Suomen Kaukolämpö ry

Kaukolämpöjohtojen toteutettuja ratkaisuja tunneleissa, silloissa ja vesistöalituksissa

Raportti L21/1997

© Suomen Kaukolämpö ry 1997

ISSN 1238-9315

Viite: Sky-kansio 2/6

Kaukolämpöjohtojen toteutettuja ratkaisuja tunneleissa, silloissa ja vesistöalituksissa

Tässä raportissa käsitellään tunneleihin, siltoihin ja vesistöalituksiin sijoitettavien kaukolämpöjohtojen kannakointi-, kiintopiste sekä lämpöliikkeen kompensointiratkaisuja sekä vesistöalitusratkaisujen pääperiaatteita.

Raportti on laadittu toteutettujen ratkaisujen pohjalta.

Raportin on pääasiassa koonnut ins. Eero Rahikka Helsingin Energiasta.

Lämmönjakelutoimikunta:

Puheenjohtaja Risto Vartia, Helsinki
Christer Allén, Porvoo
Kauko V. Heikkinen, Kuopio
Pekka Laaksonen, Hämeenlinna
Rauli Saarela, Turku
Trygve Strandell, Vantaa
Pentti Valta, Lahti
Pekka Viitanen, Tampere
Sihteeri Veli-Pekka Sirola, Suomen Kaukolämpö ry

SUOMEN KAUKOLÄMPÖ RY Raportti L21/1997

KAUKOLÄMPÖJOHTOJEN TOTEUTETTUJA RATKAISUJA TUNNELEISSA, SILLOISSA JA VESISTÖALITUKSISSA

SISÄLTÖ

1 Kannakointi
- 1.1 Yleistä
- 1.2 Liikkeet
- 1.3 Kuormitukset
- 1.4 Pintapaine
- 1.5 Kitka
- 1.6 Kannakointiväli

2 Liukukannakkeet
- 2.1 Yleistä
- 2.2 Siltajohdoissa käytettyjä liukukannakkeita
  - 2.2.1 Malli 1
  - 2.2.2 Malli 2
  - 2.2.3 Malli 3
- 2.3 Tunnelijohdoissa käytettyjä liukukannakkeita
  - 2.3.1 Teräsliukukannake
  - 2.3.2 Villaeristetyn johdon liukukannake
  - 2.3.3 Yhdistetyn villaeristetyn ja kiinnivaahdotetun johdon kannakointi

3 Rullakannakkeet

4 Kiintopisteet
- 4.1 Yleistä
- 4.2 Kiinnivaahdotettu kiintopiste
- 4.3 Pystykuilujen yhdistetty kannatus- ja kiintopiste

5 Lämpölaajeneminen
- 5.1 Yleistä
- 5.2 Luonnollinen kompensointi
- 5.3 Kompensointi aksiaalipaljetasaimilla
- 5.4 Kompensointi niveltasaimilla

6 Hitsaus ja pintakäsittely

7 Lähtökohtia vesistöalituksille
- 7.1 Yleistä
- 7.2 Jääsuojaus
- 7.3 Kiinnivaahdotettu johtorakenne
- 7.4 Pinnoitettu terässuojakuorirakenne
- 7.5 Esijännitetyllä virtausputkella toteutettu rakenne
- 7.6 Kiinnivaahdotettu johtorakenne suojakuoressa

KAUKOLÄMPÖJOHTOJEN TOTEUTETTUJA RATKAISUJA TUNNELEISSA, SILLOISSA JA VESISTÖALITUKSISSA

1
Kannakointi

1.1 Yleistä

Kaukolämpöjohtojen erikoiskannakointeja on pääasiassa tunneli- ja siltajohdoissa. Putkiston kannatuksen tarkoituksena on kuormituksen vastaanottaminen kannatuspisteissä sekä putkiston liikkeiden ohjaus ja heilahdusten vaimentaminen.

Kannakkeet on suunniteltava kestämään kaikki käytön ja rakentamisen aikana tapahtuvat putken liikemuutokset. Kannakkeiden tulee ohjata ja antaa putken liikkeiden tapahtua täysin hallitusti.

1.2 Liikkeet

Jotta kannatus voidaan suunnitella ja mitoittaa oikein on tiedettävä lämpöliikkeiden suunta ja suuruus kannakoitavissa kohdissa. Liikkeet aiheutuvat lämpötilamuutoksista ja paineesta. Liikevara tulee huomioida myös "kylmään suuntaan", esim. suurilla johdoilla painekokeessa linja saattaa lyhetä huomattavan paljon.

1.3 Kuormitukset

Kuormitukset muodostuvat pääosin putken omasta painosta, eristeestä ja vedestä.

Putken liikettä vastustava kitka sekä sisäinen paine on otettava huomioon kannakkeen kuormituksia laskettaessa.

Tuuli- ja mahdolliset muut ulkoiset kuormat tulee myös ottaa huomioon, kuten tunneliosuuksilla mahdollinen ulkopuolisen veden aiheuttama noste.

1.4 Pintapaine

Pintapaineet eivät saa kasvaa liian suuriksi liukupinnoilla, putken eristeessä eikä eristeen suojapinnoilla.

