

KEITINJÄRJESTELMÄN TOIMINTA JA POLTTOAINEEN KULUTUS

Yleistä:

Lsvj-killan 2006 vuoden pohjoisnaparetkikunnan keitinkalustoksi on valittu Msr xgk II expedition monipolttoainekeitin sekä cook willy lämpökauluksellinen kattila. Polttoaineena tullaan käyttämään puhdistettua bensaa. Alueelle tilatun polttoaineen tarkat ominaisuudet selviävät hiihtävän osaston Resolute Bay:ssä tekemien mittausten jälkeen. Valmisteluvaiheessa on suoritettu kenttätutkimusta kyseisen kaluston toiminnan, sekä polttoaineen kulutuksen selvittämiseksi. Tähän dokumenttiin on kerätty testeissä esiin tulleet korkealentoiset ajatukset ja päätelmät, sekä vaihtelevaa tarkkuutta olevat mittaustulokset.

Keittimen tiivisteet:

15.2.2006 Reumasäätien Heinolan toimipisteen kylmähoitohuoneessa suoritettiin pumpun tiivisteille koekäyttö - 50°C lämpötilassa. Pumpun ja pullon välisenä tiivisteinä käytettiin nitrilikumista polar-tiivistettä. Samasta materiaalista olevaa tiivistettä käytettiin myös keittimen ja pumpun välissä. Pumpun venttiilin karassa oleva tiiviste oli materiaalilta silikonista. **Kaikki tiivisteet toimivat testilämpötilassa moitteettomasti.**

Nitrilikuminen polar-tiiviste kestää hyvin bensaa ja toimii kohtuullisesti alhaisissa lämpötiloissa. - 50°C lämpötilassa kyseinen tiiviste on jäykistynyt huonelämpötilaan verrattuna, mutta säilyy edelleen riittävän kimmoisana. Pumpun venttiilin karan tiivisteeksi ei ole löydetty riittävän pientä nitrilikumista-polar tiivistettä. Kyseisenä tiivisteinä käytetty silikonitiiviste säilyttää kimmoisuutensa erittäin hyvin testilämpötilassa. Silikonin bensiininsietokyky on huono. Kyseinen tiivistemateriaali turpooa joutuessaan kosketuksiin bensiinin kanssa. kyseiseen ongelmaan on varauduttu riittävällä määrällä vaihtotiivisteitä. Kun ja jos käyttölämpötilat nousevat pumpun kannalta siedettävimmiksi matkan loppupuolella, voidaan silikonitiivisteiden paikalle vaihtaa alkuperäistiiviste.

Pullopaine:

Pullopaineen merkitys keittimen toimintaan haluttiin selvittää mahdollisimman tarkkaan.. Jotta asiasta saatiin muutakin kuin "musta tuntuu tietoa", piti pullon pohjaan istuttaa painemittari. Ensimmäinen pulloon kiinnitetty mittari oli smc:n ylipaine pneumaattikamittari (0-4 bar). Mittarin asennuksen jälkeen pulloon lisättiin polttoainetta, kiinnitettiin pumppu ja pumpattiin painetta. Viritys näytti toimivan. Uteliaisuudesta johtuen pulloa piti ravistaa. Ravistuksen seurauksena paine pullossa putosi voimakkaasti. Ilmiön selittämiseksi ensimmäinen epäily kohdistui mittarin rakenteeseen. Pitkällisen pohdinnan ja selvitystyön päätteeksi syyksi osoittautui pullossa olevan kaasutilan lämmön muutos. Tämä oli ensimmäinen osoitus pullopaineen hallittavuuden vaikeuksista.

Pullopaineeseen vaikuttavat tekijät:

Keittimen palaessa pullopaine alenee polttoaineen virratessa ulos pullosta. Ulosvirtaavan polttoaineen aiheuttama paineen aleneminen, aikayksikköä kohden, on riippuvainen pullossa olevan ilmatilan suuruudesta.

