

Muoviteollisuus ry:n putkijaoston laatima 8.4.2025 julkaistu suomennos muistiosta:
PM angående behovet av stödblock för tryckledning av polyeten

Muistio

polyteenipaineputkistojen tukilohkojen tarpeesta

Limhamn 27.11.2008
JM Geokonsult AB

Jan Molin

1 Johdanto

Maahan asennettuihin putkistoihin kohdistuu erilaisia kuormituksia – maaperästä, liikenteestä ja pohjavedestä aiheutuvia kuormituksia sekä sisäisestä paineesta ja lämpötilamuutoksista aiheutuvia kuormituksia. Ensin mainitut ovat tyypillisiä paineettomissa putkistoissa, kun taas jälkimmäiset ovat usein mitoituskuormituksia paineputkistoissa, kuten juomavesi- tai kaasuputkistoissa.

Paineettomia putkistoja kuormittavat pääasiassa säteittäiset kuormat, mikä tarkoittaa sitä, että aksiaaliset rasitukset ja liikkeet ovat suhteellisen vähäisiä.

Paineputkistoissa sisäisestä paineesta aiheutuu aksiaalivoimia putkiston kulmiin, halkaisijamuutoskohtiin ja venttiileihin. Putkiston lämpötilamuutokset aiheuttavat pituusmuutoksia tai lämpötilarasituksia riippuen putkiston liikkumismahdollisuuksista. Putken pidentymisen estyessä putkessa muodostuu aksiaalivoimia myös poikittaiskutistumisen estymisen takia.

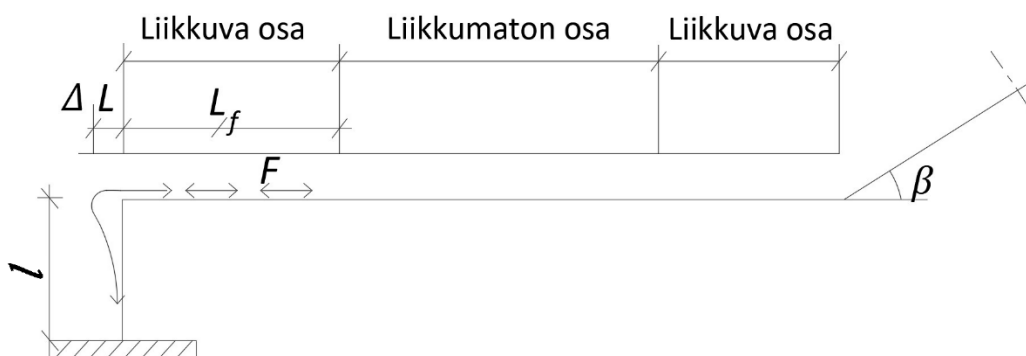
Jos putkiston yksittäisten putkien väliset liitokset, esimerkiksi kumirengastiivisteiset muhviiliitokset, **eivät pysty** siirtämään aksiaalivoimia, putkistossa ilmenevät voimat on tasapainotettava käyttämällä ulkoisia tukirakenteita tällaisten voimien esiintymiskohdissa.

Aksiaalivoimia siirtämään **pystyvässä** putkistossa, kuten hitsaussaumoin tai laippaliitoksin varustetuissa teräs- tai PE-putkistoissa, tällaisten voimien vaimennus tapahtuu pääasiassa putkiston aksiaalivoimien kautta.

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan aksiaalikuormien, sisäisen paineen ja putkiston lämpötilavaihteluiden välistä perussuhdetta ja arvioidaan kuormitusta vähentävien tukilohkojen tarvetta PE-putkistoissa, joissa on hitsaussaumoja tai laippaliitoksia.

2 Voimat ja liikkeet maahan asennetussa paineputkistossa

Aksiaalivoimat ja liikkeet maahan asennetussa paineputkistossa aiheutuvat sisäisestä paineesta ja putken seinämän lämpötilamuutoksista. Putkistossa muodostuu putkiston ja maaperän välisiä kitkavoimia liikkuvien osien (eli lähellä kulmaa tai vapaata päätä sijaitsevien osien) suuntaisesti. Kuvassa 1 esitetään järjestelmäluonnos tässä tarkastelussa käytetylle laskentamallille.



Kuva 1 Yksinkertaistettu laskentamalli

Sisäinen paine

Yksittäisten putkien välisten voimien siirtymisen mahdollistavilla saumoilla, esimerkiksi hitsaussaumoilla, varustetuissa putkistoissa kulmiin kohdistuvat voimat ja muut aksiaalivoimat voidaan vaimentaa putkiston aksiaalisina vetovoimina ja tukilohkojen tarve voidaan suurelta osin poistaa. Aksiaalinen vetovoima putkistossa kulman lähellä voidaan laskea seuraavasti:

$$N = p * \pi * Ri^2 \quad (1)$$

jossa p = sisäinen paine
 Ri = putken sisäsäde

Sisäinen paine saa putken halkaisijan kasvamaan, mikä puolestaan aiheuttaa kutistumista pitkittäisessä suunnassa. Pituuskutistuman suuruus määräytyy putkimateriaalin Poissonin luvun mukaan.