1.5 Kitka

Kannatuskohdassa vastustava kitka on otettava huomioon mitoitettaessa kiintopisteitä ja kannatusrakenteita.

Kitkakertoimina voidaan käyttää seuraavia arvoja:

Liukupinta	Kitkakerroin
Teräs/teräs	$\mu \geq 0{,}5$
Teräs/PE	$\mu \sim 0{,}3...0{,}5$
Teräs/erikoismuovi PTFE	$\mu \sim 0{,}15$
PE/betoni	$\mu \sim 0{,}35$
PE/PE	$\mu \sim 0{,}30$
Maatäyttö	$\mu \sim 0{,}2...0{,}6$

1.6 Kannakointiväli

Kannatusvälin valinta perustuu sallittuun taipuman suuruuteen. Kannatusvälejä voi pidentää, jos sallitaan suurempia taipumia. Jännitykset eivät kuitenkaan saa ylittää putken rakenneaineelle sallittuja arvoja. Kannatusvälejä joudutaan lyhentämään, kun kannatusvälillä on käyrä, tasain tai venttiili.

Useita tukivälejä sisältävää suoraa putkea voidaan lujuusopillisesti pitää jatkuvana palkkina.

Kannatusväli

$$L = \frac{\sqrt[4]{384 \cdot E \cdot I \cdot f}}{q}$$

Jännitys

$$\delta = \frac{q \cdot L^2}{12 \cdot W}$$

L = kannatusväli, mm
E = kimmomoduli, N/mm^2
I = pintahitausmomentti , mm^4
W = taivutusvastus, mm^3
f = taipuma, mm
δ = jännitys, N/mm^2
q = jatkuva kuormitus, N/mm

Kimmomodulin arvot eri lämpötiloissa teräsputkelle:

E(20 °C) = 211 000 N/mm^2
E(120 °C) = 205 000 N/mm^2

Putken suurin sallittu taipuma on 3 mm kokoalueella $\leq$ DN 50 ja 6 mm kokoalueella $\geq$ DN 65.

Suomen Kaukolämpö ry:n suosituksen L1/1984 mukaisille teräsputkille sallitaan seuraavat kannakointivälit:

DN	m		DN	m
150	9,1		600	15,8
200	10,3		700	17,0
250	11,5		800	18,2
300	12,4		900	19,7
400	13,7		1000	20,4
500	14,9			

2
Liukukannakkeet

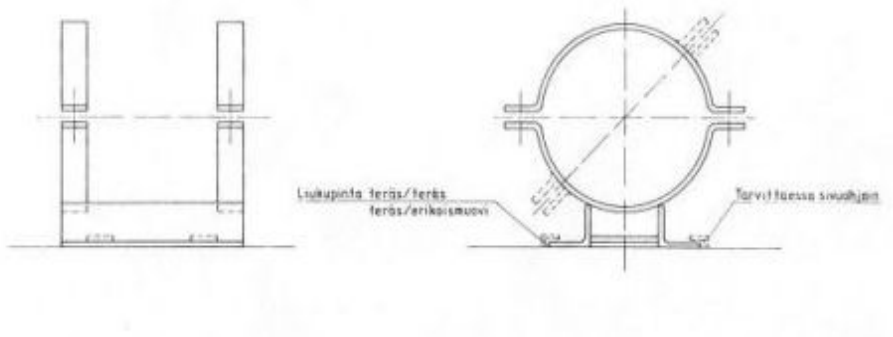
2.1 Yleistä

Liukukannake sallii putkistolle suuret liikkeet. Liukukannatuksessa esiintyvä kitka vaimentaa mahdollisia dynaamisi häiriöitä.

2.2 Siltajohdoissa käytettyjä liukukannakkeita

2.2.1 Malli 1

Kannaketta voidaan soveltaa sekä suojakuoresta että teräsputkesta kannakoinnille. Pienillä johdoilla liukupinnat ovat teräs/teräs, suurilla teräs/erikoismuovi. Kynsiohjaus on yleinen ohjausmuoto, joka estää putkien sivusuuntaiset liikkeet, kallistelut ja kohoilut.

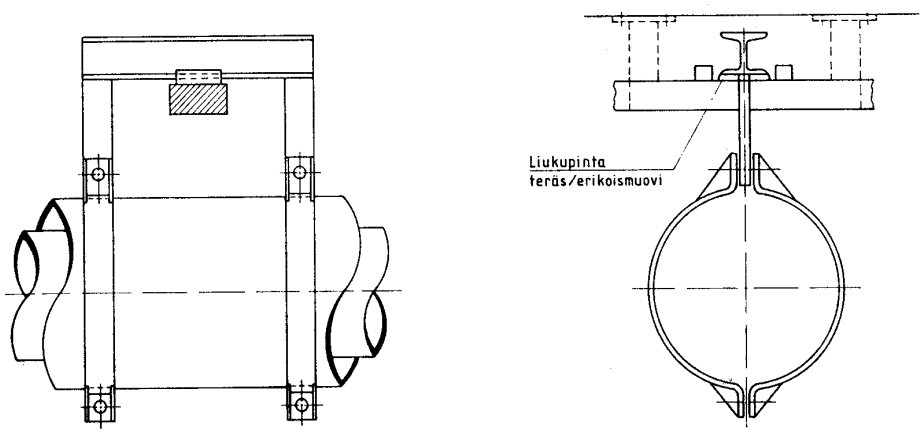


Kuva 1. Siltajohdon liukukannake, malli 1

Sovellettu seuraavissa kohteissa	DN	Sillan pituus, m	Kannake-väli, m	Pintapaine, kp/cm^2
Jyväskylä, Ylistön silta	150	192	6	1,85
Jyväskylä, Jyväsjärven silta	400	480	6	8,91
Hämeenlinna, Hopeasalmen silta	500	175	9	68,75
Helsinki, Lapinlahden silta	500	582	4	