Esimerkki 1: Mikäli pullopaine on 0,6 bar, tällöin pullosta virtaa polttoainetta ulos noin 4.4 ml / min. (pulloventtiilin ollessa täysin avoin). Täynnä olevan polttoainepullon ilmatila on tilavuudeltaan noin 50 ml. Kyseisellä virtauksella pullossa oleva ilmatila kasvaa ensimmäisen minuutin aikana 8.8 prosenttiyksikköä. Vastaavasti puolillaan olevan polttoainepullon ilmatila on tilavuudeltaan noin 500 ml. Kyseisellä virtauksella pullossa oleva ilmatila kasvaa ensimmäisen minuutin aikana 0.88 prosenttiyksikköä.

Paineen alenemista ehkäistään pumppaamalla pulloon lisää ilmaa. Pullon paineen kasvua aiheuttaa myös keittimen säteilylämpö. Säteilylämmön vaikutuksesta pullossa oleva ilma lämpenee. Lämmitessään ilma laajenee voimakkaasti. Kaasun tilavuuden kasvu ei ole mahdollista suljetussa tilassa. Tällöin tilavuuden kasvun sijaan kaasun paine kasvaa Charlesin lain mukaan seuraavasti:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

Pullopaineen nousu lisää polttoaineen ulosvirtausta pullosta. Suurempi virtaama aiheuttaa myös suuremman säteilylämmön.

Esimerkki 2: 15.2.2006 Reumasäätien Heinolan toimipisteen kylmähoitohuoneessa suoritettussa testissä aiheutui kattilan lämpökauluksen puhki sulaminen pullopaineen hallitsemattoman paineen nousun seurauksena.. Testilämpötila - 50°C, kaluston ja lumen lähtölämpötila oli sama. Tarkoituksena oli tehdä kattilallinen vettä lumesta. Pullopaineeksi valittiin 2,0 bar. pullon ilmatila oli noin 500 ml. Testin alkuvaiheessa painemittarin jäätyminen seurauksena pullopaineen tarkkailu estyi. Mittarin jäätyminen aiheutui testaajan huolimattomasta veden käsittelystä edellisessä testissä. Mittaririkon jälkeen testaaja lisäsi pulloon ilmaa "maltillisella perstuntumalla" edellisten testien kokemuksella. Säteilylämmön vaikutusta ei ymmärretty huomioida. Oletetaan ilman lisäyksen korvanneen ulosvirtaavan polttoaineen aiheuttaman paineenlaskun. Säteilylämmön vaikutus huomioituna pullopaine on todennäköisesti ollut 2,5 bar kattilan tuhoutumishetkellä.

Pullopaineen arviointi luotettavasti ilman mittaria ei ole mahdollista, mikäli pullon lämpötila nousee suorituksen aikana. Pullopaineen arvioinnin ollessa hankalaa, kannattaa käyttää pienintä mahdollista pullopainetta, jolla keitin tuntuu toimivan. Olosuhteissa, joissa keitin ei aiheuta pullon ilmatilan lämpenemistä, voidaan pullopaineen hallitsemiseksi luoda pumppaustaulukoita.

Täysinäisellä polttoainepullolla polttoaineen ulosvirtaus aiheuttaa pullopaineen nopean laskun. Mikäli pulloon ei pumpata lisää painetta, kumoavat säteilylämmön aiheuttama paineen nousu ja ulosvirtauksen aiheuttama paineenlasku toisensa. Kun

kyseessä on lähes tyhjä polttoainepullo, ulosvirtaus aiheuttaa hyvin hitaan paineenlaskun. Tällöin ulosvirtaus ei kumoa säteilylämmön aiheuttama paineen nousua. Ilmiö saattaa aiheuttaa erittäin nopean pullopaineen nousun. Edellä kuvattu "vajaan pullon" ilmiö voimistuu matalissa lämpötiloissa.

Pullopaineen vaikutus:

Valmistaja antaa kyseiselle keittimelle seuraavanlaisen pumppausohjeen: Täysi pullo 15-20 pumppausta, puolitäysi pullo 40-55 pumppausta. Koepumppauksessa täydellä pullolla valmistajan ohje antoi paineeksi noin 0,5 bar.

