tasaisesti seitsemään lanssiin. Sytytyspolttimen suunniteltu paikka on lanssien keskellä. Sytytyspolttin on siirretty käytettävyyden vuoksi polttimen sivuun. Maakaasu virtaa syöttölinjassa mm. omatoimisen paineenalennusventtiilin ja virtausmittauksen läpi. Linjassa ennen kuormapoltinta on kaksi pikasulkuventtiiliä (kuva 6), kuten käynnistyspolttimessakin.



Kuva 6. Kuormapolttimen pikasulkuventtiilit

Kuvassa 7 on osa Kaasupoltin 1:n valvomonäytöstä. Polttimen liekit merkitsevät liekinvartijoita, joita on kaksi kappaletta. Liekinvahdit sijaitsevat polttimessa samalla korkeudella kuin sytytyspolttin. Keltaisesta linjasta maakaasu virtaa lanssille ja sytytyspolttimeen ja rusehtavasta linjasta tuotekaasu polttoon. Palamisilma syötetään sinisestä linjasta ja jäähdytysilmaa kuvaa tumman sininen viiva.



Kuva 7. Leikkaus valvomonäytöstä

Maakaasun syöttö kulkee suodattimen läpi apuvaroventtiileille ja edelleen sytytyspolttimelle ja kaasulansseille. Linjassa on virtausmittaus kaikkiin kuormapolttimiin.

3.3 Soihutupoltin



Kuva 8. Soihutupoltin

Soihtupoltin toimii varolaitteena. Prosessissa on mahdollisuus ohjata tuotekaasut katolla sijaitsevaan soihtupolttimeen, jossa poltin polttaa kaasutuskaasun, eikä lämpöä oteta talteen vaan se johdetaan ulos. Poltin koostuu rungosta, maakaasun ja tuotekaasun lansseista, kahdesta sytytyspolttimesta ja lämpötila-anturista. Soihtupoltossa ensin käynnistetään sytytyspolttimet, jotka polttavat maakaasua. Sytytyspolttimet näkyvät kuvassa 8 soihtupolttimeen rungon sivussa. Maakaasun tukipoltto käynnistetään ja maakaasuliekki syntyy polttimeen. Lopulta tuotekaasun ja typen seos syötetään DN 500 -putkesta soihtuun palavan maakaasuliekin läpi. Soihtu saa palamisilmansa aukinaisen rakenteen vuoksi imuna suoraan ulkoilmasta.



Kuva 9. Soihtupolttimeen venttiilikeskus

Kuvan 9 keskus on rakennettu edellisten venttiilikeskusten tavoin. Toinen tuotekaasun syöttöputkista näkyy taka-alalla. Tuotekaasu syötetään kahdesta linjasta sulkuventtiilin kautta yhtenäisenä linjana soihtupolttimeen, syöttölinja näkyy kuvan oikeassa laidassa. Maakaasulinjan syöttö näkyy myös aivan tuotekaasulinjan ohessa.

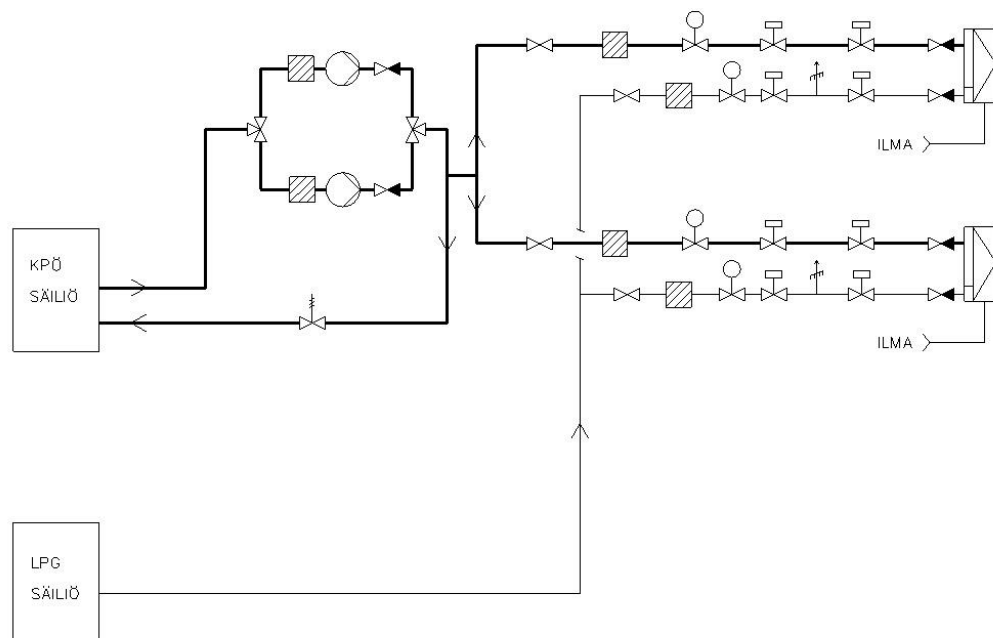
Venttiilikeskuksessa säädetään suutinpaine. Soihutupolttimen sytytyspolttimen asetusarvoiksi on määritelty sytytyskaasulla 50...150 kPa, sytytysilmalla 150...250 kPa ja jäähdytysilmalla 50 kPa. (5.) Soihutupolttimen nimellisteho on 10 MW.

4 TARVITTAVAT MUUTOKSET

Seuraavissa kappaleissa keskitytään muutoksiin, jotka koskevat edellisessä luvussa esiteltyjä polttimia.

4.1 Käynnistyspolttimet

Maakaasun rinnalle käynnistyspolttoaineeksi otetaan kevytpolttoöljy. Sytytyspolttimelle tulee mahdollisuus propaaniajioon, jos maakaasua ei ole saatavissa ja poltin varustetaan öljylanssilla, joka sijoitetaan kaasulanssin alle. Vetosylinterin tilavuutta on lisättävä, jotta saadaan tarpeeksi vetovoimaa polttimen vetämiseksi tulipesästä.



Kuva 10. Käynnistyspolttimien PI –kaavio

Uusi poltin tarvitsee paineilma-kytkennän. Paineilma hajottaa öljyn poltettavaksi öljysumuksi. Palamisilman poltin saa nykyisen järjestelmän

tavoin palamisilmakanavasta. Sytytyspolttimeen otetaan rinnalle mahdollisuus propaanin polttoon. Liekinvartionti voidaan säilyttää entisellään.

Kolmekanavainen Durag D-LX 200 soveltuu molemmille polttoaineille.

Käytössä on ultraviolettisäteilyyn perustuva vahti, puulle ja kivihillelle myös infrapuna-vahti olisi mahdollinen.

Sytytyspolttimen suutinkoko halutaan pitää samana, vaihdettavan polttoaineen lämpöarvon lisääntyminen kompensoidaan säätöpaineen muutoksella.

Polttimen manuaalista selviää, että säilyttämällä 1,5 mm suuttimen sytytyspolttimen kaasunpaine laskee maakaasun 100 kPa propaanin 60 kPa.

Kaasun kulutus vähenee maakaasun n. 2 m³/h propaanin n. 1 m³/h.

Palamisilman paine vähenee maakaasun 250 kPa propaanin 180 kPa.

Jäähdytysilman paine pysyy samana, 50 kPa. (6.)

Kuvassa 10 on polttimen uuden polttoainesyötön virtauskaavio. KPÖ edustaa kevytpolttoöljyjärjestelmän alkupäätä ja LPG propaanisäiliötä ja sitä seuraavia toimilaitteita. Öljy virtaa kahdelle paineenkorotuspumpulle.

Paineenkorotuspumppuja on kaksi kappaletta, jotta prosessia voidaan ajaa ilman keskeytyksiä huollon tai korjauksen aikana. Pumppuja voidaan käyttää vuoroajoin ja huoltotilanteessa prosessia ei mahdollisesti tarvitse pysäyttää.

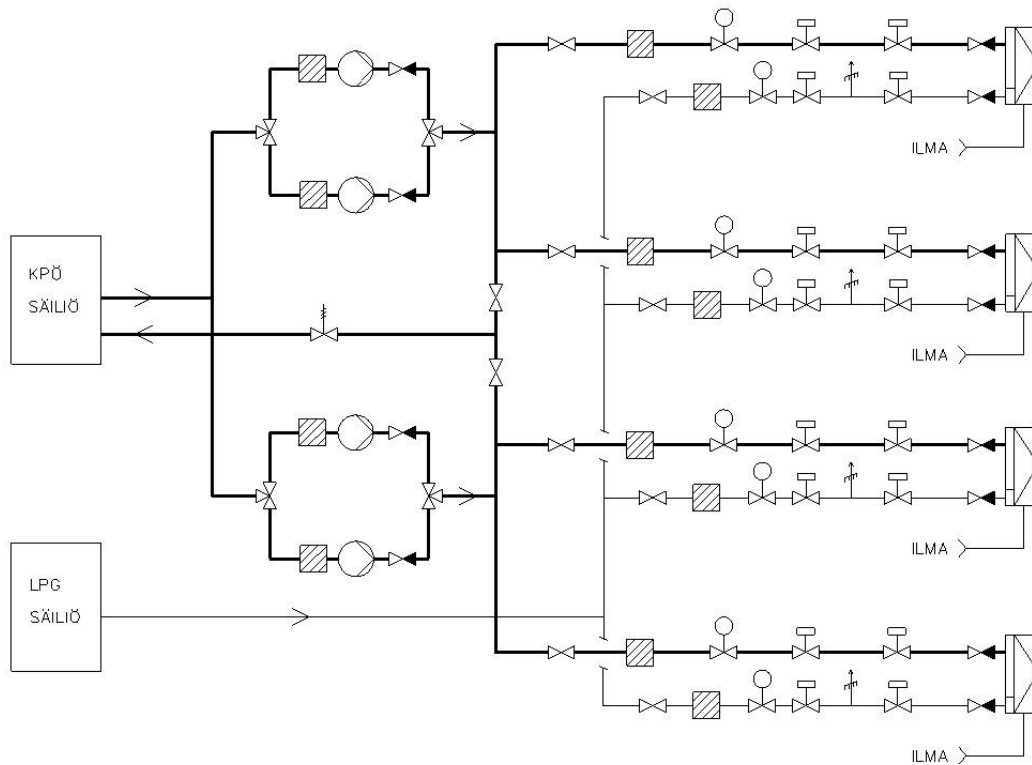
Poltinta edeltävät käsiventtiili, suodatin, säätöventtiili ja turvasulkuventtiilit.

Öljyjärjestelmä on suunniteltu Tukesin kemikaaliohjeistuksen ja poltintoimittajan ohjeistuksella. Poltin tarvitsee lisäksi paineilmalinjat öljyn painehajotusta varten. Propaani on varustettu vastaavalla standardin mukaisella paineenvähennyslaitteistolla. Varsinaisessa järjestelmässä sytytyspolttimen polttoaineenvaihdos voidaan tehdä vaihtoventtiilillä, jolloin valitaan haluttu polttoainelinja.

4.2 Kuormapolttimet

Kuormapolttimiin asennetaan öljy- ja propaanijärjestelmä käynnistyspolttimien tapaan. Maakaasujärjestelmän rinnalle tulee mahdollisuus öljyn ja propaanin käyttöön tarvittaessa. Myös kuormapolttimelle sijoitetaan paineilmalinja öljyn hajotusta varten. Öljylanssi sijoitetaan entiselle sytytyspolttimen paikalle, joka on jäänyt tyhjäksi kaasulanssien keskelle (Kuva 5). Kolmikanavaisessa liekinvahdissa yksi kanava on varattuna tuotekaasun poltolle ja yksi

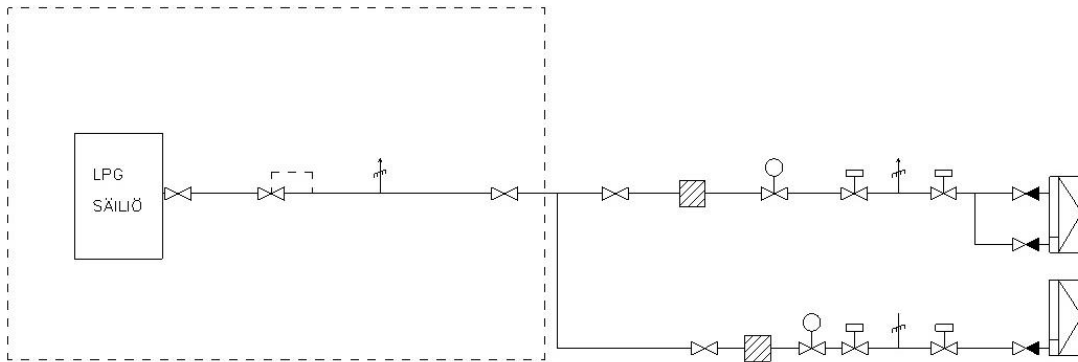
maakaasun poltolle, joten öljypolttoa varten on kanava valmiina, eikä uutta liekinvahtia tarvita.



Kuva 11. Kuormapolttimien polttoainejärjestelmän PI-kaavio

Öljy virtaa paineenkorotuspumpun jälkeen polttimille tai takaisinkiertoon säiliölle, kuten kuvasta 11 voidaan havaita. Molemmista linjoissa on varolaitteet liiallista painetta varten. Poltinta edeltävässä linjassa on sulkuventtiili, suodatin, säätöventtiili, pikasulut ja takaiskuventtiili. Propanilinja on öljylinjaa vastaavaa, erotuksena nuolella merkitty apuvaroventtiili. Polttimien NO_x -päästöt muuttuvat valmistajan mukaan esimerkkiarvoilla maakaasun arvosta 65 mg kuutiota kohden kevyen polttoöljyn arvoon 105 mg kuutiota kohden.

4.3 Soihutupoltin



Kuva 12. Soihutupoltin ja propaanisäiliö

Käytössä oleva soihutupoltin ei sovi kevytpolttoöljykäytölle, vaan vaatii kaasumaisen polttoaineen, joten päädytään propaanikäyttöön. Järjestelmä säilyy periaatteeltaan samanlaisena, kuten kuvan 12 piirikaaviosta nähdään. Piirikaavioon on piirretty myös propaanisäiliön laitteisto (katkoviiva), joka on aiemmissa piirikaavioissa yksinkertaistettu.

Poltinlaitteet on suunniteltu toimimaan halutulla kaasulla tietyssä paineessa. Jotta kaasu voidaan vaihtaa, pitää putkiaukkojen kokoa, polttimia ja/tai säätöjä muuttaa. Maakaasun linjat ovat propaania suurempia ja paljon tiheimmän ja lämpöarvoltaan suuremman propaanin syöttäminen maakaasulinjasta tuottaisi polttimeen enemmän polttokaasua, mikä saisi aikaan polttimelle vaarallisen palamisen. Kaasunsyöttöpainetta on tästä syystä alennettava siirryttäessä propaaniin. Palaminen tarvitsee myös sopivan kaasumäärän suhteessa ilmaan. Ilmakertoimen avulla saadaan selville kuivan kaasun palamiseen tarvittava ilmamäärä. Wobbe-indeksi ($W_{o,n}$) kuvaa kaasun virtausta. Se saadaan yhtälöstä 1.

$$W_{o,n} = \frac{H_o}{\rho_d} \quad (1)$$

missä

H_o = ylempi lämpöarvo

ρ_d = suhteellinen tiheys

Wobbe-indeksi on mahdollista muuttaa propaanikäytöllä metaania vastaavaksi, jolloin säätöpainetta tai syöttöaukon kokoa ei tarvitse muuttaa. Käytännössä se on mahdollista kun propaaniin sekoitetaan ilmaa 40 til-%, jolloin Wobbe-arvo on melko tarkasti sama kuin metaanilla. Tavallisesti seoskaasujen Wobbe-arvo säädetään hiukan pienemmäksi kuin korvattavan kaasun vastaava arvo on (7). Kaasujen vaihtoa suunnitellessa tulee ottaa huomioon myös palamisnopeus, joka on tärkeä tekijä liekin muodostuksen ja hallinnan kannalta. Seuraavassa luvussa tullaan käymään läpi suunniteltu propaanijärjestelmä.

5 PROPAAANIJÄRJESTELMÄ

5.1 Propaanin ominaisuudet

Propaani on nestekaasu. Maakaasun tavoin se on luokiteltu yleisesti kaasumaiseksi polttoaineeksi kaasulaiteasetuksessa. Vaadittavalta käyttölaitteiston tekniikaltaan propaani on metaania vastaava, vain varastointi- ja kuljetustapa eroavat. Propaanin varastointi ja kuljettaminen tapahtuu kokoon puristettuna nestemäisessä muodossa, jonka jälkeen se höyrystetään ja käytetään kaasumaisena. Säiliössä on lämpötilasta riippuen 2-10 bar paine (-20 °C ... +20 °C). (7.) Varastoituna nestemäinen propaani vie vain murto-osan kaasumaisen aineen tilavuudesta. Propaani saadaan joko suoraan tuotantolähteistä tai raakaöljyn jalostuksen kautta. Tislauksessa nestekaasu kerätään kolonnin huipulta muiden kaasujen ohella. Nestekaasujen tuotevirta jalostetaan edelleen propaaniksi ja butaaniksi.

Taulukossa 1 on tilastoituna propaanin ja metaanin polttotekniset ominaisuudet. Propaani on selvästi ilmaa raskaampaa eli sen suhteellinen paine on yli 1, maakaasun tiheyden ollessa taas liki puolet ilman tiheydestä. Hiilivedyt tarvitsevat palamiseen lähes saman ilmamäärän (n. 0,240 m³n / MJ), Wobbe-arvo sen sijaan poikkeaa kaasuilla huomattavasti.

Taulukko 1. Tarkasteltavien kaasujen polttotekniset ominaisuudet. (8.)