2.2.2 Malli 2

Kannaketta voidaan käyttää suojakuoresta kannakointiin. Kannake kiinnitetään sillan kanteen tai siltapalkkien yli.

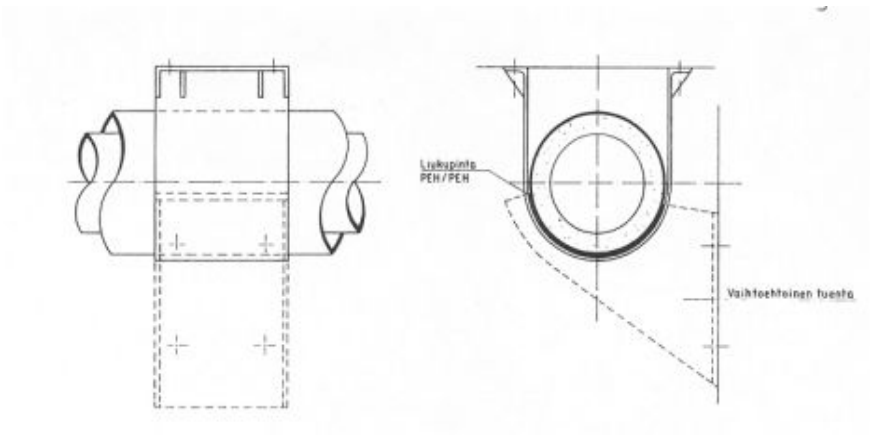


Kuva 2. Siltajohdon liukukannake, malli 2

Sovellettu seuraavissa kohteissa	DN	Sillan pituus, m	Kannake-väli, m	Pintapaine, kp/cm^2
Jyväskylä, Pekkalan silta	600	440	9,6	17,1
Tampere, Hallilan silta	600	105	3	17

2.2.3 Malli 3

Kannake soveltuu suojakuoresta kannakointiin ja vaatii sileän suojakuoren tai liukupinnan. Soveltuu hyvin uudisrakennussiltoihin, joissa johto on mukana jo sillan suunnitteluvaiheessa. Kannakkeen tuenta toteutetaan joko riippuvana tai alapuolisena kannatuksena.



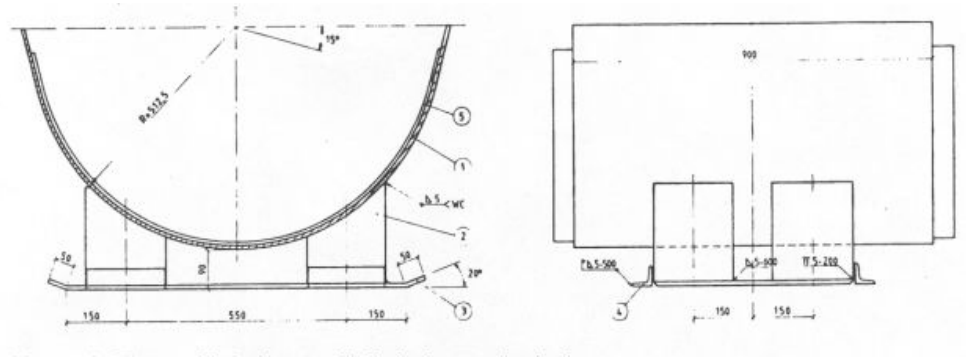
Kuva 3. Siltajohdon liukukannake, malli 3

Sovellettu seuraavissa kohteissa	DN	Sillan pituus, m	Kannake-väli, m	Pintapaine, kp/cm^2
Helsinki, Vuosaaren silta	600	420	13	1,1
Helsinki, Naurissalmen silta	600	70	12	1,21
Helsinki, Kotinummentien silta	500	175	12	1,04

2.3 Tunnelijohdoissa käytettyjä liukukannakkeita

2.3.1 Teräsliukukannake

Teräsliukukannakkeita on käytetty johdoilla DN 500...800 ja kohdissa, joissa liikettä muodostuu useampaan suuntaan. Kannake suunnitellaan siten, että suurempi liike pääsee liukumaan "kehdossa". Kannakkeen jalkojen alle voidaan asentaa teräslevy, minkä varassa liike pääsee tapahtumaan sivusuunnassa.

