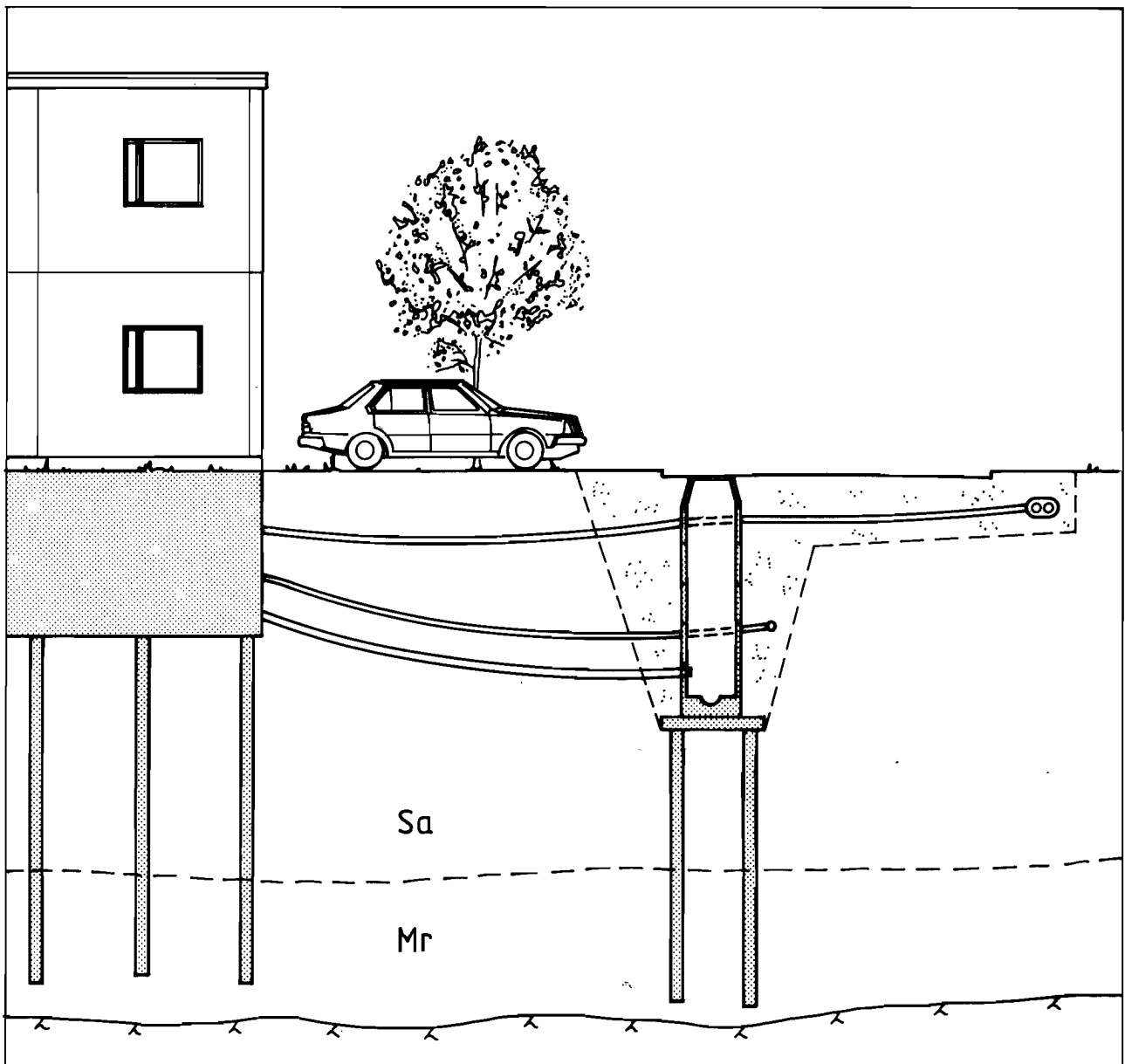




Jaakko Korpela
Mikael Schüller

JÄYKKIEN LIITOSJOHTOJEN POHJARA- KENNESELVITYS (JÄLI-SELVITYS)

Jaakko Korpela, Mikael Schüller

JÄYKKIEN LIITOSJOHTOJEN POHJARAKENNESELVITYS
(JÄLI-SELVITYS)

Geoteknisen osaston tiedote 40

ALKUSANAT

Jäykkien liitosjohtojen pohjarakenneselvitys on toteutettu Helsingin kaupungin laitosten välisenä yhteistyöprojektina. Projektiin ovat osallistuneet rakennusviraston katuosasto, energialaitoksen kaukolämpöosasto, vesi- ja viemärilaitos sekä kiinteistöviraston geotekninen osasto. Asiantuntijana on toiminut VTT/geotekniikan laboratorio.

Selvitystyö sai alkunsa liitosjohtojen toimivuudessa havaituista ongelmista. Projektin tarkoituksena oli selvittää miten erilaiset liitosjohdot erilaisissa olosuhteissa olisi perustettava, jotta kyseiset johdot toimisivat jatkuvasti riittävän hyvin.

Selvityksessä on esitetty tämänhetkinen tietämys jäykkien liitosjohtojen rakentamistekniikasta Helsingin kaupungilla. Aineistoa ei kuitenkaan pidetty vielä riittävän laajana tarkempien ohjeiden laatimiseksi tämän selvityksen perusteella.

Jäli-selvitys antaa perustan alan jatkotutkimukselle ja ohjeitustyölle, jonka odotetaan käynnistyvän tämän työn jälkeen.

Jäli-selvityksen aineisto julkaistaan johtoryhmän päätöksen mukaisesti geoteknisen osaston tiedotteena.

Helsingissä 7.11.1984



Usko Anttikoski
osastopäällikkö

TIIVISTELMÄ

Tämän selvityksen yhteydessä suoritettujen vauriotarkastelujen perusteella on putkivaurioiden todettu keskittyvän pehmeikkö-alueille. Vaurioiden yleisin syy on pehmeikköalueiden rakentamisen seurauksena tapahtuvat konsolidaatiopainumat. Putki-perustan painumaerojen ollessa suuret ei putken tukireaktio ole tasaisesti jakautunut. Tällöin vaarallisinta kuormitus-tapausta edustavat tilanteet, joissa putkea tarkastellaan päistään tuettuna palkkina tai ulokkeena.

Tarkastelun pohjalta on määritetty valurautaisten vesijohto-putkien sekä painumattomaan rakenteeseen liittyvien betoni-viemäriputkien ohjeelliset pituudet eri kuormitustilanteissa. Vesi- ja viemärijohtojen geoteknistä mitoittamista varten on kartoituksessa käsitelty myös putkien sallimaa maan painumaa, putkien kestävyys sekä viemärin huuhtoutumisen kannalta. Vesijohto- ja viemäriverkon liitosjohtojen perustusrakenteiden mitoituksen periaatetta on myös esitelty.

Kirjoituksessa on edelleen selvitetty kaukolämpöjohtojen pohjarakennussuunnittelun perusteita yleisesti. Tähän on oleellisesti liittynyt johtorakenteiden asettamien vaatimusten selvittäminen kaukolämpöjohtorakenteiden rakenteellisen kestävyys sekä eri johtotyypeille asetettujen toimivuusvaatimusten pohjalta. Selvityksessä on ilmennyt, että kaukolämpöjohtojen kestävyys geotekniikan kannalta on tutkimatta. Kaukolämpöjohtorakenteille asetettujen vaatimusten pohjalta on esitetty eri pohjasuhteisiin soveltuvia perustamisratkaisuja. Perustusrakenteiden aiheuttamia kustannuksia on verrattu nykyisen rakentamiskäytännön aiheuttamiin kustannuksiin.

Kirjoituksessa on myös esitetty vesi- ja viemärijohtojen sekä kaukolämpöjohtojen suunnittelun ja rakentamisen kehittämiseksi tarvittavat tutkimukset ja toimenpiteet.

SISÄLLYSLUETTELO

ALKUSANAT

TIIVISTELMÄ

1.	PROJEKTIN TAVOITTEET JA TOTEUTUS.....	1
1.1	Tausta ja tavoitteet.....	1
1.2	Projektin toiminnallinen kulku.....	1
2.	VESI- JA VIEMÄRIJOHDOT.....	4
2.1	Johdanto.....	4
2.2	Tonttijohtojen nykyinen suunnittelu ja rakentamiskäytäntö Helsingissä.....	5
2.3	Tonttijohtojen vauriokartoitus.....	7
2.31	Maan painuminen.....	7
2.32	Tonttivesijohdot.....	9
2.33	Tonttivilmärit.....	13
2.4	Vauriolaskelmat.....	15
2.41	Laskelmien lähtökohta.....	15
2.42	Vauriolaskelmiin liittyvä teoria.....	15
2.421	Putkeen kohdistuva kuormitus.....	15
2.422	Putken aksiaaliset rasitukset.....	16
2.43	Putkimateriaalien lujuusominaisuudet.....	17
2.431	Valurauta.....	17
2.432	Kupari.....	18
2.433	Betoni.....	20
2.434	Muovit (PEL, PEH ja PVC).....	20
2.44	Tonttivesijohtojen vauriot.....	23
2.441	Valurautaputkien vauriolaskelmat.....	23
2.442	Kupariputkien vauriotarkastelu.....	28
2.443	Muoviputkien vauriotarkastelu.....	29
2.45	Tonttivilmäreiden vauriot.....	30
2.451	Betoniputkien vauriolaskelmat.....	30
2.452	Muovivilmärit.....	34
2.5	Putkiperustalle asetettavat vaatimukset.....	35
2.51	Taipuisan putken muodonmuutokseen liittyvä teoria.....	35
2.52	Muovivilmäreiden vaatima ympäristäytön tiiveys.....	37

- IV -

2.53	Tonttivesijohtojen sallima maan painuma..	40
2.531	Valurauta.....	40
2.532	Muovi.....	43
2.533	Kupari.....	48
2.54	Tonttivilmärin sallima maan painuma huuh- toutumisen kannalta.....	50
2.55	Viemäriputken sallima tonttivilmärin pai- numa.....	54
2.551	Betoniputket.....	54
2.552	Muoviputket.....	55
2.56	Siirtymärakenteille asetettavat vaatimuk- set.....	57
2.6	Tonttivesijohtojen ja viemäreiden perustamis- ratkaisut.....	61
2.61	Tarkastelun lähtökohdat.....	61
2.62	Viettoivilmärit.....	61
2.621	Perustusrakenteiden yleiset vaatimukset..	61
2.622	Betoniputket.....	64
2.623	Muoviputket.....	66
2.63	Vesijohdot.....	72
2.631	Valurautaputket.....	72
2.632	Muoviputket.....	73
2.633	Kupariputket.....	75
2.7	Tonttijohdotja koskevia näkökohtia.....	76
	Kirjallisuusluettelo lukuun 2	81
	Merkinnät lukuun 2.....	83
	Liitteet lukuun 2.....	84
3.	KAUKOLÄMPÖJOHDOT.....	86
3.1	Johdanto.....	86
3.2	Helsingin kaukolämpöverkon liittymisjohtojen nykyiset suunnitteluperusteet ja rakentamis- käytäntö.....	88
3.21	Putkirakenteet.....	88
3.211	Kaukolämpöverkon rakenne.....	88
3.212	Suojaputkirakenne.....	88
3.213	Kiinnivaahdotettu johtoelementtirakenne..	88
3.214	Putkirakenteen valinta.....	91
3.22	Johtorakenteen toiminnallinen suunnittelu	91
3.221	Johdon kaltevuus.....	91

3.222	Lämpölaajeneminen.....	92
3.223	Huolto ja valvonta.....	96
3.23	Kuormat.....	97
3.24	Maarakennustyöt.....	98
3.3	Vaurioselvitykset.....	102
3.31	Vauriotapausten kartoitus.....	102
3.311	Vaurioiden määrät.....	102
3.312	Vaurioituneiden johtojen ikä.....	106
3.313	Vaurioiden jakautuminen pohjasuhteiden mukaan.....	109
3.314	Vaurioiden syyt ja niiden laatu.....	111
3.32	Suoritettut tutkimukset.....	113
3.321	Tutkimuskohteet.....	113
3.322	Pohjatutkimukset.....	113
3.33	Tutkimustulosten käsittely ja analysointi	114
3.331	Painumien laskenta.....	114
3.332	Vesalantie.....	119
3.333	Niitynperäntie.....	126
3.334	Tyynelänkuja.....	132
3.335	Johtopäätökset vaurioiden syistä.....	142
3.4	Ehdotus kaukolämpöjohtojen geotekniselle suunnittelulle.....	146
3.41	Pohjatutkimukset.....	146
3.42	Putkirakenteen asettamat vaatimukset...	146
3.421	Teräsputken sallima maan painuma.....	146
3.422	Eristerakenteen kestävyys.....	150
3.423	Kaukolämpörakenteen jatkokset.....	152
3.424	Rakenteiden toiminnalliset vaatimukset	155
3.43	Perustamistaparatkaisut.....	156
3.431	Pohjarakenteille asetettavat yleiset vaatimukset.....	156
3.432	Muiden johtorakenteiden perustamismene- telmien huomioon ottaminen.....	156
3.433	Perustaminen maan varaan.....	156
3.434	Massanvaihto.....	157
3.435	Perustaminen vahvistetulle maapohjalle	158
3.436	Paaluperustus.....	164
3.44	Perustamistaparatkaisujen taloudellisuus	166

3.5	Esimerkkiratkaisut.....	170
3.51	Vesalantie.....	170
3.52	Niitynperäntie.....	170
3.53	Tyynelänkuja.....	171
3.6	Näkökohtia kaukolämpöjohtojen suunnittelusta sekä töiden valvonnan tarpeesta.....	173
	Kirjallisuusluettelo lukuun 3.....	176
	Merkinnät lukuun 3.....	180
	Liitteet lukuun 3.....	182
4.	JOHDOT YHTEISKAIVANNOSSA.....	187
5.	JOHTOPÄÄTÖKSET JA KEHITTÄMISTARPEET.....	188

1. PROJEKTIN TAVOITTEET JA TOTEUTUS

1.1 Tausta ja tavoitteet

Jäykkiä liittymisjohtoja (tonttijohtoja) käsittelevä tutkimusprojekti (JÄLI) sai alkunsa kyseisten johtojen toimivuudessa havaituista ongelmista. Projektin tarkoituksena oli selvittää miten erilaiset liittymisjohdot erilaisissa olosuhteissa olisi perustettava, jotta ko. johdot toimisivat jatkuvasti teknis-taloudellisesti tarkoituksenmukaisesti. Tämän selvityksen pohjalta oli edelleen tarkoituksena tehdä kaupunkia varten tonteille asennettavien vesi-, viemäri- ja kaukolämpöjohtojen perustamis- ja asennusohjeet.

1.2 Projektin toiminnallinen kulku

Organisaatio:

Projekti merkittiin kaupungin tutkimusohjelmaan suoritettavaksi vuosien 1982-1984 aikana. Projektiin osallistuneet laitokset olivat: vesilaitos (1.1.1984 alkaen vesi- ja viemärilaitos), rakennusviraston katuosasto, energialaitoksen kaukolämpöosasto sekä kiinteistöviraston geotekninen osasto. Projektin johtoryhmä koottiin syksyllä 1982 ja johtoryhmän jäsenet olivat DI Matti Loikala/HKR (puh.joht.), DI Erkki Karjalainen/HKR (siht.), DI Erkki Käenmäki/HKVV, ins. Seppo Vaahtola/HKE ja DI Pentti Lahtinen/GEO. Pentti Lahtinen siirtyi VTT:lle projektin aikana säilyttäen paikkansa projektin johtoryhmässä. Geoteknisen osaston edustajaksi tuli tällöin ins. Seppo Paananen.

Projektityötä suorittamaan palkattiin keväällä 1983 tekniikan ylioppilaat Jaakko Korpela ja Mikael Schüller. Projektityö suoritettiin yleisellä tasolla johtoryhmän ja tarkentuneella tasolla johtoryhmän jäsenistä kootun työryhmän ohjauksessa. Työryhmään kuuluneet johtoryhmän jäsenet olivat Erkki Karjalainen, Pentti Lahtinen sekä Seppo Paananen. Työryhmä sai kaupungin organisaation puitteissa asiantuntijapua tutkija Tapio Öhmanilta (HKE).

Tutkimuksen rahoitus:

Projektin rahoittamiseksi anottiin keväällä 1983 kaupungin-
hallitukselta määrärahaa, jota ei kuitenkaan saatu. Tällöin
kustannukset jaettiin siten, että toisen projektiin palkatun
työntekijän palkka maksettiin Kv/Geon rahoista ja toisen
palkan Kv/Geo laskutti HKR:ltä, HKVV:ltä ja HKE:ltä tasa-
puolisesti. Kaukolämpöjohtojen vaurioselvitykseen liitty-
vien pohjatutkimusten kustannukset maksoi HKE.

Aikataulu:

Ensimmäinen johtoryhmän kokous oli 23.9.1982. Johtoryhmä
ehti kokoontua 5 kertaa ennen projektityöntekijöiden tuloa
ja kyseisenä aikana johtoryhmä olo muiden tehtäviensä lisäksi
tehnyt johtojen rakentamiseen liittyvän prosessiselvityksen.
Alla olevasta aikataulusta ilmenee projektin kulku em. ajan-
jakson jälkeen.

Jäli-projektin aikataulu

1983												1984												1985			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4

Kartoitus

Kirjallisuusselvitys

Vauriotapausten
kartoitus

Määstomittaukset

Vaurioanalyysit

Selvityksen
laatiminenSelvityksen
informointiJatko-
toimen-
piteet

Projektityön toteutus:

Projektityö jaettiin aluksi putkitekniiseen ja geotekniseen
osaan. Tätä jakoa muutettiin jo työn alkuvaiheessa siten,
että geotekniseen osaan liitettiin myös kaukolämpöjohtojen
putkitekniinen selvitys. Tähän muutokseen vaikutti ensisijai-
sesti se, että projektin geoteknisen osan suorittajalla oli

aiempaa kokemusta kaukolämpöjohtojen rakentamisesta. Projektityön yhteydessä valmistui kaksi diplomityötä, jotka muodostavat osan tämän raportin lähdeaineistosta. Diplomitöiden aiheet olivat:

J. Korpela: "Kuormitustarkasteluun pohjautuva selvitys tonttijohtojen vaurioista ja epätyydyttävästä toiminnasta."

M. Schüller: "Kaukolämmön liittymisjohtojen geoteknisen suunnittelun perusteet."

Projektityön valvomiseksi johtoryhmä kokoontui 13 kertaa ja työn ohjaamiseksi pidettiin useita työryhmäpalavereita. Projektiin liittyvät tärkeimmät tapahtumat olivat seuraavat:

- Tutustuminen kunnallisteknisten putkistojen rakentamistekniikkaan Tukholmassa 28.11.1983. (Osanottajat: Lahtinen, Karjalainen, Öhman, Korpela ja Schüller.)
- Kaukolämpöputkien valmistajille järjestetty informaatio-tilaisuus 23.3.1984.
- Muoviputkien valmistajille järjestetty informaatiotilaisuus 12.6.1984.

2. VESI- JA VIEMÄRIJOHDOT

2.1 Johdanto

Helsingissä on rakentamisen painopiste siirtynyt maaperäolosuhteiltaan heikosti kantaville alueille. Pehmeikköalueilla latvaviemärit ja jakelujohdot rakennetaan yleensä samalle, pohjavahvistusta vaativalle putkiperustalle. Tällöin syntyy usein tilanne, jossa maanvaraisesti tai hiekka- tai sora-arinan varaan perustetut tonttijohdot liittyvät molemmista päistään eri tavalla painuviin rakenteisiin. Lisäksi saattaa myös pitkin putkilinjaa esiintyä painumaeroja. Suunnittelun kannalta ei putkien kestävyysistä kyseisissä olosuhteissa ole riittävästi tietoa. Tämän työn tarkoituksena on vauriokartoitusten sekä kuormituslaskelmien perusteella selvittää ne vaatimukset, mitä tonttijohdot asettavat putkiperustalle edellä mainitun putken kestävyys- ja viemärin toimivuuden kannalta. Lisäksi selvitetään, voidaanko näihin vaatimuksiin vaikuttaa asennusteknillisin keinoin.

Kirjoituksessa käsitellään myös esimerkinomaisesti muutamia perustamisratkaisuja.

2.2 Tonttijohtojen nykyinen suunnittelu ja rakentamiskäytäntö Helsingissä

Omistussuhteiltaan tonttijohtot kuuluvat Helsingissä kiinteistöille. Mainittakoon, että tonttivilmäreiden osalta tilanne vaihtelee muissa kaupungeissa ja kunnissa sikäli, että tonttivilmäri voi kuulua kokonaisuudessaan tai tontin rajalle tehtyyn tarkastuskaivoon saakka yleiseen vilmäriverkköön.

Helsingissä tonttijohtojen kanavan kaivu- ja täyttötyöstä sekä tonttivilmärin asentamisesta huolehtii kiinteistön omistaja. Vesi- ja vilmärilaitoksen toimesta liitetään tonttivilmäri katuviemäriin sekä asennetaan tonttivesijohto vesimittariin saakka. Tonttivilmärin kunnossapidosta vastaa kiinteistön omistaja. Tonttivesijohdon kunnossapidosta huolehtii vesi- ja vilmärilaitos kiinteistön omistajan kustannuksella.

Vesi- ja vilmärilaitoksella suoritettavan LVI-suunnitelmien tarkastuksen piiriin ei sisälly tonttijohtojen perustamistapasuunnitelma eikä tällaista suunnitelmaa ole edellytetty esitettäväksi LVI-suunnitelmissa. Tonttijohtojen rakentamisvaiheessa laitoksen asennustarkastajat sekä putkimestarit antavat kuitenkin paikan päällä kaivantotyötä koskevien ohjeiden lisäksi myös ohjeita putkien perustamisesta. Nämä perustamista koskevat ohjeet pohjautuvat alalta saatuun kokemukseen sekä paikan päällä tehtäviin havaintoihin. Maaperätutkimukseen perustuvien suunnitelmien puuttumisesta johtuen voidaan kuitenkin todeta, että tonttijohtoja on pehmeikköalueilla perustettu varsin keveiden perustusten varaan (hiekk- ja sora-arinat). Asianmukaisesti suunnitelmiin pohjautuen on pohjanvahvistukseen tai paalutukseen turvauduttu pehmeikköalueille rakennettujen tonttijohtojen yhteydessä lähinnä silloin, kun kysymyksessä on ollut kaupungin oma rakennustuotanto tai yksityisten rakennusliikkeiden merkittävät työkohteet.

Katuosaston kaivutyön valvojat antavat ohjeita katualueella olevan johtokaivannon täytöstä ja tiivistyksestä. Vesi- ja viemärijohtoihin liittyjä vastaa siitä, että katualue tulee liittämisen jälkeen kaivutyötä edeltäneeseen kuntoon ja on velvollinen myöhemminkin korjaamaan kaivannosta kadulle mahdollisesti aiheutuvat vahingot.

2.3 Tonttijohtojen vauriokartoitus

2.31 Maan painuminen

Luvuissa 2.32 ja 2.33 viitataan putkivaurioiden kartoituksessa maan painumiseen. Seuraavassa tarkastellaan maan painumisen syitä.

Putkikaivannon pohjassa tapahtuu painumia, mikäli kaivannon pohjaan kohdistuva kuormitus rakentamisen jälkeen ylittää sen pitkäaikaisen kuormituksen, minkä alaisena kaivannon pohjan alapuoliset maakerrokset ovat joskus olleet.

Lisäkuormitus voi aiheutua seuraavista syistä:

- Pehmeikköalueilla savinen pihamaa kunnostetaan pihan tasoa nostavilla maakerroksilla.
- Salaojituksesta aiheutuvan pohjavedenpinnan laskun myötä tehokas maanpaine kasvaa.
- Kaivannon täytemateriaalin tilavuuspaino on kaivumassojen tilavuuspainoa suurempi, mikä johtuu massanvaihdosta tai täytemateriaalin tiiviyydestä.
- Tien rakennekerrokset aiheuttavat lisäkuormituksen.

Kitkamaalle perustetun putkilinjan painuman suuruus on yleensä muutamasta millimetristä korkeintaan muutamaan senttimetriin kitkamaan tiiveydestä ja kuormitustasosta riippuen. Kitkamaassa kokonaispainuma saavutetaan jo lyhyen ajan kuluttua rakentamisesta. Jos putkilinja sen sijaan rakennetaan pehmeään koheesiomaahan, saattaa kokonaispainuma kuormituksesta riippuen nousta useampiin kymmeniin senttimetreihin ja painuminen kestää vuosikymmeniä.

Painumisen aiheuttamiin putkivaurioihin vaikuttaa ensisijaisesti painumaerojen suuruus. Painuman absoluuttisella arvolla on merkitystä tarkasteltaessa putken ja painumattoman tai eri tavalla painuvan rakenteen liitoksia. Maapohjan epähomogeenisuudesta johtuen putkilinja painuu aina epätasaisesti.

Maan painuessa putki voi tuennastaan riippuen toimia kuormitettuna ulokkeena tai palkkina. Tällöin maa on painunut putkeen nähden putken taipumaa enemmän ja putken katsotaan luvun 2.4 vauriolaskelmissa menettäneen putkiperustuksesta tulevan tuen. Putken reunojen kautta kulkevissa liukupinnoissa kitkavoimat vaikuttavat nimittäin alaspäin ja täten putken alla oleva maapatsas pyrkii seuraamaan painumia.

Maa katoaa talojen alta Porvoon mlk:ssa

Porvoon (HS) Maan painuminen uhkaa jättää omakotitaloja pylväiden varaan Porvoon maalaiskunnassa. Maan pinnan lasku koettelee omakotitalojen omistajia varsinkin Eestinmäessä Porvoon kaupungin länsipuolella.

Osa Eestinmäen taloista on rakennettu 1970-luvun loppupuolella pehmeiden savikerrosten päälle. Pohjan pehmeiden vuoksi talojen alustat paalutettiin. Talot ovatkin paalutusten ansiosta pysyneet tukevasti paikoillaan, mutta jäävät ilman täytemaata seisomaan korkealle paalujen varaan.

Omakotitalojen omistajat eivät ole innostuneita puhumaan ongelmasta omilla nimillä esiintyen, koska talojen hintojen pelätään laskevan. Alueella asuva henkilö arvioi kuitenkin maan painuvan vuodessa kymmenenkin senttiä. Tontille joudutaan ajamaan täytemaata joka toinen vuosi.

Tilanteeseen vaikuttavat asukkaiden havaintojen mukaan myös kunnan kaivamat ojat. Omakotitalojen omistajien toivomuksena onkin, että kunta alentaisi tonttien myyntihintaa. Osa alueen tonteista on vuokralla ja osa omaksi lunastettuja.

Porvoon maalaiskunnan suunnittelulautakunta ei kuitenkaan puolla tonttien lunastushintojen alentamista. Pehmeäpohjaisten tonttien hinta on ollut 22 markkaa neliöltä. Vapailla markkinoilla Porvoon maalaiskunnassa pyydetään tonteista 40—50 markkaa neliöltä. Pehmeän pohjan aiheuttamat haitat on siten maalaiskunnan virkamiesten kannan mukaan jo otettu huomioon hinnoittelussa.

HS 10.7.1984

2.32 Tonttivesijohdot

Helsingissä nykyisin käytettävät tonttivesijohtomateriaalit ovat muovi, kupari ja valurauta. Tonttivesijohto tehdään normaalisti muovista (PEL, PEH tai PEM) kokoon 90 mm saakka. Tilaajan pyynnöstä voidaan tonttijohto kuitenkin tehdä kuparista kokoon 100 mm saakka. Pienin nykyään asennettava valurautaputki on nimelliskooltaan 100 mm. Täten kaikki 100 mm suuremmat tonttijohdot tehdään valuraudasta.

Muoviputkien osuus on nykyisin rakennettavista tonttijohdoista 85 %, eikä osuuden katsota tästä kasvavan. Ensimmäiset muoviset tonttijohdot rakennettiin v. 1974 ja v. 1981 niitä oli yhteensä 2600 kpl, mikä oli 13 % Helsingin silloisesta tonttijohtokannasta. Valurautaputkien osuus vaihtelee Helsingin kolmessa verkkopiirissä n. 35...80 %:iin tonttijohdoista. Vanhat valurautaputket ovat ns. harmaata valurautaa (GR) uudempien putkien ollessa lujuusominaisuuksiltaan parempaa pallografiittivalurautaa (GRP). Siitymäkausi GRP-valurautaan alkoi v. 1962.

Tonttijohdoissa on vuosittain yksi vuoto jokaista 205 tonttijohtoa kohden (keskiarvo vuosilta 1977...1981). Metreiksi muutettuna tonttijohtojen vauriotiheys on 0,22 vauriota kilometriä kohden vuodessa. (Laskennassa käytetty tonttijohdon pituus on putkien hankintatietojen perusteella n. 22 metriä.) Pää- ja jakelujohdoissa vastaava vauriotiheys on 0,18, joten tonttijohtojen vauriotiheys on vain hieman suurempi /3/.

Tonttijohtojen vaurioita selvitettäessä tulee putkien perustamisen osalta huomata, että Suomessa ei ole metallisten vesijohtojen perustamisesta mitään varsinaista normia. (Muoviset painejohdot on käsitelty muoviputkinormin yhteydessä). Painejohtojen rakentaminen on noudattanut yleisiä ohjeita, jotka on esitetty alan kotimaisissa julkaisuissa. Näissä ohjeissa on edellytetty, että perustamistapa valitaan sellaiseksi, ettei haitallista painumaa tapahdu. Putken mitoituksen osalta tulee

puolestaan huomata, ettei maan painumisesta aiheutuvia ja putkeen kohdistuvia taivutusjännityksiä ole mitoituksessa otettu huomioon. Putken seinämäpaksuudet ovat määräytyneet sisäisen paineen ja tietyn varmuuslisän perusteella.

Helsingin kaupungin vesi- ja viemärlaitoksen vaurioraporteista ei ilmene vauriokohdan etäisyys painumattomasta rakenteesta. Putkimestareiden mukaan tonttijohdon yleisin vauriokohta on rakennuksen perusmuurin läheisyydessä. Jonkinlaista vaurio-
kasaumaa on myös tontti- ja jakelujohdon liitoksen lähellä - "kadun reunakivetyksen kohdalla". Kyseisten vaurioiden yleisin syy on johdon painuminen.

Valurautaputkien osalta vauriot keskittyvät 0 ... 0,5 metriin perusmuurista silloin, kun putki on viety perusmuurin läpi lävistysholkkia käyttäen ja muhvi on jäänyt niin kauas seinästä, että putki on toiminut kuormitettuna ulokkeena. Mikäli muhvi on ollut seinän välittömässä läheisyydessä (20...30 cm seinästä), ei siitä lähtevän putken rikkoontumiskohdalle voida määrittää mitään tarkkaa paikkaa. Siinä tapauksessa, että valurautaputki tulee rakennuksen alta (pohjalaatan läpivienti), vauriot keskittyvät 0,2...1,0 metriin ulko-
seinästä pihalle päin.

Kokemuksen perusteella ovat valurautaputkien muhvien ja muhviin työnnettyjen pistopäiden vauriot erittäin harvinaisia. Täten muhvit eivät muodosta painuvan linjan heikkoa kohtaa, vaikka kulmanmuutokset muhveissa saisivatkin täyden arvonsa. (Em. vaurioilla ei tarkoiteta ko. liitosten mahdollista vuotamista.)

Taulukossa 1 on materiaaleittain esitetty metallisten tonttijohtojen vaurioiden syyt.

Taulukko 1. Metallisten tonttijohtojen vauriot Helsingissä v. 1981...1982 vaurioraporttien mukaan.

	GR	GRP	Kupari
	(58 %) 46	(62 %) 15	(69 %) 18
Painuma	(58 %) 46	(62 %) 15	(69 %) 18
Liikenteen tärinä	6	-	-
Korroosio	7	-	-
Tiiviste/juotos	-	-	3
Kivinen täyte	1	1	-
Muu rakentaminen	19	8	5
Yhteensä	79	24	26

Mikäli vaurion syyksi on vaurioraportissa merkitty painuma yhdistettynä liikenteen tärinään, on vaurio taulukossa 1 merkitty painuman tiliin.

Kupari on vaurioraporttien perusteella valurautaa selvästi parempi materiaali. Tämä käy ilmi esim. Läntisen verkkopiirin vauriotilastosta (taulukko 2). Läntinen piiri on rakennettu pääasiallisesti vuoden 1955 jälkeen. Uusia muoviputkia lukuunottamatta ovat 80 mm ja sitä pienemmät tonttijohdot tehty kuparista suurempien kokojen ollessa valurautaa (GRP-valurautaa v. 1962 lähtien). Kuparisia tonttijohtoja on määrällisesti valurautaisia enemmän.

Taulukko 2. Painumasta aiheutuneet valurauta- ja kupari-putkien vauriot Läntisessä verkkopiirissä v. 1981...1982.

Valurauta (GR + GRP)	21 kpl
Kupari	4 kpl

Muoville ei painuma näytä nykyisten kokemusten perusteella muodostavan ongelmaa. Tämä on nähtävissä taulukosta 3.

Nykyinen tilanne on kuitenkin sikäli harhaanjohtava, että muovin pitkäaikaiskäyttämisen ei ole kokemuksia. (Asiasta enemmän luvussa 2.434). Jos muoviputken kestoikäksi otetaan laskenta-aika 50 v, olisi pitkällä aikataululla vuosittain uusittava 1/50 osa muovisista tonttijohdoista. Tällöin siis pelkästään muovin vanhenemisesta aiheutuva uusimistarve olisi yli nelinkertainen nykyiseen vauriotilanteeseen verrattuna (1 vaurio 205 tonttijohdosta kohden vuodessa). Edellisessä vertailussa on oletettu, että rakennuksen käyttöaika on putken mitoituksessa käytettävää laskenta-aikaa pidempi.

Taulukko 3. Muovisten tonttijohdosten vauriot Helsingissä v. 1974...1982.

Kivinen täyte	2 kpl	
Painuma	2	1)
Liitinvauriot	13	2)
Muu rakentaminen	17	
Muut	2	3)

1) Putket ovat olleet poikkeuksellisesti Ø 110 mm PEH-putkia. Painuman johdosta laippaliitokset ovat pettäneet.

2) Liittimen tiivisteen vauriot sekä irronneet liittimet. Liitin voi irrota putkesta joko asennusvirheen tai veden jäätyksen seurauksena. Veden jäätyessä (liitin perusmuurin läheisyydessä) muoviputken läpimitta kasvaa ja seurauksena on vuotava liitos.

3) Materiaalivika; rikkoutunut umpeen jäätynyttä putkea sulatettaessa.

2.33 Tonttiviljemärit

Helsingin kaupungilla ei ole tonttiviljemärien vaurioista mitään koottua aineistoa. Viljemärien vaurioraportit käsittelevät ainoastaan latva- ja pääviljemäreitä. Vanhojen tonttiviljemärien huonosta kunnosta on kuitenkin saatu viitteitä vuotovestitutkimusten yhteydessä. Tonttiviljemärien kunnan selvittämiseksi käytettävät menetelmät rajoittuvat tämän tutkimuksen yhteydessä tarkastuskaivoista tapahtuneeseen viljemärin peilaukseen. Peilauksella saadut havainnot rajoittuivat luonnollisesti putken näkyvään osaan. Täten ei havaintoja saatu putken ja rakennuksen liittymäkohdista. Tutkimuksen kannalta tämä olisi ollut tärkeää, koska esim. tonttivesijohtojen vauriot kasaantuvat kyseiseen kohtaan.

Peilaamalla suoritettussa vauriokartoituksessa ilmeni ongelmakohdaksi painuvan tonttiviljemärin liitos painumattomaan (päälutettuun) tarkastuskaivoon. Jo muutaman vuoden vanhat tonttiviljemärit tulivat painuman johdosta nousulla tarkastuskaivoihin ja vauriot kasaantuivat kyseisiin liitoksiin.

Peilaamalla havaitut betoniputkien vauriot olivat seuraavat:

- Tarkastuskaivoon jäykästi (laastilla muuraamalla) liitetty putki on murtunut putkeen nähden poikittain tarkastuskaivon ulkopuolelta. Putki on tällöin maan painuessa toiminut maata kannattavana ulokkeena murtumiseen saakka. Vaurion estämiseksi käytetään nykyään riittävän lyhyttä "liitosnatsaa" sekä tarkastuskaivoon nähden putken kulmanmuutoksen sallivaa kumirengastiivistettä.
- Putki on murtunut varsinaisessa linjassa liitosrakenteiden ulkopuolella. Vaurion aiheuttajat ovat maan epätasainen painuminen, kivinen täyte ja putken huono kunto joko yhdessä tai erikseen.
- Epätasainen painuminen on aiheuttanut putkien siirtymistä toistensa suhteen. Siirtymän ollessa suuri on joko muhvi tai pistopää murtunut.

Muovisen tonttiviljelmän yleisin vaurio on putken sallittua suurempi muodonmuutos eli litistyminen, joka tapahtuu pystysuoran maanpaineen ollessa suuri putkeen vaikuttavaan sivupaineeseen verrattuna. Putkeen kohdistuvan maanpaineen epäedullinen jakautuminen aiheutuu yleensä huonosti suoritetusta ympärystytön tiivistyksestä. Tonttiviljelmien osalta tähän on usein syynä työn suorittajien asiantuntemattomuus.

Hyvin suoritetusta putken ympärystytön tiivistyksestä huolimatta muodostaa vaurioiden kannalta kriittisen kohdan putken liittyminen painumattomaan rakenteeseen. Taipuisuutensa johdosta muoviputki seuraa maan painumia melko hyvin, mutta se jää kuitenkin kannattamaan painuvaa maata liitoksen läheisyydessä. Tällöin putken kuormitusjakauma muuttuu. Putken sivutäyttö löyhtyy ja alhaalta tuleva tukivoima keskittyy liitosrakenteen lävistysholkin kohdalle sekä kohtaan, missä putken ja maan painuma on yhtäsuuri. Seurauksena on putken litistyminen. Lävistysholkin jäykistävän vaikutuksen takia putki ei kuitenkaan litisty holkin välittömässä läheisyydessä.

2.4 Vauriolaskelmat

2.41 Laskelmien lähtökohta

Jotta vauriolaskelmissa olisivat putkien lähtöarvot tarkasti selvillä, on laskelmissa oletettu, että putket vastaavat laadullisesti uusia, nykyään asennettavia putkia. Täten ei esim. betoni- ja valurautaputkien korroosiota oteta huomioon laskelmissa putkien kestävyyttä vähentävänä tekijänä. Tämän "korroosiovaran" katsotaan laskelmissa sisältyvän sallittujen jännitysten varmuuskertoimiin.

2.42 Vauriolaskelmiin liittyvä teoria

2.421 Putkeen kohdistuva kuormitus

Maanpaineesta aiheutuva, jäykkään ja halkaisijaltaan pieneen putkeen kohdistuva kuormitus voidaan laskea kaavalla

$$q_m = \frac{5}{3} \gamma h D \quad (1)$$

missä

q_m = putkelle maanpaineesta tuleva kuormitus pituusyksikköä kohden, [kN/m]

γ = maan tilavuuspaino, [kN/m³]

h = putken peitesyvyys putken laesta mitattuna, [m]

D = putken ulkohalkaisija, [m]

Sekaannusten välttämiseksi on todettava, että kirjallisuudessa maanpainetta merkitään yleensä pienellä kirjaimella q [kN/m²] ja siitä aiheutuvaa putkelle tulevaa kuormitusta isolla kirjaimella [Q kN/m]. Tässä yhteydessä poiketaan kuitenkin tästä käytännöstä siitä syystä, että laskelmissa putkelle tulevaa kuormitusta käsitellään viivakuormana.

Kaavaa 1 käytetään vauriolaskelmissa valurautaputkiin ($d = 100 \dots 150$ mm) kohdistuvan kuormituksen laskemiseksi. Vauriolaskelmissa on betoniputkiin kohdistuvan kuormituksen suuruutena käytetty betoniputkinormin mukaista suunnittelukuormaa putkikoottain. Nämä kuormitukset on normissa määritetty Marstonin maanpaineakaavojen pohjalta.

Taipuisiin muoviputkiin kohdistuva kuormitus voidaan laskea kaavalla

$$q_m = \gamma h D \quad (2)$$

Kaavan 2 mukaan taipuisaan putkeen kohdistuva kuormitus voidaan laskea hydrostaattisen maanpaineen avulla. Tasainen pintakuorma voidaan kaavoja 1 ja 2 käytettäessä korvata vastaavan kuormituksen aiheuttavalla putken peitesyvyyden lisäyksellä Δh .

2.422 Putken aksiaaliset rasitukset

Epätasainen kaivannon pohja ja maan epätasainen painuminen aiheuttavat putkeen aksiaalisia jännityksiä. Aksiaalisista jännityksistä voi pitkään ja jäykkään tai suhteellisen jäykkään putkeen syntyä poikittaisia halkeamia.