	Metaani CH_4	Propaani C_3H_8
Moolimassa (M)	16,04	44,10
Tiheys (ρ) [kg/m^3]	0,72	2,01
Suhteellinen tiheys (ρ_d)	0,56	1,56
Ylempi lämpöarvo (H_o)	39,82	101,24
Tehollinen lämpöarvo (H_u)	35,88	93,22
1) L_{min}	9,56	24,36
2) L_{min} / Q_y	0,240	0,241
$W_{o,n}$	53,45	81,19

1) Palamisilman vähimmäistarve yhtä normaalitilassa olevaa polttoainekuutiota kohti m^3n / m^3n , B

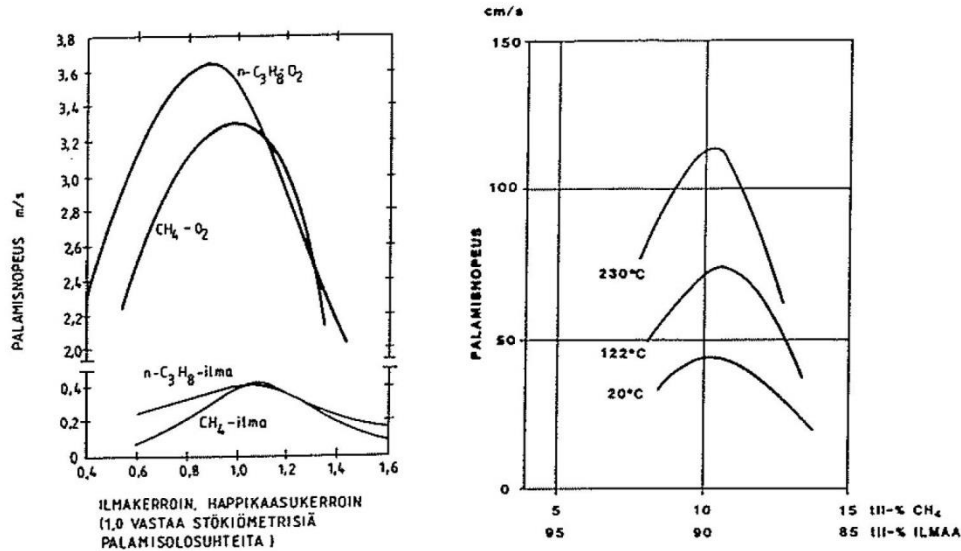
2) Palamisilman vähimmäistarve polttoaineen yhtä ylempää lämpöarvoyksikköä kohti m^3n / MJ

$W_{o,n}$ = Wobbe-indeksi

Propaani syttyy metaania matalammassa lämpötilassa. Propaanin syttymislämpötila on noin 500 °C ja metaanin noin 650 °C. (7.) Teoreettisesti tarvittavaa palamisilmamäärä (λ_{ilma}) merkitään ilmakertoimella 1,0.

Stökiometrinen palaminen on reaktio, jossa teoreettisesti tarvittava palamismäärä $\lambda_{ilma} = 1,0$ sekoittuu täydellisesti polttoaineeseen. Toisaalta propaani tarvitsee metaania enemmän palamisilmaa. Ilmakertoimella 1,0 palamisilmaa tarvitaan 24,3 m^3n / m^3n kaasua kohti (8). Metaanilla vastaava palamisilman tarve on 9,6 m^3n/m^3n kaasua kohti. Gasumin M6 julkaisu (8.) toteaa täydellisen palamisen vaativan ilmaylimäärän. Molempia kaasuja poltettaessa se voidaan pitää laitteesta riippuen pienenä. Happi-indeksi propanilla on 12 % (8), tätä arvoa pienemmällä happimäärällä propani ei syty. Kuvassa 13 on kuvattu palamisnopeutta verrattuna lämpötilaan ja happipitoisuuteen. Palamisnopeuden huippu on kuvasta luettuna propanilla happikaasukertoimen osalta noin 0,9 ja ilmakertoimen osalta noin 1,1.

Oikealla on kuvattu metaaniseoksen palamisnopeuden käyttäytyminen lämpötilaa nostettaessa. Lämpötilan noustessa myös palamisnopeus lisääntyy.



Kuva 13. Esimerkki palamisnopeuden riippuvuudesta kaasuilimaseoksen lämpötilasta ja palamisilman happipitoisuudesta. (8.) Gasum Oy Arto Riikonen. Käyttölupa kuvaan saatu.

5.2 Propanisäiliön suunnittelu

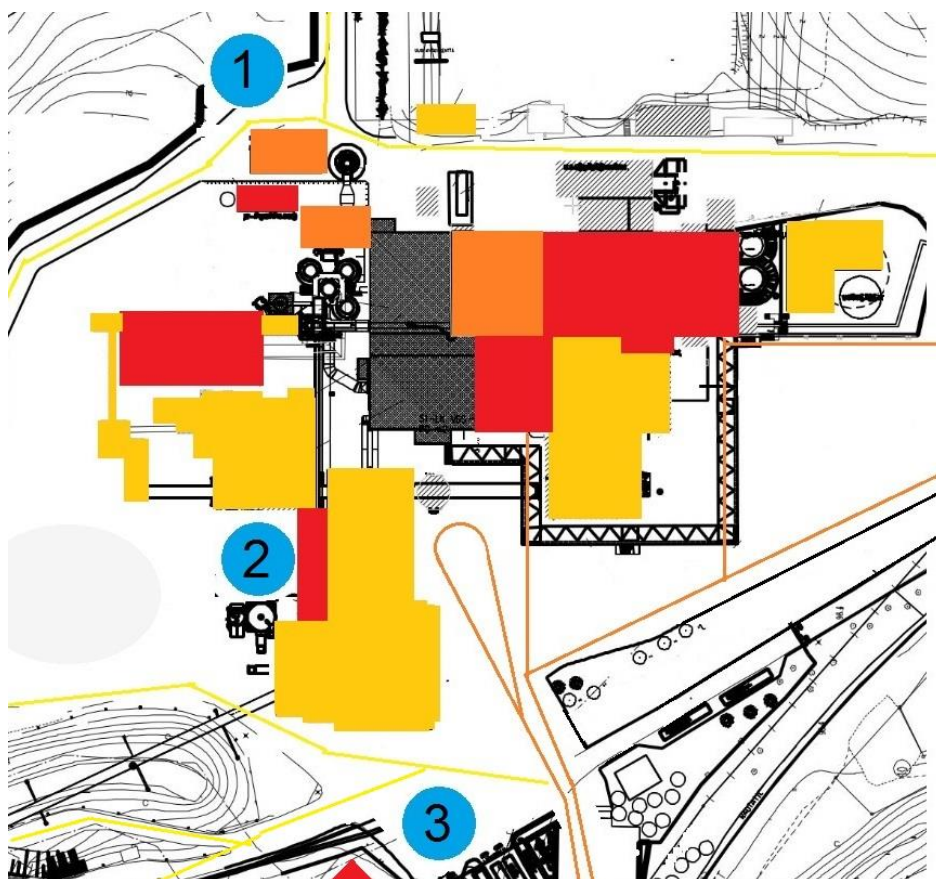
Propanisäiliö on suunniteltu vaakatasossa olevan lieriön muotoon. Valtioneuvoston asetus nestekaasulaitosten turvallisuusvaatimuksista 858/2012 selostaa nestekaasua velvoittavia säädöksiä. Säiliön sijoituksessa tulisi ottaa huomioon onnettomuuksien vaikutukset ympäristössä ja onnettomuuksien ajallinen kehittyminen, ihmisten mahdollisuudet suojautumiseen ja alueelta poistumiseen, onnettomuuden leviämiseen ja kulkuun vaikuttavat vesistöt ja viemärit, maastonmuodot, maaperän laatu, ilmasto-olosuhteet ja rakennukset yms. Myös käytössä olevat järjestelmät, menetelmät ja tekniset tekijät tulisi ottaa huomioon suunnittelussa. Onnettomuudet, joihin nestekaasu voi olla osallisena kuten ulkoiset tulipalot tai räjähdykset on arvioitava ja otettava huomioon sijoituksessa. Laitteisto on valittava nestekaasulle sopivaksi. Säiliöiden ja astiavarastojen keskinäinen etäisyys on määritettävä. Onnettomuudesta aiheutuva lämpösäteily ei saa syyttää rakennuksia, laitteistoa tai muuta sellaista, eikä aiheuttaa ihmisille poistumisvaikeuksia tiloista, tai palovammoja tiloissa joista poistuminen on hidasta. Räjähdysten aiheuttaman paineaallosta syntyvät vaikutukset

rakennuksiin ja ihmisiin on otettava huomioon. Säiliön sijoituksella on taattava pääliikenneväylien, huoltojärjestelmien ja toiminnan kannalta keskeisten toimintojen häiriöttömyys. Säiliön sijaitessa liikenneväylän läheisyydessä on säiliö varustettava törmäysestein. Palo- ja pelastushenkilökunnalla tulee olla pääsy alueelle vähintään kahdesta eri suunnasta.

Säiliön nestekaasun määrän ollessa enintään 5 tonnia on suojaetäisyydet seuraavat:(9.)

- Toisen tontin raja, liikenneväylä, rakennukset **5 m**
- Ulkopuolella sijaitsevat rivitalot, omakotitalot, liikenteen solmukohtat **15 m**
- Kiinteistön ulkopuolella sijaitsevat kerrostalot, koulut, hotellit ja muut suuren väkijoukon kokoontumiseen tarkoitettut rakennukset **50 m**

Säiliön ympärillä oleva maa on tasattava ja puut ja kasvillisuus on poistettava vähintään 3 metrin etäisyydeltä. Säiliö on aidattava vähintään 2 metriä korkealla lujarakenteisella verkkoaidalla. Painelaitelaissa propaanisäiliölle määrätyt varusteet ovat: teräksiset ja palonkestävät sulkuventtiilit, täytösmäärän mittalaite, nestepinnan korkeuden mittalaite ja painemittari, vesitysyhde, takaiskuventtiili säiliöön päin virtaaviin yhteisiin, liikavirtausventtiili säiliötä poispäin virtaaviin yhteisiin (ei alle 5 mm yhteisiin tai nestemäisenä 2 mm yhteisiin). Varoventtiilien ulospuhalluksen yläpään tulee ylettyä vähintään 3 metrin korkeuteen maasta ja 1,5 metrin korkeuteen säiliön yläpinnasta (9).



Kuva 14. Propanisäiliön sijoitus

Propanisäiliö sijoitetaan kuvan 14 mukaisesti voimalaitoksen vasemmalle laidalle sisääntuloportista katsoen. Vaihtoehdossa 1 säiliö sijoitetaan nykyisen vallin tilalle, lähelle arvioitua Kymijärvi III:n sijoituspaikkaa. Tällöin on huolehdittava, että pelastustie jää vapaaksi, eikä päällekkäisyyksiä uuden voimalaitoksen suunnitelman kanssa synny. Vaihtoehdossa 2 säiliö sijoitetaan kemikaalisäiliöiden vierelle II-voimalaitoksen läheisyyteen. Sijainti on optimaalinen käyttökohteiden etäisyyksien kannalta. Sijainti on kuitenkin lähellä voimalaitosta ja voi aiheuttaa uhkan prosessille kriisitilanteessa. Vaihtoehto 3 on sijoittaa säiliö maakaasun paineenvähennysaseman viereen. Vaihtoehto vaatii putkisillan tai maanalaisen putkivedon voimalaitokselle, sekä pisimmät putket. Lisäksi sijainti on kulkuväylien läheisyydessä. Punaisella on merkitty ihmisten oleskelutilat, sekä alueet joissa polttoaineita käsitellään, tai säilytetään. Oranssit ja keltaiset alueet kuvaavat alueita, joissa käy satunnaisesti ihmisiä, tai oleskelee joku ihminen. Keltaiset ja oranssit viivat kuvaavat kulkuväyliä, joista ihmiset tai kuljetukset kulkevat.

Säiliön tilavuuden laskemista varten tarvittava tilavuusvirta voidaan laskea kun teho ja alempi lämpöarvo tiedetään. Saadusta tuloksesta lasketaan kulutukset kunkin vaiheen osalta kun tiedetään kulutus sekunnin osalta. Massavirta voidaan laskea.

$$q_m = \frac{\Phi}{H_u} \quad (2)$$

jossa Φ on teho [MJ/s] ja H_u alempi lämpöarvo [MJ/l].

5.3 Propanisäiliön mitoitus

Mitoitetaan propanisäiliö. Soih tupolttimen nimellistehon ollessa 2 MW saadaan massavirta yhtälöllä 2.

$$q_m = \frac{2 \text{ MW}}{46 \text{ MJ/kg}} = 0,0434 \dots \text{ kg/s} \quad (2)$$

Vaadittava kaasumäärä saadaan tiheyden yhtälöstä johtamalla.

$$q_v = \frac{0,0434 \text{ kg/s}}{0,00201 \text{ kg/l}} = 21,63 \text{ l/s}$$

Kulutus 48 tunnin ajalta lasketaan.

$$V_{kaasu} = 21,63 \frac{\text{l}}{\text{s}} \cdot (3600 \cdot 48) = 3738 \text{ m}^3$$

Propanin tiheyden ollessa kaasumaisena 2,01 kg/m³ ja nestemäisenä 510 kg/m³, voidaan todeta, että yksi kuutio kaasua vastaa 3,94 litraa.

$$\frac{2,01 \text{ kg/m}^3}{0,510 \text{ kg/l}} = 3,94 \text{ l}$$

Vaadittavaksi nestemäisen propanin tarpeeksi saadaan.

$$V_{neste} = 3737,83 \text{ m}^3 \cdot 3,94 \text{ l} = 14,73 \text{ m}^3$$

Säiliön nestemäisen kaasun määräksi mitoitetaan **17 m³**, joka vastaa n. 115 % arvioidusta (14,73 m³) propaanin tarpeesta. Tilavuus vastaa noin 4300 m³ kaasumaisessa olomuodossa olevaa propaania.

5.4 Putkiston suunnittelu

Nestekaasun käyttö polttimessa tapahtuu kaasumaisessa muodossa höyrynpaineen alaisena. Höyrystys tapahtuu joko vapaana höyrystämisenä, eli paineen alentamisena tai lämmityksellä. Molemmissa tapauksissa tarvitaan lämpöenergiaa. Jos kaasu otetaan suoraan varastointitilasta, saadaan tarvittava energia propaanin omasta lämpösisällöstä. Pulloon tai säiliöön siirtyä lämpöä märän pinnan kautta, lämpötilaerojen tasoittumisen seurauksena ja nesteen ja kaasun ominaislämmön seurauksena. Tästä syystä täysinäinen propaanisäiliö tai pullo höyrystää tehokkaammin kuin vajaa. Nestemäinen propaani siirretään höyrynpaineen avulla tai erillisen siirtopumpun avulla. Tavallisesti pumppaus on välttämätöntä, kun lämpötila laskee alle 0 °C. (7.) Nestekaasu höyrystetään suurissa kohteissa lämmönvaihtimen avulla. Höyrystimellä saadaan vakioitua kaasun koostumus ja tuotantomäärä. Höyrystämisen jälkeen paine säädetään halutuksi paineensäätölaitteistolla. Säätopaine on yleensä 0,02...4,0 bar (7.). Kun paine on enintään 4 bar, putkiston rakenne vaatimukset ovat lähes samanlaiset maakaasuun verrattaessa.

Putkisto voidaan valita kokemukseen perustuen, minkä jälkeen tarkistetaan halutulla kaasuvirtaamalla painehäviö. Tarkka painehäviölaskenta käyttöputkistolle on tarpeen varsin harvoin. Koska kaasut ovat kokoonpuristuvia, on niiden putkistojen tarkka kokomitoittaminen ilman laskentaohjelmia työlästä(7.). Ylimiöitus on turvallisempaa kuin alimitöitus, varsinkaan lyhyillä etäisyyksillä ylimitöituksella ei ole merkittävää vaikutusta kokonaiskustannuksiin. Putkiston painehäviöt tulee mitöittää siten, ettei käyttölaitteiden liitäntäpaineen vaihtelu vaikuta haitallisesti polttimen toimintaan.

Kaasuille, joiden paine on yli 100 millibaaria, voidaan käyttää likimääräistä laskentamenettelyä (7.).

$$q_V = 0,1283 \cdot d^{2,6182} \left(\frac{p_1^2 - p_2^2}{Z \cdot C \cdot l} \right)^{0,5394} \quad (3)$$

missä

q_V = kaasumäärä [m³n/h]

d = putken sisähalkaisija [mm]

p_1 = absoluuttinen lähtöpaine [bar]

p_2 = absoluuttinen tulopaine [bar]

Z = kaasun kokoonpuristuvuuskerroin

C = virtaavan kaasun ja sen lämpötilan kerroin

l = putken pituus [m].

Z on alle 5 baarin paineella 1,00 ja alle 10 bar paineella 0,98. C määräytyy propanilla seuraavasti: (7.)

0 °C	1,20
10 °C	1,25
20 °C	1,30
30 °C	1,35
40 °C	1,40

Säädös 858/2012 määrää nestekaasun putkistosuunnittelussa huomioitavia asioita. Sijoituksessa tulee huomioida vuodot, henkilö ja ympäristövaarat, sekä ulkopuolelta kohdistuva rasitus. Putkistoja ei saa sijoittaa rakennusten perustuksiin eikä seinärakenteisiin. Nestemäisen nestekaasun suunnittelupaineen tulee olla vähintään 25 baaria ja kaasumaisen vähintään 10 baaria.(9.) Suunnittelupaineen tulee olla vähintään suurin paine, johon laite joutuu.(9.) Putkisto tulee varustaa sulkuventtiileillä. Pääsulkuventtiili on merkittävä selvästi. Kunkin käyttölaitteen eteen on sijoitettava sulkuventtiili siten, että käyttölaitte on mahdollista irrottaa ilman putkiston tyhjentämistä. Putkisto on varustettava varolaitteilla, jotta kaasun paine ei nouse liian suureksi.

Kaasuputkistoihin joiden suurin sallittu käyttöpaine on alle 16 baaria soveltuvat seuraavat standardien laatuvaatimukset täyttävät materiaalit: (7.)

- Saumattomat teräsputket
- Saumalliset teräsputket
- Ruostumattomat teräsputket
- Rajoituksin standardien mukaiset teräsputket

5.5 Putkiston mitoitus

Lähtöpaineeksi valitaan 0,9 baaria ylipainetta. Kaasun tulopaineen soihutupolttimella tulisi olla vähintään 0,6 baaria ylipainetta.