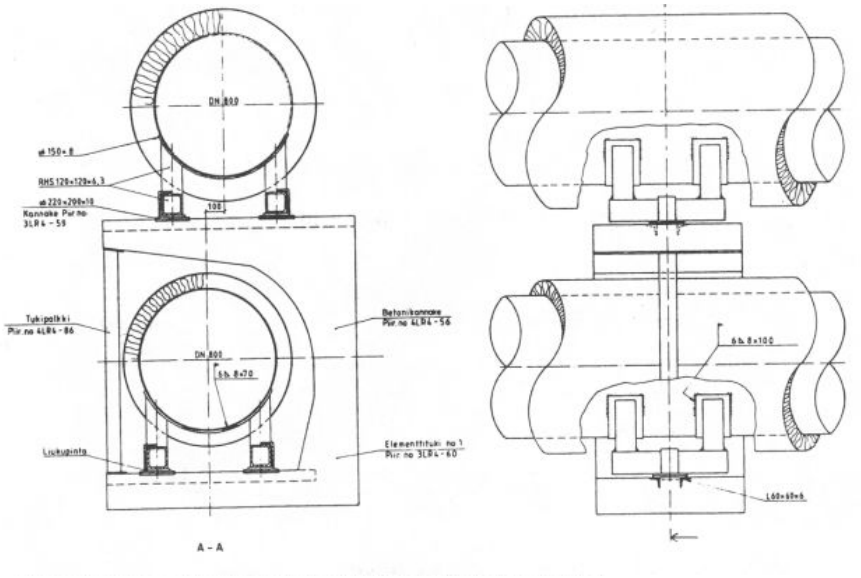


Kuva 4. Tunnelijohdon teräsliukukannakointi

Kannaketta on sovellettu useassa Helsingin Energian tunnelissa.

2.3.2 Villaeristetyn johdon liukukannake

Liukukannakoitaessa mineraalivillaeristeisiä johtoja tulee huomioida putkesta kannakkeeseen johtuva lämpö, liukupintojen korroosionkesto, kosteuden vaikutus sekä pintapaine. Kuvassa on DN 800 johdon kannake. Liukupinta on PTFE/norton-erikoisteflon ja vastapintana ruostumaton teräs. Teflonlevy on valumisen estämiseksi koteloitu. Näin pintapaineen kesto on saatu huomattavasti suuremmaksi.



Kuva 5. Villaeristetyn tunnelijohdon liukukannakointi

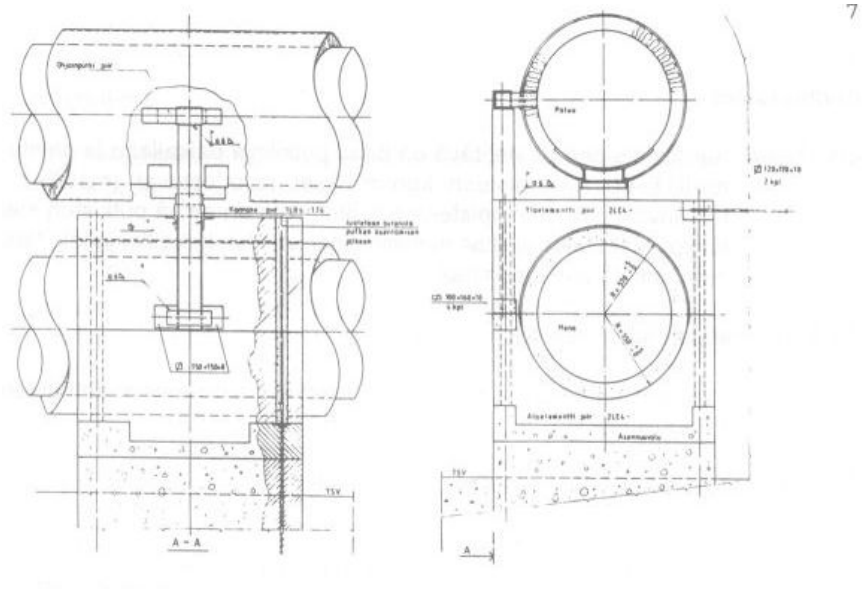
Kannakointia on käytetty Helsingin Energian Vuosaari-Pasila tunnelissa välillä Lassila-Metsälä DN 800 (n. 2,7 km).

2.3.3 Yhdistetyn villaeristetyn ja kiinnivaahdotetun johdon kannakointi

Alempi putki on kiinnivaahdotettu putkielementti ja kannakointi PEH/Betoni säädettävä kannake. Ylempi putki on mineraalivillaeristeinen ja liukupinnat ovat teflon PTFE/norton ja ruostumaton teräs.

Ratkaisua sovelletaan Helsingin Energian Vuosaari-Pasila tunnelissa välillä Pasila - Junatie DN 900 johdossa n. 2,5 km sekä Vuosaari - Metsälä välisellä DN 1000 osuudella toista DN 1000 johtoa asennettaessa.