Syntyviä taivutusjännityksiä tarkasteltaessa voidaan putkea lähteen /5/ mukaan pitää kimmoisalla alustalla olevana, päistään vapaasti tuettuna palkkina. Tällöin momentti voidaan laskea kaavasta:

$$M = M_q - \frac{4qL^2}{\pi^3(1 + \pi^4/4(\lambda L)^4)} \quad (3)$$

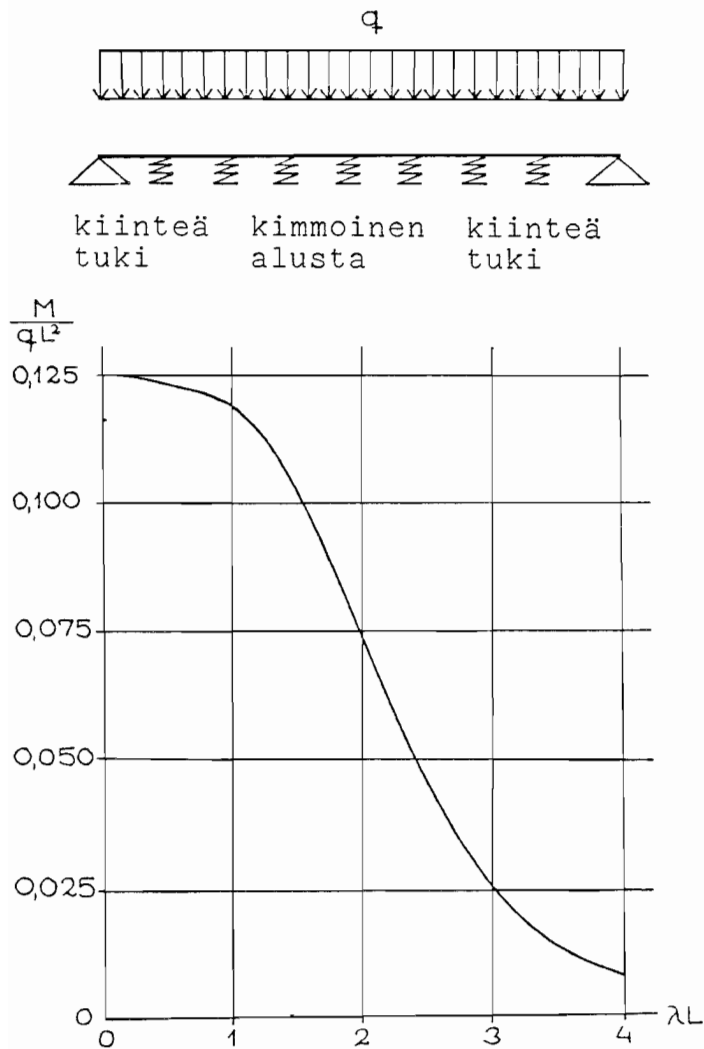
$M_q = qL^2/8$ = momentti tasaisesta kuormasta q tapauksessa, jossa kimmainen alusta puuttuu

L = putken pituus

$\lambda^4 = k/4EI$, jossa EI on putken taivutusjäykkyys

k = maan joustovakio = FD . Maan alustaluvun (F) arvo $5,8 \text{ N/cm}^3$ antaa k :lle varmalla puolella olevia arvoja normaalisti suoritetuissa putkiperustuksissa.
 D = putken ulkohalkaisija.

Laskemisen helpottamiseksi voidaan momentti määrittää kuvasta 1, jossa suureet M/qL^2 ja λL ovat dimensiottomat.



Kuva 1. Käyrä pituussuuntaisen momentin laskemiseksi.

2.43 Putkimateriaalien lujuusominaisuudet

2.431 Valurauta

Valurautaputket voidaan materiaaleittain jakaa ns. harmaaseen valurautaan (GR) ja pallografiittivalurautaan (GRP). Materiaalien lujuusominaisuudet ovat:

	GR	GRP
vetomurtolujuus, N/mm^2	150...250	420
murtovenymä	< 1,0 %	7...10 %
kimmomoduuli, kN/mm^2	80...140	165...180

Pallografiittivaluraudalla on siis harmaaseen valurautaan verrattuna huomattavasti suurempi murtovenymä ja noin kaksi kertaa suurempi vetolujuus /14/.

Harmaan valuraudan käytöstä on jo luovuttu. Sitä käytettiin kuitenkin muotoputkina (kulmat) viime vuosiin asti, koska muotoputkiin ei kohdistu suuria taivutusjännityksiä. Ensimmäiset pallografiittiset johdot rakennettiin Helsingissä v. 1962, joten harmaavalurautaista vesijohtoverkkoa on vielä runsaasti käytössä.

Pallografiittivalurautaputkien (GRP) mitoituksessa voidaan sallittuna taivutusvetolujuuden arvona käyttää 280 N/mm^2 .

2.432 Kupari

Kupariputken lujuusominaisuudet riippuvat valmistusmenetelmästä. Valmistusmenetelmän perusteella kupariputket voidaan jakaa pehmeisiin eli hehkutettuihin ja koviin eli kylmänä vedettyihin kupariputkiin. Hehkutettua kupariputkea, mikä on kieppitavaraa, käytetään ainoastaan rakennuksen sisäpuolisissa asennuksissa. Hehkutetun kupariputken lujuusominaisuuksien tunteminen on tässä yhteydessä tärkeää siitä syystä, että tonttijohtona käytetyn kovan kupariputken lujuusominaisuudet muuttuvat hehkutettua kuparia vastaaviksi lämpökäsitellyn liitoksen (kovajuotto; kapillaariliitos) kohdalla. Tämän muutosvyöhykkeen pituus on noin 30 ... 40 cm tonttijohdossa.

Taulukko 4. Hehkutetun (tila -02) ja kovan (-04) kupari-putken lujuusominaisuudet. Taulukko standardista SFS 2907.

Lihavalla painetut lukuarvot ovat vastaanotossa sitovia, muut ovat opastavia.

Tila	Aineen paksuus mm	0,2-raja 1) $R_{p0,2}$ N/mm ²	Murtolujuus R_m N/mm ²	Murtovenymä A_2 %	Kovuus HV
-02	—	(40 ... 120)	210 ... (250)	A_5 40 ... (60) A_{10} 30 ... (50)	(40 ... 65)
-04	(0,7) ... 5	(280 ... 440)	310 ... 460	A_5 (5 ... 20) 3) A_{10} (3 ... 15) 4)	(100 ... 130)

1) 0,2-raja; putkeen jää 0,2 %:n pysyvä muodonmuutos

2) A_5 ja A_{10} ; koekappaleiden mitat 5 x D ja 10 x D, missä D on halkaisija.

3) Käytännössä 10 %

4) Käytännössä 8 %.

Taulukosta 4 havaitaan, että vedetyllä kuparilla on hehkutettua kuparia merkittävästi korkeammat myötörajan, murtolujuuden ja kovuuden arvot. Sen sijaan hehkutetulla kuparilla on huomattavasti suurempi murtovenymän arvo. Edellä viitattuihin lujuus- ja kovuusarvoihin vaikuttaa kuparin lujittuminen muokkausasteen kasvun myötä. Muokkausasteella tarkoitetaan poikkileikkauksen pinta-alan pienentymistä kylmämuokkauksen (vedon)aikana viimeisen pehmennyshehkutuksen jälkeen. Muokkausasteen kasvusta on myös luonnollisena seurauksena murtovenymän pienentyminen. Todettakoon, että hehkutettu kupariputki ei pelkästä vedosta (esim. maan painumisen aiheuttamasta putken venymästä) muutu ominaisuuksiltaan samaa muokkausastetta olevaa kylmänä vedettyä kupariputkea vastaavaksi. Tämä johtuu siitä, että vedettyä kupariputkea valmistettaessa putken seinämää kohdistetaan myös puristusjännityksiä putken poikkileikkauksen tasossa.

2.433 Betoni

Betoniputkinormissa on sallituksi taivutusvetolujuuden arvoksi määritelty:

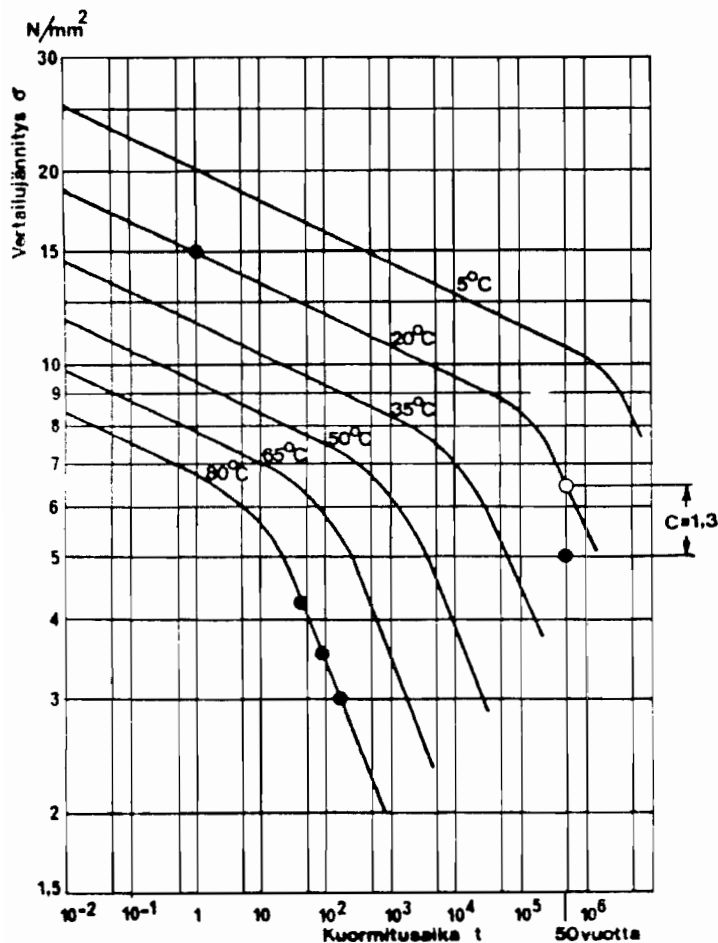
$$\sigma_{\text{sall}} = K/12 + 1,2 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Koska käytetyn betonin tulee vähintään täyttää lujuusluokan K 40 vaatimukset, saadaan taivutusvetolujuuden arvoksi 4,5 N/mm². Betonin kimmokertoimelle on määritelty arvo $E_b = 5000\sqrt{K}$ N/mm², joten vastaavaksi arvoksi saadaan $E_b = 31,6$ kN/mm². Tonttiviemärit ovat yleensä kooltaan ja lujuusluokaltaan sellaisia, etteivät ne ole raudoitettuja.

2.434 Muovit (PEL, PEH ja PVC)

Muovi poikkeaa materiaalina muista putkimateriaaleista viskoelastisuutensa vuoksi. Tällöin suhteellinen venymä ei ole suoraan verrannollinen jännitystasoon eikä myöskään riippumaton kuormitusajasta. Kuormitettaessa tapahtuu materiaalissa virumista. Tässä suhteessa on myös lämpötila merkittävä parametri. Virumisen seurauksena tapahtuu materiaalissa aikanaan murtuminen, mihin tarvittava aika on kääntäen verrannollinen jännitystasoon. Täten on mahdollista mitoittaa muoviputki niin, että kuormitus on suhteessa odotettuun kestoikään. Jotta mitoitus olisi mahdollista, on tunnettava muovin jännitys-aika-vuorosuhteet asiaankuuluvine parametreineen.

Kuvassa 2 on esitetty PEH-paineputken pitkäaikaislujuutta osoittavat minimiarvolinjat eri lämpötiloissa.



Kuva 2. PEH-paineputken pitkäaikaislujuuden minimiarvolinjat eri lämpötiloissa.

Mitoitettaessa muoviputkia paineluokittain, tapahtuu muovin pitkäaikaislujuuden määrittäminen seuraavasti: käyttöaikana pidetään 50 vuotta ja lämpötilana 20 °C. Varmuuskerron on PEL- ja PEH-putkille 1,3 ja PVC:lle se on suuruusluokkaa 2,0...2,7. Täten kuvasta 17 saadaan PEH-putken pitkäaikaislujuudeksi ko. varmuuskertoimella 5,0 N/mm². PEL-putkelle vastaava pitkäaikaislujuuden arvo on 3,0 N/mm² ja PVC:lle sen voidaan katsoa olevan 10 N/mm² / 15/.

Muovin kimmomoduulin suuruuteen vaikuttaa myös kuormitusaika. Seuraavat kimmomoduulin arvot pätevät normaaleilla käyttöjännityksillä lämpötilan ollessa +20 °C.

Materiaali	Kimmomoduuli	
	E_3 min.	E_{50} v.
PEL	200	50
PEH	1000	200
PVC	3000	1000

Muovin pitkäaikaislujuuden määrittäminen $+20^{\circ}\text{C}$:ssa noudattaa saksalaista käytäntöä. Lämpötila on määritetty sikäläisten pintavesien kesäaikaisten lämpötilojen pohjalta. Suomen olosuhteisiin sovellettuna kyseisen lämpötilan voidaan katsoa antavan muovin pitkäaikaislujuudelle liian pieniä arvoja (kuva 2). Tätä ylimääräistä mitoitusvarmuutta ei kuitenkaan oteta huomioon laskelmissa.

Muoviputken mitoituksen ulkopuolelle jää eräs muovin lujuusominaisuuksiin mahdollisesti vaikuttava tekijä. Tämä tekijä on muovin rakenteessa tapahtuvat kemialliset muutokset. Muovin vanhetessa voi molekyyliketjujen välille syntyä uusia kemiallisia sidoksia. Vanhetessaan muovi kovettuu, mutta samalla haurastuu.

2.44 Tonttivesijohtojen vauriot

2.441 Valurautaputkien vauriolaskelmat

Valurautaputkea voidaan laskelmissa pitää kimmoisalla alustalla olevana putkena silloin, kun putkiperusta ei sanottavasti painu tai silloin, kun putki painuu perustan mukana tasaisesti. Jälkimmäisestä ehdosta on kuitenkin todettava, että mitä suuremmista painumista on kysymys, sitä epätasaisemmin painumat käytännössä tapahtuvat. Seuraavassa laskelmassa tarkastellaan putkiperustan merkitystä valurautaputken taivutusjännityksiin. Luvun 2.2422 mukaisesti kimmoisalla alustalla olevan ja päistään vapaasti tuetun putken (muhviliitokset) taivutusmomentti tasaisesta kuormasta q voidaan laskea kaavasta:

$$M = \frac{qL^2}{8} - \frac{4qL^2}{\pi^3(1 + \frac{\pi^4}{4(\lambda L)^4})} ; \quad \lambda = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI}}$$

Kaavan vähennysosan suuruudeksi valurautaputkelle NS 100 ($d = 105,8$ mm, $D = 118,0$ mm ja $L = 6,0$ m) maan alustaluvun arvolla $F = 5,8$ N/cm³ saadaan:

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{F \cdot D}{4EI}} = \sqrt[4]{\frac{5,8 \cdot 10^{-3} \frac{\text{N}}{\text{mm}^3} \cdot 118 \text{ mm}}{4 \cdot 170 \cdot 10^3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 3,37 \cdot 10^6 \text{ mm}^4}} = 0,74/\text{m}$$

Tällöin vähennysosassa termi $(\lambda L)^4$ saa arvon 388,6 ja vähennysosa kokonaisuudessaan saa arvon $0,1214qL^2$. Taivutusmomentin lauseke voidaan nyt kirjoittaa muotoon $M = 0,125qL^2 - 0,1214qL^2$.

Voidaan siis todeta, että kimmoisana alustana käsitelty putkiperusta on kyseisellä maan alustaluvun arvolla pienentänyt taivutusmomentin arvon 3 %:iin siitä arvosta, mikä olisi ollut pelkästään päistään vapaasti tuetulla putkella. Täten putken rakennepituudella ei kyseisessä laskelmassa ole kovin suurta vaikutusta putken taivutusmomenttiin.

Edellisessä laskelmassa oli maan alustaluvulle annettu arvo $F = 5,8 \text{ N/cm}^3$. Putken taivutusmomentti kasvaa, mikäli maan alustaluvun arvo pienenee. Seuraavassa laskelmassa tarkastellaan pienintä sallittavaa maan alustaluvun arvoa valurautaputken NS 100 kannalta:

$$\begin{aligned} \text{Lähtötiedot:} \quad d &= 105,8 \text{ mm} & L &= 6,0 \text{ m} \\ D &= 118,0 \text{ mm} & q &= 11,5 \text{ kN/m} \\ \sigma_{\text{sall}} &= 280 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_{\text{sall}} = \sigma_{\text{sall}} W \quad W = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D} = 57 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$M_{\text{sall}} = 15,96 \text{ kNm}$$

Tällöin luvun 2.422 kuvan 1 mukaisesti:

$$\frac{M_{\text{sall}}}{qL^2} = 0,039 \quad \text{ja} \quad \lambda L = 2,65$$

$$\lambda = 0,44 \cdot \frac{1}{\text{m}}$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI}}; \quad k = F \cdot D$$

$$\lambda^4 = \frac{F \cdot D}{4EI} \Rightarrow F = \frac{4EI\lambda^4}{D}$$

$$F = \frac{4 \cdot 170 \cdot 10^3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 3,37 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \cdot 0,44^4 \cdot 10^{-12} / \text{mm}^4}{188 \text{ mm}} = 0,727 \cdot 10^{-3} \frac{\text{N}}{\text{mm}^3}$$

$$F = 0,727 \text{ N/cm}^3$$

=====

Koska maan alustaluvun arvo on käytännössä aina tätä arvoa huomattavasti suurempi (pienimmillään $1,5 \text{ N/cm}^3$ pehmeälle savelle), eivät valurautaputken taivutusjännitykset ylitä sallittua arvoa kaavan (3) edellyttämässä kuormitustilanteessa ja kyseisellä putken pituudella. Maan alustaluvun käytöstä putken kestävyyttä arvioitaessa on kuitenkin huomattava, ettei se sovellu tapauksiin, missä painumaerot muodostuvat suuriksi.

Maan painumaerojen ollessa suuret putki saa epätasaisen tuen alustastaan. Tällöin on tietyissä kohdissa tapahtuneella tuen pienenemisellä putken kannalta sama vaikutus

kuin maan alustaluvun pienenemisellä. Tuen keskittyessä putken päihin ja alustaluvun arvon lähestyessä nollaa häviää vähennystermi momentin (3) kaavasta. Tällöin putken taivutusmomenttiin vaikuttaa täysimääräisesti putken rakennepituus. Laskelmien kannalta putki on siis menettänyt kimmoisan alustansa.

Seuraavassa on käsitelty kahta tapausta, jolloin k -arvo voidaan katsoa nolllaksi:

- Maa painuu huomattavasti enemmän kuin mitä perusmuuriin jäykästi kiinnitetty putki (uloke) taipuu.
- Painumaero putken päiden välillä muodostuu suureksi ja putken tukireaktiot ovat pistemäiset. Hyvin lähellä tätä tapausta on tilanne, jolloin putken pistopää on liittynyt painumattomaan sokkelinlävistysputkeen ja putken muhvipää on painunut merkittävästi. Tällöin putki saa tapauksesta riippuen muhvipäästään jonkinlaisen tuen myös putkiperustasta, mutta vaarallisinta kuormitustapausta edustaa tilanne, jolloin tätä tukea ei ole eli $k = 0$.

Jälkimmäisessä kohdassa oletus $k = 0$ antaa laskelmissa ylimääräistä varmuutta lähes kaikille käytännön tapauksille, mutta toisaalta niin tässä yhteydessä kuin mitoituksessa yleensäkin, tarkastellaan vaarallisinta kuormitustapausta.

Seuraavat laskelmat koskevat edellä käsiteltyjä kuormitustapauksia:

Palkki:

Pitkissä valurautaputkissa tulee lyhyistä betoniputkista poiketen ottaa huomioon liikennekuorman jakautuminen, mikä tekee laskelmat monimutkaisiksi. Laskelmia voidaan yksinkertaistaa korvaamalla liikennekuorma tasaisella pintakuormalla q_p . Rakenteiden kuormitusnormin mukaisesti q_p :n suuruus on kuormaluokassa II 11 kN/m^2 (tavallinen liikennekuorma; akseli-kuorma 120 kN).

Tasaisen pintakuorman q_p käyttö aiheuttaa sen, että putkeen kohdistuva liikennekuorma ei laskelmissa pienene putken perustamissyvyyden h kasvaessa. Tästä syystä on h :n suuruus seuraavassa laskelmassa rajoitettu 2,5 metriin.

Lähtöarvot:

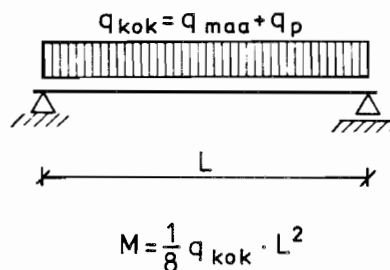
$$q_p = 11 \text{ kN/m}^2$$

$$h = 2,5 \text{ m}$$

$$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{NS 100: } d = 105,8 \text{ mm}$$

$$D = 118,0 \text{ mm}$$



$$q_{\text{kok}} = q_{\text{maa}} + q_p = \frac{5}{3} \gamma h D + \frac{5}{3} q_p D$$

$$q_{\text{kok}} = 9,34 \text{ kN/m} + 2,16 \text{ kN/m} = 11,5 \text{ kN/m}$$

$$M_{\text{sall}} = \sigma_{\text{sall}} W = 280 \text{ N/mm}^2 \cdot 57 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 = 15,96 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{murto}} = 420 \text{ N/mm}^2 \cdot 57 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 = 23,94 \text{ kNm}$$

$$L_{\text{sall}} = \sqrt{\frac{8M_{\text{sall}}}{q_{\text{kok}}}} = \sqrt{\frac{8 \cdot 15,96 \text{ kNm}}{11,5 \text{ kN/m}}} = 3,33 \text{ m}$$

=====

$$L_{\text{murto}} = 4,08 \text{ m}$$

Putken ohjeelliseksi pituudeksi voidaan siis tässä kuormitus-tapauksessa katsoa 3,3 metriä. Mikäli liikennekuormaa ei oteta huomioon, kasvaa kyseinen pituus taulukon 5 mukaisesti (piha-alue).

Taulukko 5 . Putken ohjeellinen pituus putkikoottain koh-teissa, missä painumaerot muodostuvat suuriksi. Suluissa olevien lukujen laskennassa on peite-syvyyden arvona ollut 2,0 metriä 2,5 metrin sijasta.

	L_{ohj} tiealueella, m	L_{ohj} piha-alueella, m
NS 100	3,30	3,70 (4,10)
NS 125	3,75	4,15 (4,65)
NS 150	4,15	4,60 (5,15)

Taulukon 5 luvuista nähdään, kuinka putken ohjeellinen pituus kasvaa putken halkaisijan kasvaessa. Täten tässä putken kannalta vaarallisimmassa kuormitustapauksessa syntyy tilanne, jossa putken ohjeellinen pituus ylittää putken rakennepituuden (toimituspituuden) vasta tietyllä putken nimelliskoolla (NS). Valurautaputkien toimituspituudet tarkasteltavilla putkiko'oilla ovat Ruotsissa 5,0 m, Englannissa 5,5 m ja Suomessa 6,0 m¹⁾. Nämä erot eivät aiheudu putkien erilaisista seinämäpaksuuksista. Täten putken vaurioitumisriski on näiden maiden välisessä vertailussa pienin Ruotsissa. Putken nimelliskoon vaikutuksesta putken kestävyys on kuitenkin syytä todeta, että esim. Englannissa valmistettavan putkikoon NS 80 (d = 86,0 mm, D = 98,0 mm ja L = 5,5 m) vaurioitumisriski on hieman suurempi kuin kotimaisen putkikoon NS 100 (d = 105,8 mm, D = 118,0 mm ja L = 6,0 m).

Uloke:

Rakennuksen ulkoseinän vieressä, missä putki voi toimia perusmuuriin jäykästi kiinnitettynä ulokkeena, ei laskelmassa katsota vaikuttavan liikennekuormaa (tasaista pintakuormaa q_p). Muilta osin seuraavan laskelman lähtöarvot eivät poikkea edellisestä laskuesimerkistä valurautaputkelle NS 100.

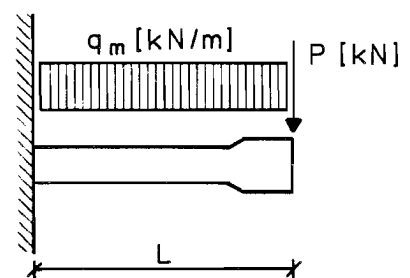
$$P = \frac{1}{2} q_m l$$

$l = 6,0 \text{ m}$; liittyvän putken pituus

$$M = \frac{q_m L^2}{2} + \frac{1}{2} q_m L \cdot l$$

$$q_m = \frac{5}{3} \gamma h D = 9,34 \text{ kN/m}$$

$$M = 4,67 L^2 + 28,0 L$$



Koska $M_{sall} = 15,96 \text{ kNm}$, saadaan edellä olevasta kaavasta ulokkeen sallituksi pituudeksi 0,52 m. Vastaavasti voidaan määrittää ulokkeen pituudet putkikoottain sallituilla jännityksillä ja murtojännityksillä:

	NS 100	NS 125	NS 150
L_{sall}	0,52 m	0,65 m	0,79 m
L_{murto}	0,75 m	0,94 m	1,13 m

1) Putkia toimitetaan erikoistilauksesta myös pituuksilla

$L = 4,5, 5,0 \text{ ja } 5,5 \text{ metriä (toimitusehdot).}$

Ulokkeen sallitut pituudet olisivat noin 20 cm suurempia, mikäli ulokkeeseen liittyvän putken pituutena olisi laskelma-
massa käytetty taulukon 5 arvoja L_{sall} piha-alueella.

Edellä lasketut ulokkeen sallitut pituudet eivät ole voimassa siinä tapauksessa, että ulokkeen päässä oleva liitos on "purrut kiinni" painumasta aiheutuvan kulmanmuutoksen seurauksena. (Muhvin sallima kulmanmuutos on 5° .) Tällöin liitos välittää taivutusmomenttia, mistä seuraa, että tarkastelun kannalta on ulokkeen laskentapituus kasvanut. (Muhviin vaikuttava pistekuorma P korvautuu viivakuormalla, jonka vaikutusetaisyys perusmuurista on ulokkeen pituutta suurempi.)

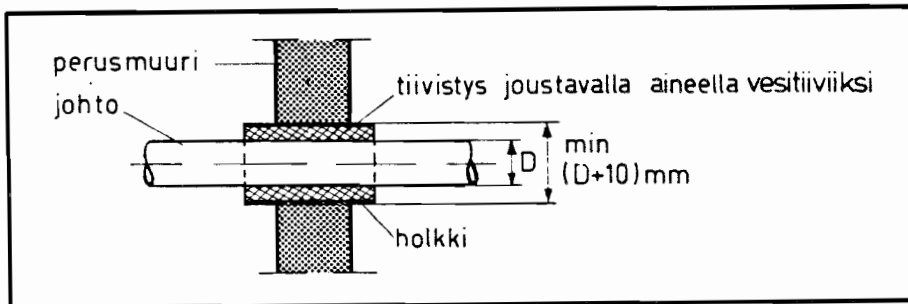
2.442 Kupariputkien vauriotarkastelu

Seuraava ote lähteestä /12/ kuvaa hyvin kirjallisuudessa esitettyjä käsityksiä kupariputkien ominaisuuksista:
"Kupariputki soveltuu erinomaisesti talojohdon rakennusmateriaaliksi, sillä kupari on sitkeää, se kestää hyvin painumia ja syövyttävääkin maaperää ja on hyvin muotoiltavissa". Samassa lähteessä viitataan edelleen kupariputkien yksinkertaisiin ja pitäviin liitosmahdollisuuksiin sekä siihen, että kupariputki kestää jäätymistä paremmin kuin muut metalliputket. Helsingissä saadut käytännön kokemukset tukevat näitä käsityksiä ja kupariputkien vaurioitumisen ei katsota muodostavan mitään varsinaista ongelmaa (taulukko 5).

Kupariputkien vauriot keskittyvät rakennuksen perusmuurin läheisyyteen sekä putkien liitoskohtiin. Maan painuessa perusmuurin lävistysholkin sallimaa liikevaraa enemmän (kuva 3) syntyy kupariputkeen venymä. Venyvän kupariputken heikoimman kohdan muodostavat kapillaariliitokset (kovajuotto), koska putken lämpökäsittely on näissä kohdissa muuttanut kylmänä vedetyn kuparin ominaisuudet heikuttettua kuparia vastaaviksi. Mikäli tällainen kohta on perusmuurin läheisyydessä, niin venymä keskittyy kyseiseen kohtaan aiheuttaen liitoksen mahdollisen murtumisen. (Heh-

kutetun kuparin myötöraja on $40...120 \text{ N/mm}^2$ ja kylmänä vedetyn kuparin myötöraja on n. 280 N/mm^2 .) Liitoksen murtumista saattaa myös edesauttaa sinkkikato juotoksessa.

Koska liitoskohdan sallimaan venymään vaikuttaa hehkutetun alueen pituus, niin liitoksia tehtäessä olisi suotavaa, jos putkea hehkutettaisiin liitoskohdan molemmin puolin enemmän kuin mitä itse liitostyö vaatii. Sama koskee myös kupari-putken taivutuksia.



Kuva 3. Esimerkki johdon viemisestä perusmuurin läpi.

2.443 Muoviputkien vauriotarkastelu

Taulukossa 3 on esitetty Helsingissä tapahtuneiden muovisten tonttivesijohtojen vaurioiden syyt vuosina 1974 ... 1982. Vaurioissa on merkillepantavaa se, että yhtään muoviputkea ei ole vielä murtunut maan painumisen seurauksena. Painuminen on kuitenkin aiheuttanut kahden laippaliitoksen pettämisen. Vaurioraporteista ei ilmene, ovatko laippaliitokset olleet perusmuurin välittömässä läheisyydessä, missä liitokseen kohdistuvat voimat ovat suurimmillaan. Laippaliitokseen kohdistuvat leikkausvoimat voidaan poistaa sijoittamalla liitos riittävän kauas painumattomasta rakenteesta, jolloin liitos seuraa maan painumia putken taipuisuuden johdosta. Samalla pienenevät myös liitokseen kohdistuvat vetojännitykset, koska putken ympärystäyttö painumattoman rakenteen ja laipan välillä kohdistaa putkeen kitkavoimia.

Muoviputkien kestävyyttä arvioitaessa on huomattava, että taulukossa 3 tarkasteltavat putket on rakennettu vuoden 1974 jälkeen. Tämä merkitsee sitä, että pehmeikköalueilla painumat eivät ole vielä täysin kehittyneet ja että tarkastelun kannalta ei muovin pitkäaikaislujuudesta ole saatu kokemuksia. Täten maan painuminen saattaa vielä aiheuttaa muoviputkien vaurioitumista.

2.45 Tonttiviemäreiden vauriot

2.451 Betoniputkien vauriolaskelmat

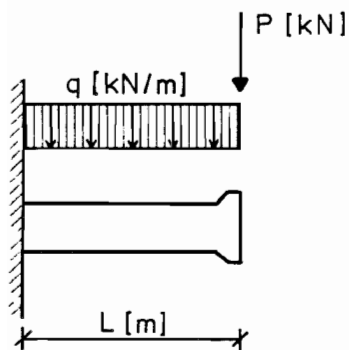
Vanhat ilman laadunvalvontaa tehdyt betoniputket murtuvat usein etenkin katualueella pituussuuntaisesti putken laesta ja pohjasta. Vaurio aiheutuu korroosion johdosta alentuneesta tai alkujaankin liian alhaisesta putken kantokyvystä. Tätä ongelmaa ei esiinny nykyisillä, normin mukaisilla betoniputkillalla, jotka on jaettu lujuusluokkiin perustamissyvyyden mukaisesti. Betoniputkinormissa edellytetään, että putki saa tasaisen tuen alustastaan. Täten normissa ei ole otettu huomioon epätasaisesta putkiperustasta aiheutuvia putken aksiaalisia jännityksiä, jotka voivat aiheuttaa putken murtumisen putken poikkileikkauksen tasossa. Seuraavissa laskelmissa tarkastellaan putken kestävyyttä kyseisissä olosuhteissa. Laskelmissa on metrin mittaisia betoniputkia käsitelty täysin jäykkinä putkina.

Uloke:

Paalutuksella olevaan tarkastuskaivoon jäykästi liitetty putki toimii kuormitettuna ulokkeena maan painuessa, koska putki ei tällöin ole alhaalta tuettu. Myös kulmanmuutoksen sallivassa liitoksessa putki toimii ulokkeena sen jälkeen, kun liitoksen sallima kulmanmuutos on maan painumisen johdosta saavutettu.

Oheisessa laskelmassa on laskettu tarkastuskaivoon liittyvien pyöreiden betoniputkien ($d = 150$ mm ja $d = 225$ mm) sallittu kaivon ulkopuolinen pituus.

Kuormitustilanne:



q = normissa ilmoitettu A-luokan putken suunnittelukuorma

$P = ql/2$, missä l on seuraavan putken rakennepituus = 1,0 m. Muovinvälityksellä ulokkeeseen siirtyy siis puolet seuraavalle putkelle tulevasta kuormasta

L = ulokkeen pituus

Lähtöarvot:

$$\text{Betoni K 40: } \sigma_{\text{sall}} = \frac{K}{12} + 1,2 \left[\text{N/mm}^2 \right] = 4,53 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{murto}} = 1,5 \cdot \sigma_{\text{sall}} = 6,8 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} d_1 &= 150 \text{ mm}; D_1 = 200 \text{ mm} & W_1 &= 0,537 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \\ d_2 &= 225 \text{ mm}; D_2 = 287 \text{ mm} & W_2 &= 1,45 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_1 &= 18,5 \text{ kN/m} & P_1 &= 9,25 \text{ kN} \\ q_2 &= 27,5 \text{ kN/m} & P_2 &= 13,75 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$M = \sigma \cdot W; \frac{1}{2} qL^2 + PL - \sigma \cdot W = 0$$

Yhtälöstä saadaan ulokkeen pituudeksi sallituilla jännityksillä ja murtojännityksillä seuraavat arvot:

$$\begin{aligned} d_1 \text{ (150 mm): } L_1 \text{ sall} &= 0,21 \text{ m} & L_1 \text{ murto} &= 0,30 \text{ m} \\ d_2 \text{ (225 mm): } L_2 \text{ sall} &= 0,35 \text{ m} & L_2 \text{ murto} &= 0,48 \text{ m} \end{aligned}$$

Putken kestävyys tulee vielä tarkistaa leikkausvoimien suhteen. Putken maksimi leikkausjännitys on:

$$\tau_{\text{max}} = \frac{4}{3} \tau_k \frac{1 + \frac{r}{R} + \frac{r^2}{R^2}}{1 + \frac{r^2}{R^2}}, \text{ missä } \tau_k = \frac{Q_{\text{kok}}}{A}$$

$$d_1: r_1/R_1 = 0,75; \tau_{\max} = 1,97 \tau_k$$

$$d_2: r_2/R_2 = 0,784; \tau_{\max} = 1,98 \tau_k$$

$$Q_{\text{kok}} = q \cdot L_{\text{murto}} + P; A = \pi(R^2 - r^2)$$

$$Q_1 = 14,8 \text{ kN ja } A_1 = 13744 \text{ mm}^2$$

$$Q_2 = 26,95 \text{ kN ja } A_2 = 24931 \text{ mm}^2$$

$$d_1: \tau_{1 \max} = 1,97 \cdot \frac{14800 \text{ N}}{13744 \text{ mm}^2} = 2,12 \text{ N/mm}^2 < \tau_{\text{sall}}$$

$$d_2: \tau_{2 \max} = 2,14 \text{ N/mm}^2 < \tau_{\text{sall}}$$

Betoniputkinormissa ei ole ilmoitettu sallitun leikkausjännityksen arvoa. Betoninormissa on puolestaan raudoittamattoman betonirakenteen taivutusvetojännitys ja leikkausjännitys merkitty yhtäsuuriksi.

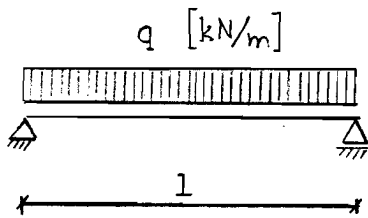
Putken ei siis katsota murtuvan leikkausvoimista edellä lasketuilla ulokkeen pituuksien L_1 ja L_2 arvoilla.

Palkki:

Putki voi toimia päistään vapaasti tuettuna ja kuormitettuna palkkina seuraavista syistä:

- Asennuksen yhteydessä ei muhveille ole tehty sora-arinaan syvennystä, jolloin muhvit ovat jääneet kantamaan putkea.
- Maan epätasaisen painuman tai epätasaisen putkiperustan johdosta. Maan epätasaisista painumista voi tapahtua esim. silloin, kun kaivannosta on jouduttu poistamaan suuria kiviä.
- Putki on toisesta päästään liittynyt painumattomaan rakenteeseen kulmanmuutoksen sallivan muhvin välityksellä. Esim. tarkastuskaivon "natsaan" liittyvä putki.

Kuormitustilanne:



q = suunnittelukuorma

l = putken pituus = 1,0 m

Laskelman lähtöarvot ovat samat kuin ulokkeen tarkastelussa.

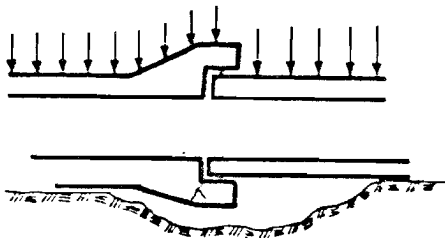
$$M = \frac{1}{8} qL^2 \quad \sigma = \frac{M}{W} = \frac{qL^2}{8W}$$

$$d_1 \text{ (150 mm): } \sigma_1 = \frac{18,5 \text{ kN/m} \cdot 1,0 \text{ m}}{8 \cdot 0,537 \cdot 10^6 \text{ mm}^3} = 4,30 \text{ N/mm}^2 \approx \sigma_{\text{sall}}$$

$$d_2 \text{ (225 mm): } \sigma_2 = 2,37 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{\text{sall}}$$

Laskelman perusteella betoniputkien murtuminen tällaisessa kuormitustapauksessa taivutusjännityksien johdosta on mahdollista ainoastaan pienillä putkikoilla ($d = 100 \dots 150 \text{ mm}$). Tämä johtuu ko. putkien pienestä taivutusvastuksesta, W .

Muhvin murtuminen:



Muhvia varten on tehty liian suuri syvennys. Tällöin pistopää välittää normaalia suuremman kuorman muhville, joka ei ole tuettu. Seurauksena on muhvin murtuminen.

Muhvin murtumiseen tarvittavaan voimaan vaikuttaa murtopinnan pinta-ala. Tähän pinta-alaan vaikuttaa puolestaan kumirengastiivisteen paikka muhvissa sekä tiivisteen kokoonpuristuminen, joka määrää muhville tulevien voimien jakauman. Muhvin murtokuorman selvittäminen vaatii kuormituskokeita.

2.452 Muoviviemärit

Luvussa 2.33 todettiin, että muovisen tonttivilmäarin yleisin vaurio on putken sallittua suurempi muodonmuutos. Muoviputkien muodonmuutostarkastelujen yhteydessä puhutaan putkikarakenteesta, millä ymmärretään putken ja sen ympärystäytön muodostamaa kokonaisuutta. Erityisen tärkeää on muodonmuutosten estämisen kannalta saada putkeen kohdistuva sivupaine lähelle putkeen kohdistuvan pystysuoran maanpaineen arvoa. Tällöin putki saavuttaa jo pienen muodonmuutoksen jälkeen "tasapainon" ympäristönsä kanssa, koska sivupaine estää putken liistymiseen liittyvän putken horisontaalisen muodonmuutoksen. Koska edellä esitetyn perusteella muoviputken vauriolaskelmia ei voida suorittaa ilman maanpaineen jakautumista koskevaa tietoutta, niin muoviputken muodonmuutoksia käsitellään luvussa 2.52 ("muovivilmääreiden vaatima ympärystäytön tiiveys").

2.5 Putkiperustalle asetettavat vaatimukset

2.51 Taipuisan putken muodonmuutokseen liittyvä teoria

Taipuisan putken horisontaalinen muodonmuutos voidaan Spanglerin mukaan määrittää yhtälöstä:

$$\delta_h = \gamma \frac{KQr^3}{EI + 0,061 kr^4} \quad (4)$$

δ_h = horisontaalinen muodonmuutos

γ = muodonmuutoksen aikakerroin

Q = putkeen kohdistuva kuormitus pituusyksikköä kohden

r = putken säde

EI = putken seinämän jäykkyys ($I = s^3/12$, s = putken seinämäpaksuus)

k = maan alustaluku

K = putken tukemistapaa kuvaava kerroin:

α°	30	90	180
K	0,108	0,096	0,083

missä α° on tuentakulma putken poikkileikkauksen keskipisteestä katsottuna

Käytännön laskelmissa (pienillä muodonmuutoksilla) voidaan horisontaalinen ja vertikaalinen muodonmuutos olettaa yhtäsuuriksi. Kaavassa (4) termi kr on yhtäsuuri kuin $2E'_s$, missä E'_s on täyttemaan sekanttimoduuli. Jos muodonmuutoksen aikakertoimelle annetaan arvo 1,0, saadaan taipuisan putken välittömäksi vertikaaliseksi muodonmuutokseksi:

$$\delta_v = \frac{KQ}{\frac{2E}{3} \left(\frac{s}{D}\right)^3 + 0,122 E'_s} = \frac{KQ}{E'_s (S + 0,122)} \quad (5)$$

δ_v = vertikaalinen muodonmuutos

E'_s = täyttemaan sekanttimoduuli

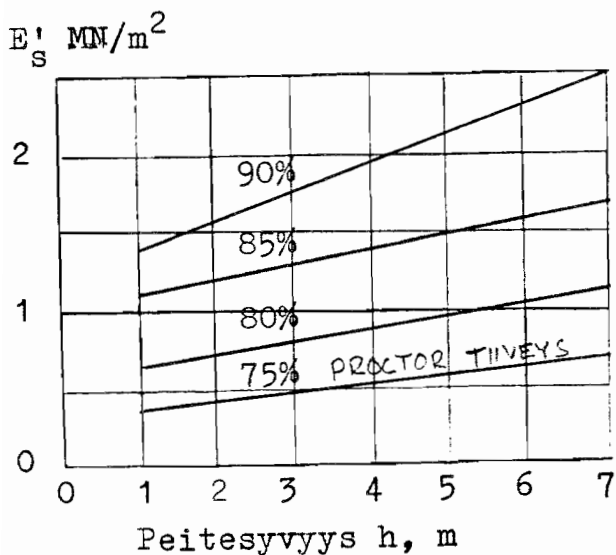
s = putken seinämäpaksuus

D = putken halkaisija

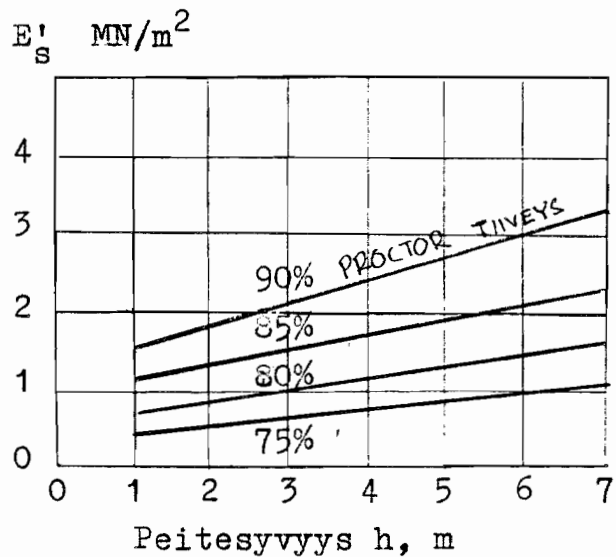
$S = \frac{2E}{3E'_s} \left(\frac{s}{D}\right)^3$ = jäykkyyskerroin

Lopullista muodonmuutosta vastaa Spanglerin tekemien kokeiden mukaan γ :n arvo 1,38...1,46, jolla kaava (5) on siis kerrottava laskettaessa kokonaismuodonmuutosta.