Jos putkiston toinen pää on vapaasti liikkuva, vapaan pään liike aksiaalisuunnassa voidaan laskea seuraavasti ottamalla huomioon sekä yhtälön (1) mukainen aksiaalivoima että pituuskutistuma, mutta ottamatta huomioon mahdollisia pituuden L suuntaisia kitkavoimia:

$$\Delta Lp = L * \frac{p * Ri}{E * t} \left(\frac{Ri}{2 * Rm} - \nu \right) \quad (2)$$

jossa ΔLp = pituussuuntainen liike
 L = putkiston liikkuvan osan pituus
 E = putkimateriaalin E-moduuli
 t = putken seinämän paksuus
 Rm = putken keskisäde
 ν = putkimateriaalin Poissonin luku

Jos putkistoon asennetaan tukilohko kulman lähelle, tukilohkoon kohdistuva voima voidaan laskea seuraavasti edellyttäen, että putkisto on yhtäjaksoinen (saumat pystyvät siirtämään voimia) tukilohkotuennan molemmin puolin:

$$Np = 2 * p * \pi * Ri * Rm * \left(\frac{Ri}{2 * Rm} - \nu \right) \quad (3)$$

Hitsaussaumoilla varustetun PE-putkiston ja vetoa kestävämmillä saumoilla varustetun muun tyyppisen putkiston yhtymäkohtaan sijoitettuun tukilohkon kohdistuvat aksiaaliset voimat voidaan myös laskea soveltamalla yhtälöä (3) poistaen siitä ensimmäinen sulussa oleva termi.

Lämpötilaero

Lämpötilan muutos putkessa aiheuttaa seuraavat liikkeet putken vapaassa päässä:

$$\Delta L t = \alpha * \Delta T * L \quad (4)$$

jossa α = putkimateriaalin pituussuuntainen laajenemiskerroin
 ΔT = lämpötilaero putken seinämässä

Kun liike estetään kokonaan, putkistossa muodostuu aksiaalivoima, joka voidaan laskea seuraavasti:

$$NT = \alpha * \Delta T * E * 2 * \pi * Rm * t \quad (5)$$

NT on lisäksi lämpötilan muutoksen aiheuttama aksiaalivoima, joka kohdistuu mahdolliseen tukilohkoon.

Putken seinämän lämpötilaerolla tarkoitetaan ensisijaisesti laskenta-ajankohdan lämpötilan ja täytön aikana vallitsevan lämpötilan välistä eroa. Jos laskenta-ajankohdan lämpötila on korkeampi kuin lämpötila täyttöhetskellä, se on laskelmissa positiivinen ja lisää putkiston pituutta.

Aksiaaliset kitkavoimat

Hitsaussaumoilla varustetun PE-putkiston liikkeet aiheuttavat kitkavoimia putken ja ympäröivän täyttömateriaalin välillä putkiston liikkuvan osan suuntaisesti, ks. kuva 1. Tällaiset kitkavoimat rajoittavat liikkeen suuruutta ja pienentävät siirtymää ΔL . Kitkavoimien suuruuteen vaikuttavat putken seinämään kohdistuva maanpaine sekä putken seinämän ja ympäröivän maaperän välinen kitkakerroin.

Jos putkistoon kohdistuvan tehollisen maanpaineen oletetaan olevan yhtä suuri kuin maakerrostumien paine putken lakikohdassa ja putken ympärille kohdistuvan keskimääräisen maanpaineen oletetaan olevan yhtä suuri kuin maakerrostumien paine putken lakikohdassa, kitkavoima putkistometriä kohti voidaan laskea seuraavasti:

$$F = \mu * \gamma * H * \pi * 2 * Ry \quad (6)$$

jossa F = kitkavoima putkistometriä kohden
 μ = kitkakerroin
 γ = täyttömateriaalin tehollinen tiheys
 H = täyttömateriaalin peitesyvyys putken lakikohdan yläpuolella
 Ry = putken ulkosäde

Paineen, lämpötilan ja kitkan yhteisvaikutus

Sisäisen paineen ja lämpötilamuutoksen yhteisvaikutuksesta seuraa seuraava lauseke kitkapituudelle L_f eli lähimpänä putkiston vapaata päätä olevan liikkuvan osan pituudelle, jos kitkavoimien pienentävä vaikutus otetaan huomioon:

$$Lf = \frac{A}{F} \left[E * \alpha * \Delta T + \sigma r * \left(\frac{Ri}{2 * Rm} - \nu \right) \right] \quad (7)$$

jossa $\sigma r = \frac{p * Ri}{t}$ = sisäisen paineen aiheuttama kehäjännitys

$$A = 2 * \pi * Rm * t = \text{putken seinämän poikkipinta-ala}$$

Aksiaalinen siirtymä ΔL putkiston liikkuvan osan päässä lasketaan seuraavasti:

$$\Delta L = \frac{Lf}{2 * E} * \left[E * \alpha * \Delta T + \sigma r * \left(\frac{Ri}{2 * Rm} - \nu \right) \right] \quad (8)$$

Putkiston liike kulmien kohdalla aiheuttaa vaakasuuntaisen "passiivisen" maanpaineen, joka vähentää liikkeen suuruutta. Sitä ei ole otettu huomioon edellä esitetystä lausekkeesta.