Kokoonpuristuvuuskerroin on 1,00 (paine alle 5 bar) ja virtaavasta kaasusta ja sen lämpötilasta johtuva kerroin on 1,25 (10 °C propaani). Kaasun tarve on $0,0216 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 3600 = 77,9 \text{ m}^3/\text{h}$. Valitaan putkikoko yhtälöllä 3 kun putkiston pituus on 150 m

Tilavuusvirta DN 25 putkikoolla.

$$q_{V25} = 0,1283 \cdot 29,1^{2,6182} \left(\frac{1,9^2 - 1,7^2}{1 \cdot 1,25 \cdot 150} \right)^{0,5394} \quad (3)$$

$$= 43,4 \text{ m}^3/\text{h}$$

Tilavuusvirta DN 32 putkikoolla.

$$q_{V32} = 0,1283 \cdot 37,2^{2,6182} \left(\frac{1,9^2 - 1,7^2}{1 \cdot 1,25 \cdot 150} \right)^{0,5394} \quad (3)$$

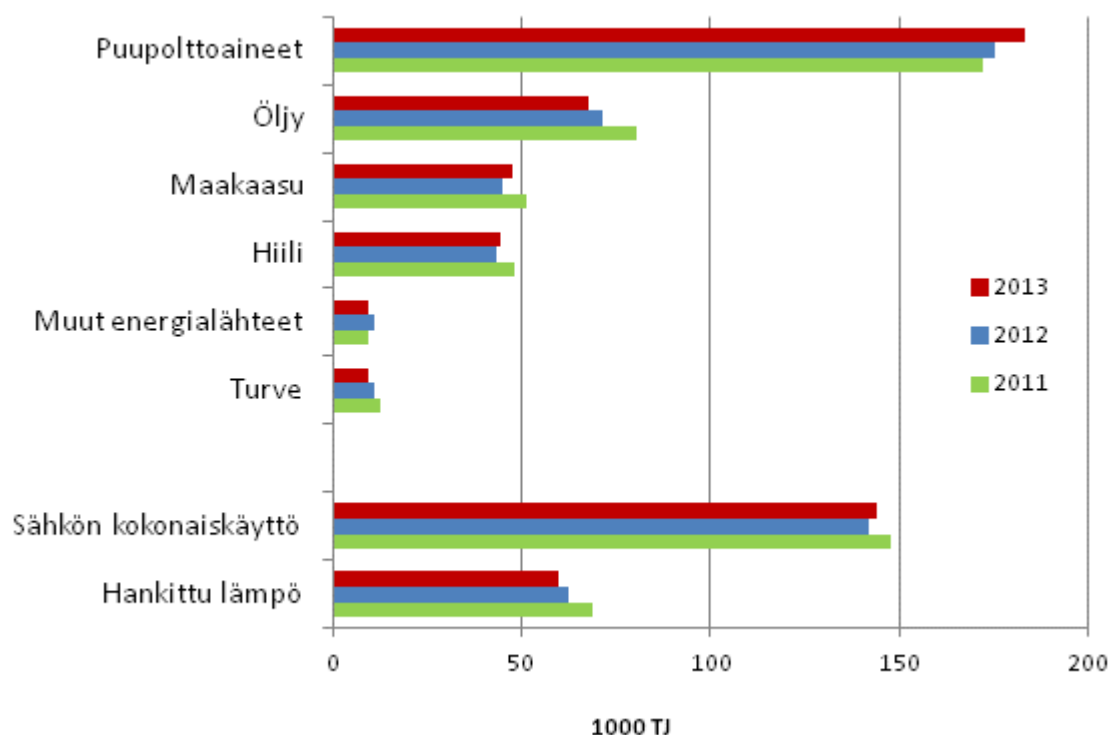
$$= 82,6 \text{ m}^3/\text{h}$$

Sopiva putkikoko kyseisillä mitoitusarvoilla on **DN 32**, joka täyttää polttoaineentarpeen $77,9 \text{ m}^3/\text{h}$.

6 KEVYT POLTTOÖLJY

Kevyt polttoöljy on raskasta kalliimpaa, mutta se on helposti juokseva ja palava tisle. Polttoaineessa energia on tiiviissä muodossa ja se pystytään käyttämän tehokkaasti hyväksi. Kevyt polttoöljy on tavallinen polttoaine rakennusten lämmittämisessä. Teollisuuteen käytetään 8 % kaikesta kevyt polttoöljystä (10.). Verotusmääräyksiltään erilaisesta dieselöljystä erotuksena on punainen väri. Värjäysaineena käytetään Solvent Yellow 124 -nimistä keltaista atsoväriä, joka muuttuu punertavaksi pH-luvun laskiessa ja on vaikea poistaa taloudellisesti kannattavilla menetelmillä. Talvi- ja kesälaadut saadaan sekoittamalla eri jakeita sopivissa olosuhteissa.

Öljyn käytössä on laskeva trendi, kuten kuvasta 15 voidaan havaita. Pyrkimykset vähentää fossiilisia polttoaineita kuten öljyä eivät ole vielä vaikuttaneet öljyn asemaan teollisuudessa lyhyellä aikavälillä tarkasteltuna. Öljy on toiseksi käytetyin teollisuuden energialähde Suomessa.



Kuva 15. Teollisuuden energiakäyttö 2013. Suomen virallinen tilasto (SVT). (11.)

Raakaöljy on tuontituote. Kuten maakaasua, eniten siitä tuodaan Venäjältä, kaikkiaan noin 9 miljoonan tonnin edestä. Toinen tuontimaa on Norja josta tuotiin 1,1 miljoonaa tonnia raakaöljyä vuonna 2012. Samana vuonna EU:sta

ja muista maista ei tuotu lainkaan raakaöljyä. Raakaöljy voidaan tuoda laivoilla mistä päin maailmaa tahansa, eikä se ole rajoitettu kaasun tapaan putkilinjoihin. (11.)

Kevyt polttoöljy jalostetaan raakaöljystä tislaamalla. Raakaöljynjalostuksessa tislauksen tapahtuu kymmeniä metrejä korkeissa kolonneissa. Kolonneja kuumennetaan, jolloin bensiini ja kevyemmät jakeet, kuten nestekaasu höyrystyvät. Raskaampiin keskittisluokkiin kuuluva kevyt polttoöljy lauhtuu ja se otetaan pois kolonnin sivu-ulostuloista (12). Öljynjalostuksen tuotekomponentit myydään joko sellaisenaan kuten propaani, tai valmistetaan halutuiksi seokseksi, kuten kevyt polttoöljy.

Palamis liekki on öljyllä valaiseva, toisin kuin kaasuilla, jotka palavat sinisellä, heikosti valaisevalla liekillä. Öljypisaroiden palaessa muodostuvat vapaat hiilipartikkelit saavat hehkunnallaan tämän aikaan. Tyypillinen leimahduspiste on 70 - 85 °C (13). Varsinkin öljysumu on herkästi syttyvää. Neste täytyykin hajottaa pisaroiksi ennen polttamista, toisin kuin kaasu. Öljy hajotetaan, siten, että tuloksena saataisiin mahdollisimman pienipisarainen öljysumu.

Palamisilmalle altistuneen öljysumun määrä yritetään maksimoida, jotta palaminen olisi nopeinta. Kevyen polttoöljyn poltossa käytetään lähes aina painehajoitteista poltinta jolla on pieni huoltotarve ja yksinkertainen rakenne, höyryhajoitus sopii paremmin raskaalle polttoöljylle, jotka tarvitsevat suuren lämmitystehon halutun viskositeetin saavuttamiseksi.

Ennen, kun päästöihin ei kiinnitetty huomiota nykyisellä tavalla, ihanteellinen öljy liekki oli ulkomuodoltaan lyhyt, kirkas ja pyörteittäinen (14). Polttoliekkin visuaalinen olemus on muuttunut päästöjen rajoittamisen takia, mutta silti näkölasista tehdyt havainnot ovat tärkeä osa palamisen seuraamista ja säätämistä. Huonon palamisen merkkejä ovat: savuinen liekki; kipinäinen liekki; pitkä, hitaasti muuttuva liekki tai hallitsematon liekinmuoto; sekä epävakaus ja öljyvuodot (suuttimesta).

Polttaessa polttoöljyä nro. 2 (kevyt polttoöljyssä 50 - 100 %) monidioksidi arvoja vähennetään kun happea vähennetään. Sama pätee myös maakaasupoltoon. Kevyistä polttoöljyistä poistetaan valmistusvaiheessa lähes kaikki rikki. Rikkiä saa olla enintään 0,10 painoprosenttia Valtioneuvoston asetuksen määräämänä. Suurin haitta ympäristölle tulee

hiilidioksidin määrästä, joka on kasvihuonekaasu. Yleiskuvan päästöistä antaa tarkastelu kaukolämpökeskuksen päästöistä. (15.) Päästöt mitattiin ainetaselaskentana.

Kevyen polttoöljyn ominaispäästöt kaukolämpölaitoksella ovat

$$\text{SO}_2 = 47,6 \text{ mg/MJ}$$

$$\text{NO}_2 = 180 \text{ mg/MJ}$$

$$\text{CO}_2 = 74,1 \text{ g/MJ}$$

ja maakaasun ominaispäästöt

$$\text{NO}_2 = 75 \text{ mg/MJ}$$

$$\text{CO}_2 = 56,1 \text{ g/MJ.}$$

7 KEVYEN POLTTOÖLJYN SÄILIÖ

7.1 Säiliön mitoitukseen ja rakentamiseen liittyvät säädökset

Viimeisin standardi nesteiden varastointiin käytettävän säiliön rakentamisesta ja mitoituksesta on SFS EN 14015:2004, joka korvasi SFS 2734 standardin. Tarkemmat määrittelyt löytyvät standardista ja niihin tulee perehtyä säiliötä suunniteltaessa. Seuraavassa on standardin ohjeistuksen pääkohdat. Säiliötä suunnitellessa tulee ottaa huomioon asetetut vaatimukset.

Suunnittelupaineelle, -lämpötilalle ja tiheydelle on standardissa määritellyt rajat. Materiaalina käytetään standardissa EN 14015 taulukoitua vaatimukset täyttävää hiili- tai hiilimanganiteräs laatua tai standardissa EN 10088-1 ja 2 minimivaatimukset täyttävää ruostumattoman teräksen laatua. Erilaiset mitoituskuormat on otettava huomioon.

Kuormitusta aiheuttavat:

- Nesteen aiheuttama hydrostaattinen paine
- Nestepinnan yläpuolella vaikutta ali- tai ylipaine
- Säiliön rakenteen pysyvät kuormat
- Jakautuneet ja pistemäiset muuttuvat kuormat

- Lumi- ja tuulikuorma
- Vesisateen aiheuttamat kuormat
- Perustusten epätasaisen painumisen aiheuttama kuorma
- Liittyvistä rakenteista aiheutuvat paikalliset kuormat

Pohja tulee valmistaa yksipohjaisena. Suunnittelun perustana on käytettävä säiliön pohjarakenteen täyttä tukeutumista perustukseen. Pohjan täsmälliset vaatimukset löytyvät standardista SFS EN 14015:en.

Säiliön vaippalevyjen jännitys saa olla maksimissaan 2/3 teräksen myötörajasta. Säiliön seinämän paksuus määritetään standardissa esitellyllä kaavalla. Sallitut jännitykset määritetään erikseen säiliön normaalin käytön ja koestuksen aikana esiintyville kuormituksille. Tarvittaessa säiliörakennetta voidaan vahvistaa jäykistysrenkailla. Vaippalevyjen pituus tulee olla vähintään 1m. (16.)

Katon teräsrakenteiden suunnittelussa ja mitoituksessa noudatetaan ohjeita ENV 1993-1-1 ja ENV 1993-4-2. Standardissa on ohjeita katon tukirakenteista ja vahvistamisesta. Kattolevyn paksuus on rakenneteräksillä vähintään 5 mm ja ruostumattomilla teräksillä 3 mm. (16.) Säiliöt tulee varustaa venttiileillä, jotka estävät liian suuren yli- tai alipaineen muodostumisen säiliöön.

Mahdolliset eristeet tulee kiinnittää suoraan säiliön pintaan. Säiliön eristeiden suunnittelussa tulee huomioida tuulikuormat, siitä aiheutuvat alipainevaikutukset, suhteellinen lämpölaajeneminen ja hydrostaattisen paineen aiheuttama laajeneminen. Katon eristeitä harkitessa pitää ottaa huomioon riittävä jäykkyys taipumien välttämiseksi ja jyrkkyys säänkestävyyden vuoksi. Katon sadevesi tulee johtaa reunan yli siten, ettei se pääse seinän ja/tai katon eristeisiin. Säiliö tulee tarkistaa ennen eristeiden asentamista.

Säiliöstä vaaditaan lukuisia asiakirjoja ainakin seuraavista aiheista: lujuslaskelmat, toteutuspiirustukset, toimittajan tarkistusasiakirjat, hitsausasiakirjat, tarkastusasiakirjat, lämmitys- tai jäähdytysjärjestelmä ja turvajärjestelmät. Säiliöön on lisäksi kiinnitettävä säiliökilpi. Yli 1000m³ öljysäiliölle on haettava lupa Turvatekniikan keskukselta ja 200-1000 m³

säiliöstä on tehtävä ilmoitus paloviranomaisille. (17.) Kuvassa 16 on tyypillinen pystymallinen 300 m³ kaksoisvaipallinen kevyt polttöljysäiliö tikkailla ja varoituskilvillä varustettuna.



Kuva 16. Kaukolämpölaitoksen öljysäiliö

7.2 Suunnittelu ja mitoitus

7.2.1 Lämpöarvo

Ylempi- eli kalorimetrinen lämpöarvo osoittaa miten paljon energiaa öljystä voidaan saada kun palaminen on täydellistä. Hiili palaa hiilidioksidiksi, vety vedeksi ja jonkin verran rikin ja typen oksideja syntyy. (17.) Alempi- eli tehollinen lämpöarvo sen sijaan ei ota huomioon vesihöyryn lauhtumislämpöä. Laskuissa käytetään tehollista lämpöarvoa, joka voidaan määrittää kokeellisesti kalorimetrillä mittaamalla lämpöarvo ja vähentämällä siitä polttoaineen palaessa syntyvän vesihöyryn lauhtumislämpö tai laskennallisesti kuten tässä tapauksessa.

Tehollinen lämpöarvo lasketaan käyttämällä standardin ISO 8217 mukaista yhtälöä (17.).

$$H_u = (46,704 - 8,802 \cdot 10^{-6} \cdot \rho^2 + 3,167 \cdot 10^{-3} \cdot \rho) \cdot \quad (4)$$

$$(1 - 0,01 \cdot (w_{H_2O} + w_t + w_s)) + 0,01 \cdot 9,42 \cdot (w_s - 2,449 \cdot w_{H_2O})$$

missä

H_u = tehollinen lämpöarvo +25°C:ssa [MJ/kg] w_t = öljyn tuhkapitoisuus, massa-%

w_s = öljyn rikkipitoisuus, massa-%

ρ = öljyn tiheys +15°C:ssa [kg/m³]

w_{H_2O} = öljyn vesipitoisuus, massa-%

Halutun polttoaineen Diesel -5/-15 tyyppillisillä arvoilla alempi lämpöarvo on:

$$H_u = \left(46,704 - 8,802 \cdot 10^{-6} \cdot \rho^2 + 3,167 \cdot 10^{-3} \cdot 840 \frac{kg}{m^3} \right) \cdot$$

$$\left(1 - 0,01 \cdot \left((2 \cdot 10^{-4} p - \%) + (1 \cdot 10^{-3} p - \%) + (5 \cdot 10^{-6} p - \%) \right) \right)$$

$$+ 0,01 \cdot 9,42 \cdot \left((5 \cdot 10^{-6} p - \%) - 2,449 \cdot (2 \cdot 10^{-4} p - \%) \right)$$

$$= 43,15 \text{ MJ/kg}$$

Lämpöarvoksi litraa kohti saadaan.

$$H_u = 0,840 \text{ kg/l} \cdot 43,15 \text{ MJ/kg} = 36,25 \text{ MJ/l}$$

7.2.2 Säiliön suunnittelu

Säiliön pohja on hiekkamaata, kuten kuvassa 17 näkyy. Valmis säiliö tarvitsee pohjakseen asfaltin ja betonipohjan eli pedin ja mahdollisesti myös paalutuksen, jotta maa-aineksen liikkuminen ei kaada tai kallista säiliötä. Maarakenteelliset seikat huomioidaan rakentamissuunnitelmassa. Säiliö lämmitetään käyttämällä putkissa kiertävää lämmitysvettä, joka tulee voimalaitoksen omasta kaukolämpöjärjestelmästä.



Kuva 17. Suunniteltu säiliön sijoituspaikka.

Kevytpolttoöljyn tarve saadaan selville tarkastelemalla nykyistä prosessia ja tarvittavia tehoja kevyen polttoöljyn suhteen. Apupolttoaineen tarve luokitellaan tässä opinnäytetyössä kolmivaiheiseksi. Taulukossa 2 on eriteltyinä kunkin vaiheen tehon tarve. Ensimmäisessä vaiheessa kattilan painetta nostetaan lämmityskäyrän mukaisesti portaittain. Tehon epäsäännöllisen nousun ja tavoitellun ylimitoituksen vuoksi oletetaan tarvittavan apupolttoainetehon olevan koko vaiheen ajalla 80 MW. Vaiheen aikana turbiini käynnistetään ja kattila ajetaan täyteen paineeseen. Ensimmäisen vaiheen kesto vaihtelee, mutta mitoitusajaksi on valittu 4 tuntia. Toisen vaiheen aikana turbiini on kytketty verkkoon ja kuormapolttimet nostetaan vaiheittain täyteen tehoon (160MW). Ensimmäinen käynnistyspoltin käynnistetään ja nostetaan lämmityskäyrän mukaisesti täyteen tehoon (10 MW) ja noin neljän tunnin kuluttua myös toinen samanlainen käynnistyspoltin toista kaasutinta varten käynnistetään ja teho nostetaan lämmityskäyrän mukaisesti tehoon 10 MW. Käynnistyspolttimien vaiheittaisella käynnistyksellä saadaan hallittua prosessia paremmin esimerkiksi vikatilanteen tai muun ongelman sattuessa. Arviolta 20 tunnin kuluttua toinen kaasutin on

toiminnassa, mikä puolittaa kattilan apupolttoaineen tarpeen tehoon 80MW tuotekaasun korvatussa apupolttoainetta. Toista käynnistyspoltinta ajetaan niin kauan kunnes toinenkin kaasutin saadaan tuottamaan tuotekaasua ja apupolttoaineen tarvetta ei enää ole.