Testipoltoissa eri pullopaineet ovat antaneet keskimäärin oheisen taulukon mukaisia virtausarvoja. Arvot on laskettu 1-3 polton perusteella. Kaikissa testipoltoissa pulloventtiili on ollut täysin auki. Keittimenä käytettiin noin 6 vuotta vanhaa siviilikäytössä ollutta yksilöä.

Pullopaine bar	Virtaama g / min	Virtaama ml / min
0,4	2,35	3,5
0,6	2,95	4,4
0,8	3,14	4,69
1,0	3,59	5,36
1,4	4,7	7,02
2,0	5,89	8,79
2,6	7,55	11,27

Testeissä ei ole tutkittu paljonko pulloventtiilillä pystytään säätämään virtausta. Xgk:n pulloventtiili on periaatteessa on- off venttiili, mutta käytännössä jonkinasteinen säätö onnistuu myös kyseisellä venttiilillä.

Erittäin kylmissä olosuhteissa liiallinen pullopaine aiheuttaa puutteellisen polttoaineen esilämmityksen. Kylmän polttoaineen virtauksen kasvaessa liian suureksi, suhteessa liekin lämmitystehoon, polttoaine virtaa nestemäisenä ulos keittimestä. Tilanteen saattaa saada hallintaa kuristamalla virtausta pulloventtiilin avulla. Polttoaineen ulosvirtaus nesteenä aiheuttaa erittäin suuren palovaaran.

Talousveden valmistus arktisissa olosuhteissa:

Arktisissa olosuhteissa talousveden hankintaan ainut mahdollisuus on veden sulattaminen lumesta tai jäädästä. Ilta- ja aamutoimiin kuluva ajan minimoimiseksi polttoaineeseen varastoitu energia pitäisi siirtää veden valmistusprosessiin mahdollisimman nopeasti. Toisaalta retkikunnan polttoainevaraston painon minimoimiseksi veden valmistus pitäisi tapahtua mahdollisimman tehokkaalla hyötysuhteella.

Vedensulatusaikataulu:

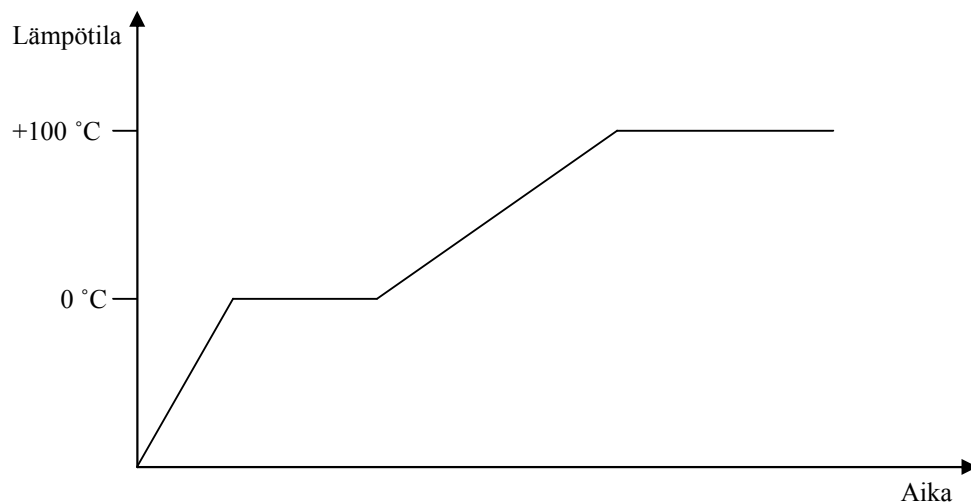
Tarvittavan energian määrään ei vaikuta ainoastaan keittojärjestelmän hyötysuhde, vaan myös vallitseva ulkolämpötila ja veden sulana pitämiseen kuluva hukkalämpö. Siviilissä totutun päivärytmin kannalta luonnollista on sulattaa hiihtopäivän jälkeen

seuraavan päivän juomavesi. **Energian kulutuksen kannalta vettä tulisi säilyttää mahdollisimman vähän aikaa termospulloissa. Hiihtopäivän aikana tarvittava vesi tulisikin sulattaa vasta aamutoimien aikaan.**