Sekanttimoduulin E'_s arvo riippuu täytemaakerroksen paksuudesta ja pohjavedenpinnan tasosta. E'_s :n arvo voidaan likimääräisesti määrittää Molin'in laatimista käyrästäistä, kuvat 4 ja 5, kun täytemaa on kitkamateriaalia. Mikäli tiivistäminen on suoritettu huonosti, lähenee kaavassa (5) termi $0,122 E'_s$ nollaa, jolloin muodonmuutos kasvaa.



Kuva 4. Kitkamateriaalin sekanttimoduuli, pohjavedenpinta maanpinnan tasossa.



Kuva 5. Kitkamateriaalin sekanttimoduuli, pohjavedenpinta putken alapuolella /9/.

Sekanttimoduulin arvo pienenee jonkin verran pohjavedenpinnan noustessa putken yläpuolelle. Samalla pienenee myös putkeen kohdistuva tehokas maanpaine, mikä merkitsee putkelle edullisempaa jännitysjakautumaa. Muodonmuutosten kannalta määräävin kuormitustilanne saavutetaan alhaisella pohjavedenpinnan tasolla.

Muodonmuutoksesta aiheutuu putken seinämään venymä, jonka laskemiseksi on lähteessä /15/ esitetty kolme eri tulokseen johtavaa kaavaa.

Jääskeläisen mukaan muoviputken venymä voidaan laskea kaavalla:

$$\epsilon = 6 \left(\frac{\delta_v}{D} \right) \left(\frac{S}{D} \right) \quad (6a)$$

- Watkins, Szpak ja Allman ovat puolestaan esittäneet venymän laskemiseksi kaavaa:

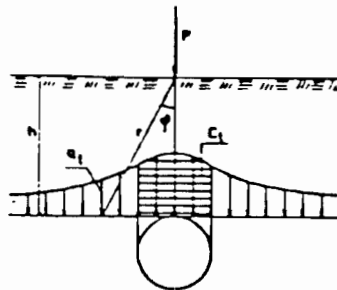
$$\epsilon = 4 \left(\frac{\delta_v}{D} \right) \left(\frac{S}{D} \right) \quad (6b)$$

- Standardin ISO/TC 138 mukaan ellipsin muotoon litistyneen putken venymä voidaan laskea kaavalla

$$\epsilon = 3 \left(\frac{\delta_v}{D} \right) \left(\frac{S}{D} \right) \quad (6c)$$

Luvun 2.52 taulukkoa 6 laskettaessa on pistekuormasta (liikennekuormasta) aiheutunut maanpaine putken laen tasolla laskettu Boussinesg'in kaavalla.

$$q_{\text{liik}} = \frac{3P}{2\pi h} \cos^5 \phi \quad (7)$$



Liikennekuormaa laskettaessa on muistettava ottaa myös toisen pyörän vaikutus huomioon. Tällöin pistekuorma P on akseli-paino/2.

2.52 Muoviviemäreiden vaatima ympärystytön tiiveys

Muoviputkinormissa RIL 77-1984 on esitetty työohjeet putken ympärystytönä käytettävän suojamateriaalin tiivistämiseksi, mutta mitään tarkkaa lukuarvoa (Proctor-tiiveys) ei vaadittavalle tiiveydelle ole esitetty. Ruotsissa, missä asentamisen jälkeiset sallitut kokonaismuodonmuutokset ovat putkimateriaaleittain olleet PEL 10 %, PEH 8 % ja PVC 5 %, on ympärystytön tiiveysvaatimuksena ollut 85 % (Proctor). Raskaasti liikennöidyillä kaduilla on tiiveysvaatimuksena kuitenkin ollut 90 %.

Pohjoismaissa suoritettujen mittaustulosten perusteella ovat keskimääräiset muodonmuutokset välittömästi asennuksen jälkeen olleet alle 5 %. Ruotsalaisten tutkimusten mukaan suurimmat muodonmuutosarvot ylittävät keskimääräisen muodonmuutoksen 3 %:lla silloin, kun kaivanto on tehty kivettömään maahan ja 5 %:lla silloin, kun kaivumaa on kivistä. Jälkimmäisessä tapauksessa kaivannon pohjasta tulee epätasainen.

Muoviputkinormissa on annettu suurimmat sallitut putken poikkileikkauksen muodonmuutosarvot asentamisen jälkeen. Arvot tarkoittavat suurinta yksittäistä muodonmuutosta mitattuna 2...3 viikkoa asentamisen jälkeen. Arvot muodostuvat siten, että asennuksesta aiheutunut muodonmuutos saa olla 7 % ja tämän lisäksi saa putken alkuperäinen muodonmuutos (soikeusaste) olla 1...2 % putkimateriaalista riippuen.

Edellä esitetyn perusteella voitaisiin muoviputken vaadittava ympäristäytön tiiveys määrittää lähtien liikkeelle alkumuodonmuutosarvosta 2...4 % (kaivumaan kivisyydestä riippuen), jolloin suurimpien alkumuodonmuutosarvojen ei katsota ylittävän sallittua 7 %:n rajaa.

Kaava 5 voidaan kirjoittaa muotoon:

$$E'_s = \frac{q}{\sigma_v/D} \cdot \frac{0,083}{S+0,122} \quad ; \quad S = \frac{2}{3} \frac{E}{E'_s} \left(\frac{s}{D}\right)^3 \quad (8)$$

missä kertoimelle K on annettu arvo 0,083, mikä vastaa normin mukaista putken tuentakulmaa 180° . Kaavasta 7 saatavan passiivivastusmoduulin E'_s ja kuvan 5 käyrästön perusteella voidaan määrittää vaadittava Proctor-tiiveys. Koska jäykkyyskertoimen S arvo riippuu putkimateriaalista, seinämäpaksuudesta (putkiluokasta) ja myös termistä E'_s , niin vaadittavan Proctor-tiiveyden määrittäminen on helpompaa putken pitkäaikaisten muodonmuutosten perusteella. Tällöin nimittäin jäykkyyskertoimen S arvo tulee muovin relaksaation (kimmoduulin E pienentyminen) johdosta niin pieneksi, että jäykkyyskerroin voidaan kaavassa 8 merkitä nolllaksi. Täten siis selvittää yhdellä laskelmalla, jonka tulos on varmalla puolella putken nolllaksi merkityn "jäännösjäykkyyden" johdosta.

Taulukon 6 vaaditut Proctor-tiiveyden arvot on määritetty seuraavien lähtötietojen pohjalta:

- putken alkumuodonmuutos on 2...4 %
- pitkäaikainen muodonmuutos on 1,5 x alkumuodonmuutos eli 3...6 %
- liikennekuorman akselipaino on 140 kN ja pyörien välinen etäisyys 1,8 m
- jäykkyyskertoimen pitkäaikaisarvo S_{50v} katsotaan nolllaksi.

Taulukko 6. Vaadittava Proctor-tiiveys eri peitesyvyyksillä pohjavedenpinnan ollessa putken alapuolella ja putken ympärystätön ollessa kitkamateriaalia, $S = 0$.

Täytekorkeus h , m	Maanpaine, kN/m^2 $q_{\text{maa}} + q_{\text{liik}}$ $= q_{\text{tot}}$	E'_s , MN/m^2	Vaadittava Proctor- tiiveys
1,0	$19 + 34 = 53$	0,60-1,20	78-85 %
2,0	$38 + 10 = 48$	0,54-1,09	75-82 %
3,0	$57 + 5 = 62$	0,70-1,41	75-83 %
4,0	$76 + 3 = 79$	0,89-1,79	77-85 %

Edellä viitattiin jo siihen, että putken ympärystätön ollessa kitkamateriaalia jäävät putkiluokkien väliset erot suhteellisen pieniksi muodonmuutoksen pitkäaikaisarvojen tarkastelussa. Asennuksen jälkeisen tilanteen tarkastelussa muodostuu jäykkyystermin S kaavassa 8 jo siinä määrin merkittäväksi, että laskennallisesti saadaan jo selviä eroja eri putkiluokkien ja putkimateriaalien alkumuodonmuutosarvojen välillä.

Vaikka edellä käsitellyn kaltaiseen putken pitkäaikaiseen muodonmuutokseen ei valittavalla putkiluokalla ole kovin suurta vaikutusta, niin putken tulee olla kuitenkin riittävän jäykkä lommahtamisen estämiseksi. Lisäksi putken ympärillä käytettävän alkutäyttömateriaalin tiivistämistapa asettaa omat vaatimuksensa käytettävän putkiluokan suhteen. Putkiluokan oikeaan valintaan tulee kiinnittää erityistä huomiota

silloin, kun putken ympärystäytönä käytettävä materiaali on savea tai silttiä. Putkiluokan valintaa on käsitelty muoviputkinormissa RIL 77-1984.

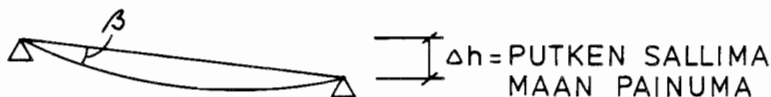
Todettakoon vielä luvun 2.33 mukaisesti, että muodonmuutosten kannalta muodostaa painuvan tonttiviemärin ongelmakohdan viemärin liitos painumattomaan tai eri tavalla painuvaan rakenteeseen. Putken taipumisen, sivutäytön löyhtymisen sekä tukireaktioiden keskittymisen johdosta putkeen voi muodostua putken toimintaa haittaava litistymä.

2.53 Tonttivesijohtojen sallima maan painuma

2.531 Valurauta

Seuraavissa laskuesimerkeissä tarkastellaan valurautaputken sallimaa maan painumista putken liittyessä perusmuurin läpivientikohdassa olevaan muhviin. Laskelmissa oletetaan, että työvirheet eivät rajoita muhvin salliman kulmanmuutoksen arvoa.

Taulukon 5 mukaisesti on valurautaputken NS 100 ohjeellinen pituus piha-alueella 4,0 m täytekorkeuden ollessa 2,0 m. Koska tällainen valurautaputki pystyy vastaanottamaan siihen kohdistuvan maanpaineen päistään vapaasti tuettuna palkkina, niin putken sallima maan painuma määräytyy muhvin salliman kulmanmuutoksen ja putken taipumaviivan perusteella. Sallittu painuma Δh voidaan laskea seuraavasti:



$$\Delta h = L(\tan \alpha - \beta)$$

missä

$$\alpha = \text{muhvin sallima kulmanmuutos} = 5^\circ$$

$$\beta = \text{putken pistopään kiertymä} \quad \beta = \frac{qL^3}{24EI}$$

$$q = \text{maanpaine} = \frac{5}{3}\gamma hD$$

$$q = \frac{5}{3} \cdot 19 \text{ kN/m}^3 \cdot 2,0 \text{ m} \cdot 0,118 \text{ m} = 7,47 \text{ kN/m}$$

$$\beta = \frac{7,47 \text{ kN/m} \cdot 4,0^3 \text{ m}^3}{24 \cdot 170 \text{ kN/mm}^2 \cdot 3,37 \cdot 10^6 \text{ mm}^4} = 0,0348$$

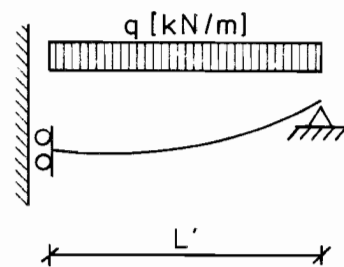
$$\Delta h = 4,0 \text{ m}(\tan 5^\circ - 0,0348) = 21,0 \text{ cm}$$

Mikäli putken katsotaan saavan tukea putkiperustasta, niin putki taipuu vähemmän (kulma β pienenee), jolloin se sallii suuremman painuman Δh .

Jos edellisen tarkastelun putki olisi pituudeltaan normaali (6,0 m), niin se ei kestäisi kyseistä kuormitustapausta päistään vapaasti tuettuna. Putken tulisi kestääkseen saada tukea putkiperustasta tai putken tukemattoman osuuden (L') tulisi olla riittävän lyhyt. Jälkimmäisessä tapauksessa voidaan putken taipuma arvioida seuraavalla kuormitus-tilanteella:

$$f_{\text{sall}} = \frac{5}{6} \frac{\sigma_{\text{sall}} \cdot L^2}{E \cdot D}$$

$$\beta = \frac{qL^3}{3EI}, \quad M_{\text{max}} = \frac{qL^2}{2}$$



missä f_{sall} on putken sallittu taipuma

$$M_{\text{sall}} = \frac{1}{2} q(L')^2 = \sigma_{\text{sall}} \cdot W, \quad \text{jolloin } L'_{\text{sall}} = \sqrt{\frac{2\sigma_{\text{sall}} \cdot W}{q}}$$

$$L'_{\text{sall}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 15,96 \text{ kNm}}{7,47 \text{ kNm}}} = 2,07 \text{ m} \Rightarrow f_{\text{sall}} = 5,0 \text{ cm} \quad (\text{NS 100})$$

=====

$$L'_{\text{murto}} = 2,53 \text{ m} \Rightarrow \underline{f_{\text{murto}} = 8,0 \text{ cm}}$$

Laskelman perusteella putken (NS 100) taipumat voivat olla sallituilla jännityksillä 5,0 cm ja murtojännityksillä 8,0 cm kyseisessä kuormitustilanteessa. Putken sallima kokonaispainuma riippuu kuitenkin maan painumaviivan muodosta. Mikäli maa painuu tasaisesti, niin muhvin tapahtuva kulmanmuutos aiheutuu pelkästään putken taipumasta. Tällöin siis putkiperustasta tuen saava putkiosuus jää painumien tapahduttua alkuperäiseen kaltevuuteen. Jos maan painumaviiva on kalteva putken tuetulla osalla, niin putken salliman painuman rajoittavaksi tekijäksi muodostuu muhvin sallima kulmanmuutos. Tällöin painuma voisi olla:

$$\Delta h = f_{sall} + L(\tan \alpha - \beta)$$

$$\beta = \frac{q(L')^3}{3EI} = \frac{7,47 \text{ kN/m} \cdot 2,0^3 \text{ m}^3}{3 \cdot 170 \text{ kN/mm}^2 \cdot 3,37 \cdot 10^6 \text{ mm}^4} = 0,0348 \quad (\text{NS } 100)$$

$$\Delta h = 5,0 \text{ cm} + 6,0 \text{ m} (\tan 5^\circ - 0,0348) = 36,6 \text{ cm}$$

=====

Edellä käsitellyistä laskuesimerkeistä käy ilmi, että maan painuessa voidaan riittävän lyhyillä putkilla (taulukko 5) käyttää muhvin sallima kulmanmuutos aina hyväksi, kun taas pitkillä putkilla asiaan vaikuttaa maan painumaviivan muoto. Painumaviivan muodosta on todettava, että painumat kasvavat mentäessä poispäin paalutetusta talosta, mikäli pihamaan kunnostuskerrokset kuormittavat maata enemmän kuin vastaavat rakennuksen alapuoliset kerrokset.

Edellä todettiin, että 4,0 m pitkä valurautaputki (normaalia lyhempi) voisi vastaanottaa perusmuurin läpivientikohdan muhviin liittyessään 21,0 cm painuman rikkoontumatta. Sallittu painuma voisi olla suurempi, mikäli putki lähtisi seinästä katsottuna muutaman asteen nousulla (ennakkokorotus). Asennustyöt eivät salli muhvin salliman kulmanmuutoksen (5°) käyttöä. 3° :n ennakkokorotuksella putken sallima painuma olisi 42 cm. Jotta putki voisi vapaasti painua ennakkokorotuksesta vaakatasoon, tulee muhveihin jättää yhteensä vajaan senttimetrin liikevara.

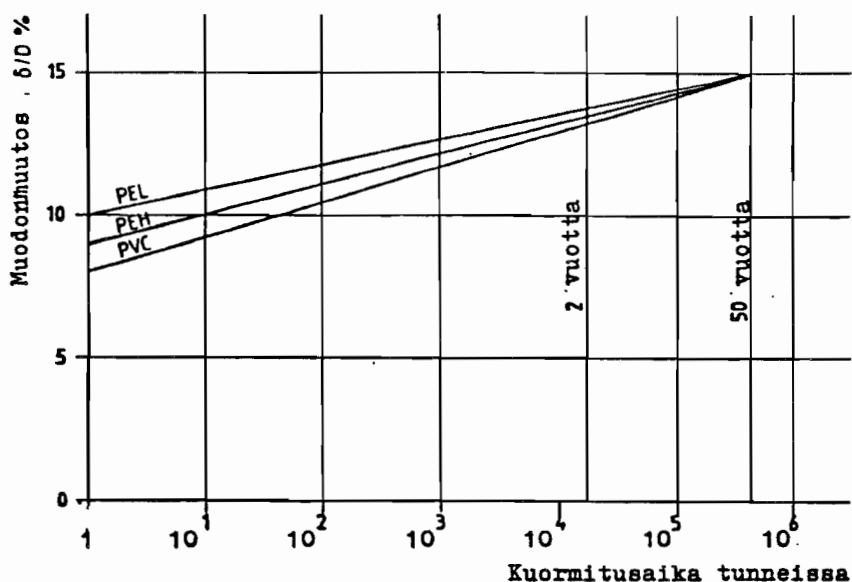
Putken sallimaa painumaa voidaan myös lisätä suuremman kulmanmuutoksen sallimalla muhvilla. Ruotsissa on tällainen muhvi otettu käyttöön putkiko'illa NS 80...200. Muhvi on rakenteeltaan sama kuin mitä käytetään putkiko'illa NS ≥ 700 (Tyton).

Laskuesimerkeissä on tarkasteltu valurautaputken sallimaa maan painumaa putken liittyessä painumattomaan tai vähemmän painuvaan rakenteeseen. Koko tonttijohdon rakentamista ajatellen voidaan todeta, että käyttämällä riittävän lyhyitä putkia (taulukko 5) voidaan mahdolliset pohjavahvistustoimenpiteet välttää, mikäli painumaerot pysyvät tietyissä rajoissa. Putkien väliset painumaerot eivät saa muodostua niin suuriksi, että muhvit alkavat täyden kulmanmuutoksen seurauksena välittää taivutusmomenttia, jolloin seurauksena voi olla putken rikkoontuminen.

2.532 Muovi

Muoviputkinormissa RIL 77-1984 ei ole esitetty eri muovilaa-
tujen sallittuja venymiä. Edellisessä normissa RIL 77 c on
esitetty eri muovilaa-
tujen sallituille alkuvenymille seuraa-
vat arvot: PEL 3,0 %, PEH 1,5 % ja PVC 0,5 %. Maan painumi-
sesta aiheutuvalle muoviputken venymälle ei ole kuitenkaan
esitetty mitään sallittua arvoa. Tämän arvon teoreettisen
tarkastelun tekevät muovin viskoelastiset ominaisuudet sekä
maan painumisen myötä muuttuva kuormitustilanne (aikatekijä)
erittäin hankalaksi. Sallitun (ja luotettavan) arvon määrit-
täminen maan painumisesta aiheutuvalle putken pituussuuntai-
selle venymälle edellyttäisi kuormituskokeita. Seuraavassa
tarkastelussa määritetään kyseisen venymän sallitut arvot
putkimateriaaleittain muoviputken sallittujen muodonmuutos-
arvojen perusteella.

Lähteen /13/ mukaan suositellaan asennuksen jälkeisille suu-
rimmille sallituille muodonmuutoksille seuraavia arvoja:
PVC 8 %, PEH 9 % ja PEL 10 %. Näillä alkumuodonmuutosten
arvoilla ei pitkäaikaismuodonmuutosten (laskenta-aika 50 v)
katsota ylittävän 15 %:n arvoa. Lisäksi katsotaan 20 %:n
pitkäaikaismuodonmuutoksen olevan vielä putken murtumisen
kannalta sallituissa rajoissa, kuva 6.



Kuva 6. Muodonmuutosten suurimmat sallitut mittausarvot
eri ajankohtina asentamisen jälkeen.

Tässä luvussa määritetään maan painumisesta aiheutuvat paineellisen muoviputken sallitut taipumat (venymät) muodonmuutosarvon (δ_v/D) = 15 % perusteella. Luvun 2.52 vastavassa tarkastelussa käytetään muovisille tonttiviemäreille arvoa (δ_v/D) = 20 %. Muoviputken sallitusta muodonmuutosarvosta ei kaavojen 6a...6c perusteella voida määrittää luotettavaa arvoa muovin sallitulle venymälle. Sallitut venymät lasketaan tässä yhteydessä kaavalla 6a, mikä antaa tulokseksi kaksi kertaa suuremman venymäarvon kuin kaava 6c. Sallituiksi venymiksi saadaan:

PEL	5,4 %	Esim.	$\epsilon = 6\left(\frac{\delta_v}{D}\right)\left(\frac{S}{D}\right)$
PEH	3,6 %		
(PVC	2,7 %)	PEH:	$\epsilon = 6 \cdot 0,15 \cdot 0,04 = 0,036$
			(T-luokka: $\frac{S}{D} = 0,04$)

Näitä arvoja voidaan verrata lähteessä /15/ esitettyihin arvoihin:

- Muovin kriittinen venymä, jolloin kuormituskokeessa ensimmäiset hiushalkeamat voivat esiintyä, on polyeteenille $\epsilon_{kr} = 4$ % ja PVC:lle $\epsilon_{kr} = 0,85$ %.
- Sallittujen jännitysten aiheuttamat muovin pitkäaikaiset venymät ovat PEL:lle $\epsilon_{50} = 6,0$ %, PEH:lle $\epsilon_{50} = 5$ % ja PVC:lle $\epsilon_{50} = 1,0$ %.

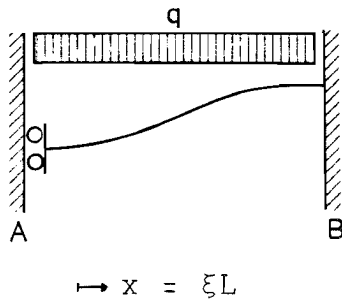
Edellisten arvojen valossa vaikuttaa kuvan 6 ja kaavan 6a mukaisesti määritetty PVC:n arvo epäluotettavalta. Tosin on huomattava, että lähteessä /15/ esitetyt tutkimustulokset ovat yli kymmenen vuotta vanhoja ja että nykyään valmistettavat muoviputket ovat materiaaliominaisuuksiltaan parempia.

Markkinoille tulleesta uudesta putkimateriaalista, PEM'stä (puolikova polyeteeni), voidaan todeta, että se asettuu ominaisuuksiltaan pehmeän (PEL) ja kovan (PEH) polyeteenin väliin. Tällöin myös sallittu venymä asettuisi edellisille materiaaleille määritettyjen arvojen väliin. Varovaisena arviona tässä esityksessä käytetään jatkossa PEM:n sallitulle pitkäaikaisvenymälle arvoa 4,0 %.

Jatkuvan muoviputken kykyä vastaanottaa maan painumia voidaan arvioida seuraavan kuormitustapauksen avulla:

Δh = putken taipuma kohdassa A

$$\Delta h = \frac{1}{4} \epsilon_{sall} \frac{L^2}{D} \quad (9)$$



Kaavan käyttöalue voidaan määrittää yhtälöstä:

$$L^2 \leq \frac{16D^2}{\epsilon_{sall}} \left[\left(\frac{\epsilon_{sall}}{2,6} + 1 \right)^2 - 1 \right] \quad (10)$$

Kaava (9) antaisi suuremmilla L:n arvoilla tulokseksi sellaisia taipuma-arvoja, joilla sallittu venymä ylittäisi. Täten kaavan käyttöalue olisi PEL-, PEH- ja PEM-putkille seuraava:

PEL: $L \leq 15,1 D$

PEH: $L \leq 18,5 D$

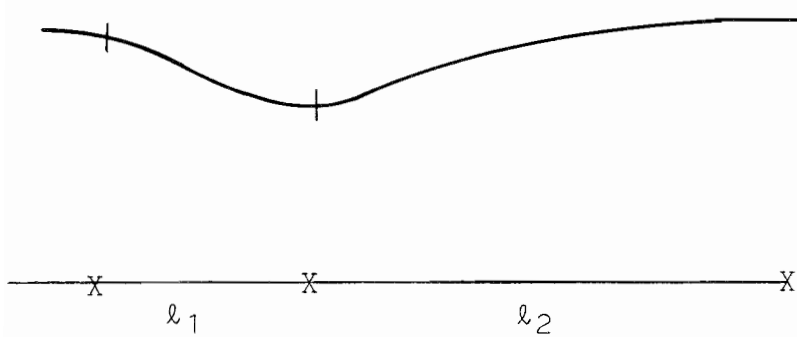
PEM: $L \leq 17,6 D$

Suuremmilla L:n arvoilla sallittu taipuma Δh voidaan määrittää yhtälöllä:

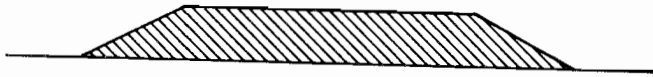
$$\Delta h = \sqrt{\epsilon_{kesk} (2 + \epsilon_{kesk})} \cdot L \quad (11)$$

missä keskimääräinen venymä $\epsilon_{kesk} = \frac{\epsilon_{sall}}{2,6}$

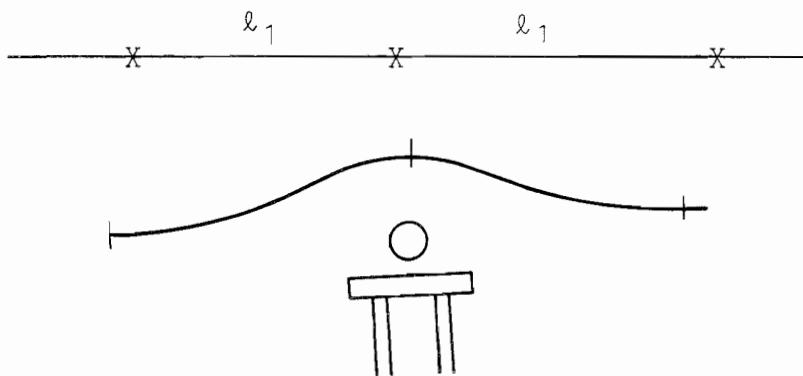
Kaavojen 9 ja 10 perusteella voidaan myös määrittää putkiperustan suurimmat sallitut painumaerot silloin, kun maan painumaviiva on osittain putken taipumaviivan muotoinen. Edellisten kaavojen perusteella on piirretty PEH-putken sallimat maan painumat liitteeseen 1. Seuraavissa kuvissa on esitetty kolme tapausta, jotka havainnollistavat liitteen 1 käyttöä putkiperustan geoteknisessä mitoituksessa (eli putkiperustan sallitun painumaviivan määrittämisessä).



Maan painumaviiva; mielivaltainen tapaus



Maan painumaviiva pehmeikölle rakennetun tien alla =
risteävästi tien alittavan putken taipumaviiva



Paalutetun linjan yli menevän putken taipumaviiva

Kuva 7.

Kuvan 7 tapauksissa maan painumaviiva on jaettava osiin siten, että muusta painumaviivasta erotettava tarkasteluväli (kuvassa l_1) on mitoituksen kannalta määräävä. Liian pitkän tai lyhyen tarkasteluvälin valinta johtaa virheelliseen tulokseen, koska tällöin kaavan 9 edellyttämän taipumaviivan muoto poikkeaa huomattavasti maan painumaviivan muodosta kyseisellä tarkasteluvälillä. Koska liitteen 1 käyrästä pohjautuu sellaiseen putken taipumaviivaan, missä taipumaviivan kaltevuus on tarkasteluvälin alku- ja loppukohdassa nolla, niin käyrästä antaa käytännön tapauksiin verrattuna varmalla puolella olevia arvoja. Tämä varmuus voidaan laskea taipumaviivan yhtälöstä:

$$f = \frac{qL^4}{24EI}(1 - \xi^2)^2 \quad (12)$$

missä f on putken taipuma tarkasteluvälin pisteessä ξL .

Esim. Maan painumaviivasta valittu tarkasteluväli vastaa taipumaviivan muotoa välillä $\xi = 0,2 \dots 0,8$. Määritä liitteen 1 mukaisen sallitun painumaeron varmuuskerroin.

Merkinnät: Tarkasteluväli $\xi = 0,2 \dots 0,8 = L = 0,6 L'$
 Tarkasteluväli $\xi = 0,0 \dots 1,0 = L' = 1,67 L$

Liitteen 1 mukainen sallittu painumaero riippuu kaavan 9 mukaan suoraan termistä L^2 .

Tarkasteluvälin L' painumista tapahtuu kaavan (12) mukaisesti 79 % välillä L .

$$(1 - 0,2^2)^2 - (1 - 0,8^2)^2 = 0,79$$

Sallittu painumaero riippuu siis suoraan termistä $0,79 (L')^2$, mikä voidaan kirjoittaa muotoon $2,2 L^2$. Täten varmuuskerroin olisi tässä tapauksessa 2,2.

Tässä luvussa on muoviputken sallimat putkiperustan painumat määritetty siten, että painuman johdosta eivät muovin sallitut venymät saa ylittyä. Tämä johtaa siihen, että liitettä 1 käytettäessä katsotaan putken saavan tuen putkiperustasta koko tarkasteluvälillä. (Putken taipumaviiva siis yhtyy maan painumaviivaan.)

Täten liitteen 1 käyrästöllä ei voida arvioida painumattomaan rakenteeseen liittyvän putken sallimaa maan painumaa liitoskohdan vieressä. Kyseisessä tilanteessa putki ei saa liitoskohdan vieressä tukea painuneesta putkiperustasta ja putken taipuisuuden johdosta sallitut venymät ylittyvät. Lisäksi on huomattava, että liitteen 1 edellyttämiä venymiä ei voida täysimääräisesti käyttää hyväksi, mikäli putkeen on jäänyt asentamisajankohdan korkeasta lämpötilasta johtuen lämpöjännityksiä. Asennusohjeiden mukaan on putken asennuslämpötila tarvittaessa saatettava lähemmäksi putken käyttölämpötilaa antamalla putken lämpöliikkeen tapahtua vain alkutäyttömateriaalilla peitettyssä putkessa. Esim. 40 °C lämpötilaeron aiheuttama lämpölaajeneminen PEH:lle on 0,68 % (0,17 mm/mC), mikä on 45 % normin sallimasta alkuvenyymästä ja 19 % tässä luvussa määritetystä sallitusta venymästä. Edellä käytetty 40 °C lämpötilaero on mahdollinen auringon paistaessa kesällä väriltään mustaan putkeen.

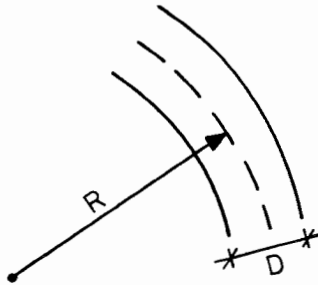
2.533 Kupari

Taulukossa 4 annettiin kovan kupariputken murtovenymälle arvo $A_{10} = 3...15$ %. Lisäksi todettiin tämän arvon olevan käytännössä 8 %:n luokkaa. Tonttijohtoina käytettävälle kovalle kuparille ei ole annettu mitään sallitun venymän arvoa. Tätä arvoa voidaan tarkastella putken pienimmän sallitun kaarresäteen perusteella, joka on kovalle kupariputkelle 4 x D kokoon 18 mm saakka ja 6 x D suuremmille putkiko'oilte. (D on putken ulkohalkaisija.) Mainittakoon, että käytännössä työteknisistä syistä tonttijohtoina käytettävät kovat kupariputket pehmennyskuumennetaan ennen taivutusta. Hehkutettujen putkien pienin sallittu kaarresäde olisi putken kestävyyskannalta 2,5 x D, mutta arvoksi on virtausteknisistä syistä määritetty 4 x D.

Seuraavassa geometriaan pohjautuvassa laskelmassa on arvioitu kovan kupariputken sallittua venymää. Putken poikkileikkauksen litistymisen on laskelmassa katsottu olevan estetty taivutuksen yhteydessä.

$$R_{sall} = 6 D, \text{ jolloin } 2\pi \frac{(R + \frac{D}{2})}{2\pi R} = \frac{6,5}{6} = 1,083$$

$$\text{Tällöin } \epsilon_{sall} = 8,3 \%$$



Edellinen laskelma antaa venymälle ainoastaan likiarvon, koska laskelmassa ei enää liikuta lineaarisesti kimmoisalla alueella. Kupariputken taivutuksessa voidaan seinämäpaksuuden muutoksista havaita muodonmuutosten painottuneen putken sisäreunalle, jolloin vastaava ulkoreunan venymä on jonkin verran edellä laskettua pienempi.

Yhteenvedona edellisestä voidaan todeta, että

- kovan kuparin murtovenymä vaihtelee 3...15 % muokkausasteesta riippuen,
- murtovenymän arvo on käytännössä 8 %,
- sallitusta kaarresäteestä määritetty arvo ϵ_{sall} on hieman alle 8 %.

Yhteenvedon arvojen erilaisuudesta johtuen on kupariputken sallitulle venymälle vaikea määrittää mitään tiettyä arvoa. Sallitulle venymälle voitaneen suositella käytettäväksi samaa luokkaa olevaa arvoa kuin paineellisille PEH-putkille (3,6 %). Tällöin voidaan liitteen 1 avulla arvioida myös kupariputken sallimat putkiperustan painumaerot. Liitteen 1 käytöstä on huomattava, että liitteen käyrästä määritettäessä on putken katsottu saavan tukea putkiperustasta koko tarkasteluvälillä. Tällöin ei käytetystä venymästä aiheutuvan myötörajan ylityksen ole katsottu vaikuttavan liitteen 1 edellyttämään taipumaviivan muotoon.

2.54 Tonttiviemärin sallima maan painuma huuhtoutumisen kannalta

Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistoja koskevissa määräyksissä ja ohjeissa (Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D1, RakMk;D1) on annettu mitoitusdiagrammit kiinteistöjen viemärlaitteistojen, joihin tonttiviemäritkin luetaan kuuluviksi, mitoitusvarten. Diagrammeista saatava tonttiviemärin minimikaltevuus perustuu siihen, että viemärin itsepuhdistuvuus saavutetaan tietyllä hankausjännityksen arvolla. Hankausjännitys on toisaalta riippuvainen muunmuassa mitoitusvirtaamasta ja kaltevuudesta. (Hankausjännitys on putken seinämän ja nestepartikkelin välinen leikkausjännitys τ .)

Hankausjännityksen mitoitusarvot ovat:

- savi-, betoni- ja valurautaputkille
 - 2,5 N/m² jätevesiviemäreissä
 - 1,5 N/m² sadevesiviemäreissä
- muoviputkille
 - 2,3 N/m² jätevesiviemäreissä
 - 1,4 N/m² sadevesiviemäreissä

Edellä mainittujen määräysten mukaan voidaan poikkeustapauksissa kaltevuutena käyttää 60 % diagrammeista saatavasta minimikaltevuudesta. Kaltevuuden pienentäminen on lähinnä sallittua silloin, kun viemärin huoltamismahdollisuus on varmistettu käyttäen normaalia lyhyempiä puhdistusaukkovälejä.

Edellä käsitellyn, voimassa olevien ohjeiden mukaisen, mitoitusmenetelmän mukaan ei viemärin kaltevuus saa maan painumisen johdosta alittaa tiettyä minimikaltevuutta viemärin huuhtoutumisen takaamiseksi. Kuitenkin, jos esim. paikalliseen painumaan saostuu lietettä vain siinä määrin, että lietteestä huolimatta putkeen jää riittävän suuri "vapaa" poikkileikkaus, niin painumasta ei todennäköisesti ole mainittavaa haittaa putken toimivuudelle. Tämä vapaa poikkileikkaus määräytyy viemärin alkuperäisen kaltevuuden ja putken painuman perusteella. Täynnä olevan putken toimivuuteen vaikuttaisi

puolestaan poikkileikkauksen pienentymisen myötä kasvanut virtausnopeus.

Ruotsissa on SGI:n¹⁾ toimesta meneillään kokeilu, jossa viemärin rakentamisesta maksettava urakkasumma määräytyy takuutarkastuksessa havaittujen painumien perusteella seuraavasti:

- Painumien ollessa 0...20 % putken halkaisijasta katsotaan viemärin toimivan moitteettomasti ja rakennustyöstä maksetaan täysi urakkasumma.
- Painumien ollessa 20...50 % putken halkaisijasta katsotaan viemärin vaativan kunnossapitoa, minkä osuus vähennetään urakkasummasta.
- Painumien ollessa yli 50 % linja hylätään.

Edellisiä arvoja ei kuitenkaan sovelleta tonttiviläjäreihin ja lisäksi painumien katsotaan aiheutuneen pelkästään työvirheistä. Tällöin siis putkien perustamistapa tai maaperäolosuhteet ovat sellaiset, ettei konsolidaatiopainumaa tapahtu. Mikäli tonttiviläjäreille käytettäisiin samoja arvoja, olisi esim. Ø 150 mm betoniputken sallittu painuma 3,0 cm. Näin pienillä putkiko'illa työvirheistä aiheutuvat painumat ovat usein suurempia.

Helsingissä on pehmeikköalueille rakennettu tonttijohdot ja varsinkin "kevyen" perustuksen (hiekk- tai sora-areina) varaan. Tällöin edellä mainittujen työvirheiden aiheuttaman painuman lisäksi tapahtuu kuormitustilanteesta riippuen myös konsolidaatiopainumaa. Peilauksella suoritettua tonttiviläjärien vaurioselvityksessä ilmeni useita sellaisia tonttiviläjäreitä, jotka tulivat painuman johdosta nousulla paalutettuun tarkastuskaivoon. Pahimmillaan viemärit olivat lakeaan myöten täynnä vettä jo noin 1,5 metrin päässä tarkastuskaivosta. Kuitenkin tarkastetut viemärit toimivat.

Edellisten havaintojen perusteella olisi tarvetta määrittää geoteknistä suunnittelua ajatellen "riittävät" sallittujen

1) Statens geotekniska institut

painumien arvot. Vaatimus, että tonttiviljemärit painumien jälkeenkkin täyttäisivät RakMk;D1 mukaiset minimikaltevuudet, johtanee pehmeikköalueilla tonttiviljemärien osalta turhan usein mittaviin pohjavahvistustoimenpiteisiin.

Ruotsissa SGI:n toimesta suoritettun kokeilun sekä tämän selvityksen yhteydessä suoritettujen peilausten perusteella voitaisiin tonttiviljemäreiden sallitun painuman ajatella määriytyvän seuraavien kriteerien perusteella:

- Putkilinja saa olla nousulla puolet putken halkaisijasta tietyn pituisella johto-osuudella.
- Putkien sallitut kulmanmuutokset muhveissa eivät saa ylittyä.

Tällaisten sallitun painuman ohjearvojen määrittäminen edellyttää kuitenkin tutkimuksia, joiden avulla selvitetäisiin sallittavan painuman sekä tukkeutumisvaaran suhdetta peilausten, vaaitusten, TV-kuvausten sekä kiinteistöjen omistajien haastattelujen avulla. Tutkimuksissa voitaisiin ottaa vaihtoehtoiksi tässä selvityksessä esitettyjen arvojen lisäksi muitakin kaltevuuden ja painumien suuruusluokkia ja selvittää millainen riski toimivuuden osalta otetaan kussakin vaihtoehdossa ja millaisia käyttökustannusten lisäyksiä niiden käyttöönotto keskimäärin aiheuttaisi.

On huomattava, että tämän selvityksen perusteella määritetty painuma riippuu viemäriin alkuperäisestä kaltevuudesta. Lisäksi voisivat muoviputket painua suhteellisesti hieman betoniputkia enemmän. Tämä ero voidaan perustella sillä, että muoviputki on virtausteknillisesti betoniputkea parempi. (Muoviviljemäreissä on betoniviljemäriin verrattuna vähemmän muhveja; muhvit eivät muodosta kiintoaineelle tartuntakohtaa ja muhvin kohdalle ei maan painumaeroista aiheudu suurta kulmanmuutosta, mikä johtuu putken suuresta rakennepituudesta ja putken taipuisuudesta /9/.)

Putkiperustan geoteknisessä mitoituksessa (esim. penkereen ali menevä viemäri) on lähtöarvona sallitun painuman suuruuden lisäksi myös sallitun painuman pituus.

Jos lähtökohdaksi otettaisiin se, että tonttivilmäarin voidaan katsoa toimivan vaikka se tarkastuskaivon tullessaan olisi nousulla puolet putken halkaisijasta, niin esim. Ø 150 mm betoniputkelle olisi 15 ‰ alkukaltevyyden arvolla tasaisesta konsolidaatiopainumasta aiheutuvan painuman pituus 40 x putken sisähalkaisija. Painuman pituudella tarkoitetaan sitä vilmäarin osaa, johon jää "seisovaa" vettä. Painuman pituutta laskettaessa on vilmäarin katsottu olevan nousulla 1,2 metrin matkalla (= tarkastuskaivon "liitosnatsa" ja siihen liittyyvä putki). Edellä esitetyn perusteella voitaisiin ajatella, että "lyhyellä" matkalla tapahtuvat painumat (esim. paalutetun jakelujohdon vieressä tai penkereen alapuolella), jotka ovat pienempiä kuin puolet putken halkaisijasta, eivät vaikuttaisi tonttivilmäareiden toimivuuteen. Myös sallittavan painuman pituuden määrittäminen edellyttäisi kuitenkin tutkimuksien suorittamista.