Taulukko 2. Tehoerittely

Vaihe	Tehon tarve
1	80 MW
2	160 MW + 20 MW
3	80 MW + 10MW

Säiliön mitoitusta varten tarvitaan yhteenlaskettu polttoaineen kulutus. Säiliö mitoitetaan jonkin verran polttoaineen tarvetta isommaksi. Tällä parannetaan polttoaineen saatavuutta myös poikkeavissa tilanteissa. Korkeus valitaan arviolta. Vallitilan ja kaksoisvaipan mitoitusta varten lasketaan pohjan pinta ala yhtälöllä.

$$A = \frac{V}{h} \quad (5)$$

missä A on pohjan pinta-ala [m^2], V tilavuus [m^3] ja h korkeus [m]. Säiliön pohjan halkaisija d [m] suoja- ja vaaraetäisyyksien määrittämistä varten lasketaan.

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad (6)$$

7.2.3 Säiliön mitoitus

Lasketaan tilavuus, pohjan pinta-ala ja halkaisija säiliön polttoainesäiliön ollessa pystyssä olevan suorakulmaisen lieriön muotoinen. Liitteessä 1 on eritelty laskut säiliön osalta. Säiliön korkeudeksi on määritelty $h = 12$ metriä.

Vaiheiden kestoksi on arvioitu: I. vaihe neljä tuntia, II. vaihe 20 tuntia ja III. vaihe neljä tuntia. Suunnitellun polttoaineen teoreettiseksi teholliseksi lämpöarvoksi on laskettu $H_u = 36,25 \text{ MJ/l}$.

$$q_v = \frac{P}{H_u}$$

jolloin ensimmäisen vaiheen tilavuusvirran vaatimukseksi saadaan.

$$\frac{80 \text{ MW}}{36,25 \dots \text{ MJ/l}} = 2,21 \dots \text{ l/s}, \quad (1)$$

toisen vaiheen öljyntarpeeksi 4,97 l/s ja kolmannen vaiheen tarpeeksi 2,48 l/s. Ensimmäisen vaiheen öljynkulutukseksi saadaan 31 781 litraa, toisen vaiheen kulutukseksi 357 532 litraa ja kolmannen vaiheen kulutukseksi 35 753 l. Summaamalla kaikki vaiheet yhteen saadaan kokonaiskulutukseksi 425 065 l eli n. 425 m³. Säiliön polttoainesisällön tilavuudeksi valitaan **500 m³**, joka vastaa n. 118 % arvioidusta polttoöljyn tarpeesta.

Pohjan pinta-alaksi määritetään 41,66 m² kaavalla 5. Pohjan halkaisijaksi suoja- ja vaaraetäisyyksiä varten saadaan 7,28 m kaavalla 6.

7.2.4 Suojaavan vallin suunnittelu ja mitoitus

Standardi SFS 3350 ohjeistaa, että jokainen palavaa nestettä sisältävä säiliö tai säiliöt on sijoitettava vallitilaan jos säiliön tai säiliöiden yhteistilavuus on 15 m³ tai enemmän. Toinen standardissa mainitsematon mahdollisuus on kaksoisvaippa, joka muodostaa vuotosuojan itsessään. Tarkastellaan vallitila vaihtoehdon mitoitusta ja vaatimuksia.

Säiliön etäisyys vallin reunasta määritellään riittäväksi. Ohjesääntönä on, että vallitilan reunan etäisyys tulisi olla puolet säiliön halkaisijasta (18.). Etäisyys tulisi olla vähintään 1 metri, eikä yli 5 metrin etäisyydet ole välttämättömiä. Vallitilan täytyy olla tilavuudeltaan niin suuri, että sinne mahtuu palavaa nestettä 1,1 kertaa säiliön sisällä olevan nesteen määrä. Vallitilan pinta-alassa ja muodossa tulisi ottaa huomioon säiliön sammuttamisen helppous palotilanteessa. Laskuissa vallitilan oletetaan olevan suorakulmainen särmiö.

Suorakulmainen rakenne on ympyrää helpompi toteuttaa. Sammutustöiden kannalta optimaalinen muoto olisi ulospäin kaartuva rakenne, mutta käytännössä vallitilan reunat rakennetaan aina 90° kulmaan. Vallitilan reunat suunnitellaan järkevän kokoisiksi käytännön kannalta, liian korkeat seinät hankaloittavat kulkua, tarkkailua ja suurentavat vaadittavan ylityskulkusillan kokoa. Toiveena on pystysuuntainen, ei makaava säiliö. Suunniteltu säiliön korkeus on 12 metriä. Vallitilan tilavuudeksi tulee $1,1 \cdot 500 \text{ m}^3 = 550 \text{ m}^3$. Mitoitetaan vallitila näillä tiedoilla eri korkeuksia tutkien. Vallitilan pinta-ala lasketaan käyttäen kaavaa 5. Vallitilan reunan korkeus lasketaan.

$$c = \frac{V_{\text{vallitila}}}{A_{\text{kokovallitila}} - A_{\text{säiliö}}} \quad (7)$$

missä

c = reunan korkeus [m]

$V_{\text{vallitila}}$ = vallitilan tilavuus [m^3]

A_{kokoko} = koko vallitilan pohjan pinta-ala [m^2]

$A_{\text{säiliö}}$ = säiliön pohjan pinta-ala [m^2]

Lasketaan arvot 12 metrin korkuiselle säiliölle. Halkaisijan ollessa 7,28 metriä saadaan etäisyydeksi reunasta $7,28 / 2 = 3,64 \text{ m}$ ja sivun pituudeksi $7,28 \cdot 2 = 14,57 \text{ metriä}$. Vallitilan reunan korkeudeksi saadaan.

$$c = \frac{550 \text{ m}^3}{(14,57 \text{ m} \cdot 14,57 \text{ m}) - 41,66 \dots \text{m}^2} = 3,23 \text{ m} \quad (7)$$

Reunavalli on liian iso ollakseen käytännöllinen. Tutkimalla reunan korkeuksia (h) muilla säiliön korkeuksilla saadaan muodostettua taulukko 3.

Taulukko 3. Säiliön (ylimmäinen taulukko) ja vallitilan (alimmainen taulukko) mitoitus eri korkeuksilla

Säiliö

(m)	(m ²)	(m)	(m)
Korkeus	Pinta-ala	Halkaisija	Reunaetäisyys
15	33,33	6,51	3,26
14	35,71	6,74	3,37
13	38,46	7,00	3,50
12	41,67	7,28	3,64
11	45,45	7,61	3,80
10	50,00	7,98	3,99
9	55,56	8,41	4,21
8	62,50	8,92	4,46

Vallitila

(m)	(m ²)	(m ²)	(m)
Sivun pituus	A _{vallitila}	A _{vallitila} - A _{säiliö}	h = V / A *
13,03	169,77	136,43	4,03
13,49	181,89	146,18	3,76
14,00	195,88	157,42	3,49
14,57	212,21	170,54	3,23
15,22	231,50	186,04	2,96
15,96	254,65	204,65	2,69
16,82	282,94	227,39	2,42
17,84	318,31	255,81	2,15

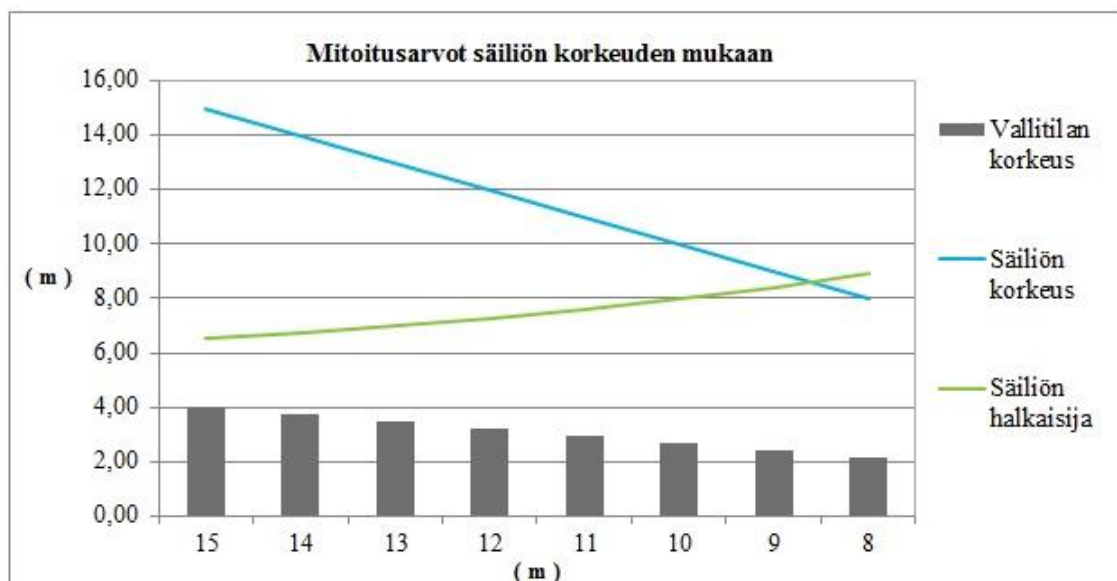
* Lasku tarkemmin eriteltyä yhtälössä 7.

Reunaetäisyys = säiliön vaipan ja vallitilan reunan etäisyys

Sivun pituus = suorakulmaisen särmiön muotoisen vallitilan särmän pituus

A_{vallitila} = vallitilan pohjapinta-ala ilman säiliötä

A_{säiliö} = säiliön pohjan pinta-ala



Kuva 18. Vallitilan reunan korkeuden muutos mitoitusarvoilla

Tuloksista muodostetaan kuvan 18 käyrät. Kuten kuvaajasta voidaan havaita, parhaiten standardin kanssa toimivat korkeudeltaan ja halkaisijaltaan yhtä suuret tai halkaisijaltaan korkeutta suuremmat säiliöt, joiden vallitilan reunan korkeus lähestyy 2 metriä. Toiveena on nimenomaan pystysuuntainen säiliö, joten päädytään kaksoisvaippa rakenteeseen. Suojavaippa suojaa säiliötä vuodon sattuessa ja pitää öljyn sisällään.

Määritetään vaipan mitat, olettaen, että kaksoisvaippa on 110 % säiliön tilavuuteen verrattuna. Pinta-alaksi saadaan 45,83 m² kaavalla 5. Halkaisijaksi määritetään 7,64 metriä kaavalla 6. Tällöin säiliön ja suojavaipan väliin jää 36 senttimetrin tila. Vaipan pinta-ala lasketaan.

$$A_v = 2\pi rh \quad (8)$$

Säiliön vaipan kokonaispinta-alaksi yhtälöllä 8 muodostuu 274,45 m².

Suojavaipan vaipan kokonaispinta-ala on 287,98 m².

7.3 Öljynerotusjärjestelmät

SFS 3350 määräysten mukaan viemärointi järjestetään siten, että palavien nesteiden vuodot pystytään havaitsemaan ja keräämään talteen.

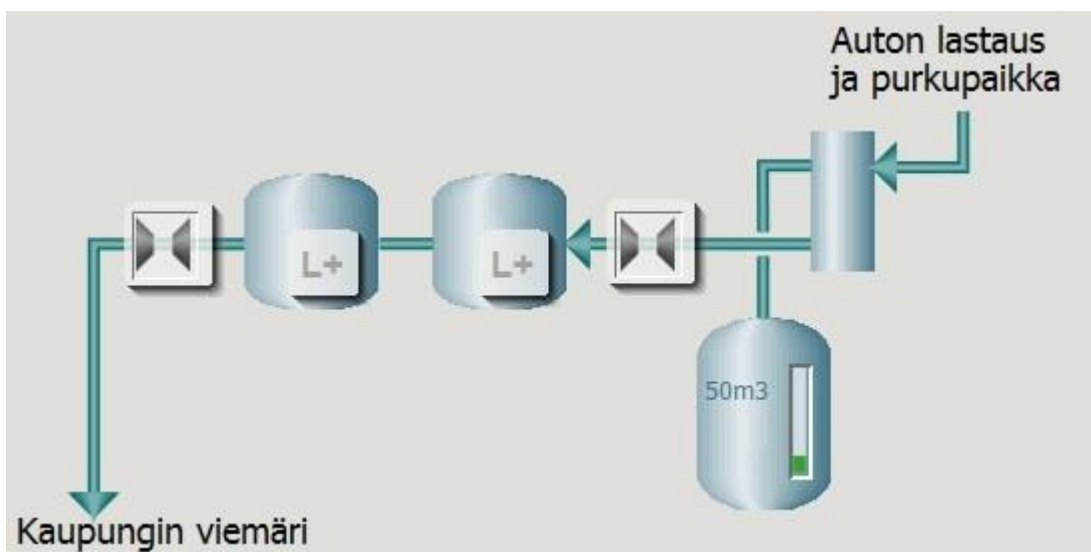
Suunnittelussa tulisi huomioida läheisyys vuotokohtaan ja likaantuneen veden

määrän minimointi. Viemäröinnin suunnittelussa tulee ottaa huomioon standardin lisävaatimukset sammutusvesien keräilyjärjestelmistä. Vuodon sattuessa öljyä ei saa huuhtoa kaupungin viemäriin, maastoon eikä vesistöön. Pienet määrät kerätään imeytysaineeseen ja sijoitetaan astioihin. Suurissa vuodoissa öljy pumpataan erilliseen säiliöön. Saastunut maa tulee vuodon tapauksessa kuoria. Vesistöön päästessään öljyn leviäminen estetään öljypuomeilla. (18.)

Kuvassa 19 on kaksoisvaippaisen säiliön öljynerotuskaivo, joka johtaa öljyn edelleen sulkuventtiilille (liite 7). Molemmat kuvat ovat osa kaukolämpökeskuksen öljysäiliön viemäröintijärjestelmää.



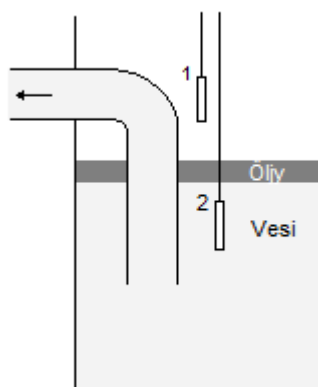
Kuva 19. Öljynerotuskaivo ja sadevesijuoksut



Kuva 20. Voimalaitoksen lastauspaikan viemärijärjestelmä

Kuvassa 20 on lastauspaikan öljynerotusjärjestelmä. Täyttöauton tullessa lastausalueelle sulkuventtiili sulkeutuu. Odottamattoman säiliöauton vuodon vuoksi on lastauspaikalla 50 m³ säiliö, joka kerää öljyvuodot jos hiekanerotuskaivo tulvii yli. Jos paikalla ei ole täyttöautoa vesi kerätään hiekanerotuskaivoon, johon päästetään kaikki mitä nesteen mukana kulkeutuu, kuten sora. Hiekanerotuskaivo on tilava jotta sen puhdistaminen onnistuu helposti.

Hiekanerotuskaivossa on molemmin puolin öljylukot. Öljylukon toimintaperiaatetta on selvennetty kuvassa 20. Harvempi aine kevytpolttoöljy (840 kg/m³) nousee pinnalle ja tiheämpi aine vesi (1000 kg/m³) laskeutuu pohjalle. Öljylukon kautta vesi pääsee nousemaan syvälle upotettua putkea pitkin eteenpäin. Öljy jää pinnalle, eikä etene putkistossa. Kuvaan on piirretty myös esimerkki mittauslaitteista. 1-merkintä kuvaa öljypinnan mittalaitetta, joka ilmoittaa, kun laitteen johtavuus muuttuu eli mittapinnan raja-arvo ylittyy. Alhaalla 2-merkitty mittauslaite ilmoittaa jos öljy alittaa rajapinnan.



Kuva 21. Öljylukon toimintaperiaate

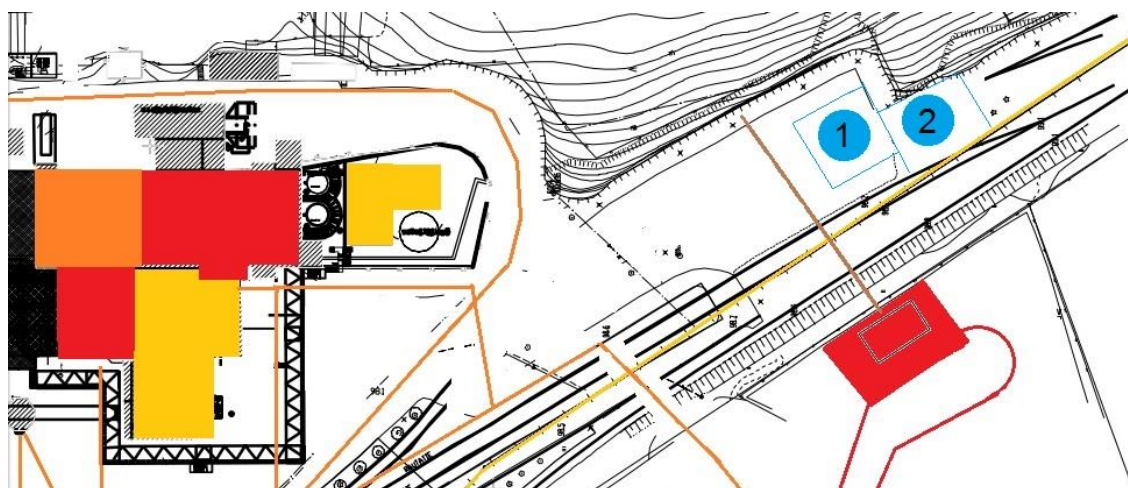
Hiekanerotuskaivosta neste virtaa varsinaiseen öljynerotuskaivoon. Öljynerotuskaivossa varastoidaan öljy, joka on tullut hiekanerotuskaivon öljysulusta läpi. Myös öljykaivo on varustettu öljysululla. Missä tahansa prosessin vaiheessa hiekanerotus- tai öljynerotuskaivoon päässyt öljy aiheuttaa sulkuventtiilin sulkeutumisen. Ennen kaupungin viemäriä on linjassa näytteenotto-kaivo. Kaivo on varustettu venttiilillä ja näytteenottomahdollisuudella, jotta varmistetaan että kaivossa oleva vesi voidaan päästää kaupungin viemäriin.

Säiliö varustetaan sadevesien keräilykaivolla. Öljynerotusjärjestelmä voidaan toteuttaa käyttämällä edellä mainittuja periaatteita. Kerätyt sadevedet johdetaan kuvan 19 mukaiseen öljynerotuskaivoon. Kaivosta neste johdetaan öljylukon kautta sulkuventtiilille ja sieltä pumppukaivoon. Pumppukaivosta vedet pumpataan viivästysaltaisiin ja sieltä edelleen jokeen. Öljy jää öljynerotuskaivoon, josta se tyhjenetään imuautolla.