Neste kannattaa nauttia lämpimänä kehon energiatalouden kannalta. Toisaalta liian kuuman nesteen nauttiminen ei onnistu. Polttoainevaraston painonoptimoinnin kannalta on tärkeää välttää veden "hukkalämmittämistä". Hiihtopäivän ensimmäisen pullollisen lämpötila valmistushetkellä voisi olla noin $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Seuraava $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja kolmas $+95\text{ }^{\circ}\text{C}$. Matkan edetessä ulkolämpötila kohoaa loppua kohden. Tämä olosuhteiden muutos kannattaa ottaa huomioon juomaveden valmistuslämpötiloissa.

Ominaislämpökapasiteetti ja olomuodon muutos:

Kun lumi tai jää muutetaan veden kautta höyryksi, kehittyy lämpötila aikayksikköön nähden seuraavan kaavion mukaisesti.



Kappaleen vaihtaessa olomuotoa, kappaleen lämpötila ei muutu. Olomuodon muutoksen aikana kappaleeseen johdettu lämpöenergia kuluu kide- tai molekyyliarakenteen rikkomiseen. Jään ominaislämpökapasiteetti on $2,2\text{ kJ / kg}$. Eli yhden kilogramman painoisen jääkappaleen lämmittäminen yhdellä lämpöasteella sitoo energiaa $2,2\text{ kJ}$. Jään muuttaminen vedeksi sitoo energiaa 333 kJ / kg . Veden ominaislämpökapasiteetti on $4,19\text{ kJ / kg}$. Veden höyrystäminen sitoo energiaa 2260 kJ / kg .

Edellisen perusteella veden "kiehauttamista" tulisi välttää, muulloin kun ruuanvalmistuksen yhteydessä. Juomaveden lämmityksellä $+99\text{ }^{\circ}\text{C}$:sta kiehuva ei saavuteta käytännön hyötyä.

Hyötysuhde:

Yhdessä grammassa bensiiniä on varastoituneena $43,5\text{ kJ}$ energiaa. Teoreettisesti 1 kg $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ jäätä muuttuakseen $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ vedeksi tarvitsee $7,65\text{ g}$ bensiiniä. Käytännössä, käytettävällä kalustolla, laboratorio-olosuhteissa tähän kului bensaa $12,43\text{ g}$. Eli hyötysuhde oli kyseisessä laboriotestissä $61,5\%$. $38,5\%$ käytetystä polttoaineesta kului polttoaineen esilämmitykseen sekä hukkalämpöön.

Hyötysuhteeseen vaikuttavia asioita ovat mm. käytettävän keittimen muodostama ilman ja bensiinihöyryn seossuhde, käytettävän kattilan materiaali, lämmitettävän kappaleen pinta-alan suhde kappaleen massaan, keittimen tuottama teho aikayksikköä kohden, järjestelmästä ulospäin suuntautuva säteily tai johtumislämpö. Retkikunnan toimenpiteet hyötysuhteen optimoimiseksi olisivat voineet olla tehokkaammat. Käytännössä kaikki voitava käytössä olleiden aikaresurssien puitteissa on tehty. Keittimen valinnassa ei suoritettu tieteellisiä hyötysuhdemittauksia, vaan todettiin jo tutun ja toimivan pelin olevan porukan valinta. Valinnan jälkeen on pyritty selvittämään kenttätutkimuksilla keittimen ihanteellinen käyttötapa. Kattilan suhteen päädyttiin tiedossa olevista kaupallisista ratkaisuista tehokkaimpaan. Kattilan hyötysuhteen merkittävä parantaminen olisi vaatinut todennäköisesti vielä vuoden lisäaikaa ja kokonaan uudenlaisen vedensulatuskattilan valmistamisen. Hyötysuhteen optimoinnin epäonnistumisen tuskaa lievittää kuitenkin tieto hukkalämmön teltaan luoman inhimillisyyden tarpeesta.