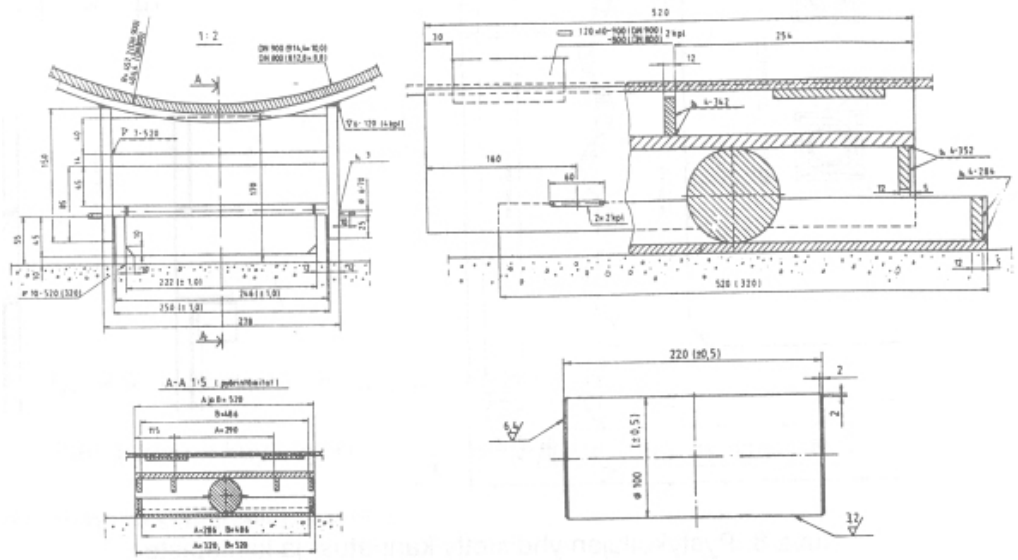
HKE/Vuosaari-Pasila tunnelissa on välillä Vuosaari - Metsälä DN 1000 (n. 14,7 km) ja välillä Metsälä - Pasila DN 900 (n. 2,5 km) on käytetty pelkästään kiinnivaahdotettua ratkaisua ja sijoitettu putket tunnelin eri puolille.



Kuva 6. Yhdistetyn villaeristetyn ja kiinnivaahdotetun tunnelijohdon liukukannakointi

3
Rullakannakkeet

Teräsrullakannakkeita on käytetty DN 500...900 johdoilla ja pitkillä tasausväleillä joko niveltasaimien tai luonnollisen kompensoinnin yhteydessä. Rullakannakkeet ovat teknisiltä ratkaisuiltaan monimutkaisempia kuin liukukannakkeet, ja ne vaativat suurempaa asennustarkkuutta. Rullakannakkeita on käytetty kannakoitaessa mineraalivillaeristeisiä tunnelijohtoja.



Kuva 7. Rullakannake

4
Kiintopisteet

4.1 Yleistä

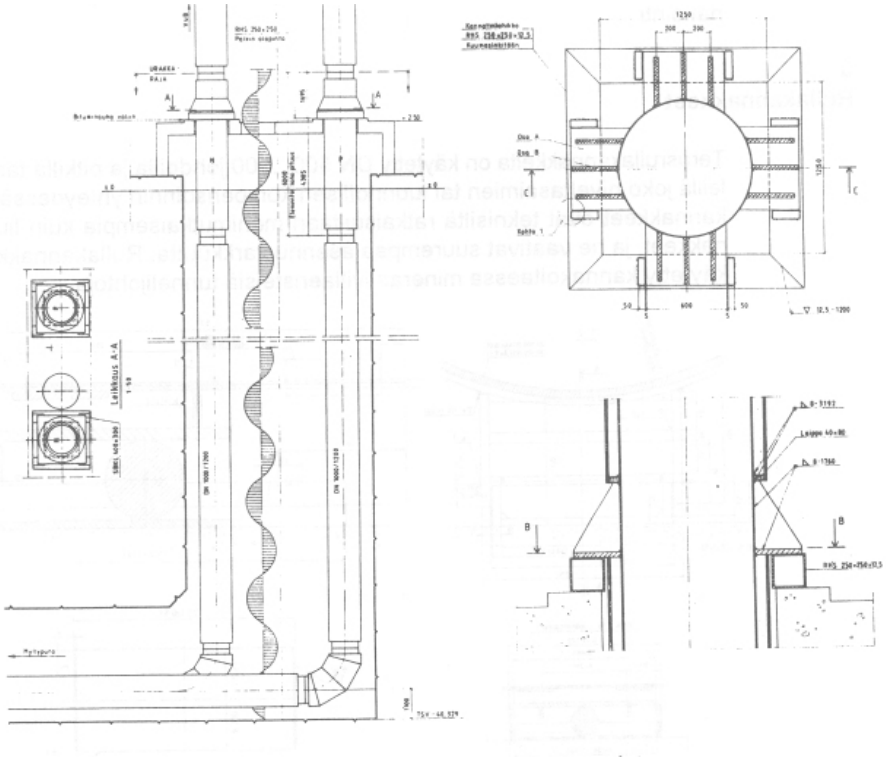
Kiintopisteiden päätehtävä on pitää putkilinja paikallaan ja ohjata laajentumisliikkeet. Kiintopisteen kuormitukset muodostuvat (massa-), kitka- ja tasainvoimista. Kiintopisteiden lisätoiminto on estää putkiston kiertyminen. Kiintopisteet tulisi sijoittaa tunnelin taitepisteiden kohdille, jolloin lämpöliikkeiden hallinta on helpompaa.