Aksiaalinen maanpaine kulmien kohdalla

Liikkeiden ja maanpaineen laskeminen ottamalla huomioon rakenteen ja maaperän yhteisvaikutus on parasta tehdä FEM-pohjaisella laskentaohjelmalla. Tällaisten laskelmien tekeminen ei kuitenkaan sisälly tämän tarkastelun laajuuteen.

Sen sijaan teknisten pohdintojen pohjaksi on laadittu arvioita "passiivisesta" maanpaineesta kulmien kohdalla. Nämä arviot ovat perustuneet oletettuun maaperän maa-aineslajiin (periaatteet on esitetty lähteessä /3/). Arvioiden laadinnassa on käytetty seuraavia yksinkertaistavia oletuksia:

- Putkistoon kulman kohdalla kohdistuvan vaakasuuntaisen maanpaineen oletetaan vaikuttavan kulman keskikohdan pintaan korkeudella Dy (putken ulkohalkaisija) ja pituudella $5 * Dy$. Osan putkiston liitososista oletetaan siten vaikuttavan yhdessä kulman kanssa.
- putkiston aksiaalivoiman oletetaan olevan yhtä suuri kuin lämpötilavoima putkiston liikkumattomassa osassa

Siirtymävoima T maata kohden kulmassa lasketaan seuraavasti:

$$T = \alpha * \Delta T * E * 4 * \pi * Rm * t * \sin \frac{\beta}{2} \quad (9)$$

jossa β = kulma

Aikaansaatu maanpaine qh on tällöin:

$$qh = T / (20 * Ry^2) \quad (10)$$

Paineen q_h aikaansaamiseksi tarvittava siirtymä y kohtisuoraan kuormituspintaan nähden voidaan arvioida alustan moduulin avulla. Seuraava suhde on olemassa:

$$y = \frac{qh}{k} \quad (11)$$

jossa k = alustan moduuli

Suorakulmaisen kuormitusalueen, jonka sivujen suhde 1:5, alustan moduuli voidaan lähteen [3] mukaan laskea seuraavasti:

$$k = 0,3 * k_0 * (H + R_y) * 0,52 / (2 * R_y) \quad (12)$$

Kertoimen k_0 arvo on kitkamaalle 4–59 MN/m³ riippuen täytön suhteellisesta tiiveydestä ja pohjaveden korkeudesta.

Putken suoran osuuden pituus l seinän läpiviennin kohdalla

Seinän läpiviennin kohdalla, jossa putkisto kääntyy seinää kohti kuvan 1 mukaisesti, putken seinämään syntyy aksiaalisia taivutusrasituksia. Niiden voimakkuuteen vaikuttavat putken halkaisija sekä käännöskohdan kulman ja sivusuunnassa liikkumattoman seinänläpiviennin välinen etäisyys. Putken suoran osuuden pituuden l , putken seinämän pitkittäissuuntaisen lisätaivutusrasituksen $\Delta\sigma_a$ ja lähimmän kulman kohdalla olevan putkiston kohtisuoran siirtymän ΔL välillä on seuraava suhde:

$$l = \left(\frac{3 * E * \Delta L * R_y}{\Delta \sigma_a} \right)^{0.5} \quad (13)$$

Sallitun lisätaivutusrasituksen valinnassa on otettava huomioon, että PE-putkisto voidaan liittää muusta materiaalista, esimerkiksi teräksestä, valmistettuun putkiosaan laippaliitoksella. Tämä voi rajoittaa sallittua taivutusrasitusta.

Sallittu putken suoran osuuden pituus esitetään laskettavaksi niin, että ΔL lisätään yhtälön (8) mukaisesti eli ottamalla huomioon täysi putkiston liikkuvan osan suuntainen aksiaalikitka, mutta ottamatta huomioon vastakkaista vaakasuuntaista maanpainetta kulman kohdalla.

3 Laskelmat

3.1 Valitut parametriarvot

Rakennusteknisten suositusten tueksi on tehty ohjeellisia laskelmia edellä mainittujen suhteiden avulla. Edellä esitetyllä tavalla ne ovat joissakin tapauksissa hyvin yleisluonteisia.