XGK / COOK WILLY keitinjärjestelmän polttoaineen kulutus talousveden hankinnassa:

Testi 1:

Verrattiin käytössä olevaa järjestelmää perinteiseen kattilaan. Testi osoitti Cook Willyn vähentävän polttoaineen kulutuksen noin puoleen, verrattuna tavalliseen Trangian kattilaan ilman tuulisuoja. Samoin keittoaika putosi puoleen. Testissä käytettiin testaajan "perstuntuma pullopaineita". Testiolosuhte oli + 20 °C, tuuli 0 m/s.

Testi 2:

Testin tarkoituksena oli selvittää käytettävässä järjestelmässä pullopaineen vaikutusta kulutukseen, kiehutettua vesimäärää kohden. Testiolosuhte 0 °C, tuuli 0 m/s, veden lähtölämpötila 0 °C, kiehutetun veden määrä 2 l, polttoaineen lämpötila 0°C.

Pullopaine bar	Loppuaika min	Kulutus g / dl	Kokonaiskulutus
0,4	14:03	1,55	31
0,4	12:52	1,5	30
0,6	11:32	1,7	34
0,8	10:30	1,65	33
1,0	9:44	1,75	35
1,0	10:06	1,9	38
1,4	8:05	1,9	38
2,0	6:27	1,9	38
2,0	?	1,9	38
2,6	5:10	1,95	39

Testin viimeisessä ajossa kattilan lämpökaulus tuhoutui. Sama ongelma esiintyi edellisenä päivänä talvivaellusharjoituksen yhteydessä, pullopaineen ollessa tuolloin 2,8 bar. Ilmiö toistui kolmannen kerran laboratoriotestissä (katso sivu 2. esimerkki 2.)

Kaluston rikkoutumisen riski kasvaa sietämättömäksi pullopaineen noustessa yli 2,0 bar. Otettaessa huomioon säteilylämmön aiheuttama pullopaineen hallitsematon nousu, sekä kylmän polttoaineen liiallisen virtauksen aiheuttama

esilämmitysongelma, retkikunnan ei tule käyttää yli 1,0 bar suuruista pullopainetta.

Testi 3:

Testin tarkoituksena oli selvittää suuntaa antava arvo polttoaineen kulutukselle, valmistettaessa vettä lumesta. Testiolosuhte 0°C, lumi - 9°C, polttoaine 0°C, keitetyn veden määrä 2,2 l, tuuli 0 m/s.

Pullopaine bar	Vesi sulaa min	Loppuaika min	Kulutus g / dl	Kokonaiskulutus g	Teoreettinen kulutus g / hyötysuhde %
0,8	8:10	17:56	2.64	58	39 / 67,2

Testi 4:

Testin tarkoituksena oli selvittää suuntaa antava arvo polttoaineen kulutukselle, valmistettaessa vettä lumesta. Testiolosuhte -7°C, lumi - 30°C, polttoaine -30°C, keitetyn veden määrä 2,25 l, tuuli 1 m/s.

Pullopaine bar	Vesi sulaa min	Loppuaika min	Kulutus g / dl	Kokonaiskulutus g	Teoreettinen kulutus g / hyötysuhde %
1,0	?	23:20	3,55	80	42.3 / 52.88

Testi 5:

Testin tarkoituksena oli selvittää tarkka arvo polttoaineen kulutukselle, valmistettaessa vettä lumesta. Testiolosuhte -50°C, lumi - 50°C, polttoaine -50°C, keitetyn veden määrä 2,45 l, tuuli 0 m/s.