Verrattaessa tonttivilmäarin ja latvavilmäarin tukkeutumista on huomattava, että tukkoon liettyneen putkiosuuden pituus käytettävissä olevaan painekorkeuteen nähden on erilainen kyseisillä vilmäareillä. Tonttivilmäarien todennäköisin tukkeutumiskohta on pehmeikköalueella katuviilmäarin liitoskohdan lähellä, koska putki tulee painumien johdosta nousulla paremmin perustettuun (paalutettuun) katuviilmäriin. Tällöin tonttivilmäarin mahdollistama painekorkeus on pehmeikköalueilla rakennettavien kellarikerroksettomien talojen kohdalla yleensä pitkälti toista metriä, koska rakennuksen alin vilmäaröintipiste on tällöin useinmissä tapauksissa tarkastuskaivon kannen yläpuolella. Koska tonttivilmäari ei lyhytensä vuoksi (keskim. pituus 20...25 m) voi liettyä tukkoon kovin pitkältä matkalta ja käytössä on tällainen painekorkeus, on etenkin tiiviillä ja sileäpintailla muovisilla tonttivilmäareillä ilmeisesti taipumus pitää itsensä auki. Sen sijaan yleisen vilmäariverkon latvavilmäari voi liettyä tukkoon hyvinkin pitkältä matkalta, kun käytettävissä oleva painekorkeuskin (energiaviivan kaltevyys) on usein pienempi kuin tonttivilmäareissä. Tästä syystä edellä esitetyt hypoteettiset sallitun painuman arvot soveltuvat ainoastaan tonttivilmäareille. Asiaan vaikuttaa luonnollisesti myös mahdollisesta vilmäarin tukkeutumisesta aiheutuvan haitan suuruus ja putken eri perustamisratkaisujen kustannukset.

Edellä esitetyt tonttiviljemäreiden sallitut painuma-arvot perustuvat tämän työn yhteydessä suoritettuihin selvityksiin. Kuten tämän kohdan alussa on mainittu, voimassa olevien ohjeiden mukainen sallittu minimikaltevuus määrätään itsepuhdistuvuuskriteerin perusteella. Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D1 mukaan on minimikaltevuus mitoitusvirtaaman ja putkikoon funktio ja esim. epäedullisimmassa tilanteessa, jolloin mitoitusvirtaama on pieni ja tonttiviljemäriin koko 100 mm, mikä on pienin käytettävä putkikoko tonttiviljemäreissä, on vaadittava minimikaltevuus 13 ‰.

2.55 Viemäriputken sallima tonttiviljemäriin painuma

2.551 Betoniputket

Katualueen tarkastuskaivon muhviin ("liitosnatsaan") liittyvä betoniputki voisi toisesta päästään painua sallitun kulmanmuutoksen edellyttämän määrän, mikäli putki omaisi riittävän taivutusvastuksen. Tällöin metrin mittainen putki (Ø 300 mm) painuisi toisesta päästään sallitulla 4 ‰:n kulmanmuutoksella 7 cm. Vaatimus riittävästä taivutusvastuksesta edellyttäisi kuitenkin betoniputkelta kokoa Ø 225 mm (vrt. betoniputken vauriolaskelmat).

Tällaista putkea voitaisiin myös käyttää katualueen tarkastuskaivoon liitettäessä ennakkokorotukseen yhden putken matkalla. Tällöin putki voisi painua 4 ‰:n ennakkokorotuksesta 8 ‰:tta, jolloin se tulisi tarkastuskaivon muhviin nousulla. Tällainen putki sallisi siis 14 cm:n painuman ja putki olisi vaakatasoon nähden painunut toisesta päästään vähemmän kuin 7 cm:ä viemäriin suunnittelukaltevuudesta riippuen. Edellisessä tarkastelussa on käsitelty ainoastaan tarkastuskaivon muhviin liittyvää putkea ja esitetyt sallitun painuman arvot edellyttävät tasaista konsolidaatiopainumaa. Esim. tien luiskan kohdalla muodostuva painumaero voi aiheuttaa sallitun kulmanmuutoksen ylityksen edellä tarkastellun putken muhvipäässä.

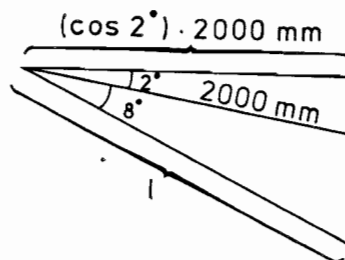
Siirtymärakenteita mitoitettaessa on syytä huomata, että maan painumisesta aiheutuva viemäriin kaltevuuden muutos ei saa muodostua niin suureksi, että pistopään liike muhvilla ylittäisi sallitut arvot. Lähteessä /2/ on Ø 150 mm betoniviemäriin

sallituksi kumitiivisteen liikkeeksi annettu 15 mm, mikä saavutetaan pistopään liikkuessa 30 mm. Mikäli viemärin kaltevuuden muutos 2° :n ($35^{\circ}/100$) alkukaltevuuteen nähden olisi 2° :tta ja kahden putken matkalla syntyvän pituuden muutoksen katsottaisiin keskittyvän kokonaisuudessaan näiden putkien väliseen liitokseen, niin tästä aiheutuva pistopään liike olisi em. 30 mm.

$$l = \frac{1}{\cos (2^{\circ} + 8^{\circ})} \cdot (\cos 2^{\circ}) \cdot 2000 \text{ mm}$$

$$l = 2029,6 \text{ mm}$$

$$\Delta l = 29,6 \text{ mm}$$



Taulukko 7. Kumitiivisteliitoksen suurimmat sallitut kriittiset kulmapoikkeamat ja siirtymät muhvis-
sa /2/.

MUHVILIITOS			
Putken sisä- halkaisija ds (mm)	Muhvin syvyy- den vähimmäis- nimellismitta (mm)	Sallittu siirtymä muhvissa (mm)	Sallittu kulmapoik- keama muh- vissa ($^{\circ}$)
100	30	15	4,0
150	30	15	4,0
225	45	22	4,0
300	45	22	4,0
400	45	22	3,0

2.552 Muoviputket

Maan painuminen aiheuttaa puskuhitsattuun muoviputkeen suu-
remman venymän kuin muhwilliseen muoviputkeen, jossa osa
painuvan viemärin kokonaispituuden muutoksesta tapahtuu
muhvin ja pistopään välisenä liikkeenä. Muhwillisen muovi-
putken venymät putken "akselin" suhteen riippuvat muhvin

paikasta painumaan nähden, putken pituudesta sekä putken ja ympärystäytön välisestä kitkakertoimesta. Mikäli tämä kitkakerroin on niin pieni, että laskelmien kannalta voi painumasta aiheutuva pituuden muutos vapaasti tapahtua muhvilla, niin venymät aiheutuvat pelkästään putken taipumasta. Tällöin putkiperustan sallitut painumaerot määräytyisivät lähinnä pienimmän sallitun kaarresäteen perusteella.

Pienimmät sallitut kaarresäteet ovat (muhvilliset putket):

	PEL	PEH	PVC
a)	30,0 x D	50 x D	300 x D
b)	16,7 x D	33 x D	100 x D
c)	7,0 x D	10,4 x D	(13,9 x D)

- a) Kaarresäteet ovat normin RIL 77-1984 sallitut taivutus-säteet asennuksessa.
- b) Kaarresäteet on määritetty RIL 77 c:n sallituista venymistä (alkutilanne).
- c) Kaarresäteet on määritetty putken pitkäaikaisen muodonmuutosasteen ($\frac{\delta v}{D}$) = 20 % edellyttämien venymien perusteella. Tällöin $\epsilon_{sall} = \epsilon_{50 v}$ ja sallituiksi venymiksi saadaan kaavalla 6a PEL 7,2 %, PEH 4,8 % ja PVC 3,6 %. Kyseiset arvot on määritetty T-luokan putkista. PVC:lle saatua arvoa voidaan pitää epäluotettavana (vrt. luku 2.532), mistä syystä kyseinen arvo on merkitty sulkuihin.

Puskuhitsatun muoviviemärin sallitut venymät voidaan määrittää luvun 2.532 mukaisesti käyttämällä c-kohdan venymäarvoja. Liitteessä 2 on esitetty puskuhitsatun PEH-viemärin sallimat painumat putken kestävyyskannalta. Jos putken ja maan välinen kitka otetaan huomioon, niin muhvollisen muoviviemärin sallima painuma jää esim. PEH-putkella kaarresäteellä määritettyjen ja liitteen 2 mukaisten arvojen väliin.

2.56 Siirtymärakenteille asetettavat vaatimukset

Luvussa 2.532 todettiin, että liitteiden 1 ja 2 käyrästöillä ei voida arvioida painumattomaan rakenteeseen liittyvän muoviputken sallimaa maan painumaa liitoskohdan vieressä. Tämä johtuu siitä, että putki ei saa liitoskohdan vieressä tukeaa painuneesta putkiperustasta ja putken taipuisuuden johdosta sallitut venymät ylittyvät. Tämä ongelma voidaan välttää käyttämällä perusmuurin läpiviennin yhteydessä painumaeroja tasaavaa siirtymälaattaa tai -rakennetta. Siirtymälaattaa käytettäessä on päällimmäisenä mielenkiinnon kohteena se, että kuinka lyhyttä laattaa voidaan käyttää eli ts. kuinka suureen kaltevuuteen siirtymälaatta voi putkien kanalta painua. Seuraavassa tarkastelussa on tätä ongelmaa käsitelty seuraavien lähtökohtien pohjalta:

- Putken todellinen kuormitustilanne ei ole selvillä, mutta varmallalla puolella oleva arvo siirtymälaatan sallitulle kaltevuuden muutokselle saadaan, kun putkea tarkastellaan tasaisesti kuormitettuna ulokkeena, jonka pituutta L_{sall} vastaava taipumaviivan kaltevuus β_1 ulokkeen pään kohdalla yhdessä perusmuurin läpivientiholkissa tapahtuvan kulmanmuutoksen β_2 kanssa määrittää siirtymälaatan sallittavan loppukaltevuuden.

- Ulokkeen laskentakaavat:

$$L_{sall} = \frac{2\sigma_{sall}^W}{q} ; \quad \beta_1 = \frac{2}{3} \epsilon_{sall} \cdot \frac{L_{sall}}{D}$$

- Läpivientiholkin kiertymä:

$$\beta_2 = \frac{1}{2} \epsilon_{sall} \cdot \frac{1}{D}$$

Edellisistä lähtökohdista on huomattava, että L_{sall} on määritetty sallittujen jännitysten perusteella, kun taas β_1 ja β_2 on määritetty virumista sisältävän sallitun pitkäaikaisvenymän pohjalta. Tältä osin kimmoteorian mukaisien β_1 :n ja β_2 :n laskentakaavojen käyttö ei ole Hooken lain mukaista.

Lähtöarvot:

$q = \gamma h D$, missä $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ ja $h = 2,0 \text{ m}$

$$W = \frac{\pi}{32} \left(\frac{D^4 - d^4}{D} \right)$$

ϵ_{sall} viemäreille: PEH 4,8 %

ϵ_{sall} vesijohdoille: PEL 5,4 %, PEH 3,6 % ja PEM 4,0 %

ϵ_{sall} arvot ovat tässä esityksessä määritettyjä sallittuja arvoja $\epsilon_{50 \text{ v}}$

σ_{sall} : PEL 3,2 N/mm², PEH 6,3 N/mm² ja PEM 5,0 N/mm²

Arvoa β_2 laskettaessa on vesijohdoille annettu arvo $l = 0,45 \text{ m}$. Tämä on lävistysholkin keskipisteen ja ensimmäisen tuen (liitos vesimittariin) välinen etäisyys. Viemäreiden osalta on tuennan oletettu vastaavan arvoa $l = 0,5 \text{ m}$.

Esim.

PEH paineputki PN 10; Ø 63 mm/53,6 mm

$W = 11686 \text{ mm}^3$ ja $q = 2,39 \text{ kN/m}$

$$L_{\text{sall}} = \frac{2 \cdot 6,3 \text{ N/mm}^2 \cdot 11686 \text{ mm}^3}{2,39 \text{ N/mm}} = 248 \text{ mm, mikä on siis}$$

laskennassa käytettävä putken tarkastelupituus, tällöin

$$\beta_1 = \frac{2}{3} \cdot 0,036 \cdot \frac{248 \text{ mm}}{63 \text{ mm}} = 0,0954$$

$$\beta_2 = \frac{1}{2} \cdot 0,036 \cdot \frac{450 \text{ mm}}{63 \text{ mm}} = 0,128$$

Kulmakertoimen β_1 arvo vastaa kulmaa $5,4^\circ$ ja β_2 arvoa $7,3^\circ$.

Valmiita lävistysholkkeja tai läpivientikumeja on saatavissa putkiko'oilta 90 mm. Läpivientiholkit sallivat tonttijohtoko'oilta vähintään 4° :n kulmanmuutoksen. Pienemmillä putkiko'oilta perusmuurin läpivientikohdan salliman kulmanmuutoksen oletetaan olevan samaa luokkaa. Tällöin esimerkkilaskelmassa β_2 korvataan arvolla β_3 , jolloin $\beta_{\text{kok}} = 5,4^\circ + 4,0^\circ = 9,4^\circ$.

Vastaavalla tavalla laskettuna saadaan seuraavat arvot:

	D/d (mm/mm)	L_{sall} (m)	β_1	β_3	β_{kok}
PEH-viemärit:	110/103,2	0,298	$5,0^\circ$	$4,0^\circ$	$9,0^\circ$
L-luokka	160/150,2	0,431	$5,0^\circ$	$4,0^\circ$	$9,0^\circ$

	D/d (mm/mm)	L _{sall} (m)	β_1	β_3	β_{kok}
PEL-paineputki	40/29,2	0,138	7,1°	4,0°	11,1°
PN 10	63/45,8	0,218	7,1°	4,0°	11,1°
PEH-paineputki	63/53,6	0,248	5,4°	4,0°	9,4°
PN 10	90/76,6	0,354	5,4°	4,0°	9,4°
PEM-paineputki	63/51,4	0,218	5,8°	4,0°	9,8°
PN 10					

Mikäli käytettäisiin jäykempää putkea (viemärin putkiluokka M tai T tai suurempi vesijohdon paineluokka), niin putket sallisivat suuremman siirtymälaatan kaltevuuden muutoksen β_{kok} . Edellä esitetyn perusteella voitaneen suositella siirtymärakenteita mitoittaessa sallittuna polyeteeni-putken painumana tonttijohtoko'oilla 15 cm siirtymärakenteen metriä kohden silloin, kun tonttijohdon perustamissyvyys ei ylitä 2,0 metrin arvoa. Kyseinen siirtymälaatan kaltevuuden muutos vastaa arvoa $\beta_{\text{kok}} = 8,5^\circ$. Edellä olevassa tarkastelussa ei ole käsitelty PVC-putkia, koska näiden putkien sallimat painumaerot lyhyellä matkalla ovat huomattavasti pienemmät kuin vastaavilla polyeteeniputkillä.

Kupariputken asettamia vaatimuksia siirtymälaatan suhteen tarkastellaan seuraavassa esimerkin avulla:

Esim. - Kova (vedetty) kupariputki Ø 54 mm/51 mm
- Valitaan tarkasteluväliksi 300 mm

Putken sallittu kaarresäde käsintaivutuksessa on $R = 8 \times D$, jolloin

$$1 + \epsilon_{\text{sall}} = \frac{2\pi(R + D/2)}{2\pi R} = \frac{8,5 D}{8,0 D} = 1,0625 \text{ ja } \epsilon_{\text{sall}} = 6,25 \%$$

$$\beta_1 = \frac{2}{3} \cdot 0,0625 \cdot \frac{300 \text{ mm}}{54 \text{ mm}} = 0,23, \text{ mikä vastaa kulmaa } 13,0^\circ.$$

Edellisen tarkastelun perusteella kupariputki kestää siirtymälaatalle mitoittettavan kaltevuuden muutoksen $8,5^\circ$, eikä putkeen muodostu mitään selvää taitekohtaa.

Siirtymälaatalle tulevan kupariputken suhteen on huomattava, että mikäli laatan kohdalla tai sen välittömässä läheisyydessä on kovajuotolla tehty kapillaariliitos, niin painumasta aiheutuva putken aksiaalinen venymä keskittyy kyseiseen kohtaan. Tällöin on luvun 2.422 mukaisesti syytä pehmennyskuumentaa putkea liitoskohdan molemmin puolin hieman enemmän kuin mitä itse liitostyö vaatii.

- 2.6 Tonttivesijohtojen ja viemäreiden perustamisratkaisut
2.61 Tarkastelun lähtökohdat

Pehmeikköalueilla on havaittavissa tonttijohtojen vaurioiden keskittymistä niihin kohtiin, joissa esiintyy suuria painumeroja lyhyellä matkalla. Tämän johdosta keskitytään tässä esityksessä esittämään näiden "ongelmakohtien" vaihtoehtoiset perustamistaparatkaisut. Tällainen kohta on mm. paalutetun talon seinän vierusta, missä konsolidaatiopainuma aiheutuu salaojituksen seurauksena laskeneesta pohjaveden pinnan tasosta sekä mahdollisesta täytemaakerroksesta, jolla on korotettu maanpintaa luonnollisesta tasosta. Tonttijohtojen kannalta ongelmallisiksi muodostuvat myös sellaiset kohdat, joissa pehmeikköalueilla johtojen peitesyvyys kasvaa tiepenkereen tai muun paikallisen täytön johdosta.

Tavallisesti tonttivesijohdot ja viemärit asennetaan samaan kaivantoon samalle putkiperustalle. Tämän johdosta on selvitettävä, minkä putken mukaan tonttijohtojen perustamisrakenteet on mitoitettava. Painejohtojen kohdalla asettaa vain putkimateriaalin kestävyys rajoituksia sallittavalle painumalle, mutta viettoviemäreiden kohdalla on myös otettava huomioon johtojen toimivuusvaatimukset. Seuraavassa eri putkityypeille ja -materiaaleille soveltuvien perustamisratkaisujen esittelyssä on asiaa käsitelty tarkemmin.

- 2.62 Viettoviemärit
2.621 Perustusrakenteiden yleiset vaatimukset

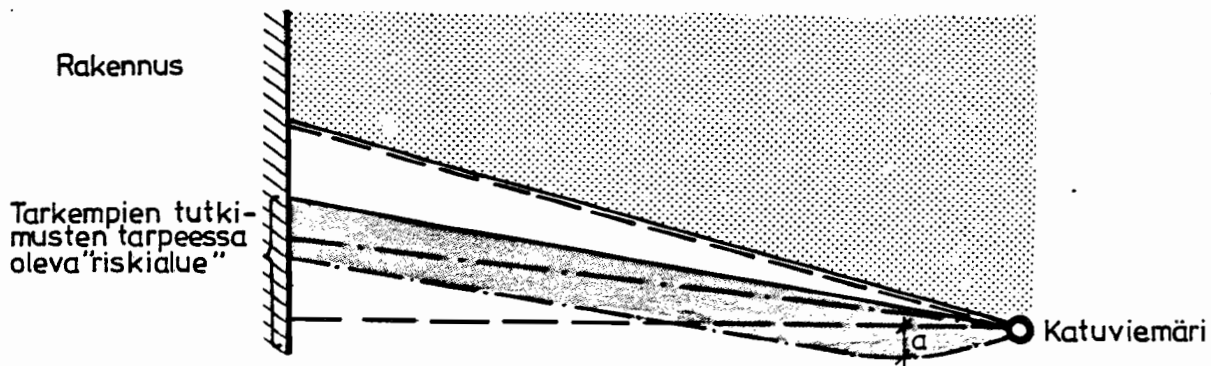
Tonttivilmäreiden suunnittelua ja rakentamista koskevien RakMk:D1 -ohjeiden mukaiset minimikaltevuuksien määrittäysperusteet on esitetty kohdassa 2.54. Pehmeikköalueiden tonttivilmäreitä suunniteltaessa olisi kuitenkin aina pyrittävä minimikaltevuutta huomattavasti suurempaan alkukaltevuuteen (20...50 ‰). Viemäreiden pohjarakenteiden suunnittelun olisi pohjauduttava putkitekniikan suunnittelijan

suorittaman virtausteknisen mitoituksen antamiin lähtöarvoihin. Painumien jälkeisen kaltevuuden suhteen olisi ensisijaisesti pyrittävä siihen, että lopputilanteen kaltevuus on ohjeiden mukaisia minimikaltevuuksia suurempi. Mikäli katuviemäri on rakennettu minimisyvyyteen, joudutaan usein tilanteeseen, jossa tonttivilmäarin rakentaminen vaadittavaan kaltevuuteen edellyttäisi tonttivilmäarin asentamista routarajan yläpuolelle piha-alueella. Pehmeikköalueiden pientalot ovat yleensä kellarittomia, jolloin viemäri voidaan asentaa routarajan yläpuolelle, mikäli jäätymisvaara ehkäistään lämpöeristyksellä. Etelä-Suomen olosuhteissa on yleisesti katsottu, että jätevesivilmäarit voidaan asentaa 1,5 metrin syvyyteen ilman lämpöeristystä.

Tämän selvityksen yhteydessä on toisaalta todettu, että tonttivilmäarit näyttäisivät toimivan, vaikka voimassa olevien ohjeiden minimikaltevuusvaatimus ei johdon kaikkialta osin toteudu. Kohdassa 2.54 on esitetty jatkotutkimusten suorittamista sellaisen käytännön ohjeiden löytämiseksi, joiden mukaisissa kaltevuussuhteissa viemäarin tukkeutumisen riski vielä olisi mitättömän pieni tai vielä toiminnan ja taloudellisuuden kannalta hyväksyttävissä. Mikäli tällaiset rajat löydetäisiin, voisi geotekninen suunnittelu perustua siihen, että kaltevuussuhteet konsolidaatiopainumien jälkeen eivät olisi näitä raja-arvoja huonompia. Kuvassa 8 on esitetty tämä ajatusmalli.

Tonttivilmäareiden perustusrakenteiden tulisi lisäksi asennusvaiheessa toimia tukevana työalustana. Putkiperustan painumerot eivät myöskään saa muodostua niin suuriksi, että on olemassa vaara viemäarin liitoskohtien vuotamiselle tai putkien rikkoutumiselle. Näitä perustusrakenteilta vaadittavia ominaisuuksia tarkastellaan seuraavassa putkilta vaadittavien työtoleranssien valossa.

Työtoleransseilla ymmärretään putkien välisiä kulmanmuutoksia tarkasteltaessa sitä kulmanmuutosta, mikä aiheutuu asennustyön epätarkkuudesta sekä kaivannon pohjan tasauskerroksen tiivistymisestä kaivannon täytön jälkeen. Mikäli konsolidaatiopainumaa ei tapahdu, voidaan edellisen määritelmän perusteella



Toimivuusvarma alue, mikäli viemärin kaltevuus painumien jälkeen on tällä alueella



Rakentamismääräyskokoelman mukainen minimikaltevuus



60 % raja Rakentamismääräyskokoelman mukaisesta minimikaltevuudesta (saadaan käyttää poikkeustapauksessa)



Arvioitu todennäköinen toimivuusraja
(40 % Rakentamismääräyskokoelman mukaisesta minimikaltevuudesta, jopa notkolla oleva)

a

Puolet putken halkaisijasta



0 - kaltevuus



"Riskialue", kunnossapito ilmeisesti kohtuullisesti hoidettavissa

Kuva 8. Tonttiviemärin kaltevuuden raja-arvoja kuvaava ajatusmalli.

katsoa viemäriissä havaittujen putkien välisten kulmanmuutosten kuvaavan suoritettun työn tasoa.

Tonttijohtoko'oilla ($\emptyset$ 100...300 mm) betoniviemärin kumitiivisteliitoksen sallittu kulmanmuutos on 4° . Mikäli vierekkäisten metrin mittaisten betoniputkien liitoskohta painuu 35 mm muuhun viemäriin liittyvän muhvin ja pistopään pysyessä paikoillaan, ovat tästä aiheutuvat kulmanmuutokset 2° , 4° ja 2° . Tältä pohjalta voisi ajatella, että yhden putken sallima kaltevuuden muutos olisi 2° , mikä sisältää työtoleranssien lisäksi reserviä maassa myöhemmin tapahtuvaa epätasaista konsolidaatiopainumaa varten. Työtoleranssien tulisi siis vaikeissa olosuhteissa jäädä alle 2° :n. Tällaisista olosuhteista on kysymys silloin, kun pehmeikköalueella viemäri rakennetaan pehmeän saven päälle tehdyn hiekka-arinan varaan.

Muhvillisten muoviviemäreiden kohdalla työtoleransseiksi katsottavat kaivannon pohjan epätasaaisuudet eivät aiheuta putkiin sanottavia kulmanmuutoksia putkien taipuisuuden ja pitkän rakennepituuden johdosta. Muoviviemärin vaatimukset työtoleranssien suhteen rajoittuvat käytännössä putken ympäristäytön huolelliseen tiivistykseen.

2.622 Betoniputket

Rakennuksesta tuleva valurautainen pohjaviemäri vaihtuu betoniseksi tonttiviliemäriksi perusmuurin viereen rakennetussa tarkastuskaivossa. Täten perusmuurin vieressä sallittava painuma ei määräydy betoniputkien vaatimusten mukaan. Valurautaviemärin läpivientikohta tarkastuskaivoon tiivistetään yleensä laastilla muuraamalla. Tämä johtuu siitä, että tietyn nimelliskoon valurautaviemärin ulkohalkaisija on suurempi kuin vastaavan nimelliskoon muoviputkella, jolloin jälkimmäiselle tehtyä läpivientiholkkia ei voida käyttää. Muurattu valurautaputken läpivientikohta ei salli painumisesta aiheutuvaa valurautaputken kulmanmuutosta läpivientikohdassa. Mikäli tarkastuskaivon ja rakennuksen perusmuurin läpivientikohdan välisellä pohjaviemärin osuudella käytettäisiin molemmista päistään muuhun valurautaputkeen pantaliittimillä

liittyvää putken pätkeä, saavutettaisiin jo joustavampi rakenne, minkä sallima painuman suuruus määräytyisi pantaliittimien salliman kulmanmuutoksen sekä käytettävän pätjän pituuden perusteella. On kuitenkin todettava, että valurautaisen pohjajohdon käyttö uusissa rakennuskohteissa on hyvin harvinaista. Käytettäessä valurautaista pohjajohtoa on perusmuurin viereinen tarkastuskaivo perustettava painumatomaksi. Pehmeikköalueilla on siten tarkastuskaivo yleensä perustettava tukipaalutuksen varaan. Mikäli edellisessä tarkastelussa rakennuksen pohjajohto on muovia, niin sallittu tarkastuskaivon painuma määräytyy kohdan 2.552 mukaan.

Paalutettuun tarkastuskaivoon liittyvä betoniviemäri voidaan perustaa ennakkokorotetun siirtymälaatan varaan, mikäli viemärin toimivuusvaatimukset täyttyvät. Siirtymälaatan sallittu ennakkokorotus määräytyy betoniputken muhvin salliman kulmanmuutoksen perusteella, mikä tonttijohtoko'illa on 4° . Siirtymälaatan tulee olla putkipituuden kerrannainen ja em. 4° :n ennakkokorotuksella on sallittava siirtymälaatan painuma metrin mittaista putkea kohden 70 mm + viemärin muun osan kaltevuudesta riippuva painuma. Viemärit olisi, kuten mainittua, suunniteltava siten, että niiden painumien jälkeinen kaltevuus on 60 % RäkMk;D1:n mukaisesta minimikaltevuudesta. Siirtymälaatan käyttöä tällaiseen tarkoitukseen rajoittaa se, että katuviemäriä paalutettaessa ei ole yleensä selvillä tuleva tonttiviliemärin liitoskohta, jolloin siirtymälaatan vaatimaa paalutusta ei voida samassa yhteydessä tehdä.

Edellisessä tarkastelussa ei otettu siirtymälaatalle olevien betoniputkien työtoleransseja sallittuja kulmanmuutoksia käytettäessä huomioon seuraavista syistä:

- Siirtymälaatalle asennettavien putkien työtoleranssit ovat pienet, koska laatta antaa tasaisen alustan tasauserroksen hiekalle, mikä voidaan lisäksi tiivistää laatalle muuta kaivanto-osuutta paremmin.
- Pienistä työtoleransseista aiheutuvat vähäiset sallitun kulmanmuutoksen ylitykset korjaantuvat ennakkokorotukseen käytetyn siirtymälaatan painuessa. Täten kumirengastivistainen liitos saavuttaisi maan painuessa vesitiiviiden.

Lisäksi on todettava, että sallittu kulmanmuutos ei kuvaa sitä rajaa, milloin liitos vuotaa, vaan sen kulmanmuutoksen arvoa, jolla eri valmistajien putkien tulee säilyttää tiiveytensä veden- tai ilmanpainekekeessa.

Mikäli laskettu konsolidaatiopainuma on suurempi kuin mitä siirtymälaattaa käytettäessä voitaisiin viemärin toiminnalliset vaatimukset huomioon ottaen sallia, tulee viemäri perustaa paalutuksen, massanvaihdon tai pohjavahvistuksen varaan. Kunnallisteknisessä rakentamisessa käytetään pohjavahvistusmenetelminä pystyjoitusta tai kalkkipilarointia. Vaihtoehtoisista perustamismenetelmistä voidaan todeta, että paalutuksen käyttö yleensä on saven pystyjoitusta tai kalkkistabilointia kalliimpaa. Massanvaihtoa voidaan käyttää silloin, kun "kovan pohjan" syvyys ei ole suurempi kuin noin kaksi metriä. Pohjavahvistuksen käytön edellytyksenä on luonnollisesti, että pohjavahvistettava alue on tarpeeksi laaja, jotta kaluston siirtäminen paikalle olisi kannattavaa. Tämän johdosta tulee erillisen talohaaran perustaminen pohjavahvistuksen varaan harvoin kysymykseen, mutta rakennettaessa useampia taloja samanaikaisesti on pohjavahvistuksen käyttö paalutusta edullisempaa.

Edellistä vastaava tarkastelu tulee kysymykseen myös silloin, kun viemäri kulkee penkereen tai muun täytön alitse ja penkereestä aiheutuva konsolidaatiopainuma on viemärin huuhtoutumisen kannalta sallittavaa painumaa suurempi. Pienillä putkiko'oilta betoniputken sallitut kulmanmuutokset eivät yleensä ole tällaisessa pengertapauksessa geoteknisen mitoituksen kannalta määrääviä.

2.623 Muoviputket

Paalutetun rakennuksen seinän vieressä on polyeteeniputken sallima siirtymärakenteen painuma 150 mm/m. Tällä mitoitusarvolla jää siirtymärakenteiden pituus käytännössä suhteellisen lyhyeksi. Siirtymärakenteina tulee kysymykseen siirtymälaatta tai kevennyskiila. Kevennyskiila rakennetaan kevyttä täyttömateriaalia käyttäen siten, että kiilan paksuus on

suurin rakennuksen seinän vieressä ja se ohenee etäännyttäessä seinälinjasta. Kevennyskiilan leveyden on oltava riittävä, jotta painumat eivät muodostuisi laskettua suuremmiksi. Mikäli tonttivilmäarin toiminnalliset vaatimukset estävät siirtymärakenteen käytön eli konsolidaatiopainuma on vilmäarin sallittua painumaa suurempi, niin tonttivilmäari on perustettava paalutuksen tai pohjavahvistuksen varaan. Myös kevyiden täyttöjen käyttö voi tulla kysymykseen liikenteettömällä piha-alueella, mutta tonttivilmäarin sillä osalla, mikä sijaitsee katualueella ei kevyitä täyttöjä yleensä voida käyttää.

Edellinen tarkastelu pätee myös silloin, kun tonttivilmäari kulkee penkereen alitse. Liitteen 2 mukaisesti eivät putken sallimat painumat tällaisessa pengertapauksessa muodostu mitoituksessa määrääviksi, vaan mitoitus tapahtuu käytännössä vilmäarin toiminnallisten vaatimusten pohjalta. Mikäli vilmäari joudutaan tällaisessa tapauksessa perustamaan esim. kalkkistabiloidun saven varaan, niin painumaviivasta tulee kyseisellä osuudella niin loiva, että putkimateriaalin valinnalla (polyeteeni/betoni) ei ole sanottavaa vaikutusta vaadittaviin perustusrakenteisiin.

PVC-muovista valmistettujen muovivilmäareiden sallimat painumajerojen arvot ovat tämän selvityksen perusteella huomattavasti polyeteeniputkien vastaavia arvoja pienemmät. Tästä syystä tulisi siirtymärakenteiden yhteydessä sekä kohteissa, missä putki joutuu vastaanottamaan merkittävän painumaeron lyhyellä matkalla, käyttää polyeteeniputkea.

Seuraavassa on esimerkkitapausten avulla tarkasteltu vilmäareiden perustamisratkaisuja putkimateriaalin ollessa betonia tai PE-muovia.

Esimerkki I: Viettivilmäarin perustaminen pengertapauksessa

Esimerkkitapauksen kuormitus ja laskettu painumaviiva on esitetty kuvassa 9. Kohteen konsolidaatiopainuma on 125 mm lukuunottamatta täyttämällä rakennetun penkereen vaikutus- aluetta, jossa painumat ovat huomattavasti suuremmat. Esimerkkitapaauksessa on oletettu, että 100 mm tonttivilmäarin

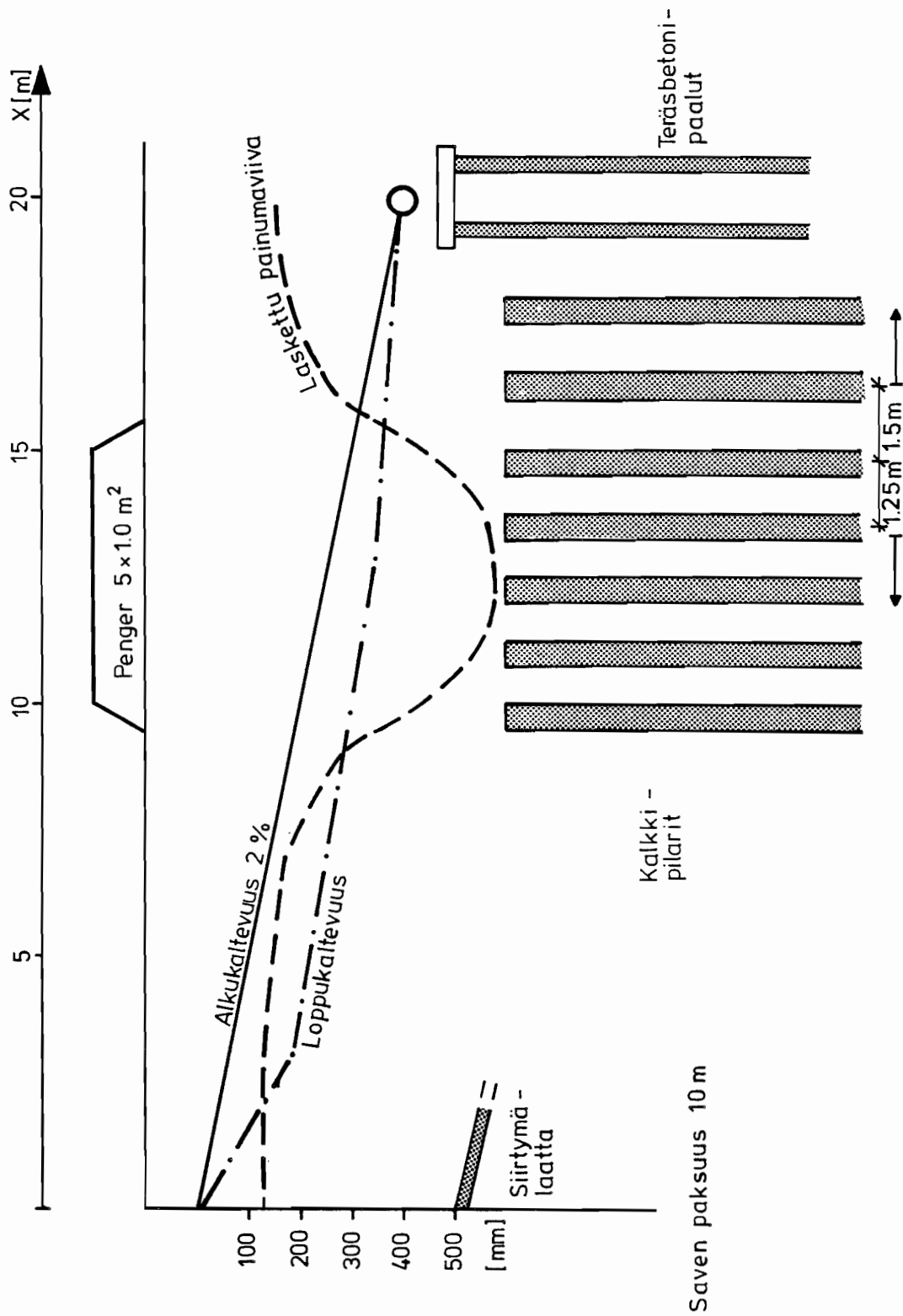
alkukaltevuus on 20 ‰ ja tonttijohdon pituudeksi on oletettu 20 metriä.

Asennusvaiheessa on viemärin päiden välinen korkeusero 400 mm ja välittömästi seinän vieressä sekä penkereen keskipisteen alapuolella olevien pisteiden korkeusero on 250 mm.

Jotta tonttivilmärin kaltevuus konsolidaatiopainumien tapahduttua olisi suurempi kuin 60 % RakMk:D1:n mukaisesta minimikaltevuudesta on painuma penkereen keskipisteen alapuolella oltava pienempi kuin 100 mm. Tällöin on oletettu, että tonttivilmärin liitoskohta katuviemäriin on painumaton, jolloin tonttivilmärin ei voida sallia painuvan tonttivilmärin liitoskohdan vieressä. Tonttivilmäri voidaan perustaa joko tukipaalutuksen tai pohjavahvistuksen varaan. Mikäli käytetään tukipaalutusta, tarvitaan siirtymärakenne painuvan ja painumattoman viemärin osan välille. Lisäksi aiheuttaa painumattomaksi perustettu penger haittoja siinä mielessä, että piha-alueella tulee esiintymään painumaeroja. Perustettaessa penkereen alapuolinen viemärin osuus pohjavahvistuksen varaan saadaan huomattavasti "joustavampi" perustamistaparatkaisu, jolloin painumia voidaan "säätää" halutulla tavalla.

Tässä esimerkkitapauksessa on perustamisratkaisuna esitetty tonttivilmärin perustamista kalkkipilarein vahvistetulle savelle. Sallittavat painumat viemärin huuhtoutumisen kanalta ylittyvät penkereen alapuolella sekä katuviemärin läheisyydessä. Tämän johdosta on käytännössä tarkoituksenmukaista perustaa väli $X = 10 \dots X = 20$ kalkkipilareiden varaan. Kalkkipilareiden mitoittamiseen liittyy teoria on käsitelty tämän työn kohdassa 3.4, joten tässä yhteydessä esitetään pelkästään mitoituksen tulokset.

Penkereen alapuolisella osuudella on kalkkipilariväliksi valittu 1,25 metriä, jolloin kokonaiskuormitus (37 kPa) ei aiheuta pilareiden myötörajan ylittymistä. Tässä esimerkissä on oletettu, että kalkkipilarit rakennetaan "kovaan pohjaan" saakka, jolloin niiden pituudeksi tulee 8,0 metriä. Painumaksi penkereen keskipisteen alapuolella saadaan noin 100 mm.



Kuva 9. Esimerkin 1 kuormitus, painumaviiva sekä valittu perustamistaparatkaisu.

Viemärin osuudelle $X = 15 \dots X = 20$ m voidaan kalkkipilariväliseksi valita 1,5 metriä, sillä tämän osuuden kuormitukset ovat huomattavasti pienemmät.

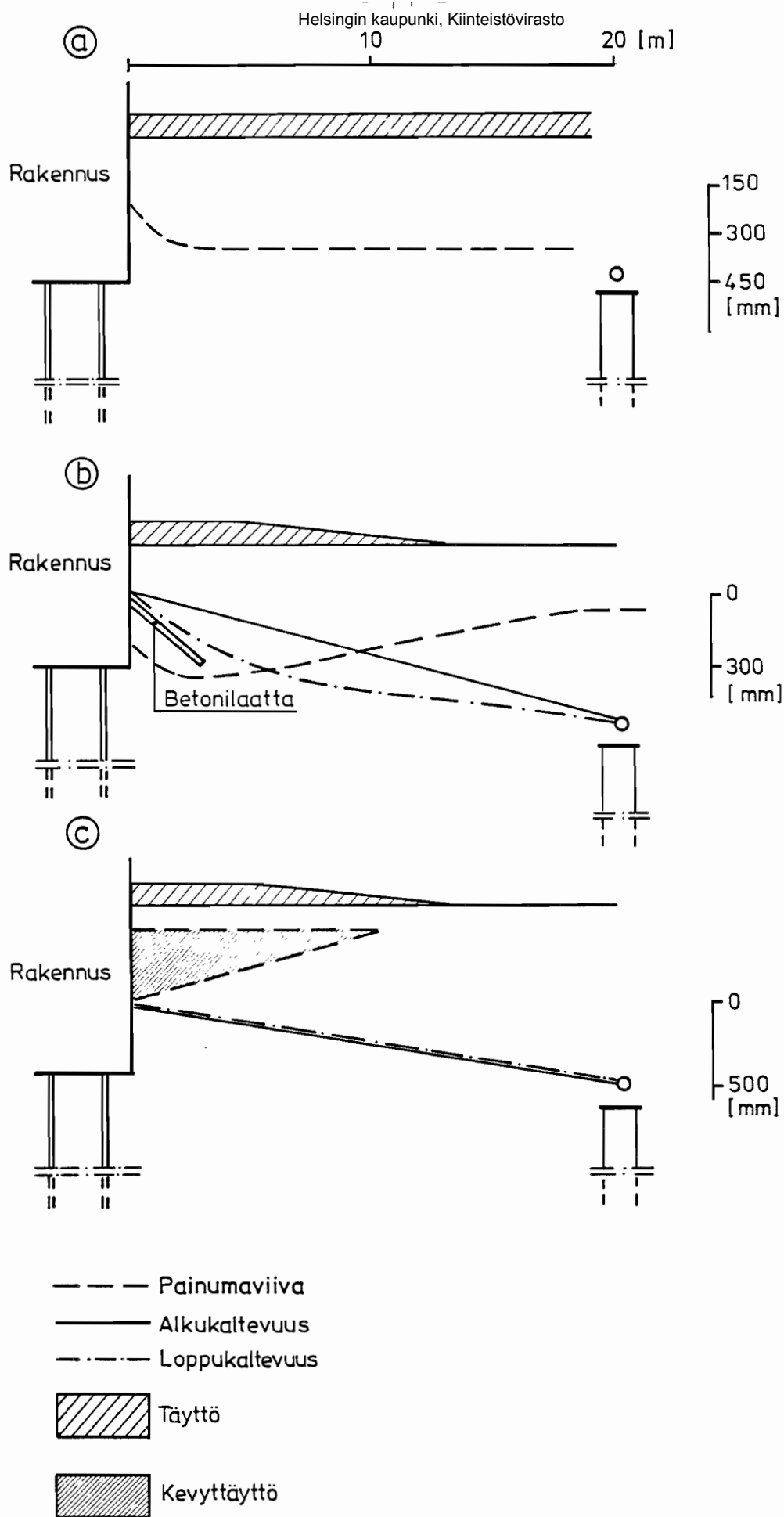
Lasketun painuman perusteella tulee tonttivilmärin "alkupään" kaltevuus olemaan noin $18 \text{ }^{\circ}/\text{oo}$ ja "loppupään" kaltevuus noin $8 \text{ }^{\circ}/\text{oo}$. Viemäri perustetaan suodatinkankaan varaan sora-arinalle. Viemäri voidaan rakentaa joko polyeteenimuovista tai betonista. Rakennuksen seinän vieressä on viemäri perustettava siirtymälaatan varaan. Mikäli viemäri on polyeteenimuovia, on siirtymälaatan pituus 1,0 m ja mikäli viemäri on betonia, on laatan pituus vastaavasti 2,0 m.