Laskelmat on periaatteessa tehty käyttörajatilaa ajatellen, mikä tarkoittaa, että valittujen parametriarvojen katsotaan olevan edustavia ominaisarvoja.

3.1.1 Kuormat

Sisäinen paine

$$p = 1,3 \text{ MPa}$$

Laskelmissa on käytetty sisäisenä paineena 30 %:lla korotettua putken paineluokkaa.

Lämpötilan vaihtelu

$$\Delta T = 10^\circ\text{C}$$

Lämpötilaan putkistossa vaikuttavat monet eri tekijät, kuten putkistossa olevan veden lämpötila, maaperän lämpötila putkiston tasolla, ympäröivän maaperän termiset ominaisuudet, putkiston mitat, veden virtausnopeus putkistossa jne. Näissä laskelmissa on käytetty lämpötilan vaihtelua, joka on tyypillinen Malmön vesilaitoksen ja taajaman väliselle suurelle vesijohdolle. Pintavesilähteestä tulevan raakavesiputkiston osalta lämpötilan vaihtelu voi olla merkityksellisempää. Tyypillisesti putkiston lämpötila vaihtelee kuitenkin hyvin hitaasti edellyttäen, että noudatetaan luvussa 4 suositeltuja varoimenpiteitä putkiston ja ympäröivän maaperän välisen lämpötilaeron tasaamisessa asennuksen aikana.

Putkistoon kohdistuva maanpaine

Putken ja täytön välinen kitkavoima on laskettu 1,5 metrin täyttökorkeudella. Oletuksena laskelmissa on, että pohjaveden pinta on 0,5 metriä maanpinnan alapuolella ja että täytön tehollinen tiheys on 18 kN/m^3 pohjaveden pinnan yläpuolella ja 8 kN/m^3 pohjaveden pinnan alapuolella.

3.1.2 Materiaaliparametrit

E-moduuli

$$E = 500 \text{ MPa}$$

E-moduulilla on suuri vaikutus lämpötilavoimiin putkistossa. PE:n osalta kuormitusaika, venymän suuruus ja lämpötila ovat ratkaisevia E-moduulin valinnassa. Kun lämpötila putkistossa on $+5\dots+15^\circ\text{C}$, lämpötilamuutosten aiheuttama venymä estyneen liikkeen aikana on 0,2 prosentin luokkaa, mikä on PE:lle pieni venymä. Putkiston lämpötilavoimia laskettaessa E-moduulin arvo on valittu ottamalla huomioon, että maaperään asennettujen vesijohtojen lämpötila on yleensä jonkin verran alle 20°C .

Pitkittäislaajenemiskerroin

$$\alpha = 0,00017 \quad 1/^{\circ}\text{C}$$

Pituuskutistumaluku (Poissonin luku)

$$\nu = 0,45$$

Putken ja täytön välinen kitkakerroin

$$\mu = 0,4$$

Kitkakertoimen arvoksi on valittu keskiarvo arvoalueelta, jota suositellaan muovikuorisille kaukolämpöputkille lähteessä /1/. Siinä ilmoitetaan, että kitkakerroin voi olla 0,2–0,6, ja tällaiset arvot on rekisteröity vastaavien putkistojen mittauksissa muun muassa Lundissa ja Linköpingissä /2/ ja /4/.

Asennusalustan moduuli

$$k_0 = 18 \text{ MN/m}^3$$

Asennusalustan moduulia on käytetty havainnollistamaan liikkeiden ja maanpaineen välistä yhteisvaikutusta kulmien kohdalla. Valittu arvo pätee, kun alkutäyttö on keskitiheä kitkamaa ja kun pohjaveden pinta sijaitsee hieman putken lakikohdan yläpuolella.

3.2 Laskentatulokset

Putkiston liikkuva pituus ja siirtymä vapaan pään kohdalla

Taulukossa 1 esitetään lähinnä liikkumaan pystyvää putkiston päätä olevan putken liikkuvan osan laskennalliset pituudet L sekä pään laskennallinen siirtymä ΔL pitkittäissuunnassa. Laskentatulokset vastaavat tarkimmin olosuhteita 90 asteen kulman kohdalla *kuvan 1* mukaisesti. Laskelmissa ei ole otettu huomioon kulmaan kohdistuvaa vastakkaista vaakasuuntaista maanpainetta.

Kaikissa laskelmissa on sovellettu vakiomittasuhdetta SDR 17.

Taulukko 1 Laskettu liikkuva pituus ja aksiaalinen liike putkiston vapaan pään kohdalla.

Putkikoko	Liikkuva pituus L_f , m	Aksiaalinen liike ΔL , mm
DN 110	1,0	1,0
DN 200	1,7	1,8
DN 400	3,5	3,5
DN 630	5,6	5,8

Laskelmien tarkastelu osoittaa, että lämpötilavaikutukset aiheuttavat 80–90 prosenttia lasketuista siirtymistä. Jos lämpötilaero kasvaisi 10 °C:sta 20 °C:een, liikkuvan osan pituus L_f olisi noin kaksi kertaa ja liike ΔL noin neljä kertaa niin suuri kuin arvot *taulukossa 1*. Putkiston lämpötilaolosuhteilla on siten suuri merkitys kulmien ja tukilohkojen kohdalla ilmeneville voimille ja liikkeille.