4.2 Kiinnivaahdotettu kiintopiste

Nykyisin tunneleissa on käytetty normaaleja kiinnivaahdotettujen johtojen kiintopisteitä.

4.3 Pystykuilujen yhdistetty kannatus- ja kiintopiste

Pystykuilujen yhdistetyssä kannatus- ja kiintopisteessä johdon ylöspäin suuntautuvat liikkeet estyvät putken ja veden painosta.



Kuva 8. Pystykuilujen yhdistetty kannatus- ja kiintopiste

Ratkaisuja on sovellettu Helsingin Energian tunneleissa.

5
Lämpölaajeneminen

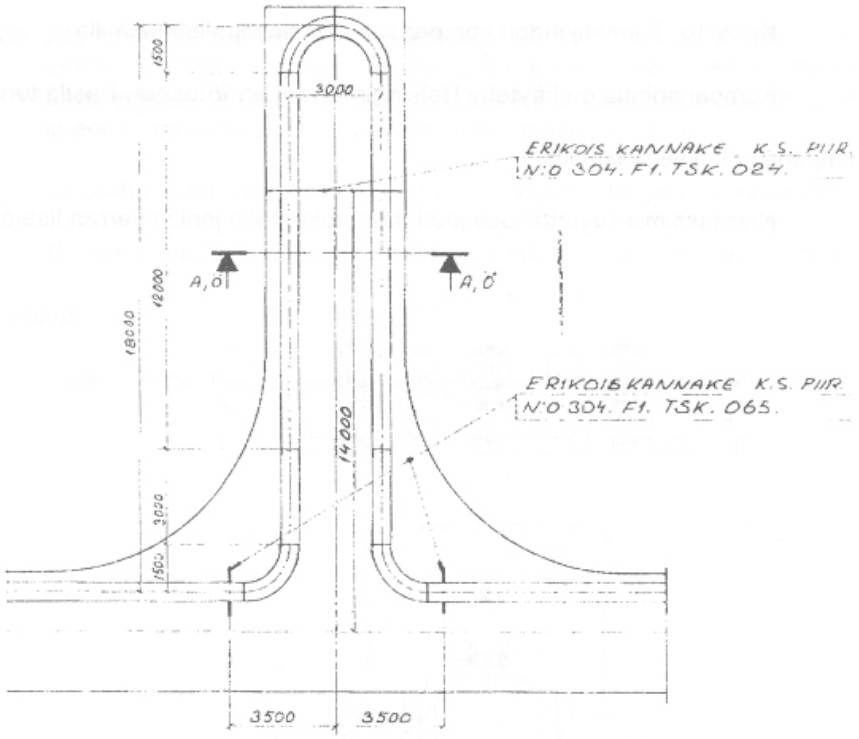
5.1 Yleistä

Tunnelijohtojen lämpölaajenemisen kompensoinnissa käytetään luonnollista ja/tai tasainkompensointia.

5.2 Luonnollinen kompensointi

Luonnollista kompensointia pyritään käyttämään hyväksi aina, kun se vain on mahdollista (mm. pystykuilut kts. pystykuilujen yhdistetty kannatus- ja kiintopiste s. 8).

Käytettäessä luonnollista kompensointia kokonaisratkaisuna joudutaan putkille louhimaan erillinen tila.

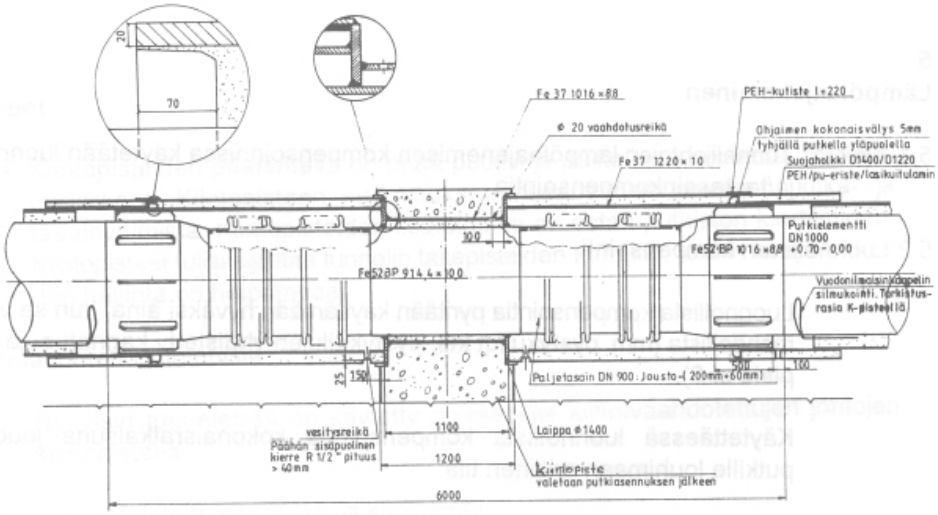


Kuva 9. Tunnelijohdon luonnollinen kompensointi

Ratkaisua on käytetty Turun Seudun Kaukolämpö Oy:ssä (DN 600).