7.4 Sijoitus

Suojaetäisyys (s) määrittään maanpäällisten säiliön pienimmän sallitun etäisyyden naapurin rajaan, julkiseen liikenneväylään sekä konttori ja sosiaalituloihin ja muihin vastaaviin tiloihin, jossa ihmisiä oleskelee. Suojaetäisyys säiliölle määräytyy sen halkaisijan mukaan ja mitataan säiliön vaipasta (18.). Säiliön suojaetäisyydeksi saadaan liitteen 1 kuvasta noin 17 metriä halkaisijan ollessa 7,28 metriä.

Vaaraetäisyydet määrittävät maanpäällisten säiliöiden sekä astia- ja konttivarastoiden pienimmät sallitut etäisyydet. Vaaraetäisyyksien tarkoituksena on estää palon leviäminen. Vaaraetäisyys määräytyy palosuojauksen ja halkaisijan mukaan. Liitteen 2 käyrä 1 (v1) kuvaa etäisyyttä astia- ja konttivarastoon, sekä palavan nesteen säiliöön, jota ei ole suojattu riittävällä vesivalulla tai eristetty riittävästi. Käyrä 2 (v2) kuvaa etäisyyttä toisen säiliöryhmän palavan nesteen säiliöstä, joka on suojattu vesivalulla tai riittävällä eristyksellä. Riittävä vesivalu on SFS 3357 mukainen järjestelmä tai A120-paloluokan eristys. Vaaraetäisyys 2:n (v2) sisäpuolella saa olla ainoastaan säiliön tuoteputkia, sammutus- ja jäähdytysvesiputkia ja muita vastaavia sekä vallirakenteita. Vaaraetäisyydeksi liitteestä 2 saadaan 10 metriä.



Kuva 22. Säiliön sijoitus ja huomioitavat alueet ja kulkureitit turvallisuuden kannalta

Ihmisten oleskelutilat ja kulkureitit selviävät kuvasta 22. Punaisella on merkitty turvallisuuden kannalta tärkeimmät alueet. Näihin sisältyy lastauspaikka oikealla, johon säiliöauto tuo kuutioittain öljyä ja toimisto yms. rakennukset. Oranssilla on merkitty yleisesti käytetyt kulkureitit ja tilat. Keltaisella on merkitty satunnaisesti käytetyt kulkutilat ja reitit. Ruskea linja kuvaa öljyn syöttöputkea. Siniset ympyrät edustavat vaihtoehtoisia säiliön sijoituspaikkoja. Vaihtoehdossa 1 säiliön kohdalla oleva vaunuhalli puretaan ja säiliö sijoitetaan keskelle aluetta. Säiliön alueelta on helppo poistuminen neljään suuntaan. Vaihtoehto 2 voidaan rakentaa olemassa oleviin rakenteisiin, mutta poistumistiet rajoittuvat kolmeen suuntaan. Merkittävää säästöä putken pituudessa ei tule kummassakaan vaihtoehdossa koko putkilinjaan verraten.

Oletetaan, että säiliö sijoitetaan vaunuhallin taakse vaihtoehdon 2 mukaisesti. Jos vaunuhalli halutaan säilyttää tulee säiliöltä silti varmistaa ehdoton kulku kahteen poistumissuuntaan hätätilanteessa. Myös pumppukaivon tai pumppuhuoneen sijoittamisessa on otettava tämä huomioon. Lähellä ei ole yhtään sellaista ihmisten asuttamaa rakennusta, joka jäisi 17 metrin suojaetäisyyden sisäpuolelle. Sen sijaan vaunuhallissa ei saa sijoittaa palavia nesteitä 10 metrin säteellä säiliöstä.

8 ÖLJYPUTKISTO

Seuraavassa esitellään alustava suunnitelma öljyputkistolle.

8.1 Putkiverkoston rakenne ja toiminta

Kevyt polttoöljy säilötään 500m³ maahan asennetussa pystysuuntaisessa säiliössä. Säiliö täytetään lastauspaikalta. Säiliöstä lähtee putki pumppuhuoneeseen, jossa sijaitsee siirtopumppu ja muu pumppauslaitteisto. Siirtopumpulta öljy pumpataan putkistossa n. 350 metriä pihan läpi ja kuvan 23 mukaista putkisiltaa pitkin voimalaitoksen sisälle. Siirtolinjan varoventtiili avautuu paineen noustessa liian suureksi jolloin öljy kulkeutuu takaisin säiliöön varoventtiilin ohjaamaa linjaa pitkin. Siirtolinjan paluulinja tuo öljyn takaisinkiertona takaisin säiliölle. Voimalaitoksen sisällä on kuusi boosteripumppua. Jokaista kahta poltinta varten on kaksi pumppua, joista toinen on käytössä ja toinen varalla. Näin huoltotoimenpiteet voidaan suorittaa keskeyttämättä virtausta. Myös pumppujen vuorottelu on mahdollista niiden toimintakunnon varmistamiseksi ja yksittäisen pumpun kulumisen vähentämiseksi.



Kuva 23. Putkisilta

Kuormapolttimille nousee arvioilta 35 metriä pitkä linja kattilan päälle n. 30 metrin korkeuteen. Käynnistyspolttimille kaasuttiin tulee pidempi, arviolta 100 metrin pituinen linja kaikkien booster-pumppujen sijaitessa samassa tilassa.

8.2 Putkilinjan suunnittelu

Kevyt polttoöljy voi tuoda mukanaan kosteutta, mikä aiheuttaa korroosiota mustissa teräsputkissa. Suositeltavaa olisikin käyttää pienen hiilipitoisuuden rautaseoksia. Käyttöön sopivat putkimateriaalit ovat ruostumatonta terästä, kuten tavallinen CrNi austeniittinen teräsputki tai CrNiMo haponkestävä austeniittinen teräsputki. Käytettävä kesälaatuinen kevyt polttoöljy tarvitsee lämmityksen, jottei polttoaineen lämpötila laskisi prosessin kulkua haittaavaksi. Lämpösaattona käytetään sähkösaattoa. Lämminvesijärjestelmä olisi mahdollinen, mutta tarvitsisi kaksoisvaippa rakenteen.

Lämpölaajeneminen tulee ottaa huomioon putkistoa suunnitellessa ja putkiston joustavuus ja jännitys on arvioitava. Painelaitedirektiivi määrää käytettävän putkistoluokan. Liitteessä 3 näkyy voimalaitoksen putkisillan putkistoa, kuten maakaasulinja ja kaukolämpölinja, joiden vierelle öljylinja sijoitetaan.

Määritetään putkihalkaisija ja putkiston painehäviöt. Painehäviöt turbulentsissa putkivirtauksessa ovat suoraan verrannolliset putken pituuteen, keskimääräiseen virtausnopeuden dynaamiseen paineeseen (patopaine) sekä kääntäen verrannollinen putken halkaisijaan. (19.) Halkaisijan muutos vaikuttaa virtausnopeuteen vain jos tilavuusvirta pysyy vakiona. Putkiston painehäviöt voidaan laskea.

$$\Delta p = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \Sigma \xi \right) \cdot \frac{1}{2} \rho w^2 \quad (9)$$

missä:

λ = vastuskerroin

l = putken pituus [m]

$\Sigma \xi =$ kertavastusten summa

$\rho =$ tiheys [kg/m³]

$w =$ virtausnopeus [m/s].

Putken sisähalkaisija saadaan laskettua.

$$d = \sqrt{\frac{4q_m}{\pi\rho w}} \quad (10)$$

missä d on putken sisähalkaisija [m], q_m putken massavirta [kg / s] ja w nesteen virtausnopeus [m / s]. Virtausosaseen vaikuttavien hitausvoimien ja viskositeettivoimien suhteen kuvaa Reynoldsin luku. Reynoldsin luvulla saadaan määritettyä virtaustyyppi. (19.) Virtaus voi olla laminaarinen eli kerroksittainen virtaus, jossa osaset liikkuvat pitkin virtaviivoja, jotka ovat putken pituusakselin mukaisia. Virtaus on laminaarinen kun Reynoldsin luku on pienempi kuin kriittinen raja $Re_{krit} = 2300$. Turbulenttinen eli pyörteinen virtaus esiintyy kriittisen rajan yläpuolella.

Reynoldsin luku määritetään.

$$Re = \frac{dw}{\nu} \quad (11)$$

missä:

$Re =$ Reynoldsin luku

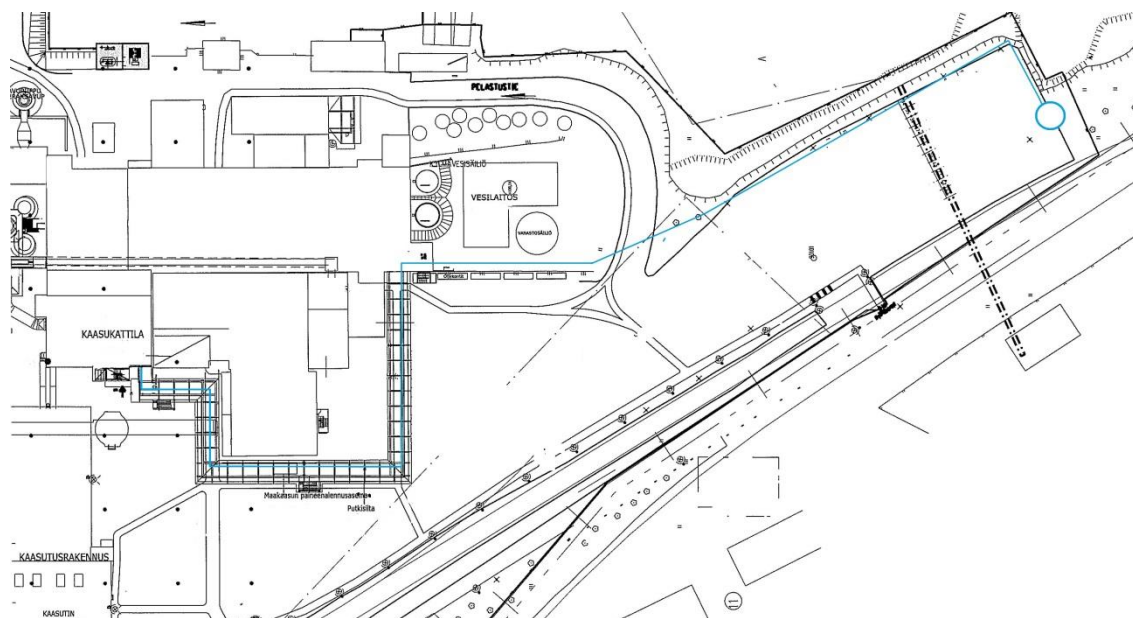
$d =$ halkaisija [m]

$w =$ virtausnopeus [m/s]

ja $\nu =$ kinemaattinen viskositeetti [m²/s].

Käynnistyspolttimien putket on arvioitu laskennassa yhtä pitkiksi, samoin eri kuormapolttimille menevät putket. Todellisuudessa kuormapolttimien linjat ovat pituudeltaan eroavia, mutta vain muutamia metrejä, jolla ei ole laskujen tarkkuuden huomioon ottaen merkitystä. Käytetään 35 metriä kuormapolttimen putkilinjan pituutena. Käynnistyspolttimien linjan mitoitus on epätarkka, koska tarkkaa putkilinjan pituutta ei pystytä vielä määrittämään, joten oletetaan putket arviolta 100 metrisiksi. Siirtolinjan laskentapituus on 350 m, joka on arvioitu pohjapiirustuksia apuna käyttäen. Kuva 24 kuvastaa siirtolinjan

suunniteltua reittiä. Päälinjan mitoitus on suuntaa-antava eikä kertavastuksiin tai mahdollisiin putkimutkiin kiinnitetä suurta huomiota. Supistusten aiheuttamia ja komponenttien tuomia häviöitä ei lasketa mukaan. Pienempää järjestelmää suunniteltaessa kertavastusten laskenta sen sijaan olisi oleellista niiden suhteellisen suuruuden vuoksi.



Kuva 24. Siirtolinjan periaatekuva. Vasemmalla voimalaitokset ja oikealla säiliö

Käytännössä kertavastusten aiheuttamien painehäviöiden laskeminen on kuitenkin hankalaa, koska teknillinen karheus ei ole identtinen putkenseinämän k arvon kanssa. Usein joudutaankin turvautumaan testeihin (19). Kertavastukset putkimutkista arvioidaan liitteen 8 mukaan. Rajoitus, joka määrittää putken fysikaalisen karheuden:

$$Re \cdot \frac{k}{d} \quad (12)$$

missä k on putken karheus millimetreissä. Vastuskerroin λ voidaan arvioida Moodyn käyrästä tai laskea Reynoldsin lukuun sopivalla yhtälöllä. Putki on kaikilla linjoilla hydraulisesti sileä (rajoituksen arvo < 65), joten voidaan käyttää Blasiuksen yhtälöä (ehtona $2300 < Re < 10^5$) (19.)

$$\lambda = 0,3164 \cdot Re^{-0,25} \quad (13)$$

8.3 Putkiston mitoitus

Tarkemmin eriteltynä laskut löytyvät liitteestä 4. Suurin polttoaineentarve on vaiheessa kaksi. Mitoitetaan putkisto vaiheen aikana kuluvan polttoaineen mukaan. Linjassa on takaisinkierto säiliölle. Siirtolinjan massavirta huomioon ottaen paluuvirran (1,1).

$$q_m = 1,1 \cdot 4,97 \text{ l/s} \cdot 0,840 \text{ kg/l} = 4,60 \text{ kg/s}$$

Putkien mitoitusvirtausnopeutena käytetään 2,5 m/s. Lasketaan siirtolinjan putkihalkaisija.

$$d_{\text{siirto}} = \sqrt{\frac{4q_m}{\pi\rho w}} \quad (10)$$

$$= \sqrt{\frac{4 \cdot 4,60 \text{ kg/s}}{\pi \cdot 840 \text{ kg/m}^3 \cdot 2,5 \text{ m/s}}} = 0,0528 \text{ m} = 52,8 \text{ mm}$$

Kuormapolttimen putkilinjan putkihalkaisijaksi muodostuu 36 mm ja käynnistyspolttimelle 34 mm. Valitaan lähin putkikoko **DN 50** siirtolinjaan. Putkikoon halkaisija on 60,3 mm ja seinämien paksuus standardikoossa 2,9 mm. Kuormapolttimen linjalle valitaan putkikoko **DN 32** jonka halkaisija on 42,4 mm ja seinämien paksuus standardikoossa 2,6 mm. Käynnistyspolttimen linjalle valitaan putkikoko **DN 25** jonka halkaisija on 33,7 mm ja seinämien paksuus standardikoossa 2,3 mm. Todelliseksi virtausnopeudeksi DN 50 putkelle lasketaan.

$$w = \frac{4q_m}{\pi\rho d^2} \quad (10)$$

$$= \frac{4 \cdot 4,60 \text{ kg/s}}{\pi \cdot 840 \text{ kg/m}^3 \cdot (0,0545 \text{ m})^2} = 2,34 \text{ m/s}$$

Virtausnopeuksiksi yhtälöllä 10 saadaan 2,38 m/s (DN 32 linjaan) ja 1,90 m/s (DN 20 linjaan). Kun virtausnopeus, halkaisija ja polttoöljyn kinemaattinen viskositeetti tiedetään, voidaan Reynoldsin luku putkille laskea. Määritetään Reynoldsin luku siirtolinjalle.

$$Re_{siirto} = \frac{dw}{v} = \frac{0,0545 \text{ m} \cdot 2,34 \text{ m/s}}{3,1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 41\,163 \quad (11)$$

kuormapolttimen putkilinjalle 27 412 ja käynnistyspolttimen putkilinjalle 31 149. Koska kaikki arvot ovat Reynoldsin kriittistä arvoa 2320 suurempia, voidaan päätellä, että kaikki virtaukset ovat turbulenttisia. Lasketaan putkien rajoitukset, kun pinnankarheutena käytetään saumattoman teräsputken tyypillistä arvoa $k = 0,03$ (19.). Rajoitukseksi, joka määrittää putken hydraulisen karheuden siirtolinjalle saadaan.

$$Re \cdot \frac{k}{d} = 41\,163,2 \cdot \frac{0,03 \text{ mm}}{54,5 \text{ mm}} = 23,41 \quad (12)$$

kuormapolttimen linjalle 23,13 ja käynnistyspolttimelle 27,87. Putket ovat hydraulisesti sileitä (rajoituksen arvo on <65), joten putkilinjojen vastuskerroin λ voidaan laskea käyttämällä Blasiuksen yhtälöä. Määritetään siirtolinjan vastuskerroin.

$$\begin{aligned} \lambda &= 0,3164 \cdot Re^{-0,25} \quad (13) \\ &= 0,3164 \cdot 41\,163,2^{-0,25} = 0,0222 \end{aligned}$$

Kuormapolttimen vastuskertoimeksi saadaan 0,0246 ja käynnistyspolttimen putkiston vastuskertoimeksi 0,0238. Tarkastetaan vastuskertoimet Moodyn käyrästä (liite 8) jolloin linjojen arvoiksi saataisiin:

Siirtolinja 0,0225
 Kuormapolttin 0,0275
 Käynnistyspolttin 0,0250

Lasketut tulokset ovat Moodyn käyrästä arvioituvia vastaavia. Lasketaan suhteellisen karheuden käänteisarvoksi siirtolinjalle

$$\frac{d}{k} = \frac{54,5 \text{ mm}}{0,03 \text{ mm}} = 1817,$$

kuormapolttimen putkilinjalle 1240 ja käynnistyspolttimen linjalle 970. Putkimutkien kääntösäteeksi R arvioidaan 200 mm. R / d lasketaan siirtolinjalle.

$$\frac{R}{d} = \frac{200 \text{ mm}}{54,5 \text{ mm}} = 3,67$$

Kuormapolttimelle arvoksi saadaan 5,38 ja käynnistyspolttimen linjalle 6,87. Katsotaan liitteestä 10 yhden 90° putkimutkan kertavastukseksi 0,12 R/d ollessa 3,64. Siirtolinjan kertavastuksiksi kahdeksalla käyrällä saadaan.

$$\Delta\xi = 8 \cdot 0,12 = 0,96$$

Vastaavasti kuormapolttimen linjan kertavastuksiksi 0,50 ja käynnistyspolttimen linjan kertavastuksiksi 0,72. Putkilinjan painehäviöt voidaan nyt laskea yhtälöllä 9. Siirtolinjan kokonaispainehäviöiksi muodostuu linjan pituuden ollessa 350 m.

$$\Delta p = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \Delta\xi \right) \cdot \frac{1}{2} \rho w^2 \quad (9)$$

$$\Delta p = \left(0,0222 \cdot \frac{350 \text{ m}}{0,0545 \text{ m}} + 0,96 \right) \cdot \frac{1}{2} \cdot 840 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(2,34 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 \quad (9)$$

$$= 330\,668 \text{ Pa}$$

$$= 3,31 \text{ bar}$$

Paineenkorotuspumpun ja kuormapolttimen putkilinjan kokonaispainehäviöiksi muodostuu 0,52 baaria ja paineenkorotuspumpun ja käynnistyspolttimen välisen putkilinjan kokonaispainehäviöiksi 3,82 baaria.