Toinen tärkeä tekijä on putken ja täytön välinen kitkakerroin. Jos se pienenee 0,4:stä 0,2:een, taulukossa 1 esitetyt liikkuvan osan pituuden ja siirtymien arvot kaksinkertaistuvat.

Kulmia tukeva maanpaine

Tukea antavasta maanpaineesta ja sen syntymiseen vaadittavasta sivuttaisesta liikkeestä y kohtisuoraan suhteessa kulmaan on laadittu arvio soveltamalla yhtälöä (11). Tulokset esitetään *taulukossa 2*.

Taulukko 2 Tukea antava vaakasuuntainen maanpaine ja siihen liittyvä sivuttaisliike kulmien kohdalla

Putkikoko	Kulma, β astetta	Sivuttainen liike kulman kohdalla, y , mm	Vaakasuuntainen maanpaine, qh , kPa
DN 110	15	0,2	8
	30	0,4	16
	45	0,6	23
	90	1,1	42
DN 200	15	0,4	8
	30	0,7	15
	45	1,1	23
	90	2,0	42
DN 400	15	0,7	7
	30	1,5	15
	45	2,2	23
	90	4,0	42
DN 630	15	1,2	8
	30	2,3	15
	45	3,4	23
	90	6,3	42

Laskettu vaakasuuntainen maanpaine on paine, joka tarvitaan maksimaalisen siirtymävoiman tasapainottamiseen kulman kohdalla. Tämän maanpaineen yläraja on täysi passiivinen maanpaine, q_P :

$$q_P = K_P * \gamma * H \quad (14)$$

jossa

K_P = passiivisen maanpaineen kerroin

Passiivisen maanpaineen kertoimen arvo voi olla noin 3–6 maalajin, tiivistysasteen ja peitesyvyyden ja putken halkaisijan välisen suhteen mukaan vaihdellen. Tämän tutkimuksen laskelmissa käytetyillä oletuksilla täyden passiivisen maanpaineen arvoksi voidaan siis laskelmissa saada 50–100 kPa. *Taulukon 2* mukaiset vaaditut vaakasuuntaiset maanpaineet ovat siten pienemmät kuin täydet passiiviset maanpaineet kulmien kohdalla silloin, kun kulma on enintään 45 astetta. Suuremmissa kulmissa maanpaineet lähestyvät täyttä passiivista maanpainetta.

Putkiston sivuttaisliikkeen kulman kohdalla edellytetään tapahtuvan puolittajan suunnassa. Näin tapahtuu, jos putkiston ominaisuudet ovat samat kulman molemmilla puolilla. Putkiston päiden aksiaalisen siirtymän ΔL ja kulman sivuttaisliikkeen y välillä vallitsee silloin seuraava yhtälö:

$$\Delta L = y * \sin \frac{\beta}{2} \quad (15)$$

Taulukossa 3 esitetään aksiaalisia pituuden muutoksia ja vastaavia sivuttaisliikkeitä, jotka tarvitaan taulukossa 2 esitettyihin tukea antaviin maanpaineisiin.

Taulukko 3 Yhteenveto lasketuista liikkeistä kulmien kohdalla. (suom. huom. taulukkoviittaus korjattu)

Putkikoko	Kulma β , astetta	Sivuttainen liike kulman kohdalla y , yhtälö (11), mm	Aksiaalinen liike kulman kohdalla ΔL , yhtälö (15), mm	Aksiaalinen liike putken vapaan pään kohdalla, (taulukko 1) mm
DN 110	15	0,2	0,03	1,0
	30	0,4	0,1	
	45	0,6	0,2	
	90	1,1	0,8	
DN 200	15	0,4	0,05	1,8
	30	0,7	0,2	
	45	1,1	0,4	
	90	2,0	1,4	
DN 400	15	0,7	0,09	3,5
	30	1,5	0,4	
	45	2,2	0,8	
	90	4,0	2,8	
DN 630	15	1,2	0,16	5,8
	30	2,3	0,6	
	45	3,4	1,3	
	90	6,3	4,5	

Putken vapaan pään aksiaalisen liikkeen laskelmassa ei ole otettu huomioon kulmaa tukevan maanpaineen vaikutusta. Taulukossa 3 esitetyllä tavalla liike on huomattavasti suurempi kuin liike, joka vaaditaan täyden tukea antavan maanpaineen muodostumiseen enintään 45 asteen kulmassa olevien kulmien kohdalla. Tämä tarkoittaa sitä, että enintään 45 asteen kulmassa olevien putkikulmien sivuttaisliikkeen voidaan olettaa olevan riittävän suuri vaaditun tukea antavan maanpaineen aikaansaamiseksi. Liikkeiden voidaan näin ollen olettaa olevan pieniä näiden kulmien kohdalla.