Esimerkki 2: Muovisen tonttivilmärin perustaminen
paalutetun rakennuksen seinän vieressä

Esimerkkitapauksen kuormitus ja laskettu painumaviiva on esitetty kuvassa 10. Rakennus on perustettu tukipaaluille ja rakennuspohjaa ei ole täytetty. Esimerkissä on oletettu, että tonttivilmäri kulkee perusmuurin lävitse. Polyeteenivilmärin sallittu painuma on tämän selvityksen perusteella 150 mm/m. Tässä esimerkissä on oletettu, että 100 mm tonttivilmärin alkukaltevuus on $25 \text{ }^{\circ}/\text{oo}$ ja pituus 20 metriä. Asennuksen jälkeen on tonttivilmärin päiden korkeusero tällöin 500 mm.

Lasketun painumaviivan perusteella on painuma 4,0 m päässä seinälinjasta 375 mm ja 6,0 m päässä seinälinjasta 400 mm. Sallittavan konsolidaatiopainumien jälkeisen minimikaltevuiden perusteella ei tässä tapauksessa voida sallia painumia matkalle $X = 6 \dots X = 20$ m, sillä siinä tapauksessa tonttivilmäri tulee nousulla katuviemäriin. Tonttivilmäri on tässä tapauksessa perustettava koko matkalta joko tukipaaluksen tai pohjavahvistuksen varaan.

Mikäli oletetaan, että painumia tapahtuu ainoastaan rakennuksen seinän vieressä (kuva 10b) tonttivilmäri voidaan perustaa maanvaraisesti. Tällöin voidaan viemäri rakennuksen seinän vieressä perustaa 3,0 metriä pitkän siirtymälaatan varaan.



Kuva 10. Esimerkin 2 kuormitukset, painumaviivat sekä perustamistaparatkaisut.

Tonttivilämin "loppupään" kaltevuus tulee konsolidaatiopainumien tapahduuua olemaan noin 8 °/oo, mikä on vaadittavan minimikaltevuuden suuruinen (RakMk:D1).

Rakennuksen seinän vieressä voidaan vaihtoehtoisesti käyttää kevyitä täyttöjä. Kevyt täyttö rakennetaan kiilamaiseksi 10 m matkalta. Kevyen täytön on oltava vähintään 15 m leveä, jotta tonttivilämin loppukaltevuus olisi minimikaltevuutta suurempi.

Seinän vieressä käytettävästä perustusrakenteesta riippumatta tonttivilämi perustetaan suodatinkankaan varaan rakennetulle sora-arinalle. Vaihtoehtoiset perustusrakenteet on esitetty kuvissa

2.63 Vesijohdot

2.631 Valurautaputket

Kohdassa 2.53 todettiin, että painumattomaan rakenteeseen liittyvää valurautaputkea voidaan tarkastella päistään vapaasti tuettuna palkkina, mikäli putken toinen pää painuu merkittävästi. Edelleen todettiin, että kyseisessä kuormitustilanteessa valurautaputken NS 100 suurin sallittu pituus on sallittujen jännitysten mukaan laskettuna 4,0 m perustamissyvyyden ollessa 2,0 m.

Edellisen perusteella voidaan todeta, että nykyisin käytettävät 6,0 m pitkät valurautaputket (NS 100) vaativat pehmeikköalueilla painumattomaan rakenteeseen liittyessään poikkeuksetta perustusrakenteen, jotta putken sallitut taivutusjännitykset eivät ylittyisi. Riittävän lyhyttä putkea käyttämällä voitaisiin kuitenkin kyseiset perustamisrakenteet välttää. Tällainen putki olisi sallittujen jännitysten perusteella 4,0 m pitkä (luvun 2.4 laskelmat) ja riittävän "korroosiovaran" saavuttamiseksi voitaisiin käyttää 3,0 m mittaista putkea, jonka taivutusjännitykset olisivat pituuden muutoksen johdosta 44 % pienemmät. 4,0 m pitkän putken sallittu painuma perusmuurin vieressä on 20 cm ja 3,0 m pitkän putken vastaava painuma on 15 cm. Käyttämällä perusmuurin muhvista lähtevälle valurautaputkelle 3^o:n ennakkokorotusta olisivat vastaavat sallitun painuman arvot 40 cm (L = 4,0 m) ja 30 cm (L = 3,0 m).

Edellä on käsitelty valurautaputkea NS 100 kahden metrin perustamissyvyydellä. Suurempaan putkeen nähden ovat tulokset varmallalla puolella kyseisen putken suuremman taivutusvasituksen johdosta. Lisäksi tällaisen putken pienemmän taipuman johdosta voidaan muhvin sallima kulmanmuutos käyttää paremmin hyväksi.

Tonttivesijohdot ja viemärit rakennetaan yleensä samalle putkiperustalle. Tällöin on tärkeätä tietää, voidaanko valurautaputki asentaa viemärin vaatimusten pohjalta mitoitettulle siirtymärakenteelle. Jos käytettävä valurautaputki on siirtymärakenteen kohdalla siirtymärakenteen mittainen, niin putken voidaan katsoa tasaisen tukireaktion johdosta painuvan ilman putken taipumista. Tällöin voidaan muhvin sallima kulmanmuutos 5° käyttää kokonaisuudessaan hyväksi. Kun tähän lisätään vielä 3° :n ennakkokorotus, päästään siirtymärakenteen painumaan 140 mm/m (8°). Täten valurautaputki voidaan perustaa betoniviemärin kanssa samalle siirtymälaattalle, mikäli valurautaputki on siirtymälaatan mittainen. Valurautaputken pituus voi myös ylittää laatan pituuden, mutta tällöin putkipituus ei saa ylittää aiemmin määritettyä 3...4 m pituutta. Käytettäessä polyeteeniputkea viemärinä voi siirtymärakenne painua 150 mm/m rakennuksen seinän vieressä. Tämä lukuarvo on hieman suurempi kuin valurautaputkillalla. Täten ennakkokorotukseen asennettu valurautaputki rajoittaisi siirtymärakenteen painuman arvoon 140 mm/m putken ollessa siirtymärakenteen mittainen. Tällä ei ole kuitenkaan käytännön merkitystä tapauksissa, joissa siirtymälaatan pituus on kahden metrin luokkaa, koska pidempää 3,0 m mittaista valurautaputkea käyttämällä voidaan sallia sama painuma ilman siirtymärakenteen antamaa tukea.

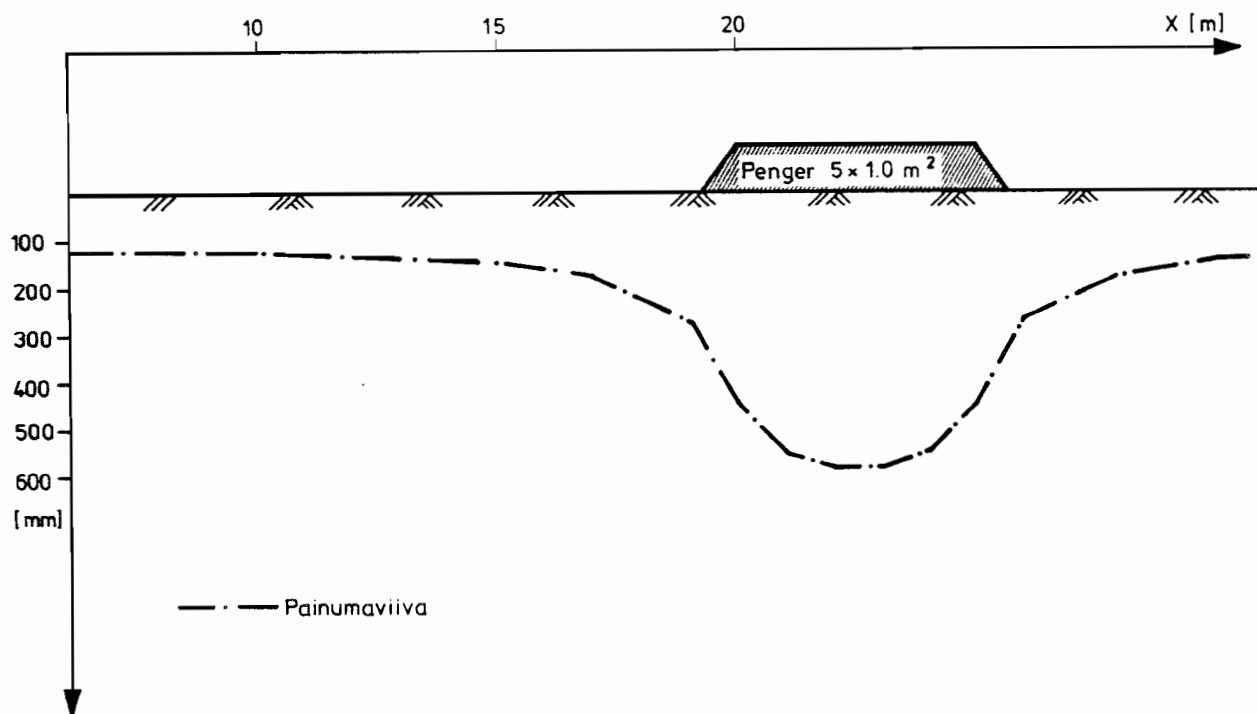
2.632 Muoviputket

Polyeteenista valmistetut painejohdot sallivat paalutetun rakennuksen seinän vieressä yhtä suuren konsolidaatiopainuman kuin polyeteeniviemärit (150 mm/m). Painejohtojen kohdalla ei kuitenkaan esiinny vastaavaa painumia rajoittavaa toimivuusvaatimusta kuin viemäreiden kohdalla. Muovinen vesijohto

voidaan siten asentaa viemärin toimivuusvaatimusten tai sen rakenteellisen kestävyysperusteella mitoitetulle perusrakenteelle.

Siinä tapauksessa, että perusrakenteet mitoitetaan muovisen painejohdon vaatimusten mukaan, voidaan johto melkein poikkeuksetta asentaa maanvaraisesti. Pehmeikköalueiden paalutettujen rakennusten seinän vieressä ja tonttijohdon liittyessä paalutettuun katujohtoon tarvitaan tämän selvityksen perusteella erilliset siirtymärakenteet, jotka rajoittavat painumat 150 mm/m. Esimerkiksi 2,0 m pitkällä siirtymälaataalla voidaan ilman ennakkokorotusta sallia 300 mm suuruinen konsolidaatiopainuma. Käyttämällä ennakkokorotusta voidaan sallia vielä suurempia painumia. Ennakkokorotus määrätty asennushetken sallittujen kaarresäteiden perusteella.

Tarkasteltaessa muovisen vesijohdon sallimaa maan painumista johdon alittaessa täyttämällä rakennetun penkereen voidaan sallittava painuma määrittää liitteen 1 avulla. Sallitun painuman määrittämisestä on seuraavassa tarkasteltu esimerkin avulla. Kuvassa 11 on esitetty pehmeikköalueelle rakennetun penkereen aiheuttama saven konsolidaatiopainuma. Muovijohdon kestävyyskannalta vaarallisina painumaeroja esiintyy välillä $X = 19 \dots X = 20$ m, jossa painumaero on 175 mm. Kohdan esimerkkilaskelmassa on todettu, että liitteen 1 edellyttämässä kuormitustapauksessa tapahtuu 79 % painumista matkalla, joka pituudeltaan on 60 % koko tarkasteluvälin pituudesta (väli 0,2 L...0,8 L). Voidaan olettaa, että kyseinen etäisyys, johon 79 % painumista keskittyy tässä tapauksessa vastaa väliä $X = 19 \dots X = 20$ m. Liitteestä 1 määrätään tällöin painuma 1,67 metrin matkalta ja metrin matkalle sallittava painuma on 79 % tästä painumasta. Tässä tapauksessa saadaan välille $X = 19 \dots X = 20$ m sallituksi painumaksi 230 mm, joten muovinen vesijohto tulee kestäväksi siihen kohdistuvat rasitukset maan varaan perustettuna. Esitetyn esimerkin perusteella voidaan otaksua, että muoviset vesijohdot yleensä voidaan perustaa maanvaraisesti, sillä ne sallivat suhteellisen suuria painumaeroja. Paalutetun rakennuksen seinän vieressä sekä siinä kohdassa, jossa tonttijohdot liittyvät katujohtoon, tarvitaan kuitenkin, kuten mainittua, painumaeroja tasaavat siirtymärakenteet.



Kuva 11. Pehmeikköalueelle maanvaraisesti rakennetun penkereen aiheuttama konsolidaatiopainuma.

2.633 Kupariputket

Kohdassa 2.533 on todettu, että kuparisten vesijohtojen sallima maan painuma on samaa suuruusluokkaa kuin polyeteenistä valmistettujen vesijohtojen. Käytettäessä kuparia vesijohtomateriaalina tarvitaan siten paalutetun rakennuksen seinän vieressä sekä pehmeikköalueella yleensä paalutetun jakelujohdon liitoksen vieressä painumia tasaavat siirtymärakenteet, mutta muutoin tonttijohdo voidaan yleensä asentaa sora-arinan varaan. Kupariputkien liitosten sijaitessa johdon niissä kohdissa, joissa tulee esiintymään painumieroja, on pehmenyshehkutus kuitenkin suoritettava riittävän pitkältä matkalta, jotta kuparin sallitut venymät eivät ylity liitoksen kohdalla.

Suunniteltaessa vesijohto ja viemäri rakennettaviksi samalle perustusrakenteelle, mikä on yleinen käytäntö tonttijohdon kohdalla, on perustusrakenteet mitoitettava viemärin asettamien vaatimusten mukaan, sillä tämän selvityksen perusteella on kupariputkien sallima maan painuma viemärin sallimaa painumaa suurempi.

2.7 Tonttijohtoja koskevia näkökohtia

Helsingissä on rakentamisen painopiste siirtynyt pohjasuhteiltaan heikosti kantaville alueille. Kun näiden tasaisten pehmeikköalueiden maisemallista kuvaa pyritään vielä elävöittämään yhä paksummilla ja vaihtelevammilla täytemaakerroksilla, voidaan täytemaakerroksista aiheutuvien lisäkuormitusten ja tonttien kuivatuksen katsoa aiheuttavan suuruusluokaltaan sellaisia konsolidaatiopainumia ja painumaeroja, että nämä tulisi suunnittelussa ottaa huomioon.

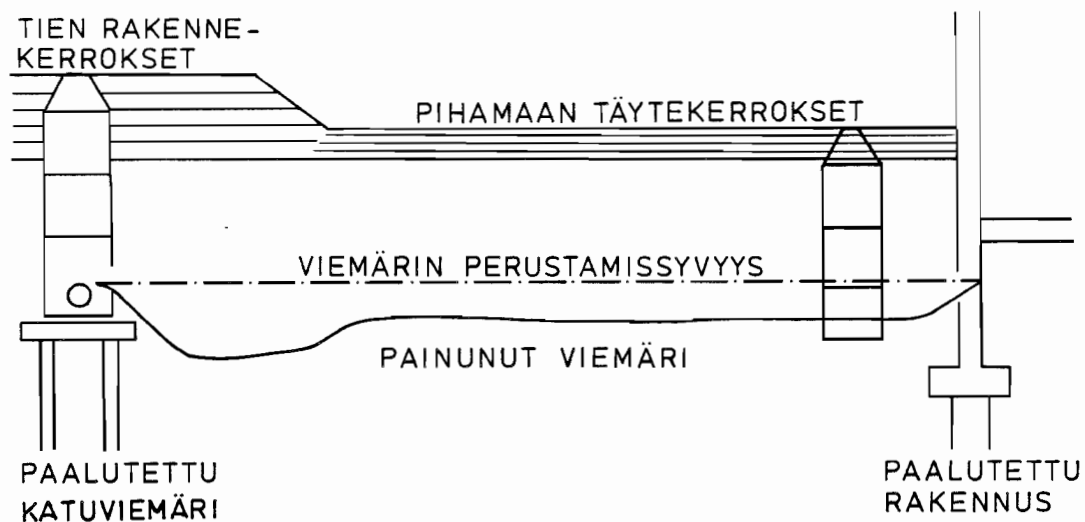
Mikäli nykyistä rakentamiskäytäntöä halutaan parantaa, eli konsolidaatiopainumista aiheutuvia putkivaurioita, rakennusten pohjalaattoihin kiinnitettyjen ripustusten pettämistä, viemäreiden vuotovesiä sekä viemäreiden tukkeutumista vähentää, tulisi pehmeikköalueille tulevien rakennuskohteiden LVI-suunnitelmien lisäksi vaatia myös tonttijohtojen perustamistapaa koskevat geotekniset suunnitelmat. Kaupungin viranomaisen tulisi tarkastaa suunnitelmat ja valvoa niiden toteutumista.

Nykyään vallitseva tonttiviemäreiden rakentamiseen liittyvien töiden suorittamisen taso on erittäin vaihteleva lähinnä töiden valvonnan puutteellisuuden takia. Paremmen tuloksen saavuttamiseksi olisi syytä selvittää nykyisen rakentamiskäytännön parantamismahdollisuudet. Joka tapauksessa valvontaa olisi tehostettava nykyisestään.

Rakentamis- ja valvontakäytäntöä parantamalla päästäisiin betoniviemäreiden osalta nykyistä parempiin työtoleransseihin, mikä pienentäisi vuotovesimääriä. Muoviviemäreiden osalta saataisiin vastaavasti paremmat takeet myös ympärystytön asennusohjeiden mukaisesta tiivistämisestä, jolloin muoviputkien litistymisestä aiheutuvat vauriot vähenisivät.

Pehmeikköalueilla putkiperusta painuu epätasaisesti maan pohjasuhteiden vaihtelusta johtuen. Putkiperustan luontaisista painumaeroista aiheutuvaa haittaa voidaan pienentää rakentamalla viemäri mahdollisimman suureen kaltevuuteen. Tämä mahdollistaisi myös suurempien konsolidaatiopainumien vastaanottamisen rakennuksen seinän vieressä käytettävällä siirtymärakenteella, koska viemäri sallisi huuhtoutumista silmällä pitäen suuremmat painumat. Mikäli katuviemärin perustamissyvyys on niin pieni, että riittävän suureen tonttiviläin kaltevuuteen ei päästä pelkästään perustamissyvyyttä lisäämällä, voidaan viemärin kaltevuutta lisätä perustamalla viemäri osittain ns. kevyen kunnallistekniikan keinoin. Tällöin viemärin perustamissyvyys nousee taloa kohti mentäessä routarajan yläpuolelle. Tämä routarajan yläpuolelle jäävä tonttiviläin osa tulee lämpöeristää.

Kuvassa 12 on esitetty tonttiviläin kannalta kriittisimmät kohdat tapauksessa, missä painunut viemäri on molemmista päistään liittynyt paalutettuun rakenteeseen.



Kuva 12.

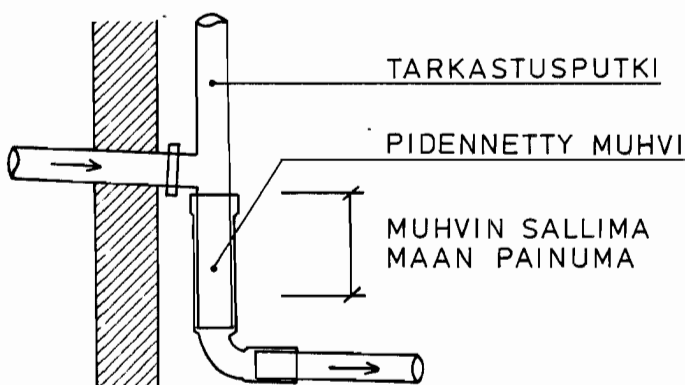
Suurimmat painumaerot muodostuvat siis talon perusmuurin ja katuviemärin paalutuksen viereen sekä tien luiskan kohdalle. Täten tarkastuskaivon ja tien luiskan väliin muodostuu painuma, joka aiheuttaa viemärin tukkeentumisvaaran. Tämä

painuma voidaan jo rakennusvaiheessa ottaa huomioon siirtymä-rakenteen varaan perustetulla viemärin ennakkokorotuksella, minkä tulisi olla laskettujen painumien suuruinen. Ennakkokorotuksen käytöstä on huomattava, että se johtaa ristiriitaan viemärin peilattavuutta koskevien vaatimusten kanssa. Toisaalta on myös huomattava, että nykyiset painuneet tonttivilmärit eivät myöskään ole peilattavassa kunnossa.

Asennusteknisenä näkökohtana voidaan muovivilmäreiden osalta todeta, että kuvan 12 mukaista tilannetta silmällä pitäen ei putken muhvikohtia tulisi sijoittaa kohtiin, joissa painumaerot muodostuvat suuriksi. Tällaisessa kohdassa muoviputki litistyy muuta putkea enemmän ja seurauksena voi olla vuotava liitos.

Rakennuksessa olevalla tonttijohdon läpivientikohdalla on suuri vaikutus tonttijohdon kestävyys. Esim. kuvan 12 tapauksessa perusmuurin läpi vietyyn putkeen kohdistuu maan painuessa suurempi rasitus kuin paalutetun perusmuurin anturan ali vietyyn putkeen. Jälkimmäisessä tapauksessa putki vastaanottaa painumaeron pidemmällä matkalla saaden lisäksi perusmuurin läpi vietyä putkea paremman tuen putkiperustasta. Koska pehmeikköalueilla valtaosa pientaloista rakennetaan ilman kellarikerrosta, niin putket viedään rakennuksen ulkoseinän kohdalla paalutetun rakenteen alta. Tämän seikan voidaan osaltaan katsoa vaikuttaneen vauriokartoituksessa havaittuihin paineellisten muoviputkien vaurioiden vähyyteen. Lisäksi muoviputkien vauriotilannetta tarkasteltaessa on syytä muistaa, että nykyään ei ole mitään "virallista" tietoa siitä, kuinka suuria putkiperustan painumaeroja muoviputket kestävä. Muoviputkien taloudellinen käyttö edellyttäisi tämän asian selvittämistä, koska nykyiset viralliset materiaaliarvot (RIL 77-1984) johtavat geoteknisessä suunnittelussa helposti sellaisiin pohjanvahvistustoimenpiteisiin, mitkä vaikuttavat käytännön kokemusten perusteella tarpeettomilta. Näistä käytännön kokemuksista on kuitenkin todettava, että ne monesti pohjautuvat tapauksiin, joissa konsolidaatiopainumaa on vielä merkittävästi jäljellä. Lisäksi näitä kokemuksia ei ole lainkaan niiltä nykyistä "vaikeammilta" pehmeikköalueilta, joille tulevaisuudessa rakennetaan muun kelpoillisen tonttimaan puuttuessa.

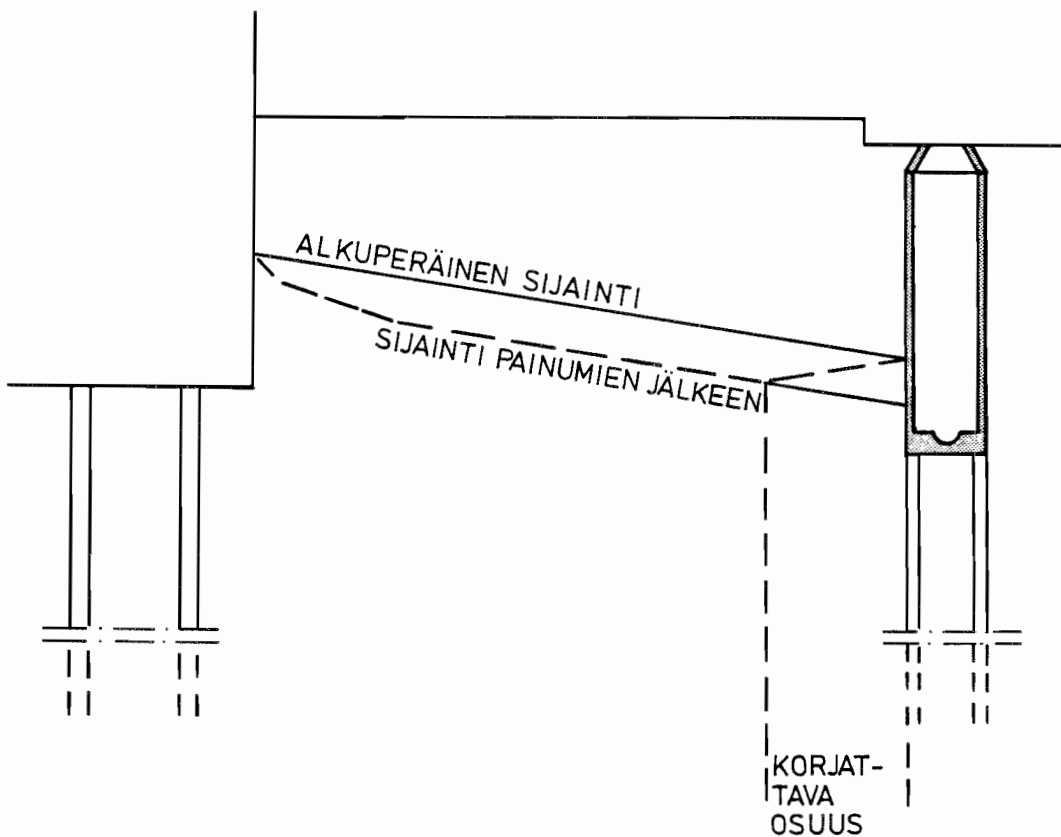
Muovista voidaan putkimateriaalina todeta, että se sallii tietyt erikoisrakenteet. Jos rakennuksen seinän vieressä vaadittava tarkastuskaivo tai putki korvattaisiin kuvan mukaisella tarkastusputkella, niin viemärin toimivuusvaatimusten puitteissa voitaisiin suuriakin painumia sallia ilman siirtymärakenteita. Kuvan 13 mukainen tarkastusputki tulisi ankkuroida laippaliitoksen yläpuolelta perusmuuriin. Edellisestä ratkaisusta on todettava, että tonttivesijohdon tulisi vastaavan painuman kestääkseen olla valurautaa, jolloin sallittava painuma voisi korkeintaan olla ennakkokorotukseen asennetun valurautaputken sallitun painuman suuruinen.



Kuva 13. Maan painumisen salliva tarkastusputki.

Lopuksi esitettäköön tonttivilmäärin perustamistarvetta koskevana näkökohtana, että niissä tapauksissa, jolloin laskettu konsolidaatiopainuma on niin pieni, että erillisiä perusrakenteita ei tarvita, mutta viemärin tukkeutumisvaaraa kuitenkin esiintyy, voidaan ajatella, että tonttivilmäärin annetaan painua ja mikäli viemäri tukkeutuu toistuvasti konsolidaatiopainuman johdosta, viemäri rakennetaan uudestaan korotettuun korkeusasemaan. Tällaisissa rajatapauksissa on edellä mainittu menettely kuitenkin tietyssä mielessä kyseenalainen, sillä esim. rakennuksen omistajan vaihtuminen voi aiheuttaa uudelle omistajalle odottamattomia kustannuksia ja haittaa. Näissä tapauksissa on edelleen otettava huomioon minkälaisia haittavaikutuksia viemärin uudelleen rakentaminen aiheuttaa katurakenteelle, liikenteelle sekä ympäristölle yleensä.

Tonttivilmäärin osittaista uusimista voitaisiin kuitenkin monessa tapauksessa ajatella perustamisen vaihtoehtoksi. Vaurioselvityksessähän on todettu, että tonttivilmäärin usein tulevat nousulla tarkastuskaivoon. Mikäli tonttivilmäärin liitos tarkastuskaivoon on rakennettu riittävän korkealle katujohdon virtaustasoon nähden, voidaan ajatella, että nousulla oleva viemärin osuus korjataan rakentamalla tonttivilmäärin liitos uudestaan alempaan tasoon. Ajateltu menettely on esitetty kuvassa 14. Tässä tapauksessa jouduttaisiin kaivutöitä suorittamaan ainoastaan katualueella ja suhteellisen lyhyellä matkalla.



Kuva 14. Painuneen tonttivilmäärin osittainen uusiminen.

Vaihtoehtona viemärin perustamiselle voitaisiin myös ajatella tonttivilmääreiden rakentamista paineellisina pehmeikköalueille. Tässä tapauksessa on mitoituksen määräävänä tekijänä putkien rakenteellinen kestävyys ja putkien välisten liitosten tiiviys.

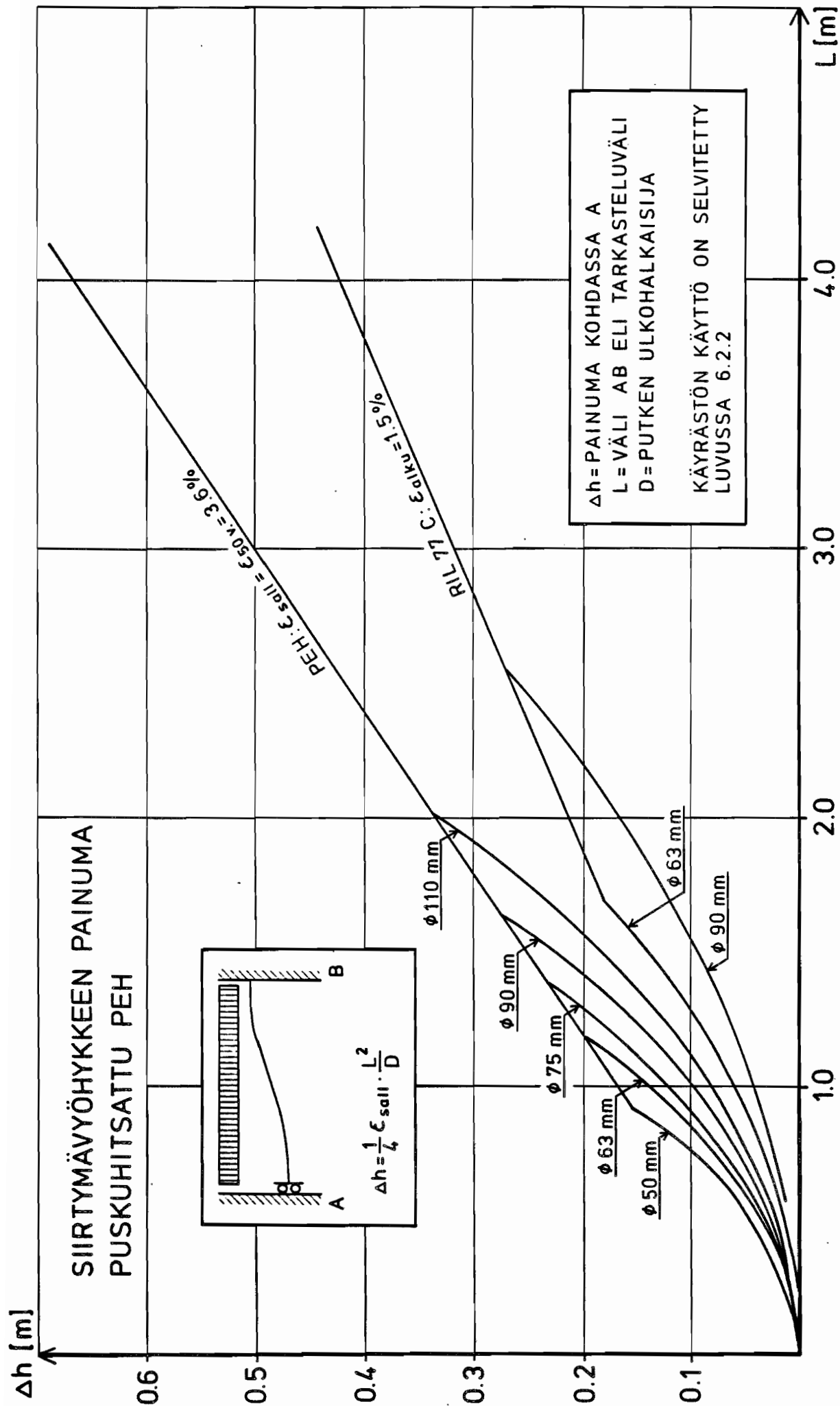
KIRJALLISUUSLUETTELO LUKUUN 2

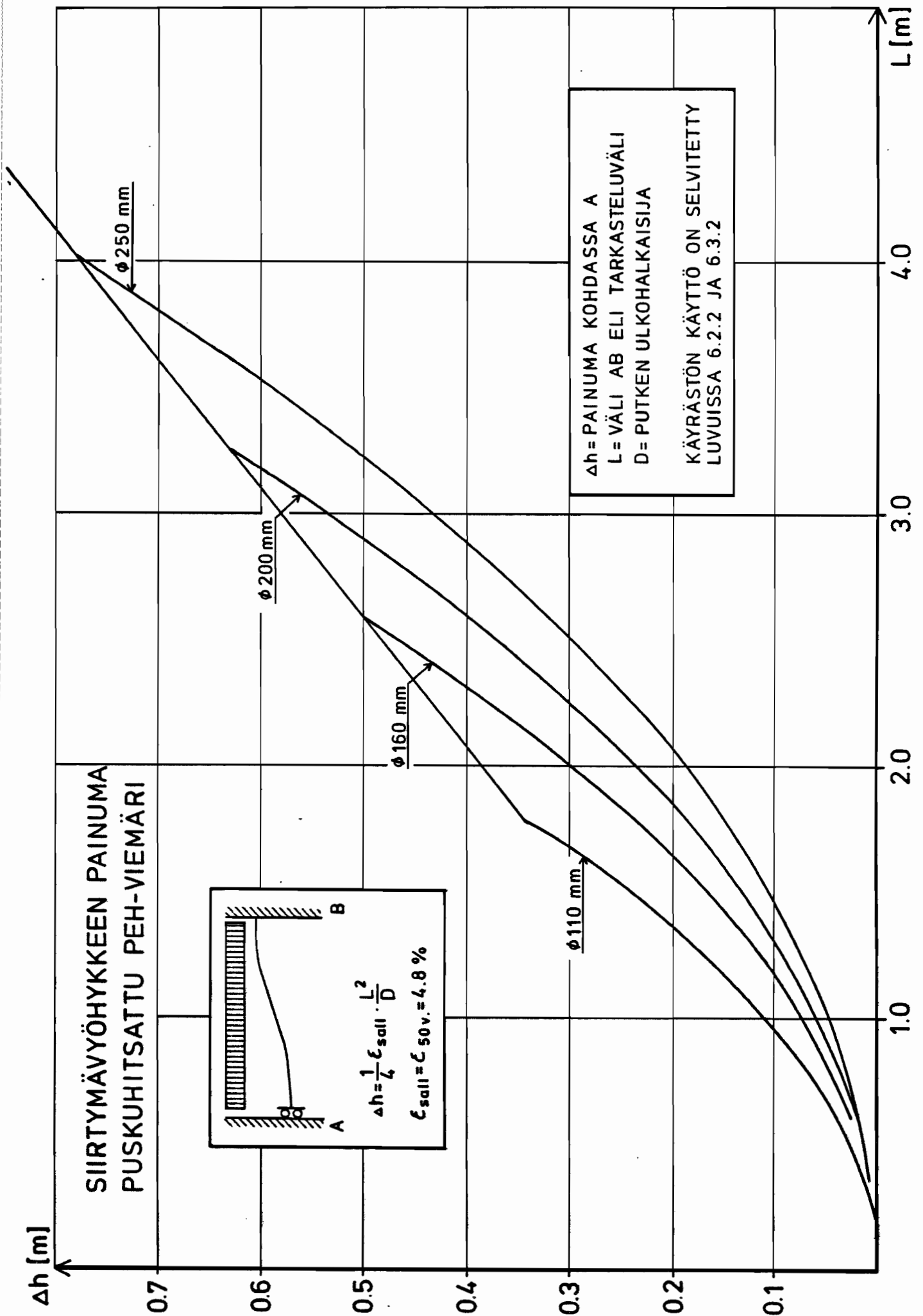
1. Betoniputkikäsikirja, Suomen Betoniteollisuuden Keskusjärjestö r.y., Helsinki 1979.
2. Betoniputkinormit, Suomen Kunnallistekninen yhdistys, Kerava 1982.
3. Helsingin kaupungin vesi- ja viemärlaitoksen taulukkokirjat, Tiedot v. 1974...1981.
4. Ilmavirta, A., Jätevesiverkon latvaviemäreiden mitoitus itsepuhdistuvaksi kriittisen hankausjännityksen avulla. Vesitekniikan laitoksen julkaisu 22, Otaniemi 1981.
5. Janson, J-E. och Larsson, L-E., Undersökning rörande dimensionering av asbestcementrör, Chalmers Tekniska Högskolans handlingar, Nr 325, 1968.
6. Jääskeläinen, H., Taipuisiin putkijohtoihin kohdistuva maanpaine, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Geotekniikan laboratorio, tiedonanto 5, Otaniemi 1973.
7. Kiuru, H., Muovinen vai betoninen viemäriverkkojärjestelmä, järjestelmien vertailua, INSKO 33-78, 1978.
8. Maahan ja veteen asennettavat muoviputkiet, Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL 77 c, 1978.
9. Molin, J., Principles of calculation for underground plastic pipes calculation of loads, deflection, strain. International Organisation for Standards, 1971.
10. Molin, J., Utvändig belastning och grundläggning, VBB Vattenbyggnadsbyron, Malmö 1976.

11. Outokummun kupariputkiopas, 1981.
12. Rakennusten vesijohdot ja viemärit, Suomen Kunnallisteknillinen yhdistys, 1965.
13. Rapport från seminarium NUVG 80, Arbetsgrupp för samordnad utvärdering av nordiska undersökningar avseende självfallsledningar av plast i mark. Seminarium 12-13 februari 1980 i Vedbaek, Danmark.
14. Rörbok, Gustavsbergs Fabriker/Orrje & Co-Scandiaconsult, 1975.
15. Soini, R., Muovisten maaviemäriputkien asennusedellytyksistä ilman karkearakeista suojamateriaalia, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Geotekniikan laboratorio, tiedonanto 23, Espoo 1976.
16. Välimaa, P., Kestomuoviputkien mitoitusperusteet ja standardit, INSKO 100-74, Muoviputkistot teollisuuden käytössä, 1974.

MERKINNÄT LUKUUN 2

B	putken tuentakulmasta riippuva kerroin
b	kaivannon leveys, m
D	putken ulkohalkaisija, m
d	putken sisähalkaisija, m
E, E _r	putkimateriaalin kimmomoduuli, kN/m ²
E' _s	sekanttimoduuli, MN/m ²
E _t	maan kokonaispuristuvuusmoduuli, MN/m ²
E' _t	tangenttimoduuli, MN/m ²
e	Neperin luku
F	putken soikeudesta aiheutuva kerroin
F	varmuuskerroin
g	putoamiskiihtyvyys, m/s ²
h	peitesyvyys, m
I	hitausmomentti pituusyksikköä kohti = s ³ /12, m ⁴ /m
K	putken tukemistapaa kuvaava kerroin
k	aktiivinen maanpaine kerroin
k	alustaluku, kN/m ³
L	putken pituus, m
M	taivutusmomentti, kNm
m	momenttikerroin
P	pistekuorma, kN
P	paine, kN/m ²
Q	putkeen kohdistuva kuormitus
Q _t	pistekuormasta putkelle tuleva kuormitus, kN/m
Q _{ts}	putkeen kohdistuva liikennekuorma, kN/m
q	putkeen kohdistuva maanpaine, kN/m ²
r	putken säde, m
s	putken seinämäpaksuus, m
α, β	kulmia
γ	maan tilavuuspaino = ρ · g, kN/m ³
δ _n , δ _v	putken horisontaalinen ja vertikaalinen muodonmuutos
ε	putkimateriaalin venymä
ε _{50 v}	putkimateriaalin pitkäaikainen venymä
μ	kitkakerroin
σ	jännitys, kN/m ²
ρ	irtotiheys, t/m ³





3. KAUKOLÄMPÖJOHDOT

3.1 Johdanto

Helsingin kaukolämpöverkon korjauskustannukset ovat jatkuvasti kasvaneet. Vuonna 1983 käytettiin korjauksiin noin 4 milj. mk. Johtoa uusittiin noin 3 km matkalta. Kaukolämpöverkon liittymisjohtojen nykyinen suunnittelu- ja rakentamiskäytäntö poikkeaa oleellisesti muiden putkijohtojen kohdalla vallitsevasta käytännöstä siinä, että kaukolämpölinjoilta puuttuvat systemaattisesti suoritettut pohjaututkimukset sekä pohjarakennussuunnittelu. Tämän seurauksena esim. pehmeän saven alueilla rakentamisen seurauksena tapahtuvia konsolidaatiopainumia ei ole kaukolämpöjohtoja suunniteltaessa otettu huomioon. Nämä painumat ja etenkin epätaimaisen painuman aiheuttamat painumaerot yhdistettynä yleisimmin käytettyyn johtotyyppiin, ns. suojaputkirakenteeseen, näyttävät olevan selvästi merkittävin syy kaukolämpöjohtojen vauriomäärien huomattavaan kasvuun Helsingissä.

Tämän työn tarkoituksena on ollut selvittää vaurioiden jakautumista erilaisille pohjasuhteille sekä tutkia perusteellisemmin kolmea erilaista tyypillistä vauriotapausta ja analysoida syitä vaurioiden syntyyn. Työssä on käsitelty yksinomaan liittymisjohtojen vaurioita, sillä Helsingin kaupungin energialaitoksen dipl.insinööri Tapio Öhmanin tekemän selvityksen perusteella vauriot keskittyvät liittymisjohtoihin. Vaurioiden tilastollisen tutkimuksen yhteydessä on kuitenkin myös esitetty betonielementtikanavien vauriomäärät, jotta ongelmien painottuminen liittymisjohtoihin selvästi kävisi ilmi. Tapio Öhmanin tekemää vaurioselvitystä on käytetty tämän työn lähtöaineistona. Lisäksi työn tarkoituksena on ollut selvittää kaukolämpöjohtojen pohjarakennussuunnittelun perusteita yleisesti. Tähän on oleellisesti liittynyt johtorakenteen asettamien vaatimusten selvittäminen johtorakenteen rakenteellisen kestävyys sekä eri johtotyyppien asettamien toimivuusvaatimusten pohjalta. Tutkimuksissa on ilmennyt, että kaukolämpöverkon liittymisjohtojen kestävyys geotekniikan kannalta on tutkimatta.