Kaikkiaan nousua käynnistyspolttimille ja paineenkorotuspumpuille tulee molemmille kahdeksan metriä. Kuormapolttimelle nousua kertyy 30 metriä. Korkeudesta aiheutuvat häviöt lasketaan hydrostaattisen paineen yhtälöllä.

$$p = \rho gh \quad (14)$$

Siirtolinjalle ja käynnistyspolttimelle korkeudesta aiheutuvia häviöitä muodostuu.

$$p = 840 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 8 \text{ m} = 0,66 \text{ bar} \quad (14)$$

Kuormapolttimelle häviöiksi lasketaan 2,47 bar. Yhteenlasketut häviöt putkilinjoille: siirtolinja **4,0 baaria**, kuormapoltin **3,0 baaria** ja käynnistyspoltin **4,5 baaria**. Suurin häviö kokonaispaineen laskussa muodostuu putkilinjan pituudesta ja kuormapolttimella putkilinjan noususta. Puolet pienemmällä siirtolinjan putkella (175 m) myös häviöt puolittuisivat 1,7 baariin ja 50 metriä pidempi linja nostaisi häviöt 3,8 baariin. Kun tarkkaa pituutta ei vielä tiedetä, jäävät painehäviöt suuntaa-antavaksi. Muuttamalla pituus yhtälöön voidaan muutos kuitenkin halutessa helposti kompensoida.

Myös putkihalkaisijalla on iso merkitys koko prosessin toimivuudessa ja painehäviöissä. Putkihalkaisija valittiin siirtolinjalle DN 50 putken mukaan, eri valmistajien kanssa käytyjen keskustelujen perusteella voidaan todeta että suurin osa toimilaitteista ja pumppujen yhteistä on suunniteltu joko DN 50 tai DN 80 putkikoolle. DN 50 on tähän nähden sopiva koko, eikä sitä ole tarvetta vaihtaa. Nostamalla virtausnopeutta voitaisiin putkikoko vaihtaa pienemmäksi, vaihtoehtona olisi myös virtauksen supistus jos putkikokoa haluttaisiin muuttaa.

9 PUMPPUHUONE

Pumppulaitteita varten rakennetaan pumppuhuone. Tässä luvussa kerrotaan pumppuhuoneen sijoitukseen ja varusteluun liittyvistä asioista.

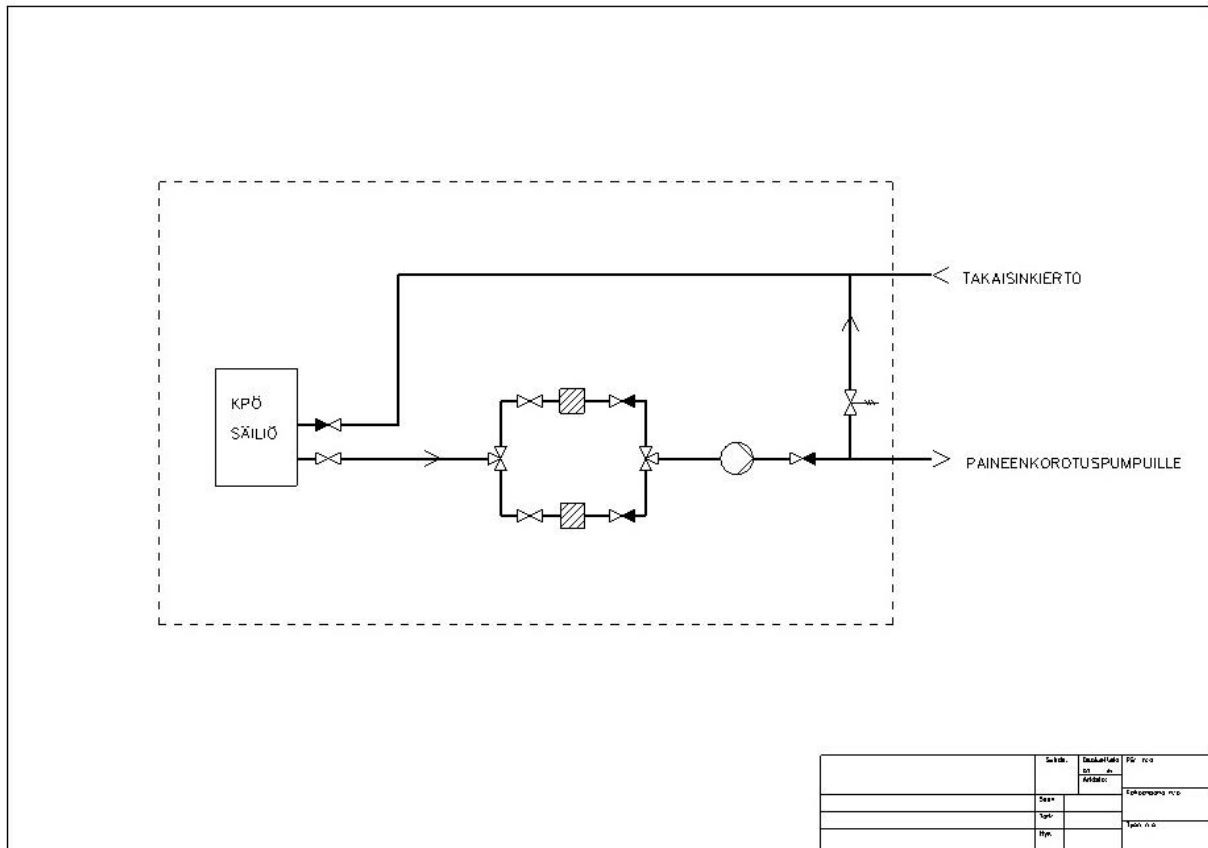
9.1 Pumppulaitteiston sijoitus

Siirtopumppu sijoitetaan pumppuhuoneeseen. Pumppuhuone pyritään sijoittamaan säiliön yhteyteen, kuitenkin siten, ettei kulku säiliöön esty. Pumppuhuone voidaan varustaa korotetuilla kynnyksillä ja pumppukorokkeilla vuototilanteita varten.

9.2 Pumppuhuoneen varustelu ja standardit

Pumppuhuone on pumppujen ja pumppaukseen liittyvien venttiilien, suodattimien mittalaitteiden yms. kokonaisuus. Pumppaamo rakennetaan maanpinnan yläpuolelle. Maanpinnan alapuolisessa ratkaisussa tulisi kiinnittää huomiota koneelliseen ilmanvaihtoon ja kiinteään sammutusjärjestelmään. (18.) Varusteiden sijoittelussa ja rakennuksessa tulee ottaa huomioon huolto ja korjaustöiden helppous. Pumppuhuoneen rakentamistapa ja materiaali on valittava siten, että pumppuja voidaan käyttää myös hätätilanteessa, esimerkiksi säiliön tai polttoainevuodon syttyessä. Pumppaamo varustetaan standardin SFS 3357 vaatimalla alkusammutuskalustolla. Häätäpysäytyskatkaisimet on sijoitettava vaarattomaan paikkaan. Pumppaamo pyritään sijoittamaan tässä tapauksessa mahdollisimman lähelle säiliötä. Pumppaamo täytyy rakentaa vähintään A120-paloluokan rakennusosista, jotta se voidaan sijoittaa säiliön välittömään läheisyyteen. Pumppaamo varustetaan silloin palavan nesteen vuodosta ja tulipalosta hälyttävällä järjestelmällä, sekä kiinteällä vaahtosprinklausjärjestelmällä. Pumppuhuoneen ollessa d / 2 etäisyydellä tulee pumppaamo varustaa paineenkevennyksellä tai muulla rakenteella, joka purkaa mahdollisen räjähdysten aiheuttaman paineaallon vaarattomaan suuntaan. (18.) Räjähdyksvaaran eliminoimiseksi pumppaamorakennuksen ilmanvaihto tulee toimia siten, että höyryjen pitoisuus normaalitoiminnassa on enintään 20 % varastoitavan kemikaalin alimmasta räjähdysrajasta, (18.) joka on 1 til-% kevyt polttoöljyllä. (20.) Korvausilma otetaan vaarattomasta paikasta. Kevytrakenteisen pumppaamon ilmanvaihdoksi katsotaan riittävän kahdella vastakkaiselta pisimmältä sivulta lattian ja katon rajasta vähintään 0,30 m avoin tila koko seinän matkalta. (18.) Pumppaamo varustetaan hälyttävällä kaasunilmaisinjärjestelmällä. Pumppaamo allastetaan ja

viemäröidään, jotta toiminnasta ja huoltotöistä aiheutuvat mahdolliset vuodot saadaan kerätyksi talteen öljynerottelukaivoon.



Kuva 25. Kevyt polttoöljy säiliön ja pumppuhuoneen öljyjärjestelmän toimilaitteet

Kuvassa 25 on kevyt polttoöljy säiliö ja pumppuhuone. Öljy virtaa kahden suodattimen läpi siirtopumpulle, joka kuljettaa öljyn järjestelmään. Varolaite estää paineen nousun liian suureksi ja ohjaa öljyn tarvittaessa takaisin säiliöön. Ennen paineenkorotuspumppuja öljy kiertää takaisinkiertona säiliölle.

9.3 Pumpputyypit

Pumput jaetaan luokkiin toimintaperiaatteen mukaan. Jako tapahtuu dynaamisiin pumppuihin, jotka lisäävät pumpattavan nesteen liike-energiaa juoksupyörällä ja syrjäytuspumppuihin, joissa pumpattavaa nestettä siirretään syrjäytyselimien kanssa (21.).

Dynaamisiin pumppuihin lukeutuva keskipakopumppu lisää nesteen virtausnopeutta ja painetta pyörivän siipipyörän avulla. Keskipakovoiman ansiosta pyörimisliikkeessä oleva neste pyrkii pois keskipisteestä ja poistuu

kehän ulkoreunassa olevasta ulostulosta. Pumpun käyttöalue on laaja ja pumppu pystyy tuottamaan kohtuullisen suuren tilavuusvirran ja nostokorkeuden. Aksiaalipumppu on dynaaminen pumppu, jossa pumppu saa voimansa pyörivästä akselista.

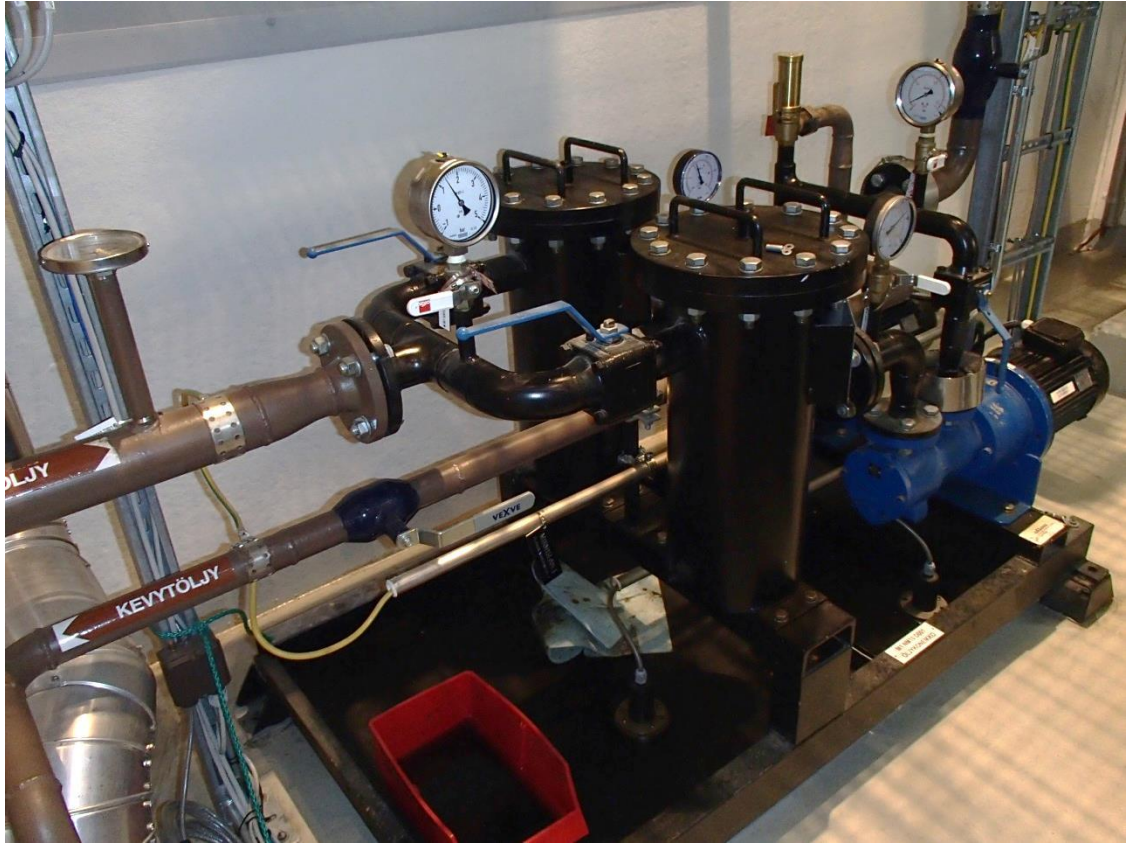
Hammaspyöräpumppu on esimerkki syrjäytyspumppuista. Virtaus luodaan pyörivillä hammaspyörillä, joiden ohitse neste kulkee. Rataan hampaan kääntyessä imupuolen aukolle muodostuu tyhjä tila, joka luo imun ja täyttää tilan nesteellä. Pyörän hammas kuljettaa nesteen painepuolta kohti ja hampaiden tarttuessa toisiinsa neste syrjäytyy. Neste ei pääse virtaamaan takaisin tiukkojen välien, nopeuden ja pyörimisliikkeen ansiosta. Ruuvipumppu toimii samalla syrjäytysperiaatteella, mutta rataan sijasta käytössä onkin ruuvi jota pitkin öljy kulkeutuu. Myös mäntäpumppu kuuluu syrjäytyspumppuihin. Syrjäytyspumppu soveltuu erinomaisesti suuren viskositeetin omaaville nesteille kuten öljylle. Käytössä ollessaan pumpussa on tasaisen jatkuva virtaus. Tietyissä teollisuussovellutuksissa pumpun virtausta ei käytössä muuteta, vaan se ajetaan halutessa takaisin paluulinjoja pitkin. Taajuusmuuttajan ja vaihteiston kanssa voidaan pumpun kierrosnopeutta muuttaa. Tilavuusvirta ei käytännössä riipu nostokorkeudesta eli pumppu sopii hyvin ratkaisuihin, joissa halutaan pitää tilavuusvirta vakiona.

Valinnassa tulee ottaa huomioon pumpun ominaisuudet sekä pumpattava materiaali. Öljyn suuren viskositeetin ja pumpun käytettävyyden vuoksi valitaan siirto- ja paineenkorotuspumpuiksi ruuvipumppu.

NPSH- arvo kertoo pumpun tarvittavan minimi imupaineen pumpun häiriöttömään toimintaan metreissä ilmaistuna. NPSH- arvon alittaminen johtaa pumpun kavitaatioon. Kavitaatio on veden höyrystymistä paineen laskun johdosta. Kuplat puristuvat äkillisesti kokoon ja romahtavat, aiheuttaen tärinää potkurissa tai pumpun siipipyörässä. Ongelmana öljyn käytössä keskipakopumpulla voisikin olla kavitaation aiheuttama metallin irtoaminen siipipyörästä ja mahdollisesti voimakas tärisyys ja ääni. Arvoja on kaksi, pumpun tarvitsema $NPSH_r$ ja käytettävissä oleva $NPSH_a$.

Kuvassa 26 on kuvattu teollinen kevyen polttoöljyn ruuvipumppujärjestelmä. Polttoöljy virtaa järjestelmään ylemmästä putkesta vasemmalla ja jakautuu kahteen suodattimeen. Suodattimista öljy liikkuu pumppuun ja pumpusta

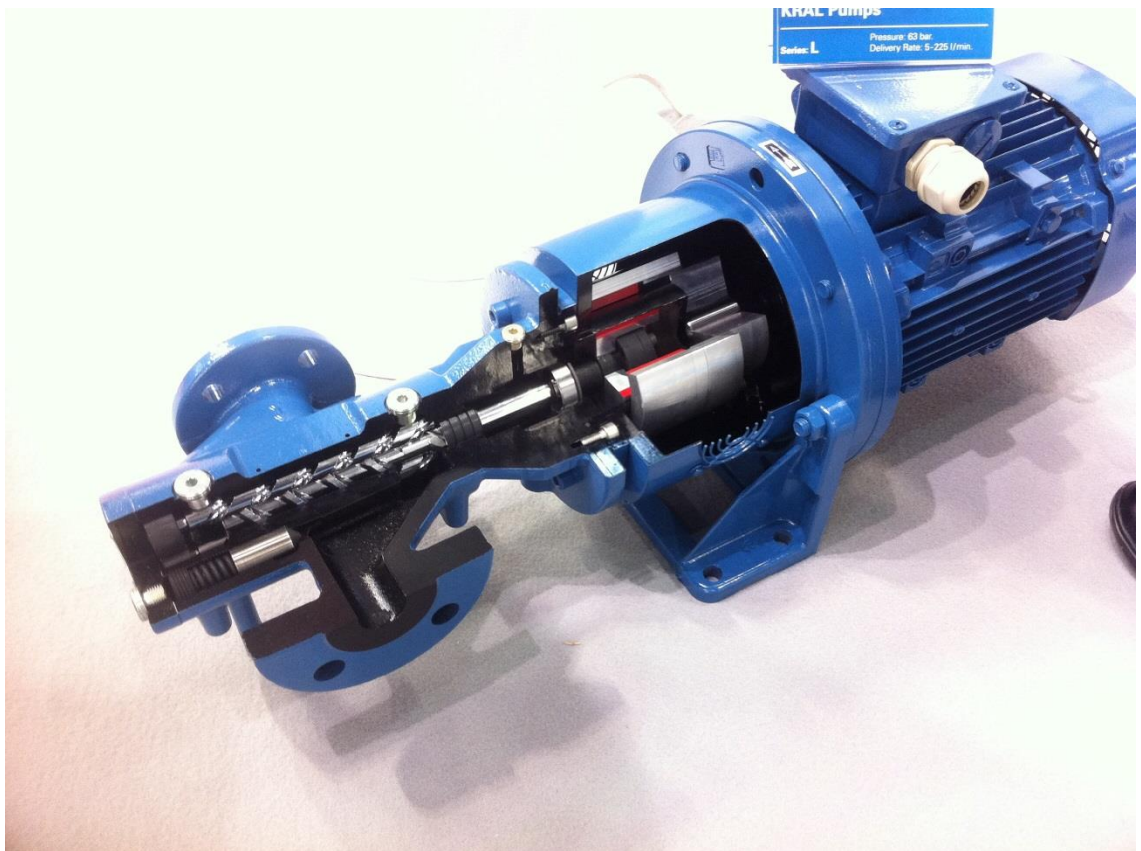
paineistettuna käyttöön. Liika paine laukaisee varolaitteen (kuvassa kellertävä lieriö ylälaidassa), jolloin öljyä virtaa paluulinjaa pitkin takaisin säiliölle. Koko pumppujärjestelmä on varustettu vallitilalla huoltotoimenpiteitä ja mahdollisia vuotoja varten.