Jos kulmat ovat yli 45 asteen kulmassa, vaakasuora tukea antava maanpaine on suurempi ja lähestyy täyttä passiivista maanpainetta, minkä lisäksi liikkeet ovat suurempia. Putkiston lämpötilan ja paineen vaihtelut yhdessä pohjaveden vaikutuksen kanssa voivat näissä tapauksissa aiheuttaa epätoivottujen siirtymien riskin pysyvien muodonmuutosten ja putkiston ympärillä olevien täyterosten siirtymien kautta.

Putken suoran osuuden pituus seinän läpiviennin kohdalla

Taulukossa 4 esitetään yhtälön (13) mukaisesti lasketut putken suoran osuuden pituuden l pienimmät sallitut arvot soveltamalla sallitun aksiaalisen lisätaivutusrasituksen $\Delta\sigma$ arvoja 1,0 ja 2,0 MPa. Laskelmissa on ollut oletuksena 10 °C:n lämpötilaero ja putken vakiomittasuhte SDR 17.

Taulukko 4 Lasketut pienimmät sallitut putken suoran osuuden pituudet

Putkikoko	Putken suoran osuuden pituuden l pienin arvo, m	
	$\Delta\sigma = 1,0$ MPa	$\Delta\sigma = 2,0$ MPa
DN 110	0,47	0,33
DN 200	0,85	0,6
DN 400	1,70	1,2
DN 630	2,69	1,9

Jos lämpötilaero poikkeaa laskelmissa käytetystä 10 °C:n arvosta, *taulukossa 4* annetut arvot voidaan kertoa kertoimella $KT = \Delta T1/10$, jossa $\Delta T1$ on todellinen lämpötilaero.

Sallitun lisätaivutusrasituksen $\Delta\sigma$ valitut arvot on suhteutettava aksiaalisen rasituksen mitoitusarvoon, joka on PE 100 -putken hitsauskertoimella 0,8 noin 6,4 MPa. Kun otetaan huomioon täydellisen lämpötilaeron ja sisäisen paineen vaikutukset, laskettu suurin vetorasitus putken seinämässä seinänläpiviennin kohdalla on $0,5 \cdot 8,0 + 10 \cdot 0,00017 \cdot 500 + 1,0 = 5,85$ MPa, jos lisätaivutusrasitus $\Delta\sigma = 1,0$ MPa hyväksytään.

Pienimmät sallitut putken suoran osuuden pituudet ehdotetaan valittaviksi *taulukon 4* sarakkeessa $\Delta\sigma = 1,0$ MPa olevien arvojen mukaisesti. Tällöin seinän läpiviennin kohdalla sisäisestä paineesta ja lämpötilaerosta aiheutuva laskennallinen vetorasitus putken seinämässä on pienempi kuin suurin sallittu arvo.

4 Suositukset

4.1 Milloin tukilohkoja tarvitaan?

Paineputkistossa ilmenee aksiaalisia voimia ja liikkeitä, jotka aiheutuvat sisäisestä paineesta ja lämpötilan vaihteluista putkistossa. PE-putkistossa, jossa on hitsaussaumojia tai muita liitoksia, joilla on vastaava kyky siirtää aksiaalivoimia yksittäisten putkien välillä, kulmien ja venttiilien kohdalla muodostuvat voimat tasapainottuvat putkistossa tai siirtyvät kitkan kautta ympäröivään maaperään. Putkistossa tapahtuvat liikkeet ovat yleensä pieniä ja aiheutuvat pääasiassa lämpötilan vaihteluista putkistossa. Tiettyjä putkiston osia on kuitenkin tuettava tai vakautettava. *Taulukossa 5* esitetään eri tapauksissa tarvittavat toimenpiteet.

Taulukko 5 Kuvaus PE-paineputkistolle tarpeellisista toimenpiteistä.

Tapaus	Kuvaus	Toimenpide
A	Putkiston osat, joita ei ole kuvattu tapauksesta B alkaen	Tuetaan tukilohkolla ei tarvita.
B	PE-putkisto on liitetty toiseen putkityyppiin, jossa ei ole vetoa kestäviä liitoksia.	<p>PE-putkiston pää on tuettava aksiaalisella tukilohkolla.</p> <p>Tukilohko mitoitetaan yleensä kestävänsä sisäisen paineen ja lämpötilan maksimimuutoksen vaikutukset. Tukilohkoon kohdistuva voima N (suom. huom. $N_{tuki}=N_p+N_T$) lasketaan seuraavasti:</p> $N_{tuki} = -2 * v * p * \pi * R_i * R_m + \alpha * \Delta T * E * 2 * \pi * R_m * t \quad \text{kN}$ <p>Lämpötilaero ΔT voi olla positiivinen tai negatiivinen. Voima on suurin silloin, kun se on negatiivinen. Lämpötilaero valitaan putkiston käytön mukaan, ja sen on vastattava lämpötilan vaihtelua putkistossa käyttövaiheen ja asennuksen aikana.</p>
C	Kulmat	<p>Kulmat, joiden asteluku on yli 10 astetta, vakautetaan täyttämällä niitä ympäröivä tila tiiviillä kitkamaalla.</p> <p>Maahan on suositeltavaa asentaa enintään 45 asteen kulmia, jotta liikkeistä tulee pieniä.</p> <p><i>Kulman ympäristö täytetään molemmin puolin tiiviisti kitkamaalla matkalla, jonka pituus on $5 \times D_y$ (= ulkohalkaisija).</i></p>