Tässä työssä johtorakenteille asetettujen vaatimusten pohjalta on eri pohjasuhteisiin soveltuvia perustamistaparatkaisuja määritetty. On myös arvioitu miten kaukolämpöjohtojen geotekninen suunnittelu vaikuttaisi rakentamiskustannuksiin.

Työssä on edelleen esitetty kaukolämpöjohtojen suunnittelun ja rakentamisen kehittämiseksi vastaisuudessa tarvittavat tutkimukset ja toimenpiteet.

- 3.2 Helsingin kaukolämpöverkon liittymisjohtojen nykyiset suunnitteluperusteet ja rakentamiskäytäntö
- 3.21 Putkirakenteet
- 3.211 Kaukolämpöverkon rakenne

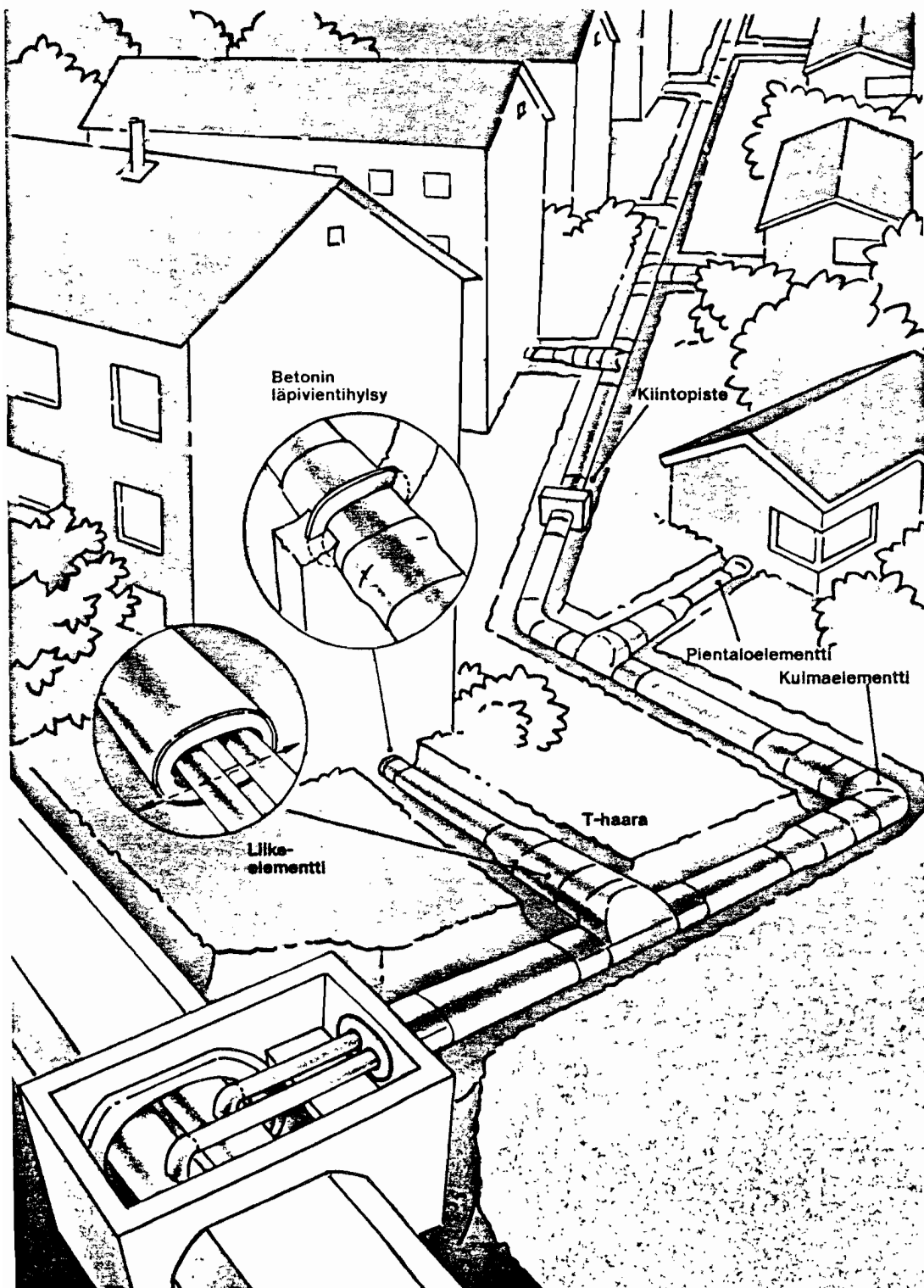
Kaukolämpöverkon rakenteen periaate esitetään kuvassa 1. Runkojohdot rakennetaan tavallisesti betonielementtikanaviin ja siitä haarautuvat, halkaisijaltaan 200 mm tai sitä pienemmät, johdot muovipintaisen lämpöeriste-elementin sisään. Tässä työssä on kaikki halkaisijaltaan 200 mm tai sitä pienemmät johdot katsottu kuuluvan liittymisjohtoihin. Betonielementtikanavien kokonaispituus on tällä hetkellä noin 120 km ja liittymisjohtoa on rakennettu noin 300 km. Kaukolämpöverkon suurin osuus muodostuu siten liittymisjohdoista.

3.212 Suojaputkirakenne

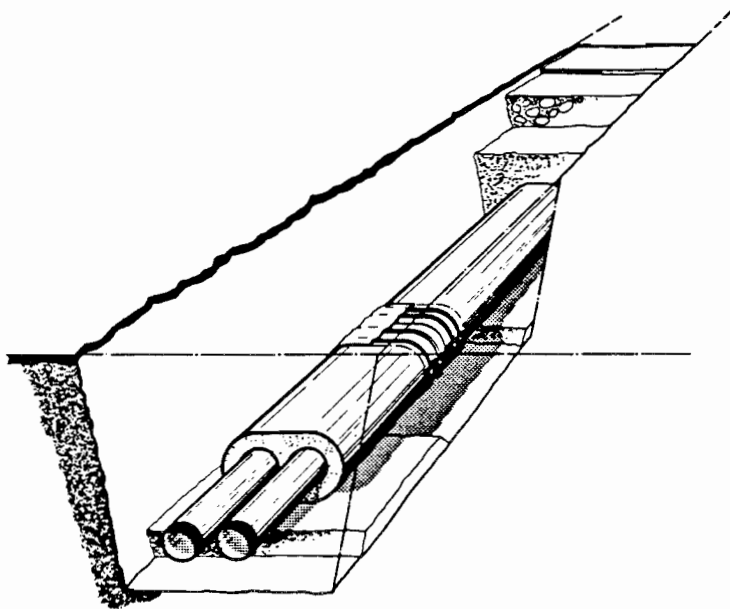
Helsingissä on yleisimmin kaukolämmön rakentamisessa käytetty suojaputkirakennetta /33/. Rakenne on esitetty kuvassa 2. Elementit valmistetaan normaalisti 12 metrin pituisina /15/. Suojaputkirakenteessa teräksiset virtausputket asennetaan tehdasvalmisteisen lämpöeriste-elementin sisään. Virtausputken lämpölaajenemisesta aiheutuvat voimat eivät kohdistu erityiselementtiin vaan laajeneminen voi tapahtua vapaasti elementin sisällä /15/. Lämmöneriste-elementin ulkokuori valmistetaan eteenimuovista. Eristeaineena on kova polyuretaanivaaho. Elementin sisäputki valmistetaan runsaasti lasikuitua sisältävästä polyesterilujitemuovista /15/.

3.213 Kiinnivaahdotettu johtoelementtirakenne

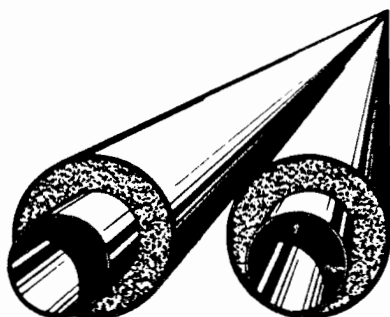
Kiinnivaahdotetussa johtotyyppissä on lämpöeristeenä käytetty polyuretaani vaahdotettu kiinni teräsputkeen. Järjestelmä muodostuu erillisestä meno- sekä paluuputkesta /15/. Rakenne on esitetty kuvassa 3. Lämpölaajenemisesta aiheutuvat voimat kohdistuvat osittain tai kokonaan polyuretaanista valmistetun suojakuoren välityksellä ympäristäytöön. Helsingissä on kiinnivaahdotettua johtorakennetta ruvettu käyttämään rinnan



Kuva 1. Helsingin kaukolämpöverkon rakenne.



Kuva 2. Suojaputkirakenne /32/.



Kuva 3. Kiinnivaahdotettu johtoelementtirakenne /23/.

suojauputkirakenteen kanssa vuodesta 1980 lähtien /33/. Vuonna 1984 rakennetaan vajaat puolet uudisrakennuskohteista kyseisellä rakenteella.

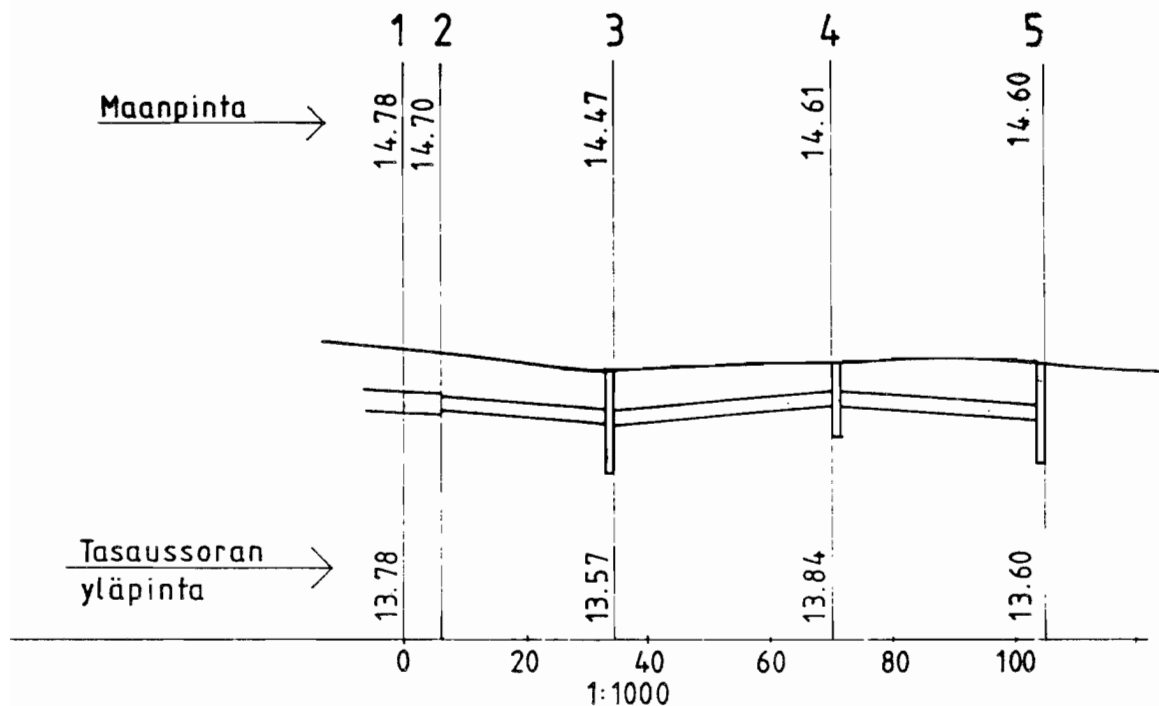
3.214 Putkirakenteen valinta

Putkirakenteen valintaan vaikuttavat ennen kaikkea toiminnalliset näkökohdat. On nimittäin todettu, että suojauputkirakenne vaurioituu huomattavasti helpommin kuin kiinnivaahdotettu rakenne, mikäli suunnitellussa kaltevuudessa tapahtuu muutoksia, jotka estävät veden virtauksen suojauputkirakenteesta kaivoihin. Kaukolämpörakenteiden toiminnallista suunnittelua käsitellään tarkemmin kohdassa 3.22. Helsingissä on kaukolämpöverkon liittymisjohtojen rakentamiseen yleensä käytetty suojauputkirakennetta, sillä kyseinen rakenne on hankintahinnaltaan edullisempi /33/. Vasta viime vuosina on ryhdytty kiinnittämään huomiota pohjasuhteiden putkirakenteelle asettamiin vaatimuksiin. Pääsääntöisesti käytetään kuitenkin edelleen suojauputkirakennetta, mutta suunniteltaessa kaukolämpöjohtoja tasaisille alueille ja pehmeikköalueille on yhä useammassa tapauksessa rakenteeksi valittu kiinnivaahdotettu johtoelementti. Talohaarojen rakenteeksi on pääasiassa valittu kiinnivaahdotettu johtotyyppi.

3.22 Johtorakenteen toiminnallinen suunnittelu

3.221 Johdon kaltevuus

Kaukolämpöjohdot suunnitellaan kaivoväleittäin jatkuvasti kalteviksi. Kuvassa 4 on esitetty suunnittelun periaate kaltevuuden suhteen. Suojauputkirakenteen kaltevuuden minimiarvona käytetään nykyään 1 %:a. Suojauputkirakenne on suunniteltava kaivoväleittäin jatkuvasti kaltevaksi, jotta rakenteeseen asennusvaiheessa jäänyt kosteus ja rakenteen sisään mahdollisesti tunkeutuva ulkopuolinen vuotovesi pääsee poistumaan rakenteesta kaivoihin /15/. Johto-osuudet suunnitellaan kaivoväleittäin jatkuvasti kalteviksi myös mahdollista tyhjennystä silmällä pitäen. Ellei johto-osuutta tehdä kaltevaksi, jouduttaisiin tyhjentäminen suorittamaan paineen avulla.



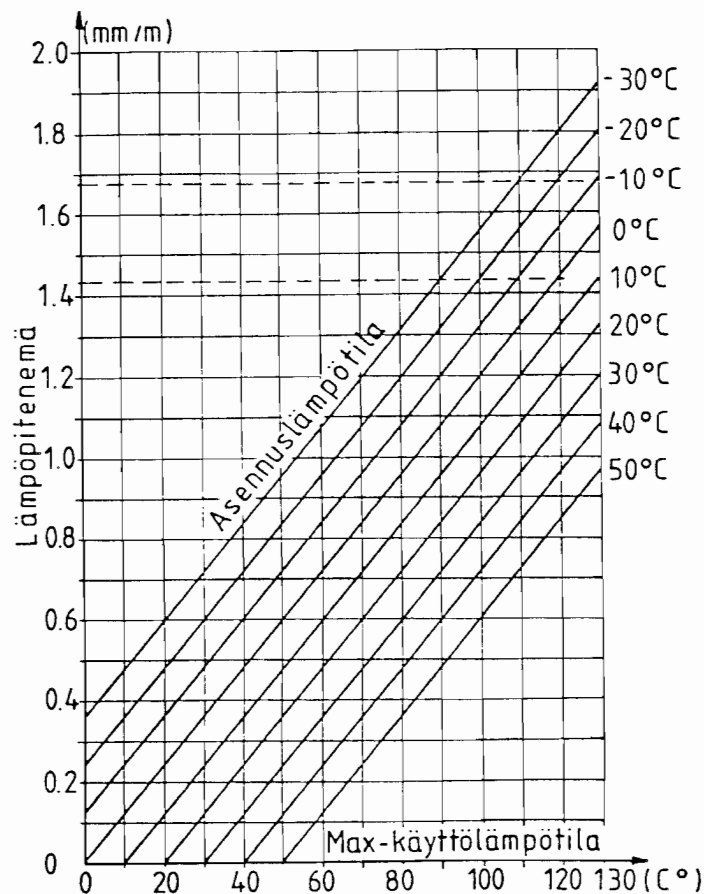
Kuva 4. Kaukolämpöjohtojen kaivoväleittäin jatkuvan kaltevuuden rakentamisperiaate.

Kiinnivaahdotettu johtoelementtirakenne suunnitellaan jatkuvaan kaltevuuteen lähinnä johto-osuuksien tyhjentämisen helpottamiseksi, sillä kyseinen rakenne toimii suunnitellulla tavalla kaltevuudesta riippumatta. Tämän johdosta ei kyseinen rakenne aseta asennustyön tarkkuudelle yhtä suuria vaatimuksia kuin suojaputkirakenne.

3.222 Lämpölaajeneminen

Kaukolämpöjohtojen nykyisen suunnittelun tärkeä osa on teräsputken lämpölaajenemisen tasaamisen oikea mitoitus. Teräsputken laajeneminen johtuu lämpötilaerojen synnyttämistä jännityksistä.

Suojaputkirakenne mitoitetaan asennusaikaisen putken lämpötilan ja verkossa esiintyvän maksimilämpötilan erotuksen perusteella /4/. Suunnittelussa määritetään esiintyvän lämpötilaeron perusteella lämpöpitenemäkerroin (mm/johtom) esimerkiksi kuvan 5 /15/ käyrästön avulla. Syntyvä lämpöpitenemä lasketaan tämän jälkeen suunniteltavan johto-osuuden pituuden

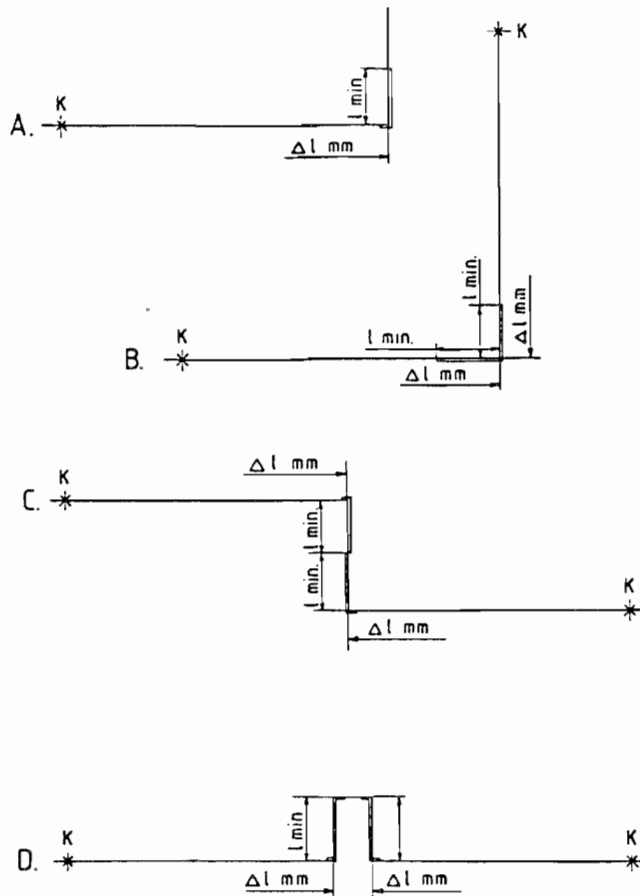


Kuva 5. Kaukolämpöjohtojen lämpölaajenemisen määrittäminen /15/.

perusteella. Suojaputkirakenteen lämpöpiteneminen tasataan joko kulmia ja liikevarsia tai tasaimia käyttäen /4/.

Käytettäessä kulmia ja liikevarsia kohdistetaan lämpöpitenevä yleensä 90° kulmiin. Suunnittelussa on tällöin tarkistettava kulmien liikevaran sekä liikevarsien pituuden riittävyys. Suorien johto-osuuksien lämpöpiteneminen kulmiin kohdistuva osuus rajoitetaan tavallisesti kiintopisteillä. Kuvassa 6 on esitetty liikekulman käyttösovellutukset.

Mikäli johto-osuudelle ei tule riittävästi kulmia lasketun lämpöpitenevän tasaamiseksi käytetään aksiaalitasaimia. Kulmien lisääminen pelkästään tasaamista varten ei ole taloudellista /15/. Käytettäessä tasaimia tarvitaan aina kiintopiste tasaimen molemmille puolille. Teoreettinen kiintopisteväli on tasaimen maksimijoustopituus jaettuna lämpöpiteneväkertomella /15/. Esiintyvistä työtoleransseista johtuen kiintopistevälit suunnitellaan 5...10 % lyhyemmiksi.



Kuva 6. Liikekulmien käyttösovellutuksia /15/.

Kiinnivaahdotetun elementtirakenteen lämpölaajeneminen voidaan suunnittelussa ottaa huomioon kahdella eri tavalla. Pituudenmuutokset voidaan kompensoida tasaimia, kulmia ja liikevarsia käyttäen tai valmiiksi rakennettu johto esilämmitetään ennen täyttöä ja pituudenmuutokset saavat vapaasti tapahtua, minkä jälkeen kaukolämpöjohto kiinnitetään joko kiintopisteillä tai johdon ja ympärystäytön välisen kitkan avulla. Kulmia ja liikevarsia käyttämällä pystytään esilämmitetyn johto-osuuden mahdollisia lämpöliikkeitä tasaamaan. Kiinnivaahdotettu johtoelementtirakenne on yleensä suunniteltava esilämmitettäväksi, sillä tasaimien suunnitellun toiminnan edellytys on, että johto-osuus on ehdottoman suora. Nykyisen asennustekniikan mukaan on vaatimuksen toteutuminen epävarmaa.

Suunnittelussa määritetään ensin lämpötilaerosta aiheutuva aksiaalinen jännitys kaavalla (1) /19/.

$$\sigma_{aks} = \alpha \Delta T E$$

(1)

σ_{aks} on aksiaali-jännitys, kN/m^2
 α lämpö-pitenemäkerroin, $1/^\circ\text{C}$
 ΔT lämpötilaero, $^\circ\text{C}$
 E kimmokerroin, kN/m^2

Tällöin on tarkistettava, että lämpötilaero ei aiheuta teräsputken sallitun jännityksen ylittymistä. Kaukolämpöjohtojen suunnittelussa käytetään teräsputken sallitun jännityksen arvona DIN 17100 mukaan 127 N/mm^2 . Sallitun jännityksen arvo pätee kaukolämpöjohtojen valmistuksessa käytetyille teräslaudalle FE-37 B. Kiinnitettäessä johto kiintopisteillä laskeaan kiintopistevoima aksiaalisen jännityksen perusteella. Mikäli johto suunnitellaan kitkakiinnitetyksi on putken ja ympäristäytön välille syntyvä kitkavoima määritettävä. Kitkavoima pituusyksikköä kohti lasketaan kaavalla (2) /15/.

$$f = \pi D (h + D/2) \mu \gamma \quad (2)$$

f on kitkavoima pituusyksikköä kohti, kN/m
 D johtoelementin ulkohalkaisija, m
 h peitesyvyys, m
 μ kitkakerroin
 γ täytteen tilavuuspaino, kN/m^3

Kaava (2) antaa yleensä liian suuria kitkavoiman arvoja, sillä horisontaalinen ja vertikaalinen maanpaine ovat yleensä erisuuria. Kaukolämpöjohtoja suunniteltaessa kitkavoima kuitenkin lasketaan suuremman vertikaalisen maanpaineen mukaan. Käytännön suunnittelussa käytetään kitkakertoimen arvona 0,4... 0,45. Jokaisen johdon kitkapituus voidaan määrittää kaavalla (3) antamalla aksiaaliselle jännitykselle suurin sallittu arvo ($\sigma_{sall} = 127 \text{ N/mm}^2$) /15/.

$$L_k = \frac{\sigma_{aks} \cdot A}{f} \quad (3)$$

L_k on kitkapituus, m
 A teräsputken pinta-ala, m^2

Jotta kaukolämpöjohto olisi täysin kitkakiinnitetty, on täten kitkapituuden ja kitkavoiman tulon oltava suurempi kuin aksiaalinen voima.

Suunnittelussa on edelleen laskettava kaukolämpöjohdon vapaan päään liikkeet. Mikäli lämpölaajeneminen on vapaata, lasketaan pituudenmuutos ΔL_1 kaavalla (4) /4/.

$$\Delta L_1 = L \cdot \alpha \cdot \Delta T \quad (4)$$

ΔL_1 on pituudenmuutos, m

L johdon pituus, m

Kitkasta aiheutuvan pituuden muutoksen estyminen voidaan laskea kaavalla (5) /4/.

$$\Delta L_2 = \frac{f \cdot L^2}{2EA} \quad (5)$$

ΔL_2 on pituudenmuutoksen estyminen

Peitetyn putkiosuuden vapaan päään siirtymä saadaan kaavasta (6)

$$\Delta L = \Delta L_1 - \Delta L_2 \quad (6)$$

ΔL on putken päään siirtymä

Edellä olevan mukaisesti kaukolämpöjohto kiinnittyy maaperään kitkapituuden matkalla epäjatkuvuuskohdasta lukien, kun pysytään sallitulla lämpötila-alueella. Tällöin on suunnittelussa kompensoitava ainoastaan kitkapituuden matkalla tapahtuvat lämpöliikkeet.

3.223 Huolto ja valvonta

Kaukolämpöverkko suunnitellaan huoltoa ja valvontaa silmälläpitäen kaivojen avulla jaettavaksi sopiviin osiin. Johtosuuksien huollon ja valvonnan määräämät toimenpiteet kohdistuvat pääasiallisesti kaivoihin. Kaivot sijoitetaan johdon tyhjennys-, sulku- ja ilmanpoistokohtiin. Tosin myös toiminnalliset näkökohdat osittain vaikuttavat kaivojen sijoitukseen,

sillä kaivoihin tehtävillä pystysuorilla taitteilla pystytään johdon korkeusasema säätämään maanpinnan korkeusvaihteluiden mukaiseksi. Kaivovälien pituuden suunnitteluperusteena on toiminnallisten vaatimusten lisäksi se, että johto-osuudet pystytään sulkemaan ja tyhjentämään siten, ettei toimenpiteiden vaikutus ulotu laajempaan verkon osaan. Valmiiksi rakennetussa verkon osassa pyritään lämmönsyöttö suunnittelemaan toimivaksi kahdelta eri suunnalta, jotta määrättyllä johto-osuudella esiintyvä häiriö ei vaikuttaisi suuremman alueen lämmön toimitukseen. Energialaitoksen huolto-ohjelman mukaan kaikki kaukolämpöverkon kaivot muodostavat määrääjain tarkastettavia huoltopisteitä /32/. Huollon tärkeimmät toimenpiteet ovat johto-osuuksien ilmanpoisto ja kaivoista suoritettava vuotoveden poisto /32/. Johto-osuuksien kuntoa valvotaan myös kaivotarkastuksien yhteydessä.

3.23 Kuormat

Helsingin kaupungin rakennusviraston ja energialaitoksen yhteistyönä tehty kaukolämpöjohtojen suunnittelu- ja rakentamiskäytännön prosessikuvaus on esitetty liitteessä 1. Liitteestä ilmenee kaukolämpöjohtojen suunnittelun LVI-painotteisuus. Varsinaista maa- ja pohjarakennusteknistä suunnittelua ja siihen liittyviä pohjatutkimuksia ei järjestelmällisesti suoriteta. Käytännön suunnittelussa ei täten lasketa putkeen kohdistuvaa kuormitusta, vaan asennussyvyys määritetään eri olosuhteiden minimipeitesyvyyksien perusteella. Minimipeitesyvyydet ovat /15/:

- | | |
|--|--------|
| - liikennealue ilman kestopäällystettä | 500 mm |
| - kestopäällystetty liikennealue | 400 mm |
| - kävely- ja pyörätie | 300 mm |
| - puistot | 200 mm |

Yleensä käytetään kuitenkin 0,5 m minimipeitesyvyyttä, sillä mahdollinen kaavoituksen muutos voi aiheuttaa uuden kuormitus-tilanteen. Suunnittelussa on edelleen otettava huomioon mahdollisesti jälkeempäin tehtävien haaroitusten tilantarve. Lämpölaitosyhdistys r.y:n putkielementeille asettamien teknillisten vaatimusten mukaan /23/ elementtijohdon eri osien tulee kestää 0,5 m peitesyvyydellä maanpaineen ja kuormitusnormien mukaisen liikennekuorman. Liikennekuorma muodostuu

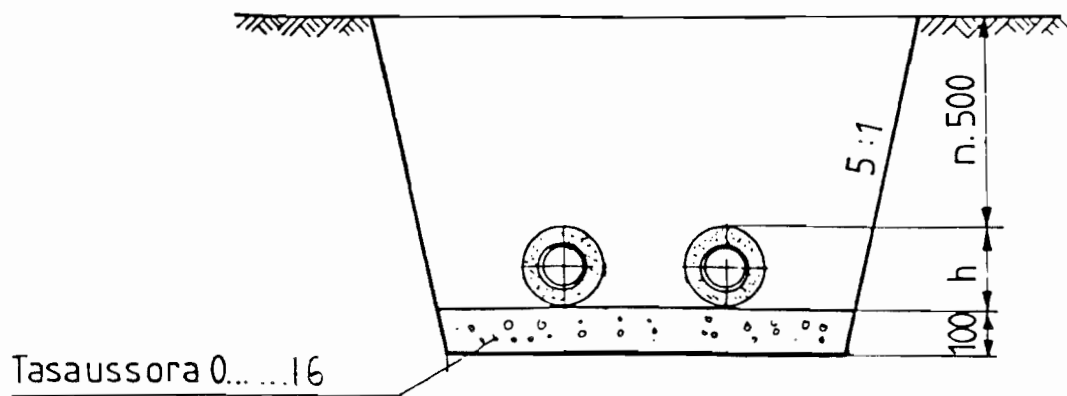
70 kN pyöräkuormasta 40 %:n sysäyslisällä. Elementtien tyyppitestausten menetelmää ei kuitenkaan ole määritetty. Peitesyvyys- sekä kuormien kestävyysvaatimukset perustuvat lähinnä käytännön kokemukseen.

Valmistajan taholla /10/ on kuitenkin tutkittu kaukolämpöelementtien kuormitusten kestävyyttä. Koekuormitusten tulokset osoittavat, että käytännön asennuksissa ja epäedullisimmassa tapauksessa kaukolämpörakenne kestää siihen kohdistuvat kuormitukset. Kuormituskokeissa putki asennettiin 0,5 m syvyyteen. Asennuskohteen oletettiin muodostuvan päällystämättömästä soratiestä. Kuormitukseksi otaksuttiin 70 kN pyöräkuorma, joka dynaamisen kuormituksen tapauksessa voi aiheuttaa noin 100 kN suuruisen kuormituksen. Kuormituskokeen tulos on esitetty liitteessä 2. Suoritetujen koekuormitusten perusteella on ilmeisesti asennussyvyyden määrittäminen minimipeitesyvyyden perusteella oikeutettua. Kaukolämpörakennehan pyritään asentamaan mahdollisimman lähelle maanpintaa, jotta vältettäisiin pohjavedenpinnan alapuolelle asennettaessa ilmaantuvaa kuivatustarvetta. Kaukolämpöjohdot pyritään lisäksi asentamaan eri syvyydelle kuin muut kunnallistekniset putkijohdot ja kaapelit, jotta vältettäisiin niitä ongelmia, joita samalla syvyydellä sijaitsevien johtojen riskeivät kohdat aiheuttavat.

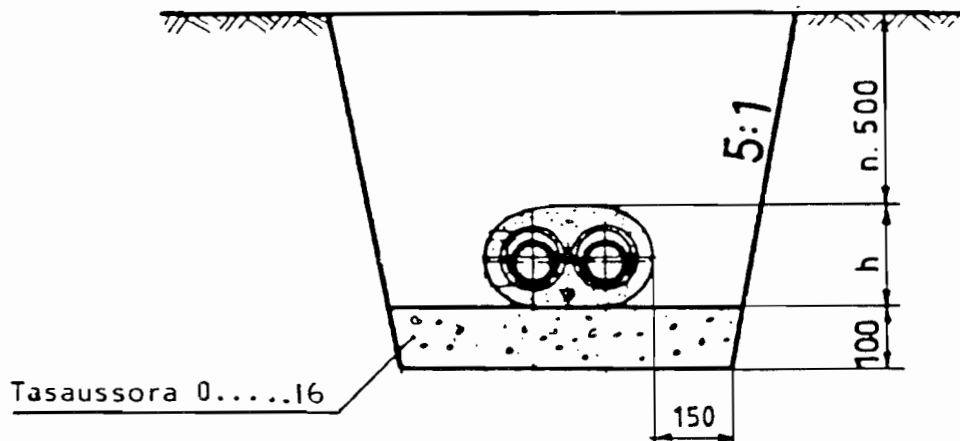
3.24 Maarakennustyöt

Kaukolämpöjohtojen rakennustekniset työt suoritetaan putkitekniikan suunnitelman perusteella. Mikäli erityistä tarvetta ei ilmene, suoritetaan rakennustyöt yleisen työselityksen tyyppisuunnitelmien sekä ohjeiden mukaisesti. Kuvissa 7 ja 8 on esitetty pienjohtojen kaivantojen tyyppipoikkileikkaukset /11/. Pienjohtojen perustusrakenteena käytetään pohjasuhteista riippumatta sora-arinaa. Arinan sekä pohjamaan sekoittumisen estämiseksi rakennetaan arina pehmeikköalueella usein suodatinkankaan varaan. Erittäin kosteissa olosuhteissa voidaan johto-osuus salaojittaa rakennusteknisten töiden valvojan ohjeiden mukaisesti.

Kaivannon täyttö tehdään Helsingin kaupungin rakennusviraston ohjeiden mukaisesti /20/. Ohjeet on suunniteltu katurakenteelle asetettavien vaatimusten pohjalta. Kuvassa 9 on esitetty täyttötöiden tyyppisuunnitelma.

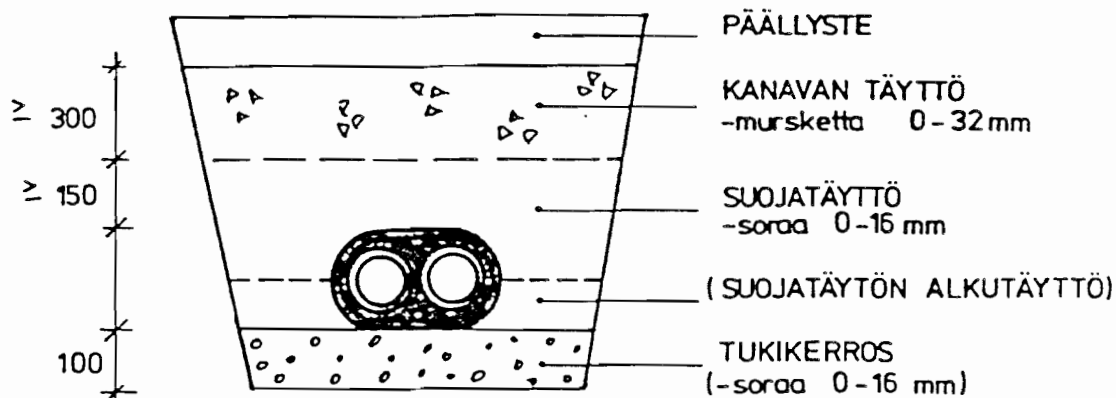


Kuva 7. Kiinnivaahdotetun putkielementtirakenteen kaivannon tyypipoikkileikkaus /11/.



Kuva 8. Suojaputkirakenteen kaivannon tyypipoikkileikkaus /11/.

Suojaputkielementti kanava



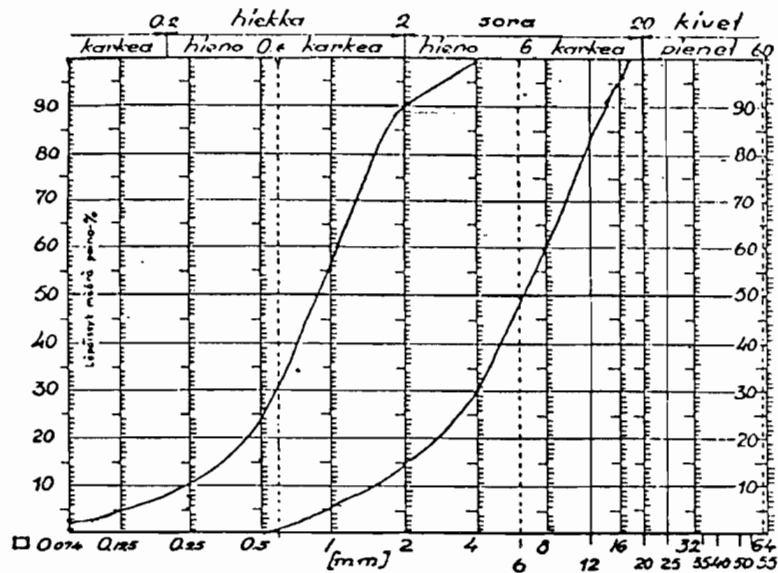
Piirustuksessa mainitut mitat tarkoittavat tiivistettyjä paksuuksia.

Kaivannon täyttömateriaalina voidaan käyttää myös rakeisuudeltaan vastaavaa kaivumaata.

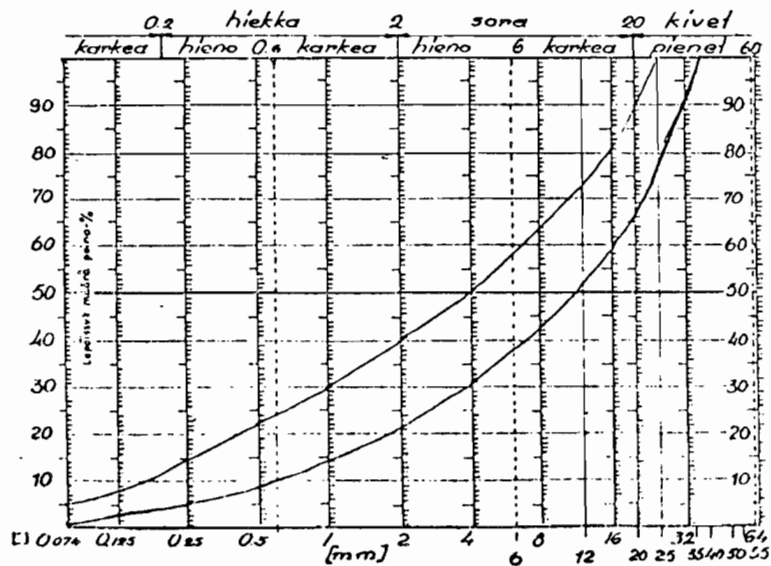
Kuva 9. Kaukolämpöjohtojen täyttötöön tyyppisuunnitelma /20/.

Suojatäytön sekä tukikerroksen materiaalit on kuitenkin suunniteltu putkirakenteen vaatimusten mukaan. Käytettävien materiaalien karkearakeisuutta rajoittaa suojakuoren rikkoutumisvaara ja kiinnivaahdotetun johtoelementtirakenteen tasaisen kitkavaikutuksen vaatimus. Suojatäytön ja kaivannon lopputäytön rakeisuusvaatimukset on esitetty kuvassa 10 /20/. Kaukolämpöjohtojen rakennustekniset työt on edellä mainitun perusteella suunniteltu pelkästään maarakennustekniikan kannalta, eikä pohjasuhteiden rakentamiselle asettamia vaatimuksia yleensä ole otettu huomioon.

SORA 0 - 16



MURSKESORA 0 - 32



Murskesora saa sisältää enintään 30 painoprosenttia murskeanturttomia rakeita laskettuna 6 mm suuremmista rakeista ja täysin murskeanturttomien rakeiden määrään tulee olla vähintään 30 painoprosenttia.

Kuva 10. Kaukolämpökaivannon täyttömateriaalien rakeisuusvaatimukset /20/.

- 3.3 Vaurioselvitykset
- 3.31 Vauriotapausten kartoitus
- 3.311 Vaurioiden määrät

Helsingin kaupungin kaukolämpöverkostossa on vuosina 1982... 1983 jouduttu korjaamaan 140...150 vaurioitunutta johtosuutta vuosittain. Jokaisen korjauksen yhteydessä on keskimäärin kaukolämpöjohtoa jouduttu uusimaan 30 metrin matkalta. Kuten mainittua perustuvat tässä luvussa esitetyt tilastotiedot Tapio Öhmanin tekemään Helsingin kaupungin energialaitoksen sisäisiin selvityksiin /31, 32, 33/.