Kuva 26. Esimerkki pumppausprosessikokoonpanosta

9.4 Siirtopumpun valinta

Siirtopumpuksi valitaan KRALin K-sarjan ruuvipumppu. Kuvassa 27 on valmistajan suunniteltua pumppua vastaava toisen sarjan ruuvipumppu halkileikattuna. Molempien pumppujen toimintaperiaate on sama. K-sarjan pumppu on taloudellinen ja valmistajan myydyin malli. (22.). Pumpussa on DN 80 laipat, jotka vaativat supistuksen DN 50 linjaan tai putkikoon vaihdon. Pumppu on mahdollista asentaa vaaka- tai pystysuoraan. Pumpusta on saatavilla kaksi ATEX- luokiltaan eroavaa moottoria.



Kuva 27. L-sarjan ruuvipumppu halkileikattuna. (Sondex Tapiro Oy Ab, KRAL, näyttelykalustoa. Kuva otettu 30.10.2014. Käyttölupa kuvaan saatu.)

Taulukkoon 4 on tilastoitu siirtopumpun prosessi-arvot. Pumppu nostaa paineen imulaipan paineettomasta tilasta painelaipan 5 baariin.

Taulukko 4. Siirtopumpun prosessi-arvot

Pumppu	Siirtopumppu
Käyttölämpötilä	+20...40 °C
Viskositeetti, käyttö	3 cSt
q_v	6,67 l/s
Imupuolen paine	+0 bar
Painepuolen paine	5,0 bar
n	2900 r/min
P	5 kW
P_m	5,5 kW
$NPSH_r$	3,9 m

9.5 Paineenkorotuspumpun valinta

Paineenkorotuspumppuja eli boostereita mitoitetaan järjestelmään kuusi kappaletta, eli kolme paria. Pumpuiksi valitaan kuvaa 28 vastaava KRALin kompakti pumppuasema DLC, jossa on kaksi pumppua istutettuna vallitilaan.



Kuva 28. DLC-mallin paineenkorotuspumppupari. (Sondex Tapiro Oy Ab, KRAL, näyttelykalustoa. Kuva otettu 30.10.2014. Käyttölupa kuvaan saatu.)

Kuormapolttimen Boosterpumppukoneikko on valuraudasta valmistettu. Koneikko voidaan asentaa vain vaakasuoraan. Koneikko koostuu kahdesta pumpusta (sisältää moottorin, kytkimet ja välikappaleet), 3-tie vaihtoventtiilistä, ylivirtausventtiilistä, imusuodattimista, tyhjiömittareista, painemittarista ja vuotokaukalosta. Vaihtoventtiili mahdollistaa aseman huoltotoimet ja suodattimen huoltamisen. Lisäksi asema on varustettu tarvittavilla turvalaitteilla.

Tarjouksena saatu kuormapolttimen pumppujen pesä on pallografiittista valurautaa ja akseli on varustettu mekaanisella liukurengastiivisteellä ja pumppujen asennus voidaan suorittaa joko vaaka- tai pystysuoraan. Yhteet on mitoitettu DN 50 putkille. Pumpussa on sisäinen, sisäisellä kierrolla varustettu varoventtiili.

Taulukkoon 5 on taltioitu pumpun prosessiarvot.

Taulukko 5. Kuormapolttimen paineenkorotuspumpun arvot

Pumppu	4 kpl Boosterpumppuja
Käyttölämpötila	+20...40 °C
Viskositeetti, käyttö	3 cSt
q_v	2,41 l/s
Imupuolen paine	2,5 bar
Painepuolen paine	12,0 bar
n	2900 r/min
P	3,3 kW
P_m	4,0 kW
$NPSH_r$	2,8 m

Käynnistyspolttimen pumppupari on varusteluiltaan kuormapoltinta vastaava, erotuksena DN 32 yhteet imu ja painepuolella sekä eroavaisuudet prosessiarvoissa.

Taulukko 6. Käynnistyspolttimen paineenkorotuspumpun arvot

Pumppu	2 kpl Boosterpumppuja
Käyttölämpötila	+20...40 °C
Viskositeetti, käyttö	3 cSt
q_v	0,89 l/s
Imupuolen paine	2,5 bar
Painepuolen paine	12,0 bar
n	2900 r/min
P	1,3 kW
P_m	2,2 kW
$NPSH_r$	2,0 m

10 YHTEENVETO JÄRJESTELMISTÄ

Taulukosta 7 nähdään laskemalla mitoitettut prosessiarvot. Arvot luetellaan prosessin kulun mukaisesti, alkaen kevytpolttoöljysäiliöstä (KPÖ säiliö) ja päättyen käynnistyspolttimiin. Nestekaasujärjestelmä on tilastoitu omaksi osakseen. Käynnistys- ja kuormapolttin molemmat käyttävät öljyä lanssissa ja kaasua sytytyspolttimissa, taulukossa on näiden osalta taltioituna öljyn mitoitusarvot. Tummennetut kohdat ovat valmistajalta saatuja, muut mitoitusarvoja.

Taulukon symbolit ovat:

V = säiliön tilavuus

d = putki- tai laippahalkaisija

P = polttimen tai pumpun teho

p = pumpun tai putken paine

q_v = pumpun tai putken tilavuusvirta

q_m = pumpun tai putken massavirta

w = putken virtausnopeus

l = putken pituus

Pumpputoimittaja mitoitti laipat yleisesti käytetyille DN 32, 50 ja 80 mitoille.

Vaihdos voidaan hoitaa supistuksilla tai laajennuksilla tai vaihtamalla putkikoot pumppujen laippoja vastaavaksi, jolloin prosessiarvot muuttuvat, mutta järjestelmä säilyy laiteteknisesti samanlaisena.

Taulukko 7. Yhteenvedo käynnistysprosessin arvoista

	$[m^3]$	$[m]$		$[bar]$	$[l/s]$
	V	d	P	p	q_p
KPÖ säiliö	500	-	-	-	-
Siirtopumppu	-	DN 80	-	0 / 5,0	6,67
Siirtolinja	-	DN 50	-	5 / 2,5	5,50
Boosteri (kuorma)	-	DN 50	3,3 / 4,0 kW	2,5 / 12,0	2,41
Kuormapolttimen linja	-	DN 32	-	9,0	2,50
Kuormapoltin	-	-	180 MW	-	-
Boosteri (käynnistys)	-	DN 32	1,3 / 2,2 kW	2,5 / 12,0	0,89
Käynnistyspolttimen linja	-	DN 25	-	9,0	2,21
Käynnistyspoltin	-	-	20 MW	-	-
LPG säiliö	-	-	-	-	-
Soih tupolttimen linja	-	DN 32	-	0,6	23,00
Soih tupoltin	-	-	2 MW	-	-
	$[kg/s]$	$[m/s]$	$[m]$		
	q_m	w	l	Polttoaine	
KPÖ säiliö	-	-	-	KPÖ	
Siirtopumppu	5,60	-	-	KPÖ	
Siirtolinja	4,59	2,34	350	KPÖ	
Boosteri (kuorma)	2,02	-	-	KPÖ	
Kuormapolttimen linja	2,09	2,28	35	KPÖ	
Kuormapoltin	-	-	-	KPÖ (LPG)	
Boosteri (käynnistys)	0,75	-	-	KPÖ	
Käynnistyspolttimen linja	1,85	3,32	100	KPÖ	
Käynnistyspoltin	-	-	-	KPÖ (LPG)	
LPG säiliö	-	-	-	LPG	
Soih tupolttimen linja	0,05	-	150	LPG	
Soih tupoltin	-	-	-	LPG	

11 JOHTOPÄÄTÖKSET

Selvityksestä nähdään alustavassa suunnitelmassa huomioitavien asioiden määrä. Järjestelmän suunnittelijalla on suuri vastuu kemikaalivarastojen turvallisuudesta ja toimivuudesta. Vaikka osa mitoituservoista saadaan prosessia testaamalla, on laskentaohjelmilla ja varsinkin aiemmalla suunnittelukokemuksella ja toimintamalleilla iso rooli. Mitoituslaskut laskettiin tässä työssä käsin sen alustavan luonteen ja selvyuden vuoksi. Tästä syystä laskuissa tulee esiintymään epätarkkuuksia oikean prosessin suhteen. Laskentaohjelmissakin on lopulta käyttöliittymän takana ohjelmoitavat laskut. Suurin osa voimalaitoksen mitoitus ja suunnittelutöistä tilataan ulkopuolelta ja näin ollen vuorovaikutus suunnittelijoiden kanssa jäi vähäiseksi. Hyödyllistä tietoa kertyi kuitenkin messuvierailuilla keskusteluista teknisten suunnittelijoiden kanssa ja voimalaitoksen puolella apua oli aina tarvittaessa tarjolla.

Maakaasun korvaaminen vaihtoehtoisilla polttoaineilla on ollut mediassa esillä kaasutoimitusten pelättyjen epävarmuuksien vuoksi. Käynnistyspolttoaineen puuttuminen lamauttaa koko prosessin ja tappiot ovat mittavia. Lisäksi kriisiolosuhteissa lämmön ja sähkön saatavuus vaarantuvat jos kaasua ei saadakaan. Öljyenergia on täysin tuontienergian varassa ja sama koskee myös nesteytettyjä kaasuja. Toisin kuin maakaasua, voidaan kevyttä polttoöljyä ja propaania sekä nesteytettyä maakaasua kuitenkin varastoida. Täyttä omavaraisuutta ei pystytä prosessissa saavuttamaan, koska puu- ja turvepolttoaineet, joista Suomen omavaraisuuden selkäranka muodostuu, ovat kiinteitä polttoaineita eivätkä sellaisenaan sovi syytyspolttimiin vaan vaativat kaasutuksen.

Suunnitellut kevytpolttoöljy- ja propaanijärjestelmät poistaisivat epävarmuuden. Varastoitavat polttoaineet ovat aina käytettävissä. Varmuutta lisäisi entisestään paremmin kylmyyttä kestävä öljyalaatu, jolloin prosessin lämmitystarve jäisi vähemmäksi. Yhteenvetona soihut poltin ja syytyspolttimet vaativat kaasumaisen polttoaineen. Kuorma- ja käynnistyspolttimiin sopiva polttoaine on kevyt polttoöljy, myös kaasukäyttö on mahdollinen. Selvityksen pohjalta voi Lahti Energia tehdä nyt omat ratkaisunsa järjestelmän toteuttamisesta.

LÄHTEET

1. Lahti Energia Oy. 2013. Lahti Energia Bio2020-hanke. Verkkodokumentti. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B7D430413-9862-47C2-8FFE-8C1534FC8F8D%7D/58880>. [viitattu 6.11.2014.]
2. Lahti Energia Oy. Verkkosivut. Saatavissa: <http://www.lahtienergia.fi>. [viitattu 2.10.2014].
3. LahtiWatti. Lahti Energian asiakaslehti numero 1/14. Verkkodokumentti. Saatavissa: <http://www.lahtienergia.fi/lahti-energia/julkaisut>. [viitattu 4.11.2014].
4. SAACKE. SSB-LCG swirl burner. Verkkodokumentti. Saatavissa: <http://www.saacke.com/products/burners/ssb-lcg-lcl/>. [viitattu 24.11.2014].
5. Soih tupolttimen käyttö ja huolto-ohjeet. Lahti Energian sisäinen materiaali, ei saatavissa.
6. Sytytyspolttimen käyttö ja huolto-ohjeet. Lahti Energian sisäinen materiaali, ei saatavissa.
7. Riikonen A. 1998. Kaasun käyttökohteiden putkistot sekä käyttölaitteiden sijoittaminen ja varustelu (julkaisu M5, 3. painos). Gasum Oy. ISSN 0785-8183
8. Riikonen A. 1997. Maakaasun ja nestekaasun palaminen (julkaisu M6, 2. painos). Gasum Oy. ISSN 0785-8183
9. Finlex. Edita Publishing Oy. Valtioneuvoston asetus nestekaasun turvallisuusvaatimuksista, asetus 858/2012. Verkkojulkaisu. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2012/20120858>. [viitattu 17.11.2014].
10. Öljyalan Keskusliitto. Verkkosivut. Saatavissa: <http://www.oil.fi>. [viitattu 30.10.2014].

11. Suomen virallinen tilasto (SVT): Teollisuuden energiankäyttö. Verkkodokumentti. ISSN=1798-775X. 2013, Liitekuvio 1. Energian käyttö teollisuudessa . Helsinki: Tilastokeskus. Saatavissa: http://www.tilastokeskus.fi/til/tene/2013/tene_2013_2014-10-31_kuv_001_fi.html. [viitattu 4.11.2014].
12. Neste Oil Oy. Öljynjalostusprosessi. Verkkosivu. Saatavissa: <http://www.nesteoil.fi/default.asp?path=35,52,62,6691,1402>. [viitattu 4.11.2014].
13. OVA-ohje: KEVYT POLTTOÖLJY. Työterveyslaitos. Verkkosivu. Saatavissa: <http://www.ttl.fi/ova/kepoltto.html>. [viitattu 18.11.2014].
14. John Zink Company, LLC. A Guide to Assist in Evaluating Liquid Fuel Flames. Saatavissa: <http://www.coen.com/library/technical-papers/a-guide-to-assist-in-evaluating-liquid-fuel-flames/>. [viitattu 18.11.2014].
15. Ympäristölupapäätös/Lahti Energia Oy:n Mukkulan lämpökeskus. 2009. Verkkodokumentti. Saatavissa: [http://www.lahti.fi/www/images.nsf/files/95780EBC8BC2BA72C225766D003098E0/\\$file/Lsyl0311%C2%A790.pdf](http://www.lahti.fi/www/images.nsf/files/95780EBC8BC2BA72C225766D003098E0/$file/Lsyl0311%C2%A790.pdf). [viitattu 19.11.2014].
16. SFS EN 14015:en. 2005. Nesteiden varastointiin vähintään ympäristön lämpötilassa käytettävän säiliön mitoitus ja rakentaminen. Paikalla rakennettava, suoraseinäinen, ympyrä- ja tasapohjainen, maanpäällinen, hitsattu metallisäiliö.
17. Huhtinen M. 2006. Raskaan polttoöljyn käyttöopas. Espoo. Neste Oil Oyj. Savion kirjapaino Oy.
18. SFS 3350. 1996. Palavien nesteiden varastopaikka ja siellä olevat palavan nesteen käsittelypaikat.
19. Bohl W. Suom. Krannila M. 1988. Teknillinen virtausoppi. Tampere: Tampereen pikakopio Oy. ISBN 951-9405-28-3.

20. Neste Oil. 2009 Käyttöturvallisuustiedote: Kevyt polttoöljy -3
lämmityskäyttöön. Verkkodokumentti. Saatavissa:
http://www.neste.fi/doc/ktt/13780_fin.pdf.
[viitattu 5.12.2014].

21. Pumput ja putkistot EN11S kurssimateriaali. Verkkosivu. Koulun sisäinen
materiaali. Saatavissa:
<https://moodle.xamk.fi>

22. KRAL. Kral Screw Pumps. Overview. Verkkosivu. Saatavissa:
<http://www.kral.at/us/screw-pumps/>. [viitattu 6.11.2014].