D	T-haarat	<p>Polyeteenisen T-haaran ja haarajohdon ympäristö täytetään tiiviisti kitkamaalla.</p> <p><i>Täytetty kitkamaa tiivistetään haarajohdon ympärille matkalle, jonka pituus on $10 \times D_y$ (haarajohdon ulkohalkaisija) T-haarasta.</i></p> <p><i>Joskus harvoin (esimerkiksi uusi haarajohto liitetään olemassa olevaan putkistoon, jonka putki ja/tai liitokset eivät kestä sivuttaista lisäkuormitusta) haarajohto voi tarvita kuormituksen kevennystoimenpiteitä. Vaadittava toimenpide vaihtelee tapauksittain.</i></p>										
E	Venttiili.	<p>Yleensä PE-putkistoon asennettu venttiili ei tarvitse tuentaa tukilohkolla venttiilin aksiaalisen voiman takia.</p>										
F	Seinän läpivienti	<p>Vesitiivis valettu seinän läpivienti suositellaan toteutettavaksi (teräs)putkella, jotka liitetään PE-putkistoon laippaliitoksella.</p> <p>Seinänläpivienti mitoitetaan ottamalla huomioon aksiaalivoima tapauksen B mukaisesti.</p> <p><i>Liitos seinänläpivientiin on toteutettava niin, että laippaliitoksessa esiintyvät lisätaivutusrasitukset minimoidaan. Näin voidaan tehdä esimerkiksi liittämällä putkisto kohtisuoraan seinään nähden ja varmistamalla, että etäisyys lähimpään yli 10 asteen kulmaan on vähintään yhtä suuri kuin alla olevassa taulukossa ilmoitettu etäisyys (koskee SDR 17- ja PE100-putkia)</i></p> <table border="1" data-bbox="836 1424 1398 1809"> <thead> <tr> <th data-bbox="836 1424 1070 1559">Putkikoko</th> <th data-bbox="1070 1424 1398 1559">Vähimmäisetäisyys seinän ja kulman >10 astetta välillä, m</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="836 1559 1070 1621">DN 110</td> <td data-bbox="1070 1559 1398 1621">0,5</td> </tr> <tr> <td data-bbox="836 1621 1070 1684">DN 200</td> <td data-bbox="1070 1621 1398 1684">0,9</td> </tr> <tr> <td data-bbox="836 1684 1070 1747">DN 400</td> <td data-bbox="1070 1684 1398 1747">1,7</td> </tr> <tr> <td data-bbox="836 1747 1070 1809">DN 630</td> <td data-bbox="1070 1747 1398 1809">2,7</td> </tr> </tbody> </table>	Putkikoko	Vähimmäisetäisyys seinän ja kulman >10 astetta välillä, m	DN 110	0,5	DN 200	0,9	DN 400	1,7	DN 630	2,7
Putkikoko	Vähimmäisetäisyys seinän ja kulman >10 astetta välillä, m											
DN 110	0,5											
DN 200	0,9											
DN 400	1,7											
DN 630	2,7											
G	Halkaisijamuutos (supistus tai laajennus)	<p>PE-putkiston halkaisijamuutosta (supistusta tai laajennusta) ei tarvitse tukea tukilohkolla.</p>										

4.2 Vähimmäisetäisyys maahan asennettuihin herkkiin rakenteisiin

Maahan asennetussa PE-putkistossa vaakasuuntainen maanpaine kasvaa kulmien kohdalla. Maanpaineen voimistuminen rajoittuu kuitenkin kulman välittömään läheisyyteen. Kulmia ei sen vuoksi saa asentaa välittömästi muiden maahan asennettujen rakenteiden lähelle, joita voimistunut vaakasuuntainen maanpaine voi vahingoittaa. Normaalisti voidaan soveltaa turvaetäisyyttä $5 \times D_y$ (ulkohalkaisija). Tällä etäisyydellä kulmasta maanpaineen voimistuminen on mitätön.