5.3 Kompensointi aksiaalipaljetasaimilla

Hoidettaessa lämpöliikkeet aksiaalipaljetasaimilla ei erillisiä tilalouhintoja jouduta suorittamaan.

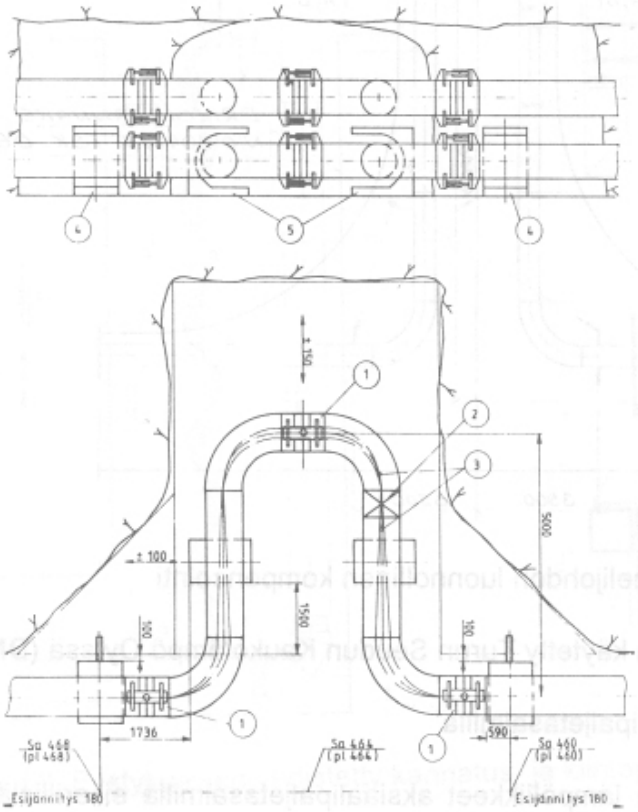


Kuva 10. Tunnelijohdon kompensointi aksiaalipaljetasaimilla

Kompensointia on käytetty Helsingin Energian Vuosaari-Pasila tunnelissa.

5.4 Kompensointi niveltasaimilla

Niveltasaimia käytettäessä joudutaan tekemään jonkin verran lisälouhintoja.



Kuva 11. Tunnelijohdon kompensointi niveltasaimilla

6
Hitsaus ja pintakäsittely

Hitsattaville kannatusrakenteille voidaan sallia standardin SFS 3393 tarkkuusluokan B mukaiset mittapoikkeamat. Hitsausliitoksissa voidaan edellyttää standardin SFS-EN 25817 hitsausluokan C mukaista laatua.

Kuumasinkitys on suositeltavin pintakäsittely kannatusosille. Kannatusosien muotoilussa ja pinnan laadussa on otettava huomioon, että se voidaan kuumasinkitä, korroosioestomaalata tai suorittaa sekä sinkitys että maalaus.

Kiintopisteiden laipat tulisi maalata.

7
Lähtökohtia vesistöalituksille

7.1 Yleistä

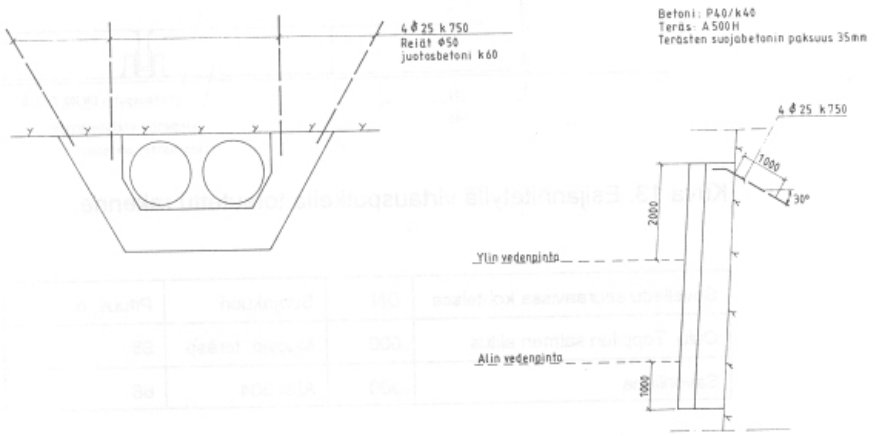
Jos alitetaan yleinen laivaväylä vesilain 2. luvun 2 § edellyttää, että hankkeelle on hankittava vesioikeuden lupa. Koska lupamenettely yleensä vie aikaa voidaan vesioikeudelta anoa lupa saada aloittaa johdon rakentaminen jo ennen vesioikeuden päätöksen lainvoimaiseksi tuloa.

Johtoyhteys tulisi rakentaa niin, ettei vesiväylän leveys eikä syvyys pienene.

Upotettavalla osuudella joudutaan yleensä tekemään pohjan luotaus.

7.2 Jääsuojaus

Vedestä nousevat johtorakenteet on suojattava jäiden vaikutukselta.