Pullopaine bar	Vesi sulaa min	Loppuaika min	Kulutus g / dl	Kokonaiskulutus g	Teoreettinen kulutus g / hyötysuhde %
0,4	15:30	31:20	3,22	79	48.56 / 61,47

Retkikunnan polttoainevaraston suuruus:

Tässä vaiheessa kulutuksesta kerätty informaatio on suuntaa antava. **Lopullisen kulutusarvion tekemiseksi hiihtävä osasto tulee suorittamaan tarvittavan testisarjan Resolute Bay:ssä.** Lopullisten kulutustestien tekemiseksi tarvitaan alueella käytettävä polttoaine sekä kalusto aidossa ympäristössä. Testien suorittamiseksi hiihtävällä osastolla on mukanaan kolme painemittarilla varustettua polttoainepulloa, grammavaaka, millilitramitta, lämpömittari, taskulaskin sekä sekuntikello.

Polttoaineen kulutukselle, suhteutettuna valmistetun veden määrään, näyttäisi tulevan pienin arvo alhaisimmalla testatulla pullopaineella (0,4 bar). Testin 5. perusteella yhden taistelijan päivittäisen nesteannoksen valmistamiseen kuluu aikaa noin 1:04:10 h (käytettäessä yhtä keitinjärjestelmää pullopaineen ollessa

0,4 bar). Päivittäsen nesteannoksen valmistamiseen käytettyä aikaa voidaan lyhentää lisäämällä pullopainetta. Tällöin polttoaineen kulutus nousee suhteessa valmistettuun nestemäärään.

Alustava arvio 1:

Käytetään testin 5. antamia arvoja. Veden tarve 5 l kiehuva vettä / "miäs" / vuorokausi. Vuorokausia 60 kpl.

Kulutus / miäs / vrk g	kulutus / retkikunta / vrk g	Polttoainevarasto kg = l
161	1127	67.62 = 100.9

Suhteutetaan saatu arvo pakkausastioihin. Polttoainepulloissa on lähtöhetkellä 15.9 litraa polttoainetta. Jäljelle jäävä polttoaine mahtuu 17 kanisteriin = 2,43 kanisteria / miäs.

Oletetaan että telttaa ei lämmitetä, kaikkea vettä ei lämmitetä kiehuvaaksi, keskimääräinen lämpötila matkan aikana on reilusti yli -50 °C. Edellisillä oletuksilla arvio antaa marginaalisen turvakertoimen.

Alustava arvio 2:

Käytetään testin 5. antamia arvoja. Veden tarve 5 l kiehuva vettä / "miäs" / vuorokausi, telttaa lämmitetään tunti vuorokaudessa pullopaineen ollessa 0,4 bar. Vuorokausia 60 kpl.

Kulutus / miäs / vrk g	kulutus / retkikunta / vrk g	Polttoainevarasto kg = l
221.4	1550	93 = 138.8

Suhteutetaan saatu arvo pakkausastioihin. Polttoainepulloissa on lähtöhetkellä 18.8 litraa polttoainetta. Jäljelle jäävä polttoaine mahtuu 24 kanisteriin = 3,43 kanisteria / miäs.

Oletetaan että kaikkea vettä ei lämmitetä kiehuvaaksi, keskimääräinen lämpötila matkan aikana on reilusti yli -50 °C. Edellisillä oletuksilla arvio antaa kohtuullisen turvakertoimen.

Laskutoimituksissa käytettyjä arvoja:

- Veden ominaislämpökapasiteetti 4,19 kJ / kg
- Jään ominaislämpökapasiteetti 2,2 kJ / kg
- Olomuodonmuutos jäältä vedeksi 333 kJ / kg
- Olomuodonmuutos vedestä höyryksi 2260 kJ / kg
- Veden tiheys 1000 g / l
- Jään tiheys 917 g / l
- Bensiinin lämpöarvo 43,5 kJ / g
- Testissä käytetyn puhdistetun bensiinin tiheys 67 g / dl (mitattu arvo)
- $0\text{ }^{\circ}\text{C} = 273\text{ }^{\circ}\text{K}$