Suuri vaakasuuntaisen maanpaine voidaan estää kulman kohdalla peittämällä kulma pehmeällä mineraalivillalevyllä tai vastaavalla. Tämän jälkeen putki on kuitenkin tuettava täyttämällä putken molempien liitospäiden ympäristö hyvin tiivistetyllä kitkamaalla vähintään $10 \times D_y$:n (putken ulkohalkaisija) matkalla lähimmästä kulmasta laskettuna.

Alueilla, joilla on maanvyörymien riski, tai kaltevissa paikoissa, joissa on romahtamisriski, kaltevan kohdan stabiiliuden laskennassa voi olla tarpeen ottaa huomioon lähellä olevasta, kulmien säteellä sijaitsevasta tai kulmia sisältävästä, putkistosta aiheutuva voima.

4.3 Lämpötilan tasaaminen asennuksen aikana

Asennuksen aikaisten voimien ja liikkeiden minimoimiseksi on tavoiteltava, että putkiston lämpötila asennushetkellä on suunnilleen sama kuin maaperän lämpötila kaivannossa. Tämä on erityisen tärkeää viimeisessä liitoksessa, jolla yhdistetään pitkiä putkisto-osuuksia tai, joka tehdään kiinteään tuentaan tukilohkolla. Lämpötilan tasaaminen on tehtävä kuormittamalla putkistoa mahdollisimman vähän. Kaivannon on oltava peitettyä, mutta ei kokonaan täytettynä mahdollisimman pitkältä matkalta liitoksen lähellä, jotta lämpökuormitukset ovat pienet liitoksen kohdalla.

Lähteet

- /1/ Dansk Ingeniørforenings norm: Fordelingsledninger til fjernvarme. 1. painos, heinäkuu 1982. Tanskalainen standardi DS448. Teknisk Forlag, Kööpenhamina, Tanska
- /2/ D Olofsson-J Molin-K Bergendorff, 1982: Friktionsfixerad fjärrvärmeledning. Fältmätningar i Lund. Rapport R84:1982, Byggeforskningsrådet.
- /3/ Förankring av markförlagda tryckledningar, 1979. Julkaisu VAV P41, Svenska Vatten och avloppsverksföreningen.
- /4/ J Molin, 1994: Rapport angående utvärdering av mätningar utförda på FV-ledning DN 300/500 i Lasarettsgatan, Linköping. Hanke nro 92343, VBB VIAK, Malmö, Ruotsi.
- /5/ J Molin-G Bergström, 1996: Direkt markförlagda böjar i fjärrvärmeledningar. Svenska Fjärrvärmeföreningen, hanke nro H3-306.
- /6/ J Molin-G Bergström-S Nilsson-B Jansson, 1997: Beräkning av rörelser för markförlagda kulvertar utan expansionsanordning. Hanke nro 12040032, VBB VIAK, Malmö, Ruotsi

Liite

Selitykset suomennoksessa käytetyille termeille

Lisätaivutusrasitus (tilläggspråkänning)

Lisätaivutusrasitus on osatekijä vetorasituksessa, jonka muut tekijät ovat paineen aiheuttama putken pituussuuntainen rasitus ja lämpötilamuutoksen aiheuttama putken pituussuuntainen rasitus. Lisätaivutusrasituksen kaksi vaihtoehtoista arvoa ovat 1 ja 2 MPa. Niiden valintaperuste on käyttäjän oma valinta.

Hitsauskerroin (svetsfaktor)

Muistiossa mainittu hitsauskerroin on suhdeluku, joka kertoo hitsatun kappaleen pitkäaikaiskestävyydestä verrattuna hitsaamattomaan kappaleeseen. Suhdeluku on materiaalista ja hitsausmenetelmästä riippuvainen. Tyypillinen hyväksytty pitkäaikaiskestävyyden hitsauskerroimen f_t arvo 0.4-0.8. Hitsauskerroimen määrittämisessä käytetään standardin SFS-EN 12814-3 mukaista koemenetelmää ja standardin SFS-EN 12814-8 mukaisia kertoimen minimivaatimuksia.

Muuta

Yhtälössä 12 käytetty k_0 arvot 4-59 MN/m³ löytyvät viite /3/ sivun 70 taulukosta 4.31.2:1. Arvot vastaavat kaivannon toteutustapaa.

Taulukon 5 suositukset kattavat tavanomaiset asennusolosuhteet, joissa kitkamaa on hyvin kantavaa ja kun asennus toteutetaan RIL 77 mukaan.

Alla on muistion taulukon 5 tapaukseen F sisältyvä etäisyysuusitus vakiomittasuhteita SDR 11 ja SDR 17 koskevaksi täydennettynä.

Putkikoko	Vähimmäisetäisyys seinän ja kulman >10 astetta välillä, m SDR 17	Vähimmäisetäisyys seinän ja kulman >10 astetta välillä, m SDR 11
DN 110	0,5	0,5
DN 200	0,9	1,0
DN 400	1,7	2,0
DN 630	2,7	3,2