Säiliölaskut

$$q_{v1} = \frac{80 \text{ MJ/s}}{36,25 \dots \text{ MJ/l}} = 2,21 \dots \text{ l/s}$$

$$q_{v2} = \frac{180 \text{ MJ/s}}{36,25 \dots \text{ MJ/l}} = 4,97 \dots \text{ l/s}$$

$$q_{v3} = \frac{90 \text{ MJ/s}}{36,25 \dots \text{ MJ/l}} = 2,48 \dots \text{ l/s}$$

$$V = 2,21 \dots \frac{\text{l}}{\text{s}} \cdot (3600 \cdot 4) = 31\,781 \text{ l}$$

$$V = 4,97 \dots \frac{\text{l}}{\text{s}} \cdot (3600 \cdot 20) = 357\,532 \text{ l}$$

$$V = 2,48 \dots \frac{\text{l}}{\text{s}} \cdot (3600 \cdot 4) = 35\,753 \text{ l}$$

$$A_{\text{säiliö}} = \frac{500 \text{ m}^3}{12 \text{ m}} = 41,66 \dots \text{ m}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 41,66 \dots \text{m}^2}{\pi}} = 7,28 \text{ m}$$

Vallitilalaskut

$$7,28 \text{ m} / 2 = 3,64 \text{ m}$$

$$a = 7,28 \text{ m} \cdot 2 = 14,57 \text{ m}$$

$$c = \frac{550 \text{ m}^3}{(14,57 \text{ m} \cdot 14,57 \text{ m}) - 41,66 \dots \text{ m}^2} = 3,23 \text{ m}$$

$$A_{\text{kaksoisvaippa}} = \frac{550 \text{ m}^3}{12 \text{ m}} = 45,833 \dots \text{ m}^2$$

$$d_{\text{kaksoisvaippa}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 45,833 \dots \text{ m}^2}{\pi}} = 7,639 \dots \text{ m}$$

$$A_v = 2\pi rh = 2\pi \cdot 3,64 \text{ m} \cdot 12 \text{ m} = 274,45 \text{ m}^2$$

$$A_v = 2\pi \cdot 3,82 \text{ m} \cdot 12 \text{ m} = 287,98 \text{ m}^2$$

$$7,64 \text{ m} - 7,28 \text{ m} = 0,36 \text{ m}$$

$$A_v = 2\pi rh = 2\pi \cdot 3,64 \text{ m} \cdot 12 \text{ m} = 274,45 \text{ m}^2$$

$$A_v = 2\pi \cdot 3,82 \text{ m} \cdot 12 \text{ m} = 287,98 \text{ m}^2$$

Putkistolaskut

Suurin polttoaineentarve on vaiheessa kaksi. Mitoitetaan putkisto tämän arvon mukaan. Siirtolinjan massavirta huomioon ottaen paluuvirran (1,1) on:

$$q_m = 1,1 \cdot 4,97 \text{ l/s} \cdot 0,840 \text{ kg/l} = 4,60 \text{ kg/s}.$$

Putkien mitoitusvirtausnopeutena käytetään 2,5 m/s. Lasketaan siirtolinjan putkihalkaisija.

$$d_{siirto} = \sqrt{\frac{4q_m}{\pi\rho w}}$$

$$= \sqrt{\frac{4 \cdot 4,60 \text{ kg/s}}{\pi \cdot 840 \text{ kg/m}^3 \cdot 2,5 \text{ m/s}}} = 0,0528 \text{ m} = 52,8 \text{ mm}$$

Lasketaan kuormapolttimen putkilinjan putkihalkaisija.

$$d_{kuorma} = \sqrt{\frac{4q_m}{\pi\rho w}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,09 \text{ kg/s}}{\pi \cdot 840 \text{ kg/m}^3 \cdot 2,5 \text{ m/s}}} = 35,56 \text{ mm}$$

Lasketaan käynnistyspolttimen putkilinjan putkihalkaisija.

$$d_{käpo} = \sqrt{\frac{4q_m}{\pi\rho w}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,85 \text{ kg/s}}{\pi \cdot 840 \text{ kg/m}^3 \cdot 2,5 \text{ m/s}}} = 33,53 \text{ mm}$$

Lasketaan virtausnopeus DN 50 putkelle.

$$w = \frac{4q_m}{\pi\rho d^2} = \frac{4 \cdot 4,60 \text{ kg/s}}{\pi \cdot 840 \text{ kg/m}^3 \cdot (0,0545 \text{ m})^2} = 2,34 \text{ m/s}$$

Putkistolaskut

Kaikki virtaukset ovat turbulenttisia.

Rajoitus, joka määrittää putken hydraulisen karheuden siirtolinjalle.

$$Re \cdot \frac{k}{d} = 41\,163,2 \cdot \frac{0,03 \text{ mm}}{54,5 \text{ mm}} = 23,41 < 65$$

Rajoitus, joka määrittää putken hydraulisen karheuden kuormapolttimen putkilinjalle.

$$Re \cdot \frac{k}{d} = 27\,412,0 \cdot \frac{0,03 \text{ mm}}{37,2 \text{ mm}} = 23,13 < 65$$

Rajoitus, joka määrittää putken hydraulisen karheuden käynnistyspolttimen putkilinjalle

$$Re \cdot \frac{k}{d} = 31\,148,5 \cdot \frac{0,03 \text{ mm}}{29,1 \text{ mm}} = 27,87 < 65$$

Määritetään siirtolinjan vastuskerroin.

$$\lambda = 0,3164 \cdot Re^{-0,25} = 0,3164 \cdot 41\,163,2^{-0,25} = 0,0222$$

Määritetään kuormapolttimelle menevän putkilinjan vastuskerroin.

$$\lambda = 0,3164 \cdot Re^{-0,25} = 0,3164 \cdot 27\,412,0^{-0,25} = 0,0246$$

Määritetään käynnistyspolttimelle menevän putkilinjan vastuskerroin.

$$\lambda = 0,3164 \cdot Re^{-0,25} = 0,3164 \cdot 31\,148,5^{-0,25} = 0,0238$$

Putkistolaskut

Lasketaan siirtolinjan suhteellisen karheuden käänteisarvo d/k .

$$\frac{d}{k} = \frac{54,5 \text{ mm}}{0,03 \text{ mm}} = 1817$$

Lasketaan arvo kuormapolttimen putkilinjalle.

$$\frac{d}{k} = \frac{37,2 \text{ mm}}{0,03 \text{ mm}} = 1240$$

Lasketaan arvo käynnistyspolttimen putkilinjalle.

$$\frac{d}{k} = \frac{29,1 \text{ mm}}{0,03 \text{ mm}} = 970$$

Putkimutkien kääntösäteeksi R arvioidaan 200 mm. Selvitetään R / d siirtolinjalle.

$$\frac{R}{d} = \frac{200 \text{ mm}}{54,5 \text{ mm}} = 3,67$$

Selvitetään R/d kuormapolttimen linjalle.

$$\frac{R}{d} = \frac{200 \text{ mm}}{37,2 \text{ mm}} = 5,38$$

Selvitetään R/d käynnistyspolttimen putkilinjalle.

$$\frac{R}{d} = \frac{200 \text{ mm}}{29,1 \text{ mm}} = 6,87$$

Putkistolaskut

Katsotaan liitteestä 10 yhden 90° putkimutkan kertavastukseksi 0,14 r/d ollessa 3,67. Siirtolinjan kertavastuksiksi kahdeksalla käyrällä saadaan.

$$\Delta\xi = 8 \cdot 0,12 = 0,96$$

Kuormapolttimen linjan kertavastukset r/d ollessa 5,38 ja viidellä käyrällä.

$$\Delta\xi = 5 \cdot 0,10 = 0,50$$

Käynnistyspolttimen linjan kertavastukset r/d ollessa 6,87 ja kahdeksalla käyrällä.

$$\Delta\xi = 8 \cdot 0,09 = 0,72$$

Putkilinjan painehäviöt voidaan nyt laskea. Määritetään siirtolinjan kokonaispainehäviö linjan pituuden ollessa 350 m.

$$\Delta p = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \Delta\xi \right) \cdot \frac{1}{2} \rho w^2$$

$$\Delta p = \left(0,0222 \cdot \frac{350 \text{ m}}{0,0545 \text{ m}} + 0,96 \right) \cdot \frac{1}{2} \cdot 840 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(2,34 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 = 330\,668 \text{ Pa}$$

$$= \mathbf{3,31 \text{ bar}}$$

Putkistolaskut

Määritetään paineenkorotuspumpun ja kuormapolttimen putkilinjan kokonaispainehäviö linjan pituuden ollessa 35 m.

$$\Delta p = \left(0,0246 \cdot \frac{35 \text{ m}}{0,0372 \text{ m}} + 0,50 \right) \cdot \frac{1}{2} \cdot 840 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(2,28 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 = 51\,800 \text{ Pa}$$

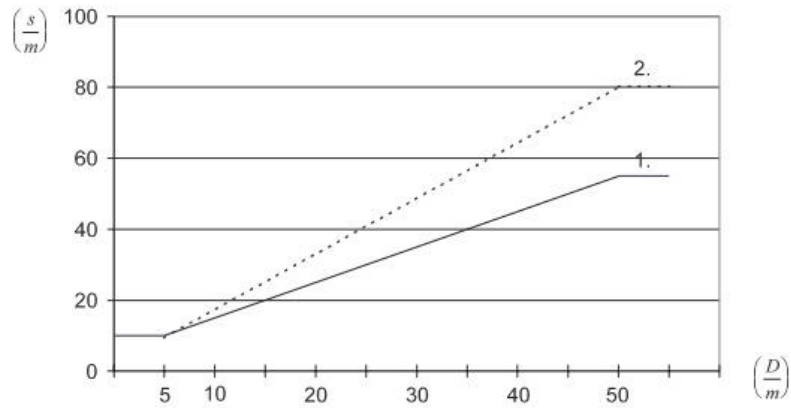
$$= \mathbf{0,52 \text{ bar}}$$

Määritetään paineenkorotuspumpun ja käynnistyspolttimen putkilinjan kokonaispainehäviö linjan pituuden ollessa 100 m.

$$\Delta p = \left(0,0238 \cdot \frac{100 \text{ m}}{0,0291 \text{ m}} + 0,72 \right) \cdot \frac{1}{2} \cdot 840 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(3,32 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 = 381\,812 \text{ Pa}$$

$$= \mathbf{3,82 \text{ bar}}$$

Säiliön suojaetäisyydet.



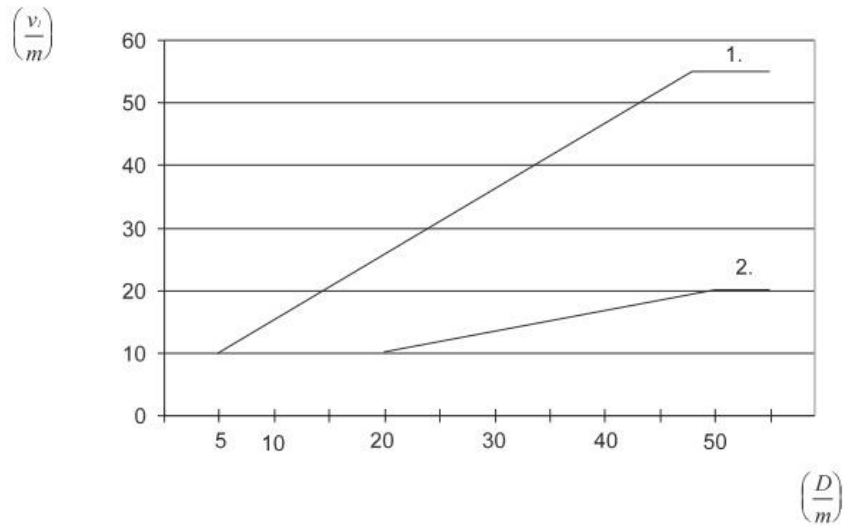
Käyrä 1. Säiliön suojaetäisyys naapurin rajaan, julkiseen liikenneväylään sekä konttori- ja sosiaalityötiloihin ja muihin vastaaviin tiloihin, joissa ihmisiä oleskelee.

Käyrä 2. Säiliön ohjeellinen etäisyys ulkopuolisista kohteista, joiden tyhjentäminen onnettomuustilanteissa on hidasta, kuten hoitolaitokset, suurmyymälät ja urheilustadionit.

Kuva 1 Säiliön suojaetäisyys (s). D on sisällön halkaisija

Säiliön suojaetäisyydet (SFS ry. 1996. SFS 3350)

Säiliön vaaraetäisyydet.



Käyrä 1. Etäisyys säiliöstä, jota ei ole suojattu riittävällä vesivalulla tai eristetty.

Käyrä 2. Etäisyys säiliöstä, joka on suojattu vesivalelulla tai eristyksellä.

Kuva 2 Säiliön vaaraetäisyys 1 (v_1). D on säiliön halkaisija

Säiliön vaaraetäisyydet (SFS ry. 1996. SFS 3350)

Putkistoa



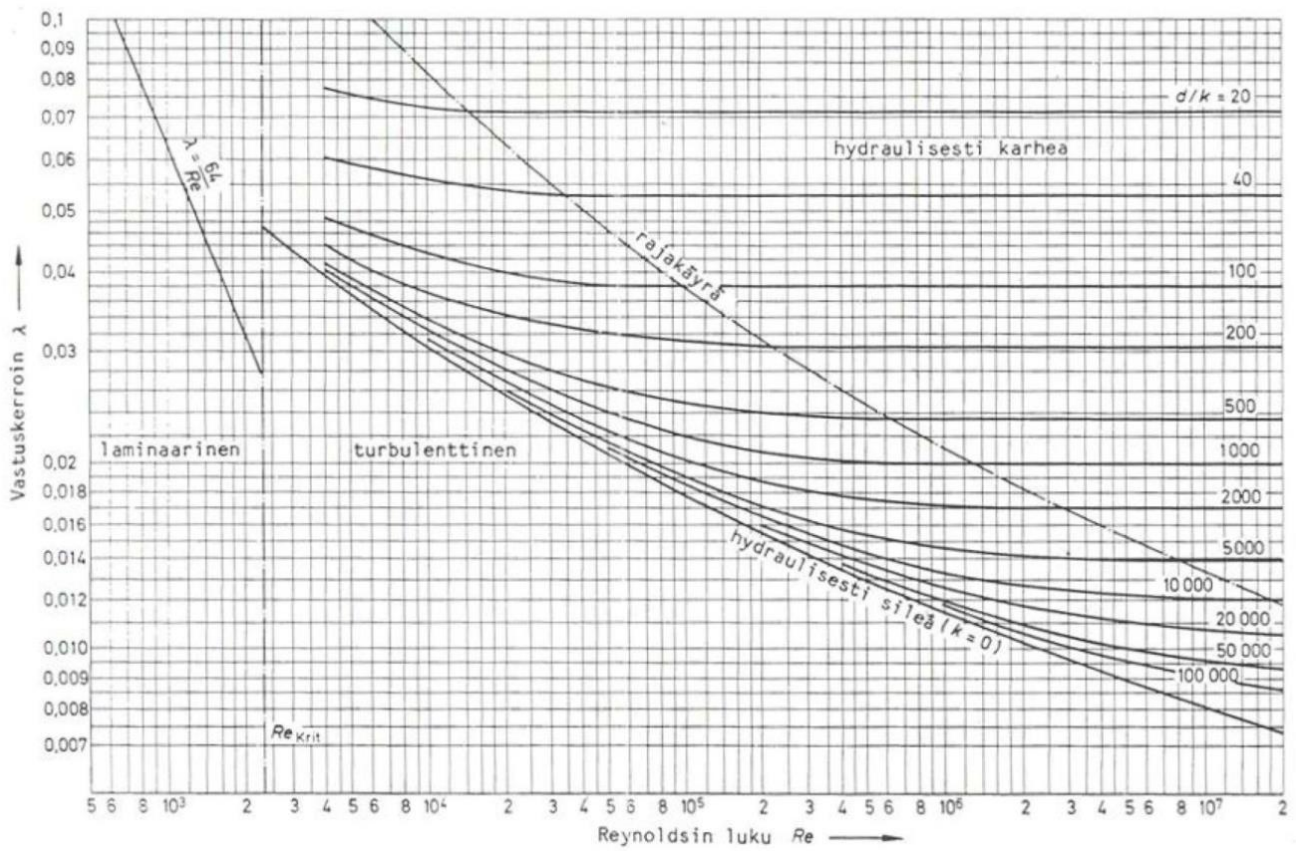
Putkisillan putkistoa

Sulkuventtiili



Viemäröinnin sulkuventtiili ja kilpi

Moodyn käyrästä

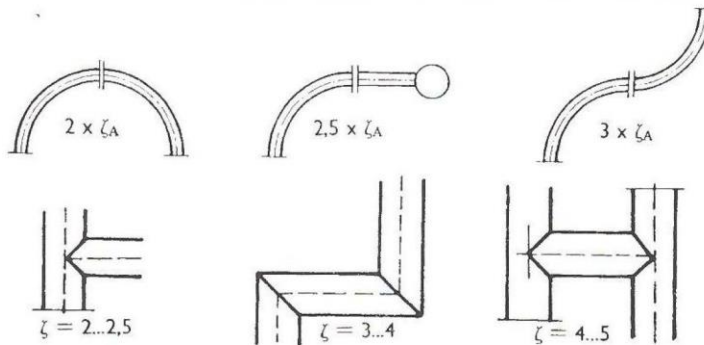
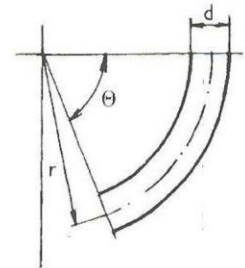


Moodyn käyrästä (Bohl W. Suom. Krannila M. 1988. Teknillinen virtausoppi. Tampere: Tampereen pikakopio Oy. ISBN 951-9405-28-3)

Kertavastukset

A. Putkimutka

θ	15 °	22,5 °	45 °	60 °	90 °
$r/d = 1$	0,03	0,045	0,14	0,19	0,21
2	0,03	0,045	0,09	0,12	0,14
4	0,03	0,045	0,08	0,10	0,11
6	0,03	0,045	0,075	0,09	0,09
10	0,03	0,045	0,07	0,07	0,11



Putkimutkien kertavastukset (Bohl W. Suom. Krannila M. 1988. Teknillinen virtausoppi. Tampere: Tampereen pikakopio Oy. ISBN 951-9405-28-3.)

DN-putkikoot

Nimellishalkaisija DN	Ulkoalkaisija, d [mm]			Seinäpaksuus, t [mm]		
	min.	d	max.	min.	t	max.
20	26.6	26.9	27.2	1.7	2.0	2.3
25	33.4	33.7	34.0	2.0	2.3	2.6
32	42.1	42.4	42.7	2.3	2.6	2.9
40	48.0	48.3	48.6	2.3	2.6	2.9
50	60.0	60.3	60.6	2.6	2.9	3.2
65	75.7	76.1	76.5	2.6	2.9	3.2
80	88.4	88.9	89.4	2.9	3.2	3.5
100	113.7	114.3	114.9	3.2	3.6	4.0
125	139.0	139.7	140.4	3.2	3.6	4.0
150	167.5	168.3	169.1	3.5	4.0	4.5
200	218.0	219.0	220.0	4.0	4.5	5.0
250	272.0	273.0	274.0	4.5	5.0	5.5
300	322.9	323.9	324.9	5.1	5.6	6.1
400	404.8	406.4	408.0	5.8	6.3	6.8
500	506.4	508.0	509.6	5.8	6.3	6.8
600	608.4	610.0	611.6	6.6	7.1	7.6
700	709.4	711.0	712.6	7.5	8.0	8.5
800	811.4	813.0	814.6	8.3	8.8	9.3
900	912.4	914.0	915.6	9.5	10.0	10.5
1000	1014.4	1016.0	1017.6	10.5	11.0	11.5
1200	1217.4	1219.0	1220.6	12.0	12.5	13.0

Putkien koot (Karotek Oy. Schedule mitat: Putkien koot taulukko DN-, mm-, tuuma-schedule-
mitoilla. Verkkajulkaisu. Saatavissa:
http://karotek.fi/fi2/wrappers/Schedule_mitat.pdf)