Kuva 12. Jääsuojaus

7.3 Kiinnivaahdotettu johtorakenne

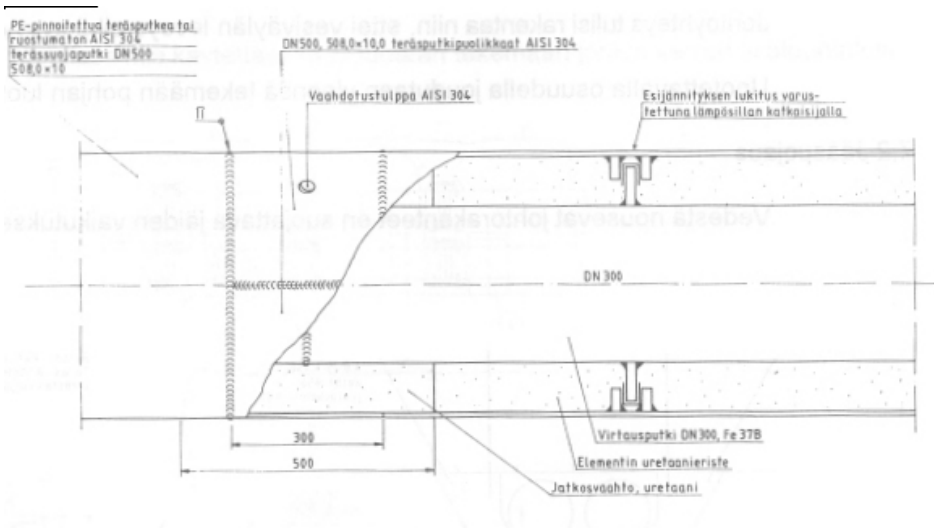
Kiinnivaahdotettuja elementtejä käytettäessä tulee kiinnittää erityistä huomiota suojakuoren vahvuuteen, jatkosten tekoon esim. hitsaamalla ja riittävään painoitukseen. Johto varustetaan kosteudenvalvontajärjestelmällä.

7.4 Pinnoitettu terässuojakuorirakenne

Pinnoitetun terässuojakuoren sisään sijoitetaan vapaasti liikkuva putkielementti. Suojakuoren saumat tehdään hitsaamalla ja erikoisksitellään. Rakenne soveltuu vain pienille lämpöliikkeille. Painoitus tehdään betonilla ja/tai vedellä. Rakenne on mahdollista nostaa ylös myöhempää tarkastusta ja korjausta varten ja se voidaan varustaa kosteudenvalvontajärjestelmällä ja katodisuojauksella.

7.5 Esijännitetyllä virtausputkella toteutettu rakenne

Rakenne varustetaan esijännitetyllä virtausputkella, joka lukitaan suojaputkeen. Suojaputki on joko Rst:tä tai PE-pinnoitettua terästä. Rakenne voidaan varustaa kosteudenvalvontajärjästelmällä ja katodisuojauksella.

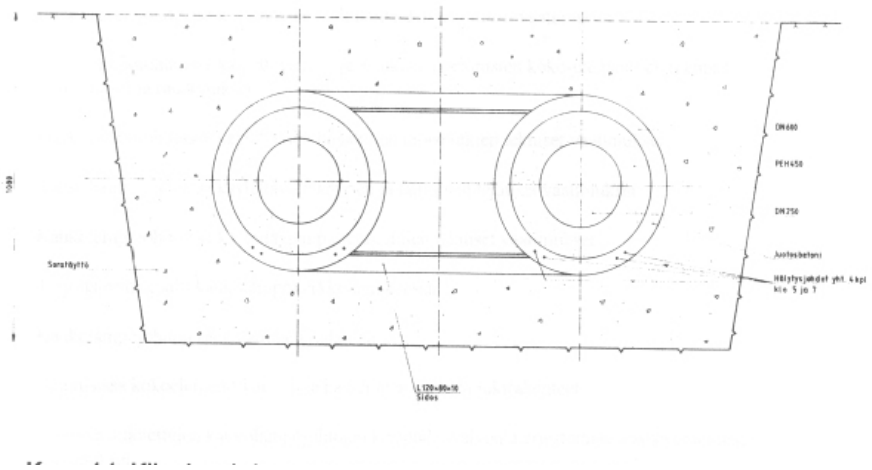


Kuva 13. Esijännitetyllä virtausputkella toteutettu rakenne

Sovellettu seuraavissa kohteissa	DN	Suojakuori	Pituus, m
Oulu, Toppilan salmen alitus	600	Muovip. teräsp.	98
Savonlinna	300	AISI 304	66

7.6 Kiinnivaahdotettu johtorakenne suojakuoressa

Kiinnivaahdotettu elementti asennetaan terässuojaputken sisälle. Suojakuoren saumat tehdään hitsaamalla. Suojakuorena on teräsputki tai PE-pinnoitettu teräsputki. Suojakuoren ja elementin väli täytetään juotosbetonilla. Meno- ja paluujohto voidaan tarvittaessa sitoa suojakuorista toisiinsa. Rakenteeseen voidaan varata tilat esim. sähkökaapeleille tms. ja varustaa se hälytyslangoilla.



Kuva 14. Kiinnivaahdotettu johtorakenne suojakuoressa

Tällaista erikoisratkaisua on käytetty Helsingin Energian Hevossalmen alituksessa.