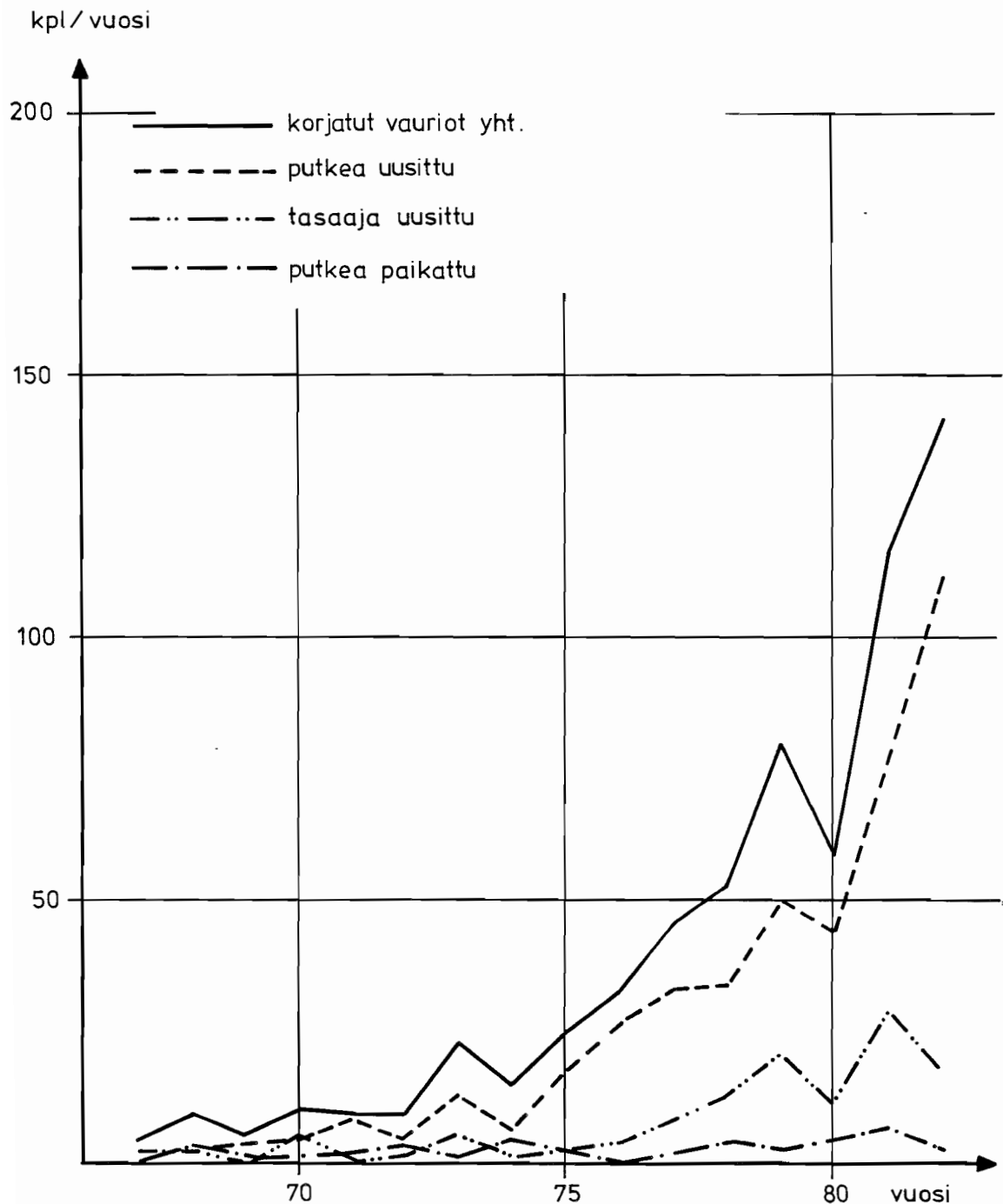
Kuvassa 11 on esitetty korjausten absoluuttinen määrä eri vuosina /33/. Kuvasta ilmenee vaurioiden määrän jyrkkä kasvu vuoden 1975 jälkeen. Toisaalta on suojaputkirakenteen kokonaismäärä vuodesta 1970 vuoteen 1981 kasvanut 16 kilometristä 260 kilometriin ja betonielementtikanavien määrä 20 kilometristä 120 kilometriin /33/.

Kuvassa 12 on esitetty vaurioiden määrät suhteutettuna kaukolämpöverkon kokonaispituuteen /33/. Kuvasta ilmenee, että myös vaurioiden suhteellinen määrä on kasvanut jyrkästi vuosien 1975...1976 jälkeen.

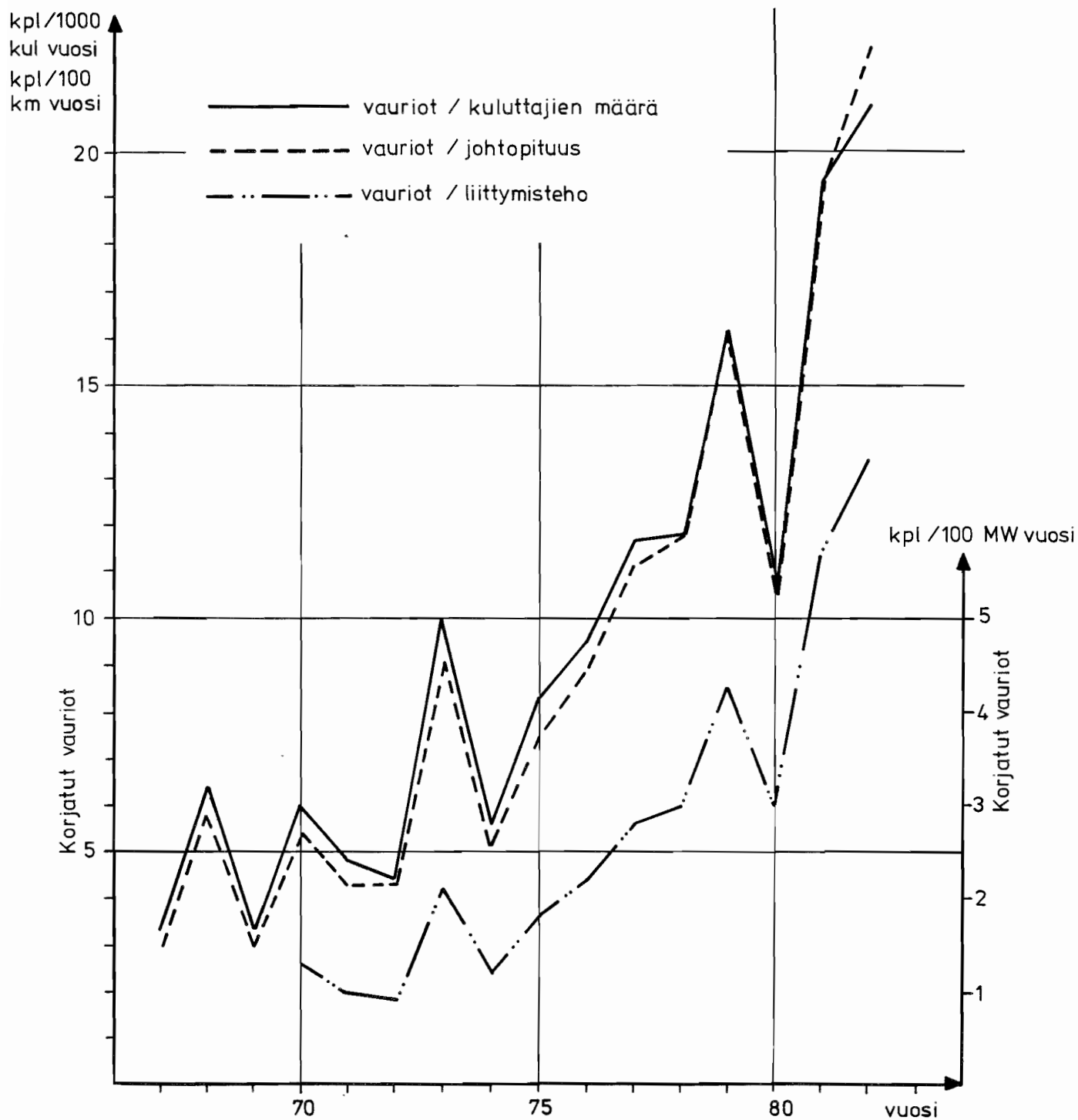
Vaurioiden jakautuminen suojaputkirakenteen ja betonielementtikanavien kesken on esitetty kuvassa 13 /33/. Vauriot keskittyvät selvästi pienjohtoina käytettävään suojaputkirakenteeseen. Suojaputkirakennetta käytetään halkaisijaltaan 200 mm ja sitä pienempiin johtoihin. Betonielementtikanavien vuosittainen korjausmäärä on pysynyt suhteellisen tasaisena, kun taas suojaputkirakenteiden korjauksien määrä on jatkuvasti kasvanut.

1970-luvun loppuvuosina otettiin pienjohtorakenteena käyttöön, rinnakkain suojaputkirakenteen kanssa, niin sanottu kiinnivaahdotettu johtorakenne. Kyseisen rakenteen vaurioita ei ole esiintynyt Helsingissä. Tämä voi osittain johtua rakenteen lyhyestä käyttöajasta. Toisaalta on suojaputkirakenteen

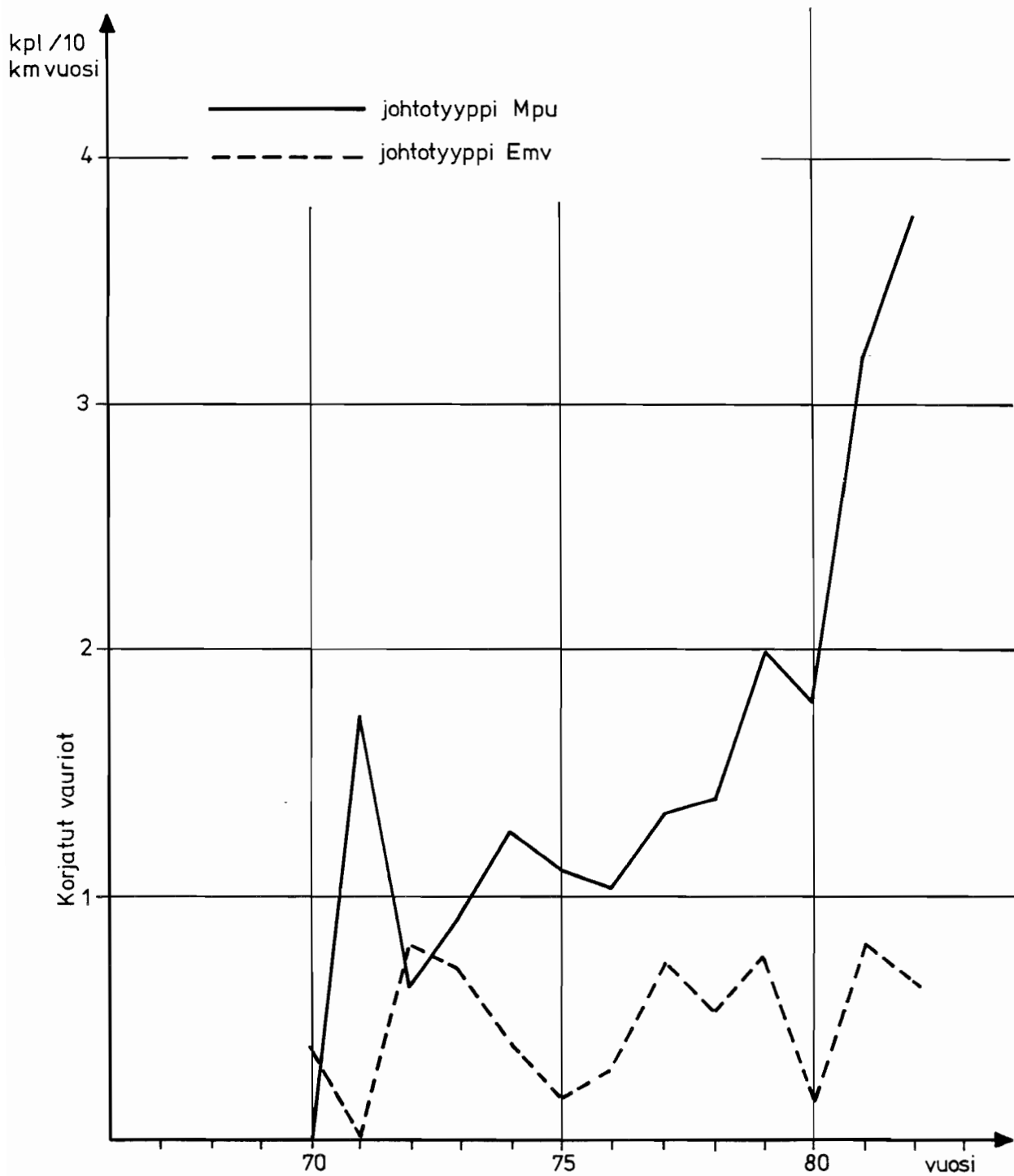
vaurioita todettu jo yhden käyttövuoden jälkeen. Kauko-
lämpöjohtojen vauriot keskittyvät siten selvästi suoja-putki-
rakenteeseen.



Kuva 11. Helsingin kaukolämpöverkon vauriot vuosina
1967...1983 /33/.



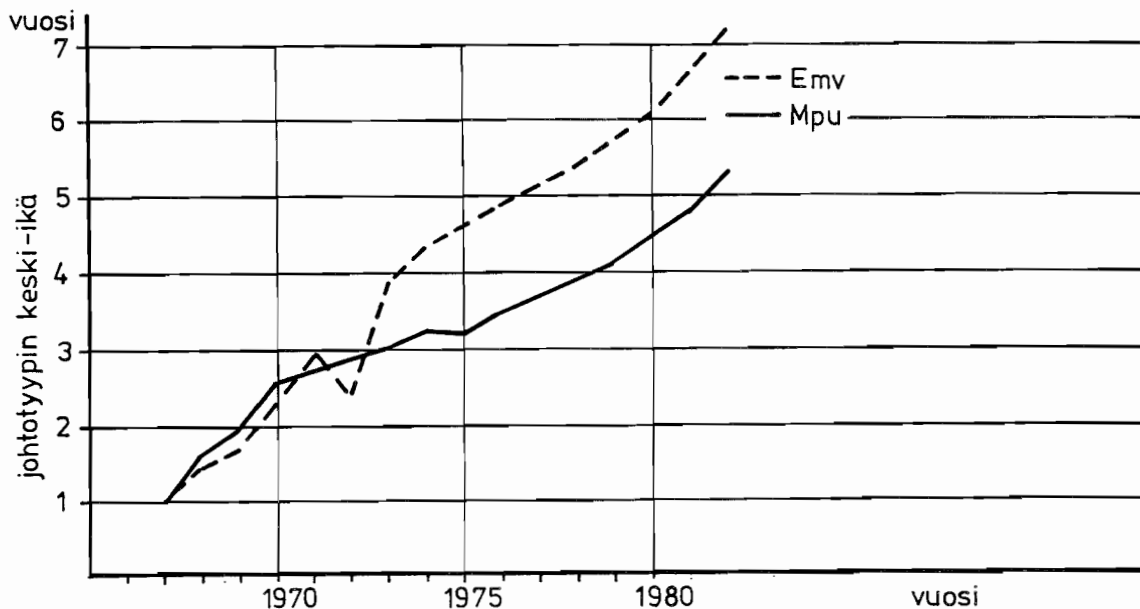
Kuva 12. Helsingin kaukolämpöverkon vauriot vuosittain kuluttajaa, johtopituutta ja liittymistehoa kohti /33/.



Kuva 13. Suojaputkirakenteen (Mpu) ja betonielementti-kanavien (Emv) vauriotapaukset käytössä olevaa johtopituutta kohti /33/.

3.312 Vaurioituneiden johtojen ikä

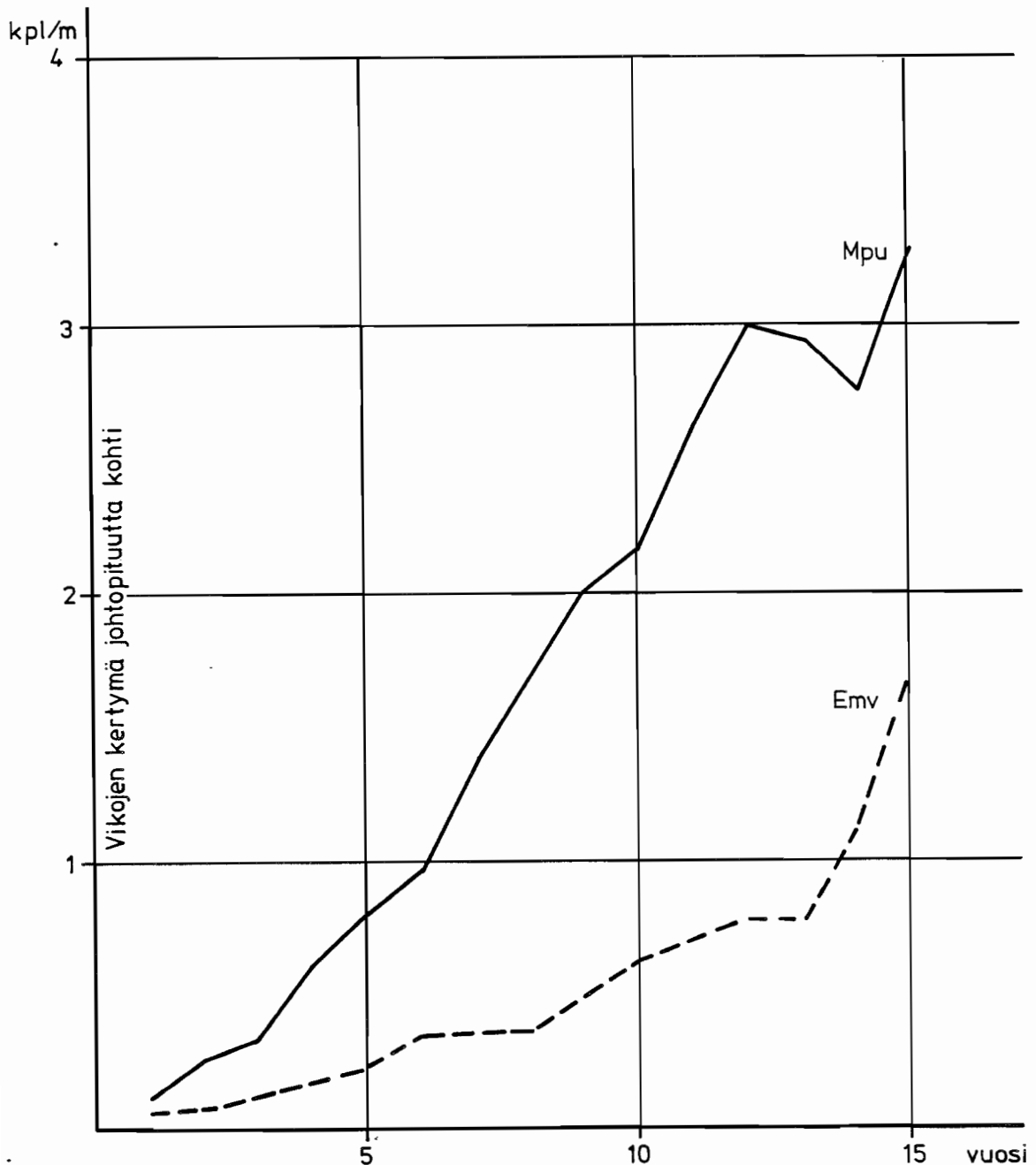
Suojaputkirakenteen sekä betonielementtikanavien painotettu keski-ikä on esitetty kuvassa 14 /33/. Vuodesta 1975 lähtien on suojaputkirakenteen painotettu keski-ikä ollut 1,5...2,0 v alahaisempi kuin betonielementtikanavien. Toisaalta ilmenee kuvan 15 perusteella, että suojaputkirakenne vaurioituu muita johtorakenteita nopeammin /33/. Esimerkiksi vikakertymän keskiarvon, 0,5 kpl/km, suojaputkirakenne saavuttaa keskimäärin 4 vuoden ikäisenä ja betonielementtikanava 9 vuoden ikäisenä.



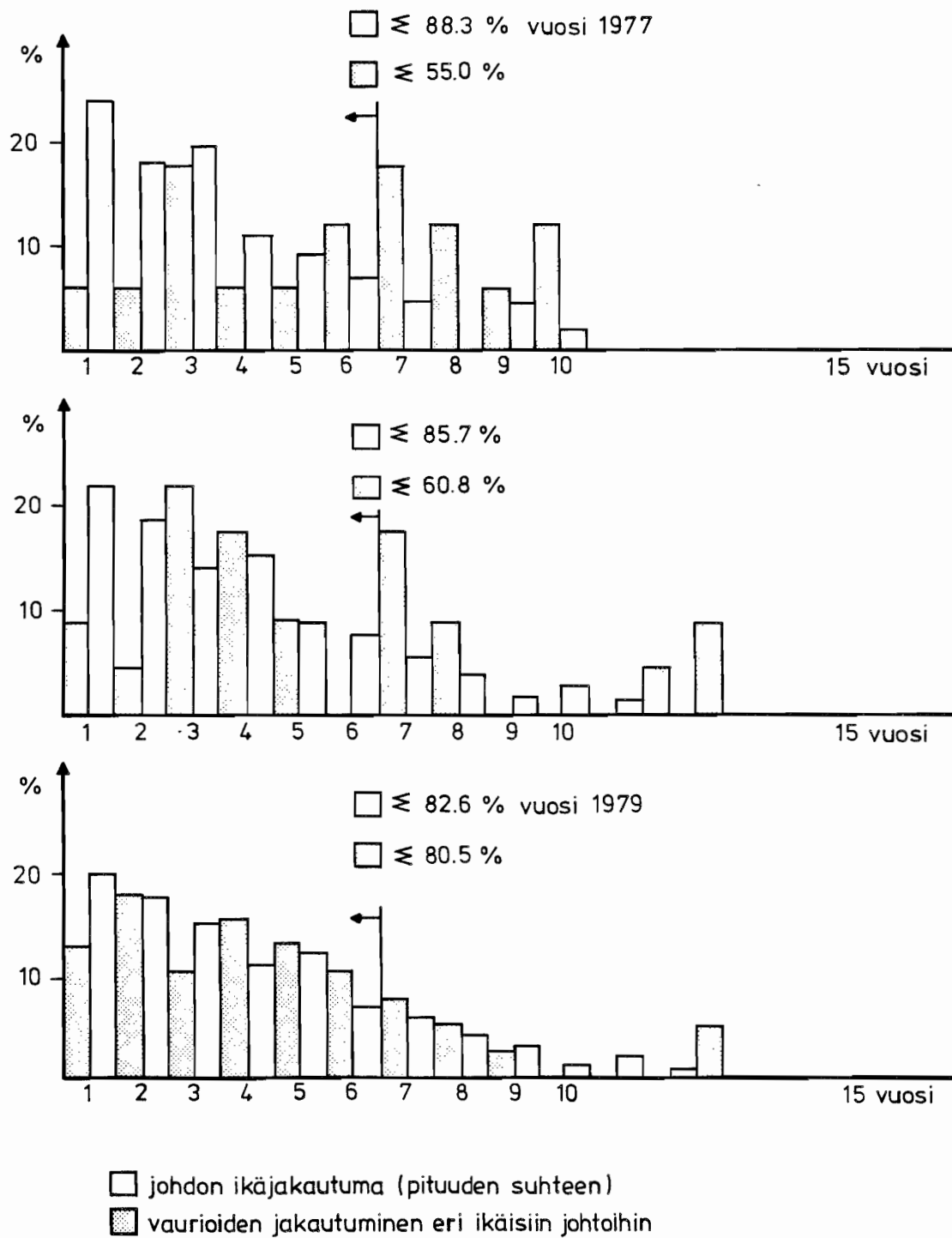
Kuva 14. Suojaputkijohtojen (Mpu) ja betonielementtikanavien (Emv) painotettu keski-ikä vuodesta 1966 lähtien rakennetuille johdoille Helsingissä (painokertoimena johtopituus) /33/.

Kuvassa 16 on esitetty eri vuosina korjattujen suojaputkirakenteiden ikärakennetta /33/. Kuvasta ilmenee, että vaurioiden syntymiseen kuluva aika jatkuvasti on lyhentynyt. Vuosina 1967-1977 runsas 60 % korjauksista kohdistui kuusi vuotta tai sitä nuorempiin johtoihin, vuosina 1978-1979 73 % ja vuosina 1980-1981 76 %. Suojaputkirakenteen kohdalla on vuosittain rakennetun johtomäärän huomattava kasvu aiheuttanut vaurioiden

syntymiseen kuluvan ajan huomattavan lyhenemisen. Tähän on myös vaikuttanut niiden alueiden pohjasuhteet, joihin rakentaminen on kohdistunut. 1970-luvun alkuvuosiin saakka rakentaminen keskittyi Helsingin keskustan kitkamaa-alueille, mutta tämän jälkeen rakentamisen painopiste on yhä suuremmassa määrin siirtynyt pohjasuhteiltaan vaihteleville esikaupunkialueille. Pohjasuhteiden vaikutusta kaukolämpöjohtojen vaurioihin käsitellään kohdassa 3.314.



Kuva 15. Helsingin kaukolämpöverkon suojaputkirakennejohtojen (Mpu) ja betonielementtikanavien (Emv) vikojen kertymien keskiarvo käyttövuosittain rakennettua johtometriä kohti /33/.



Kuva 16. Eri ajanjaksoina korjattujen suojaputkijohtojen ikäjakautuma korjatun johdon iän suhteen Helsingissä /33/.

3.313 Vaurioiden jakautuminen pohjasuhteiden mukaan

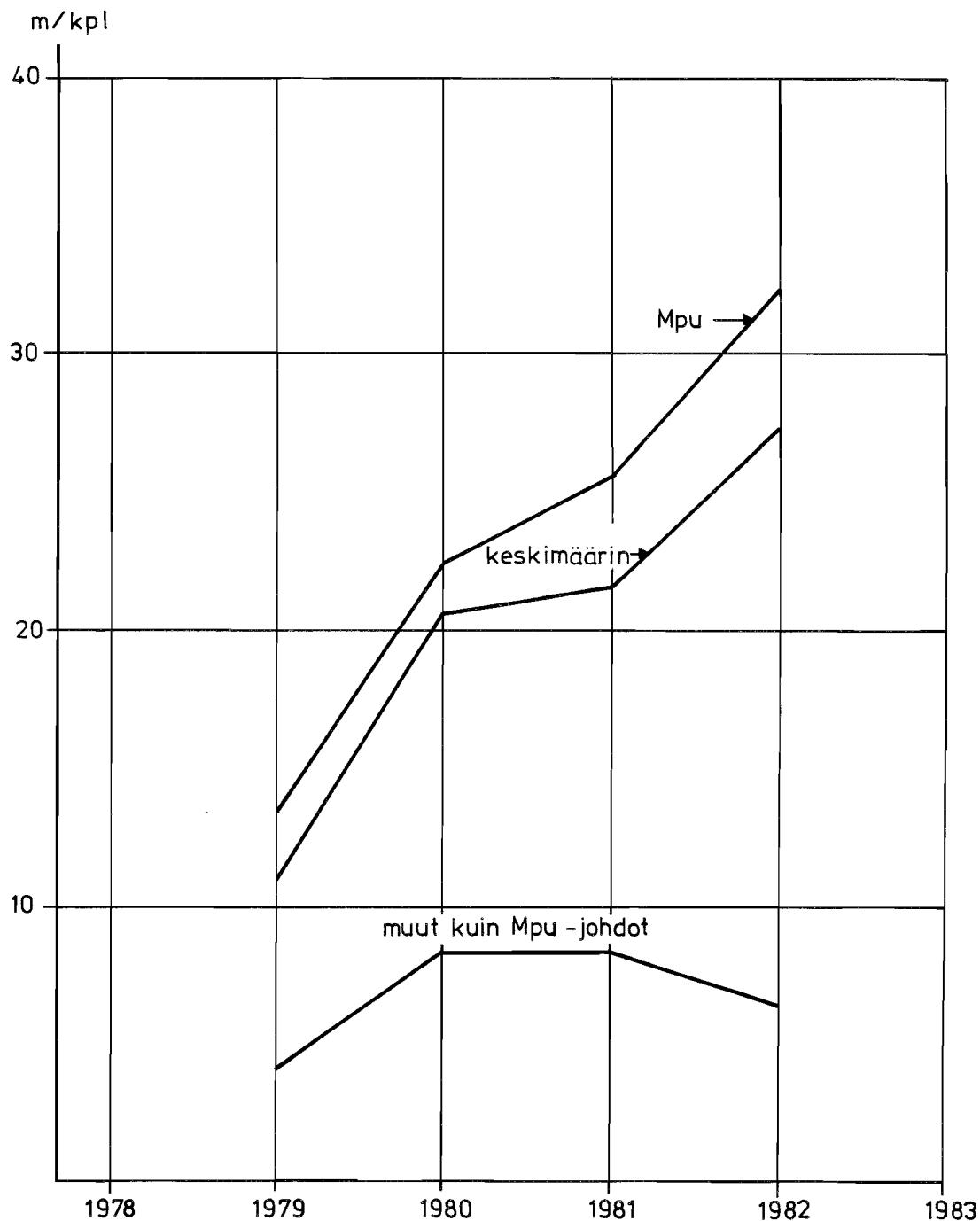
Kuten edellä mainittiin siirtyi kaukolämpörakentamisen painopiste 1970-luvun puolivälissä kantakaupungin kitkamaa-alueilta esikaupunkien vaihtelevan maaperän alueille. Rakentamisen painopisteen siirtymisen myötä on myös ollut havaittavissa vaurioiden selvä lisääntyminen.

Tarkasteltaessa vuosina 1977-1983 esiintyneiden suojaputkirakenteen vaurioiden alueellista jakautumista voidaan selvästi havaita vaurioiden keskittymistä tietyille alueille. Liitteessä 3 on esitetty vaurioiden jakautuminen pohjasuhteiden mukaan.

Liitteestä ilmenee vauriotiheyden pehmeikköalueilla olevan kaukolämpöverkon keskimääräistä vauriotiheyttä suurempi. Liitteessä 3 on esitetty eri vuosina suoritettut korjaukset, joista huomataan, että pehmeikköalueella sijaitsevat määrätyt johtosuudet ovat joka vuosi korjauksen tarpeessa. Vuosittainen korjaustarve johtuu sekä konsolidaatiopainuman etenemisestä että suoritettavan korjauksen laajuudesta. Kuvassa 17 esitetyn korjauksien yhteydessä uusitun johtomäärän kehityksen perusteella huomataan kohteiden jatkuvasti laajentuneen. On kuitenkin mahdollista, että kokonaisella kaivovälillä konsolidaatiopainumasta tapahtunut kaltevuuden muutos ainoastaan osittain saadaan korjattua, sillä suoritettavien korjausten laajuutta rajoittaa yleensä käytössä olevien voimavarojen riittämättömyys korjattavien kohteiden määrään nähden. Rakenteeseen tunkeutuneen veden purkautuminen kaivoon voi tämän johdosta edelleen olla osittain estynyt, jolloin kaivoväliä joudutaan vastaisuudessakin korjaamaan. Vaurioiden syitä ja niiden laajuutta käsitellään tarkemmin kohdassa 3.314.

Tämän työn yhteydessä suoritettut tutkimukset, joita tarkemmin käsitellään kohdassa 3.32, vahvistavat pehmeikköalueilla tapahtuvan konsolidaatiopainuman suurta merkitystä kaukolämpöjohtojen vaurioiden aiheuttajana. Puolen vuoden aikana suoritettu kaikkien vaurioiden alustava analysointi nimittäin osoittaa, että 60 % kaikista tämän ajanjakson vaurioista aiheutui konsolidaatiopainumasta. Kaikkien laajempien korjauskohteiden havaittiin lisäksi sijoittuvan pehmeikköalueille, joilla Helsingin kaupungin energialaitoksen vauriokartoituksen perusteella

jo ennestään on esiintynyt vaurioiden keskittymistä. Tämän perusteella voidaan todeta, että pehmeikköalueilla tapahtuneiden vaurioiden korjauskustannusten prosentuaalinen osuus kokonaiskorjauskustannuksista on huomattavasti suurempi kuin mitä suoritettavien korjausten absoluuttisen määrän pohjasuhteiden mukainen alueellinen jakautuminen osoittaa.



Kuva 17. Helsingin kaukolämpöjohtojen korjausten yhteydessä uusitun johtomäärän kehitys [uusittu johtopituus/ tapausten lukumäärä (putkea uusittu)] /31/.

3.314 Vaurioiden syyt ja niiden laatu

Helsingin kaupungin energialaitoksen tekemässä vaurioselvityksessä vaurioiden syyt on arvioitu pinnallisesti analysoimatta eri tekijöiden vaikutusta. Tämä johtuu siitä, että selvitys pohjautuu kaukolämpöjohtojen korjausten yhteydessä laadittuihin vaurioraportteihin, jotka usein ovat puutteellisia ja perustuvat vauriokohdan silmämääräiseen tarkasteluun. Tutkimus on lähinnä tilastollinen, mutta se antaa kuitenkin yleiskuvan kaukolämpörakentamisessa esiintyvistä ongelmista. Varsinaisia johtopäätöksiä vaurioiden todellisista syistä ei tämän tutkimuksen perusteella kuitenkaan voida tehdä.

Kyseisen selvityksen mukaan noin 85 % kaikista suojaputkirakenteen vaurioista johtuvat johdon painumisesta sekä rakenteen puutteellisesta vesitiiviydestä. Painuminen johtuu pääasiassa saven konsolidaatiopainumasta, mutta eräissä tapauksissa painuminen on myös johtunut tukikerroksen tiivistämistyön puutteellisuudesta yhdistettynä eräissä tapauksissa vaikeisiin sääolosuhteisiin sekä väärän täyttömateriaalin käytöstä. Puutteellinen vesitiiviys on aiheutunut muhvisaumauksen pettämisestä tai vanhempien johto-osuuksien kohdalla betonivalujen epätiivyydestä. Loput vaurioista ovat aiheutuneet ulkopuolisesta väkivallasta, ainevioista sekä harvemmin hitsaustyön epäonnistumisen aiheuttamasta saumavuodosta. /33/

Kaukolämpöjohtojen vaurioiden laatu selviää Helsingin kaupungin energialaitoksen tekemästä selvityksestä /33/. Ulkopuolisen veden aiheuttama teräksisen virtausputken syöpyminen on yleisin kaukolämpöjohtojen vaurio. Johdot on suunniteltu vesitiiviiksi rakenteiksi ja rakennetaan kaivoväleittäin määrättyyn kaltevuuteen. Helsingissä on minimikaltevuuden arvona käytetty 5 ‰ /32/. Siinä vaiheessa kun johtorakenteen vesitiiviyysvaatimus ei enää toteudu ja rakenteeseen tunkeutuva ulkopuolinen vesi ei pääse poistumaan kaivoihin suunnitellussa kaltevuudessa tapahtuneen muutoksen tai harvemmin hiekan tms. virtausputkeen kertymisen takia rakenne vaurioituu korroosion vaikutuksesta. Seuraavassa on pyritty selostamaan vaurioprosessin etenemistä putkirakenteessa.

Kun suunnittelun lähtökohtana oleva johtorakenteen vesitiiviysvaatimus ei enää toteudu, vesi pääsee tunkeutumaan rakenteen eri osiin. Vuotojen yleisimmät kohteet ovat /21/:

Suojaputkien jatkokset

Suojaputkielementtien liittäminen suoritetaan kutistemuhvien avulla. Koko rakenteen vesitiiviys on täten riippuvainen muhvi-kohtien tiiveydestä. Muhvivuoto aiheutuu tavallisesti huolimattomasta asennustyöstä, tai muuta kautta rakenteeseen tunkeutuneen veden höyrystymisen muhville aiheuttamasta vauriosta. Kuvassa 18 on esitetty esimerkki kutistemuhvin epäonnistuneesta asennustyöstä.



Kuva 18. "Vesitiivis" kutistemuhvi asennuksen jälkeen.

Kuuman vesihöyryn vaikutuksesta muhvin liimaus pettää, jonka jälkeen jatkoskohdan vesitiiviysvaatimus ei enää toteudu. Mikäli vesi ei pääse poistumaan rakenteesta, aiheuttaa yhden muhvikohdan kautta vuotanut vesi toistenkin muhvikohtien vaurioitumisen veden jatkuvan höyrystymisen johdosta. Lopputuloksena voi olla johto-osuus, jonka yksikään jatkoskohta ei ole vesitiivis ja virtausputki syöpyy pitkältä matkalta.

Kaivot

Ulkopuolinen vesi on tunkeutunut kaivoon ja mahdollisesti nous-
sut niin korkealle, että se pääsee virtaamaan teräsputken läpi-
viennin kautta johtorakenteeseen. Johtojen huollon yhteydessä
kaivot tyhjennetään, mutta suojaputkirakenteeseen tunkeutunut
vesi jää rakenteen sisään, mikäli kaltevuutta ei ole. Raken-
teeseen jääneen veden höyrystyessä muhvikohdat vaurioituvat,
minkä seurauksena johto-osuuden vesitiiviys pettää. Tässäkin
tapauksessa korroosio vaurioittaa johtoa.

Betonivalut

Vanhimpien suojaputkirakenteiden elementtien saumaukset tehtiin
pikinauhalla. Asennuksessa vaurioituneita kutistemuhveja on
myös aikaisemmin pyritty paikkaamaan pikinauhalla. Vesitiiviys
on näissä tapauksissa pyritty varmistamaan valamalla saumakoh-
dat vesitiiviillä betonilla. Eräissä tapauksissa on myös teh-
dasvalmisteisten kiintopiste-elementtien asemasta käytetty
paikalla valettuja kiintopisteitä. Nämä rakentamisen yhtey-
dessä suoritettut betonivalut ovat usein osoittautuneet vuota-
viksi ja johto on eräissä tapauksissa vaurioitunut juuri valu-
jen ympäristössä.

3.32 Suoritetut tutkimukset

3.321 Tutkimuskohteet

Kesäkuun alusta 1983 marraskuun loppuun 1983 on alustavasti
tutkittu kaikki Helsingin kaukolämpöjohtojen vauriotapaukset.
Alustavien selvityksien pohjalta on tutkimuskohteiksi valittu
Vesalantien, Niitynperäntien ja Tyynelänkujan vaurioituneet
johto-osuudet. Kohteet sijaitsevat pehmeikköalueella. Kohteet
on valittu siten, että saataisiin käsitys kaukolämpöjohtoraken-
teen käyttäytymisestä painuvan kerroksen paksuuden ja saven
kokoonpuristuvuusominaisuuksien vaihdellessa. Valintaan on
myös vaikuttanut pyrkimys selvittää muiden maanalaisten johto-
jen vaikutus kaukolämpöjohtojen vaurioitumiseen. Kohteet on
esitetty kohdassa 3.33.

3.322 Pohjatutkimukset

Tutkimuskohteiden vaurioituneet johto-osuudet on vaaittu ennen
johto-osuuden uusimista. Vertaamalla vaaitustulosten perusteella

piirrettyjä johto-osuuksien pituusprofiileja kaukolämpöjohtojen suunnittelussa ja rakentamisessa käytettyjen piirustusten pituusleikkauksien ilmoittamaan johdon sijaintiin saadaan käsitys johto-osuuksilla tapahtuneista painumista ja painumieroista. Piirustukset ilmoittavat joko suunnitellun korkeusaseman tai rakentamisen jälkeen toteutuneen korkeusaseman riippuen siitä, onko johto-osuudella tehty jälkivaaitusta. Tämän johdosta on piirustuksen ilmoittama johto-osuuden korkeusasema eräissä tapauksissa ainoastaan likimääräinen.

Kaikista tutkimuskohteista on häiriintymättömiä maanäytteitä otettu kahdesta pisteestä. Näytepisteet on valittu siten, että niiden analyysin perusteella saataisiin käsitys alueen rakentamisen vaikutuksesta kokoonpuristuvien kerrosten käyttäytymiseen. Toinen näytepiste sijaitsee jokaisessa kohteessa välittömästi kaukolämpöjohdon vieressä ja toinen on pyritty sijoittamaan luonnontilaiselle alueelle. Näytepisteiden vertailukelpoisuuden varmistamiseksi on näytepisteet kuitenkin pyritty sijoittamaan mahdollisimman lähelle toisiaan. Luonnontilaisen näytepisteen kohdalla on myös suoritettu painokairaus. Vertaamalla kairauksen tuloksia kadun rakentamisen yhteydessä sen mittalinjalla suoritettujen painokairausten tuloksiin on näytepisteiden vastaavuus todettavissa.

Maanäytteitä on edelleen otettu pintakerroksista ja kokoonpuristuvien kerrosten alapuolisista kitkamaakerroksista. Pintakerroksista otettujen näytteiden avulla pystytään arvioimaan täytön paksuutta. Kokoonpuristuvien kerrosten alapuolisista kerroksista otettujen näytteiden avulla saadaan vastaavasti käsitys konsolidaatiolaskelmissa tarvittavasta alapuolisten kerrosten vedenläpäisevyydestä. Pohjatutkimuksien tulokset on esitetty kohdassa 3.33.

3.33 Tutkimustulosten käsittely ja analysointi

3.331 Painumien laskenta

Tutkimuskohteiden painumat on laskettu sekä tietokoneella /30/ että käsin. Menetelmät eroavat toisistaan ainoastaan käytetyn jännitysjakautuman suhteen. Tietokonelaskennassa lisäjännityksen jakautuminen lasketaan Boussinesqin teorian mukaisesti,

sillä ohjelma on laadittu siten, että pystytään ottamaan huomioon useiden kuormituskenttien yhteisvaikutus. Käsien laskennassa on käytetty 2:1-menetelmää jännitysjakautumaa määritettäessä. Kuormitustapaukset ovat kuitenkin suhteellisen yksinkertaisia ja molempien menetelmien mukaan on saatu likimain yhtä suuret painuman arvot. Tämä johtuu myös siitä, että painumat yleensä määrätään suhteellisen laajan alueen keskeltä, jolloin jännityksien jakautumisen laskentamenetelmän vaikutus on verrattain pieni.

Painumalaskennan lähtöarvoina on käytetty pohjatutkimuksien perusteella määritettyjä geoteknisten maakerrosten rajoja ja maaparametrien arvoja. Lisäjännityksiä aiheuttava kuormitus aiheutuu pohjaveden pinnan alenemisesta sekä luonnontilaisen maanpinnan korottamisesta kadun rakentamisen yhteydessä.

Painumalaskelmien tuloksen oikeellisuuteen vaikuttaa ennen kaikkea savikerroksien konsolidaatiotilan oikea arvioiminen. Konsolidaatiotilan suhteen on laskelmissa tehty seuraavat oletukset:

1. Kun näytesyvyyden konsolidaatiojännitys on pienempi tai yhtä suuri kuin vastaavan syvyyden vallitseva jännitys, niin savikerros on oletettu normaalisti konsolidoituneeksi. Konsolidaatiojännityksen arvona laskelmissa on tällöin käytetty maassa vallitsevaa jännitystä.
2. Ylikonsolidoituneiden savikerrosten kohdalla on määritetty näytesyvyyden konsolidaatioaste. Vastaavan geoteknisen maakerroksen keskipisteen konsolidaatioaste on oletettu yhtä suureksi. Geoteknisen maakerroksen konsolidaatiojännitys on laskettu konsolidaatioasteen ja kerroksen keskipisteen syvyydellä vallitsevan jännityksen tulona.

Konsolidaatiojännityksen sekä maassa vallitsevan jännityksen suhteesta riippuen on konsolidaatiopainuma laskettu seuraavilla kaavoilla:

1. Kun maakerros on normaalisti konsolidoitunut, eli konsolidaatiojännitys on maassa vallitsevan jännityksen suuruinen,

suhteellinen kokoonpuristuma lasketaan kaavalla 7 /27/.

$$\epsilon = \frac{1}{m\beta} \left[\left(\frac{\sigma_o + \Delta\sigma_z}{\sigma_v} \right)^\beta - \left(\frac{\sigma_o}{\sigma_v} \right)^\beta \right] \quad (7)$$

ϵ on suhteellinen kokoonpuristuma, %

m moduuliluku

β jännityseksponentti

σ_o maassa vallitseva jännitys, kN/m^2

σ_v vertailujännitys, kN/m^2

$\Delta\sigma_z$ pystysuora lisäjännitys, kN/m^2

Vertailujännityksen arvona käytetään 100 kN/m^2 .

2. Kun maakerros on lievästi ylikonsolidoitunut maakerroksen suhteellinen kokoonpuristuma lasketaan kaavojen 8 ja 9 avulla. Konsolidaatiojännitys on tässä tapauksessa vallitsevaa jännitystä suurempi, mutta kuormituksen aiheuttaman pystysuoran lisäjännityksen johdosta kokonaisjännitys on konsolidaatiojännitystä suurempi. Kokonaiskokoonpuristuma saadaan laskettujen kokoonpuristumien summana /30/. Painuman laskentaperiaate on esitetty kuvassa 19.

$$\epsilon_1 = \frac{1}{m_2} \ln \frac{\sigma_c}{\sigma_o} \quad (8)$$

$$\epsilon_2 = \frac{1}{m\beta} \left[\left(\frac{\sigma_o + \Delta\sigma_z}{\sigma_v} \right)^\beta - \left(\frac{\sigma_c}{\sigma_v} \right)^\beta \right] \quad (9)$$

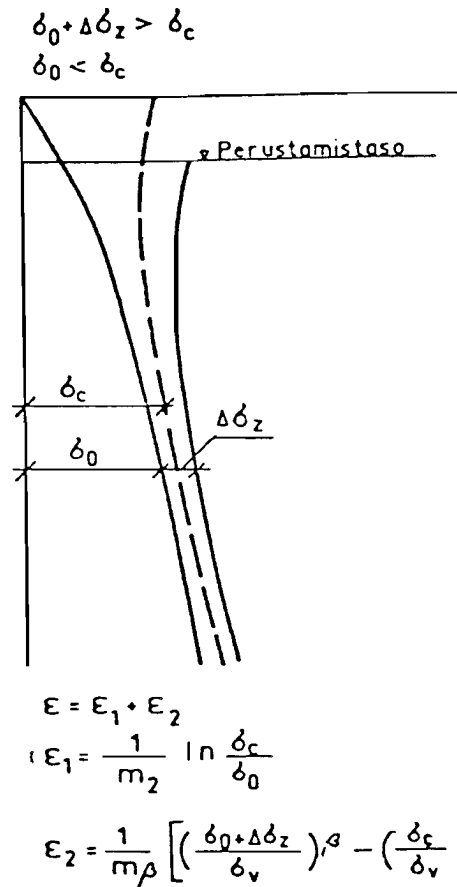
ϵ_1, ϵ_2 on suhteellinen kokoonpuristuma, %

m_2 on ödometrikokeen kuormituksen palautuskäyrältä määritetty moduuliluku

σ_c konsolidaatiojännitys, kN/m^2

3. Kun maakerros on selvästi ylikonsolidoitunut, suhteellinen kokoonpuristuma lasketaan kaavalla 10 /27/. Tällöin konsolidaatiojännitys on suurempi kuin maassa vallitseva kokonaisjännitys. Jännityseksponentilla oletetaan olevan arvo nolla.

$$\epsilon = \frac{1}{m_2} \ln \frac{\sigma_o + \Delta\sigma_z}{\sigma_o} \quad (10)$$



Kuva 19. Painumien laskenta, kun savikerros on lievästi ylikonsolidoitunut /27/.

Konsolidaatiopainuman nopeuden laskemiseksi on jokaisen geoteknisen kerroksen konsolidaatiokertoimien arvot laskettu Taylorin menetelmällä /28/. Jokaisen kerroksen kohdalla on konsolidaatiokertoimen arvoksi valittu sen kuormitusportaan mukaan määritetty konsolidaatiokertoimen arvo, joka vastaa kerroksen keskipisteen syvyydellä laskettua kokonaisjännitystä. Koko muodostumaa kuvaava konsolidaatiokertoimen arvo on laskettu geoteknisten maakerrosten kerrospaksuuksien mukaan painotettuna konsolidaatiokertoimien keskiarvona.

Konsolidaatiokerroin on määritetty normaalisti konsolidoituneiden geoteknisten maakerrosten mukaan. Ylikonsolidoituneiden savikerrosten sekä silttikerrosten kokoonpuristuminen tapahtuu tavallisesti niin nopeasti, että painumat ovat saavuttaneet lopullisen arvonsa. Konsolidaatioon kuluva aika

on laskettu kaavalla 11 /5/.

$$t = T_v \frac{H^2}{c_v} \quad (11)$$

t on konsolidaatioaika, vuosi

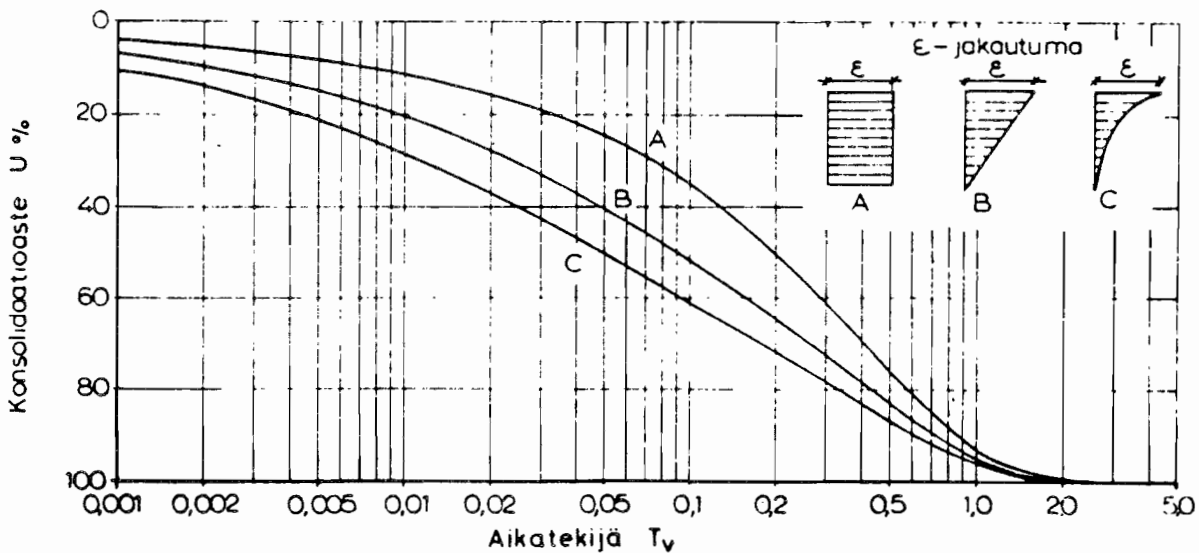
T_v konsolidaatioastetta vastaava aikatekijä

H konsolidoituvan kerroksen paksuus, m

c_v konsolidaatiokerroin, $m^2/vuosi$

Aikatekijän arvona on käytetty 100 % konsolidaatioastetta vastaavan aikatekijän arvoa 1.17.

Aikatekijän ja konsolidaatioasteen välinen vuorosuhde on määritetty Janbun /8/ esittämän teorian mukaan. Teorian mukaan konsolidaatioaste voidaan määrittää suhteellisen kokoonpuristuman syvyysjakautuman perusteella. Kuvassa 20 on esitetty konsolidaatioasteen ja aikatekijän välinen riippuvuus kolmessa suhteellisen kokoonpuristuman syvyysjakautuman tapauksessa /7/. Tiettyä ajankohtaa vastaavan aikatekijän arvo voidaan laskea kaavalla 12 /5/.



Kuva 20. Konsolidaatiopainuman aikatekijän ja konsolidaatioasteen välinen vuorosuhde /7/.

$$T_v = \frac{t c_v}{H^2} \quad (12)$$

t on aika kuormituksen alusta

Aikatekijän ja suhteellisen kokoonpuristuman syvyysjakautuman perusteella voidaan konsolidaatioaste määrittää kuvasta 21. Konsolidaatiopainuma lasketaan kaavalla 13.

Mikäli laskettu syvyysjakautuma ei vastaa kuvassa esitettyjä, päästään yleensä kuvassa esitettyihin muotoihin jakamalla syvyysjakautuma kahteen osaan. Erimuotoisille syvyysjakautumille saadaan tällöin erisuuret konsolidaatioasteet ja ajankohtaa vastaava konsolidaatiopainuma lasketaan kaavalla 14 /27/

$$S_{kt} = U_t S_k \quad (13)$$

$$S_{kt} = U_{t1} S_{k1} + U_{t2} S_{k2} \quad (14)$$

S_{kt} on konsolidaatiopainuma ajanhetkellä t , m
 U_t konsolidaatioaste ajanhetkellä t , %
 $U_{t1}(U_{t2})$ konsolidaatioaste ajanhetkellä t ($\epsilon - z$) kuvion 1 (2) mukaisesti, %
 S_k konsolidaatiopainuma, m
 $S_{k1}(S_{k2})$ ($\epsilon - z$) kuvion 1 (2) osuus konsolidaatiopainumasta ($S_{k1} + S_{k2} = S_k$), m

Kokoonpuristuvan kerroksen paksuus vaikuttaa merkittävästi aikakertoimen arvoon. Kun kokoonpuristuvan kerroksen alapuolella on vedenläpäisemätön kerros (esim. kallio tai tiivis moreeni), voi suotovirtaus tapahtua ainoastaan ylöspäin. Kaavan (12) H on tällöin yhtä suuri kuin painuvien kerrosten kokonaispaksuus. Kun kokoonpuristuvien kerrosten alapuolella on hyvin vettäläpäisevä kerros tapahtuu suotovirtaus vastavasti sekä ylös- että alaspäin. Kaavan (12) H :n arvona käytetään puolet painuvan maakerroksen kokonaispaksuudesta.

Seuraavassa on esitetty tutkimuskohteiden painumalaskelmien tulokset.

3.332 Vesalantie

Vesalantiella uusittiin kesällä 1983 vuonna 1976 rakennettu kaukolämpöjohto. Kadun rakennustyöt aloitettiin vuonna 1969

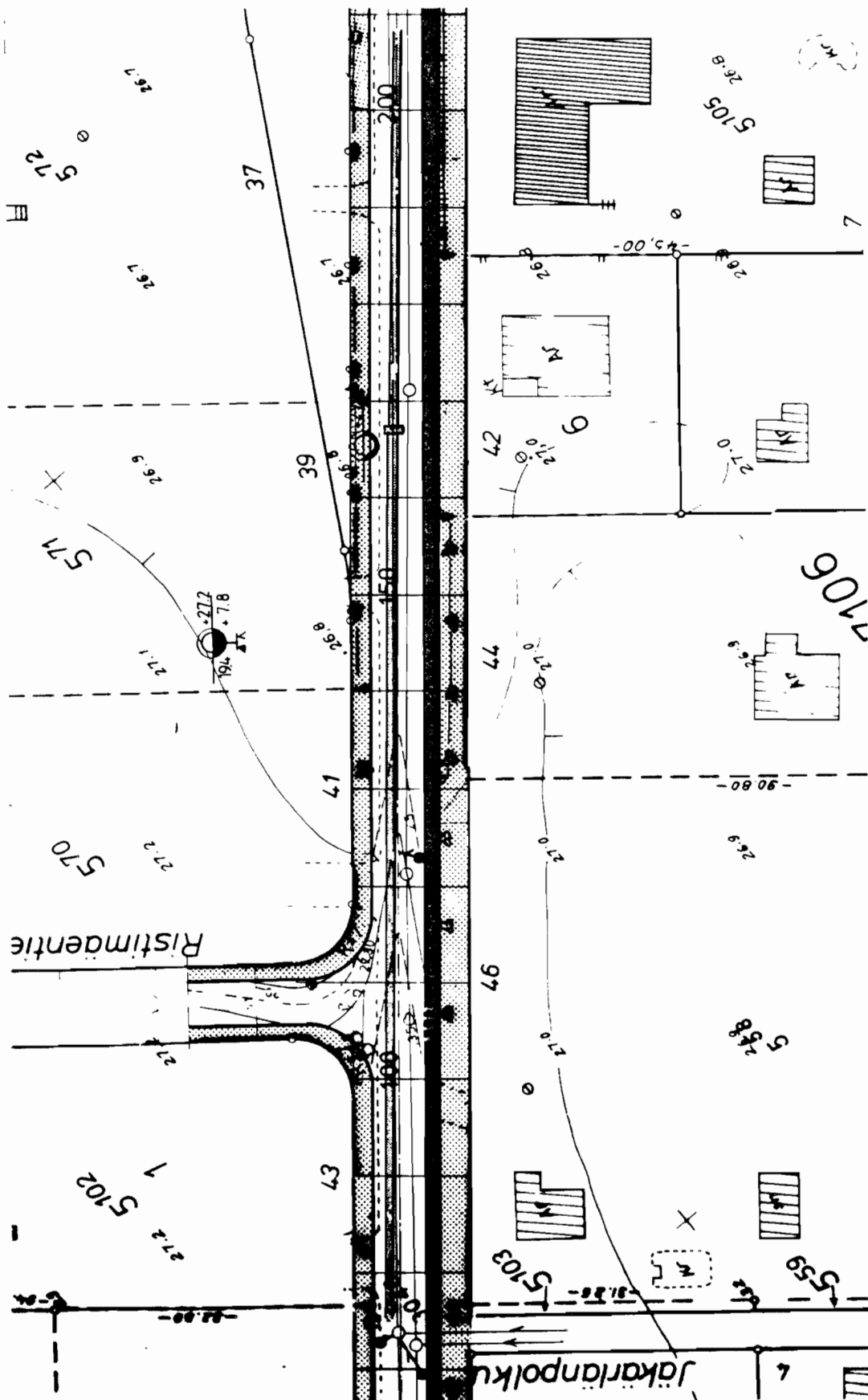
ja saatettiin päätökseen vajaassa kymmenessä vuodessa. Kaukolämpöjohtoa on aikaisemmin korjattu vuonna 1979, jolloin putkea uusittiin 4 m matkalta paalulla 120. Kohteen asemapiirustus esitetään kuvassa 21.

Kaukolämpöjohdon kanssa risteäviä johtorakenteita esiintyy paaluilla 100 ja 123. Risteävät johdot on perustettu maanvaraisesti. Paalulla 100 risteävät johdot on rakennettu vuonna 1977 ja paalulla 123 risteävät johdot vuosina 1970-1971. Risteävät rakenteet esitetään kuvassa 23.

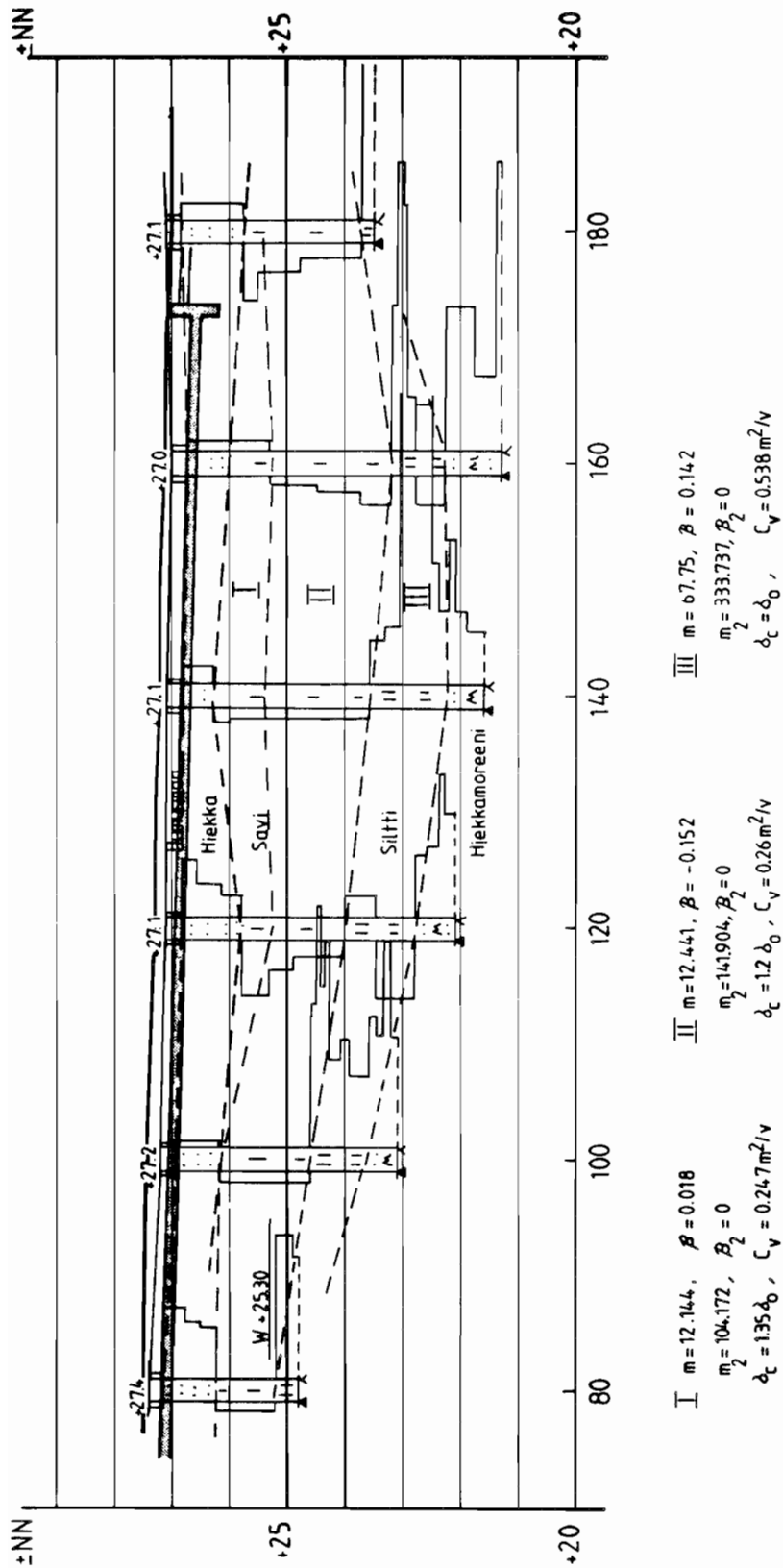
Kohteen alkuperäisenä pintakerroksena on ollut ohut humusmaakerros. Humusmaakerroksen alapuolella on noin 1,0 m paksu hiekkakerros. Hiekkakerroksen alapuolella on ohut ylikonsolidoitunut kuivakuorikerros. Kuivakuorikerroksen alapuolella on 1,0-2,2 m paksu lievästi ylikonsolidoitunut savikerros. Pohjavedenpinta sijaitsee tasolla +25,3. Kadun rakentaminen on aiheuttanut pohjavedenpinnan runsaan yhden metrin laskun. Savikerroksen alapuolella on ohut silttikerros. Kokoonpuristuvien kerrosten alapuolella on hiekkamorenimuodostuma. Pohjasuhteet ja pohjatutkimuksien tulokset esitetään kuvissa 22, 24 ja 25.

Kohteen lisäkuormitus muodostuu pääasiassa pohjaveden pinnan runsaan metrin alenemisesta. Luonnontilaista maanpintaa on myös korotettu 0,15-0,25 m. Kohteen kuormitukset esitetään kuvassa 23.

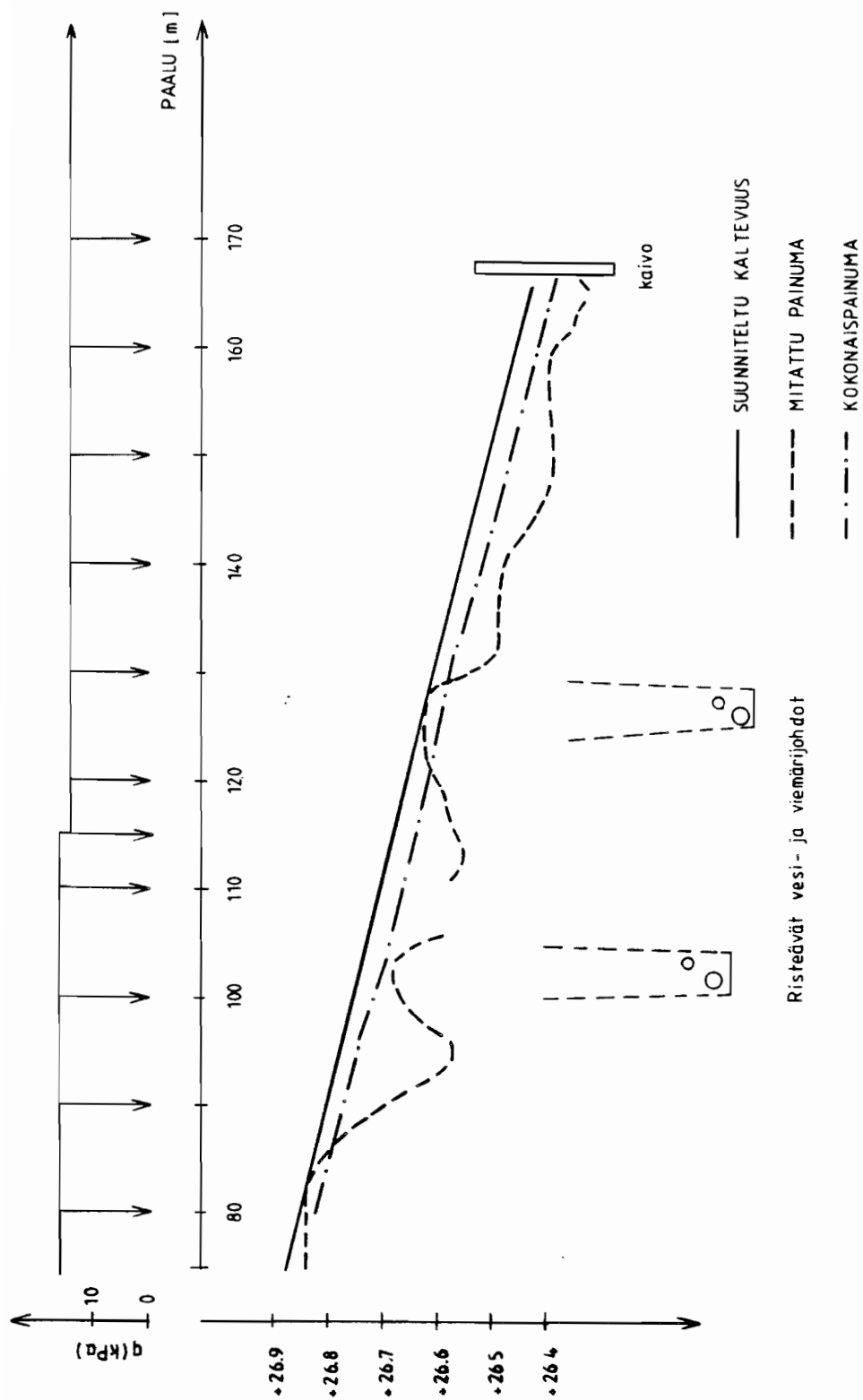
Vesalantien painumat on laskettu katualueella sijaitsevan näytepisteen analyysituloksien perusteella. Näytepisteet eivät vastaa toisiaan, sillä luonnontilaisen näytepisteen konsolidaatioaste on suurempi kuin katualueella olevan näytepisteen. Kohteessa esiintyy huomattavaa saven ominaisuuksien vaihtelua. Lasketut painumat ovat siten todellisuudessa esiintyviä pienempiä, sillä kadun rakentaminen on aiheuttanut konsolidaatiojännityksen kasvun. Painumalaskelman tulokset esitetään kuvassa 23.



Kuva 21. Vesalantien vaurioituneen kaukolämpöjohto-osuuden asemapiirustus ja pohjatutkimuspisteiden sijainti.



Kuva 22. Vesalantien geotekniset maakerrokset, maaparametrien arvot ja kauko-
lämpöjohdon sijainti.



Kuva 23. Vesalantien kuormitus, risteävät johdot ja mitatut sekä lasketut painumat.

Kairaus - vastus	Maa - laji	Tilavuus- paino γ	Vesipitoisuus W Hienosluku F	Leikkauslujuus S	Sensiitiivisyys H_3 / H_1
		10 15 20	0 50 100 150 0	10 20 30 40 50 60 70	0 10 20 30
+30					
+25	 HIEKKA SAVI SILTTI HIEKKA MOREENI	$\circ \gamma^*$ (kN/m^3) x F (%) • W (%)	∇ Kartiokoe (kPa)	● H_3 / H_1	

Kuva 24 a. Vesalantien luokitus- ja lujuusominaisuudet luonnon-tilaisen näytepisteen analyytituloksien perusteella.

[illegible]

Kuva 24 b. Vesalantien painumisominaisuudet luonnontilaisen näytepisteer analyyysituloksien perusteella.

Kohteen kokoonpuristuvat kerrokset sijaitsevat hiekkakerroksien välissä, joten suotovirtaus tapahtuu sekä ylös- että alaspäin. Konsolidaatioajaksi (kaava 11) saadaan vajaat 12 vuotta. Voidaan todeta, että painumat ovat kokonaisuudessaan tapahtuneet. Kuitenkin on huomattava, että kuormitus on kasvattanut konsolidaatiojännitystä, joten laskettu konsolidaatioaika on todennäköisesti todellisuudessa esiintyvää lyhyempi.

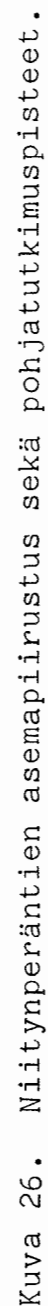
Vesalantien vaurioituneen kaukolämpöjohto-osuuden mitatut ja lasketut painumat on esitetty kuvassa 23. Paalulla 100 esiintyvät keskimääräisiä painumia huomattavasti suuremmat painumat johtuvat kaukolämpöjohdon alapuolisen maaperän häiriintymisestä ja tiivistämistyön puutteellisesta suorittamisesta risteävien johtojen rakentamisen yhteydessä. Paalun 123 risteävät johdot on rakennettu kitkamaan varaan ja kaivannon täyttemateriaalina on käytetty kitkamaata.

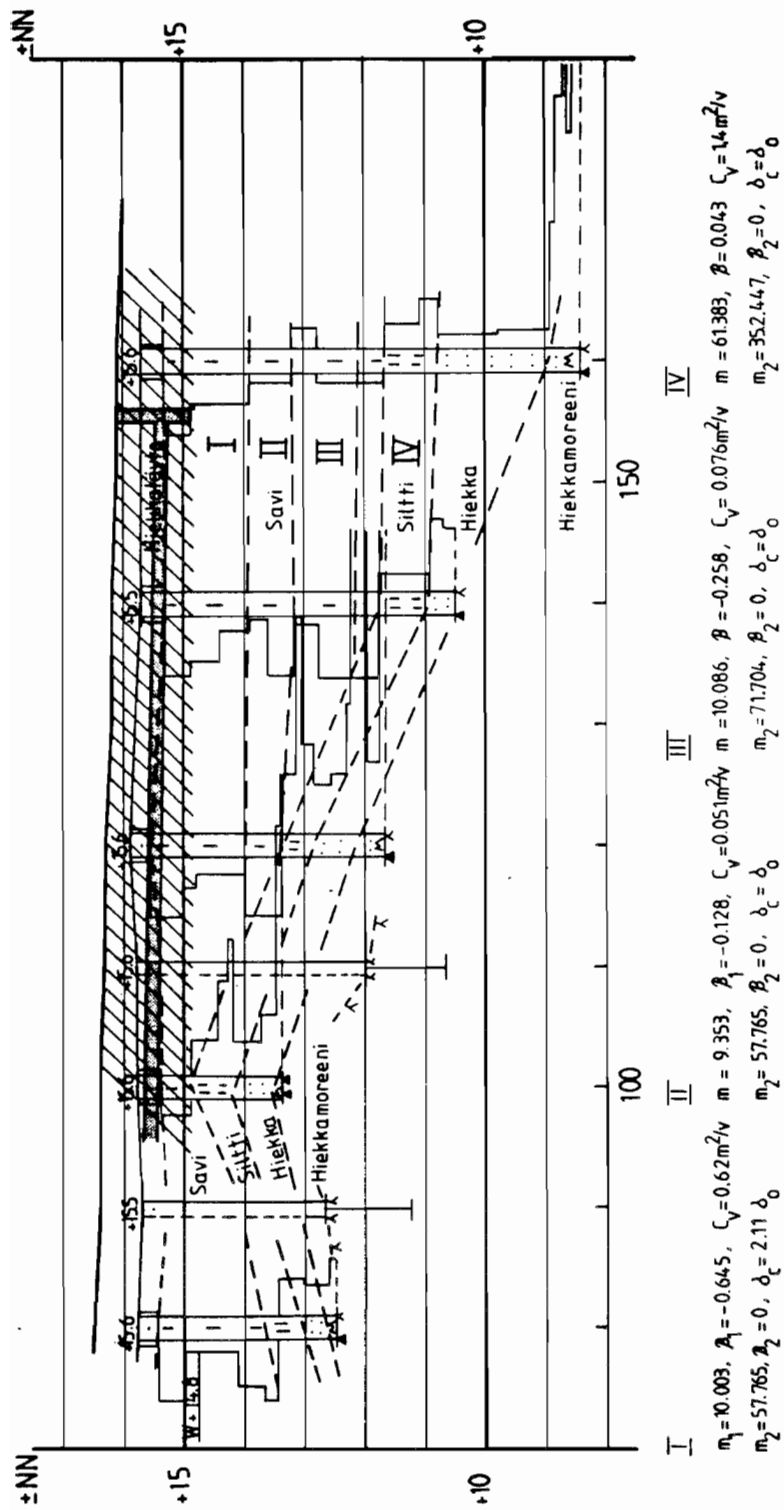
3.333 Niitynperäntie

Niitynperäntien kaukolämpöjohtoa uusittiin kesällä 1983 noin 50 m matkalta kolme ja puoli vuotta rakentamisen jälkeen. Kaukolämpöjohto rakennettiin kadun rakentamisen yhteydessä. Kohteen asemapiirustus esitetään kuvassa 26.

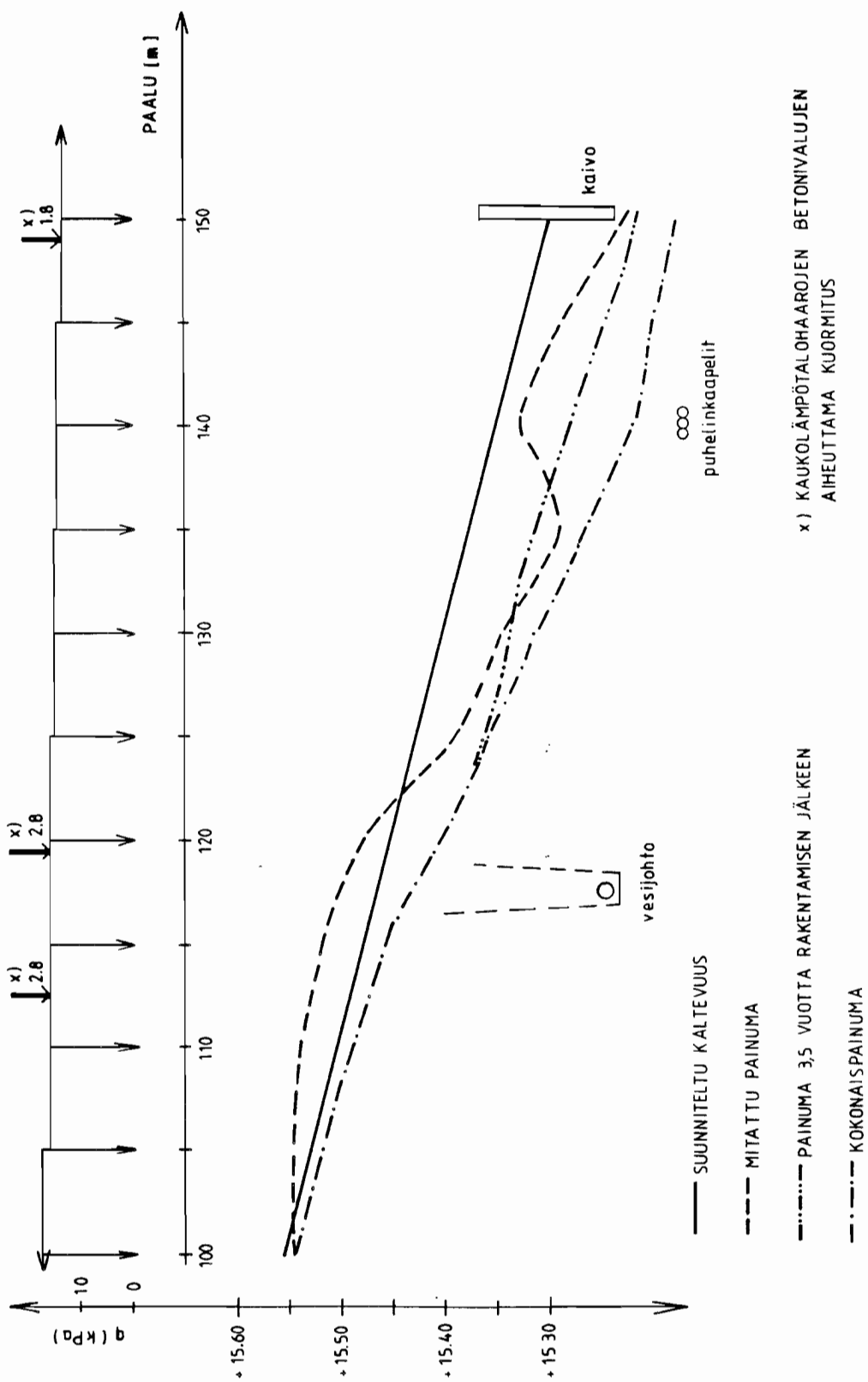
Kaukolämpöjohdon kanssa risteäviä rakenteita esiintyy paaluilla 118 ja 140. Paalulla 118 esiintyy risteävä talohaaravesijohto ja paalulla 140 risteävät puhelinkaapelit. Maanvaraisesti perustetut risteävät rakenteet esitetään kuvassa 28.

Niitynperäntien pintakerroksena on ollut vajaan metrin paksuinen humusmaakerros. Pintakerroksen alapuolella on ylikonsolidoitunut savikerros. Ylikonsolidoituneen kerroksen alapuolella on paksuimmillaan 2,5 metrinen, normaalisti konsolidoitunut savikerros. Tasolla +13,0 esiintyy savikerroksessa ohut silttilinssi. Savikerroksen alapuolella on noin metrin paksuinen silttikerros. Sen alapuolinen kerros on muodostunut hiekasta ja hiekkamoreenista. Pohjavedenpinta sijaitsee tasolla +14,8. Rakentamisesta aiheutuvaa pohjavedenpinnan alenemista ei ole havaittu. Pohjasuhteet ja pohjatutkimuksien tulokset esitetään kuvissa 27, 29 ja 30.





Kuva 27. Niitynperäntien geotekniset maakerrokset, maaparametrien arvot ja kauko-
lämpöjohtojen sijainti.



Kuva 28. Niitynperäntien kuormitus, risteävät rakenteet ja mitatut sekä lasketut painumat.

[illegible]

Kuva 29 a. Niitynperäntien luokitus- ja lujuusominaisuudet luonnon-tilaisen näytepisteen analyysituloksien perusteella.

		Moduuliluku m							Jännitys - eksponentti β			Moduuliluku m ₂							Vallitseva jännitys δ_0 Esikons.jänn. δ_c			
		0	10	20	30	40	50	60	-0.5	0	0.5	50	100	150	200	250	300	350	20	40	60	
Taso	+15																					
	+10		+						▽			x							•	•		
	+5		+						▽			x							•	•		
	0		+						▽			x							•	•		
Taso	-5																					
	-10																					
	-15																					
	-20																					
																			$\circ \delta_0$ (kPa) $\bullet \delta_c$ (kPa)			

Kuva 29 b. Niitynperäntien painumisominaisuudet luonnontilaisen näytepisteen analyysituloksien perusteella.

[illegible]

Kuva 30 a. Niitynperäntien luokitus- ja lujuusominaisuudet kadun alueella sijaitsevan näytepisteen analyysituloksien perusteella.

[illegible]

Kuva 30 b. Niitynperäntien painumisominaisuudet kadun alueella sijaitsevan näytepisteen analyysituloksien perusteella.

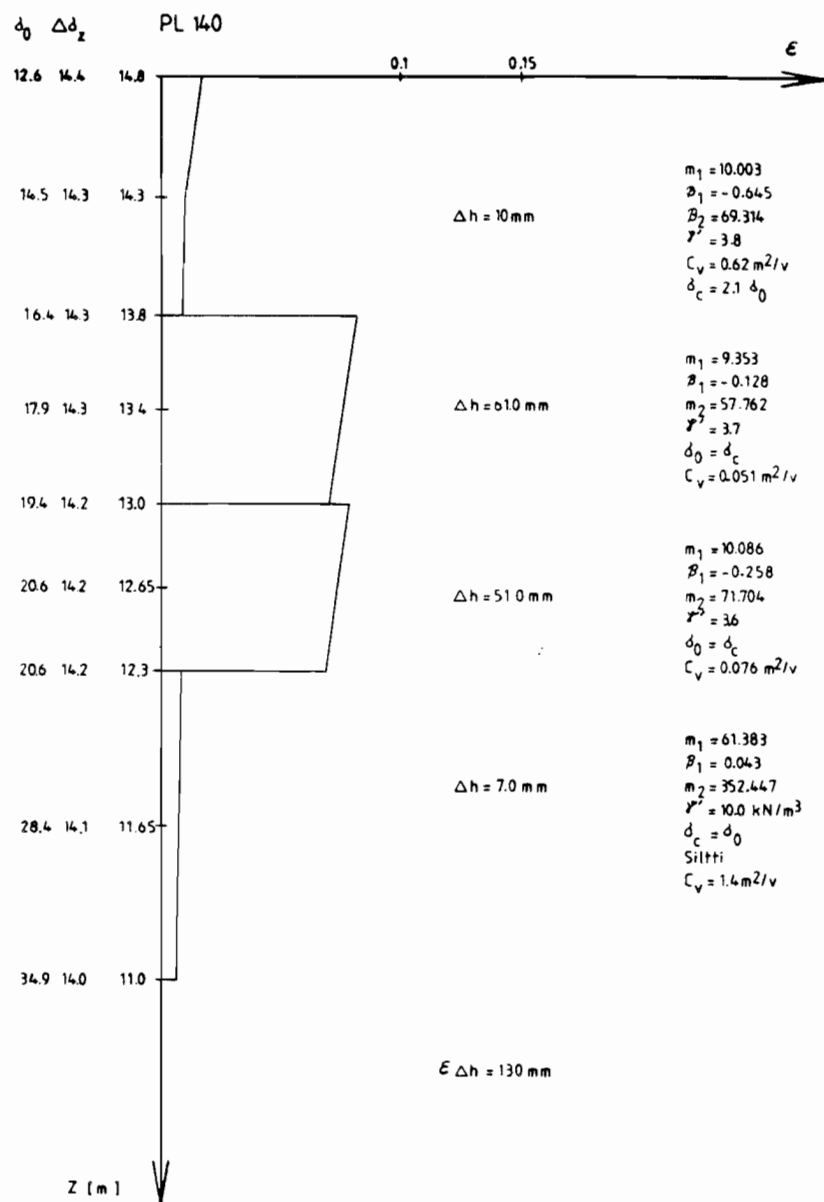
Pohjatutkimustuloksista ilmenee näytepisteiden olevan täysin vertailukelpoisia. Kadun rakentamisen aiheuttaman lisäkuormituksen johdosta saven pintakerroksen leikkauslujuus on kasvanut, vesipitoisuus pienentynyt ja tilavuuspaino kasvanut. Kohteen painumat on laskettu luonnontilaisen näytepisteen analyysituloksien perusteella. Kadun rakentamisen yhteydessä on suoritettu massanvaihto tasolle +14,8. Luonnontilaista maanpintaa on lisäksi korotettu 0,6-0,8 m. Lisäkuormituksia aiheutuu edelleen kaukolämpöjohdon talohaarojen betonivaluista. Kohteen kuormitukset esitetään kuvassa 28. Painumalaskelmien tulokset esitetään kuvassa 28.

Niitynperäntiellä voi suotovirtaus tapahtua sekä ylös- että alaspäin. Konsolidaatioaika on 3,5 vuotta. Ylikonsolidoituneen kerroksen ja silttikerroksen pienet painumat on laskelmissa oletettu kokonaisuudessaan tapahtuneen. Kuvassa 31 on esitetty paaluvälin 140-150 mukaan laskettu suhteellisen kokoonpuristuman syvyysjakautuma. Kohteen painumat on esitetty kuvassa 28. Kaukolämpöjohdon toteutunut kaltevuus ei todennäköisesti ole vastannut suunniteltua kaltevuutta. Kuvasta 28 ilmenee, että kohteen lasketut painumat vastaavat hyvin mitattuja painumia. Paalun 140 mitatun painumaviivan häiriökohta johtuu ilmeisesti johdon alapuolisten kaapeleiden asennustyön yhteydessä suoritetusta massanvaihdosta. Paalulla 118 sijaitsevan risteävän vesijohdon kohdalla painumia ei esiinny. Tuloksien perusteella on suurin osa kokoonpuristumista tapahtunut, joten korjattu johto-osuus tulee todennäköisesti toimimaan suunnitellulla tavalla.

3.334 Tyynelänkuja

Tyynelänkujan vuonna 1978 rakennettu kaukolämpöjohto on kesällä 1983 uusittu paaluvälillä 18-60. Johto-osuutta on aikaisemmin korjattu vuonna 1980, jolloin paalulla 40 putket vaihdettiin 6 metrin matkalta. Kohteen asemapiirustus esitetään kuvassa 32.

Kohteen muut maanalaiset johdot on perustettu teräsbetoni-paalujen varaan betonilaatalle. Risteäviä rakenteita esiintyy paaluvälillä 53-56. Tyynelänkujalla on lisäksi rakennettu



Kuva 31. Niitynperäntien painumien laskenta luonnontilaisen näytepisteen analyysituloksien perusteella (paalu 140).

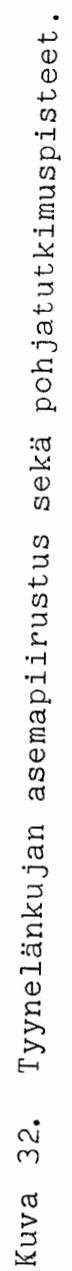
kaukolämpöjohdon kanssa yhdensuuntaiset vesi- ja viemärijohdot noin kahden metrin päässä kaukolämpöjohdosta. Risteävät rakenteet esitetään kuvassa 34.

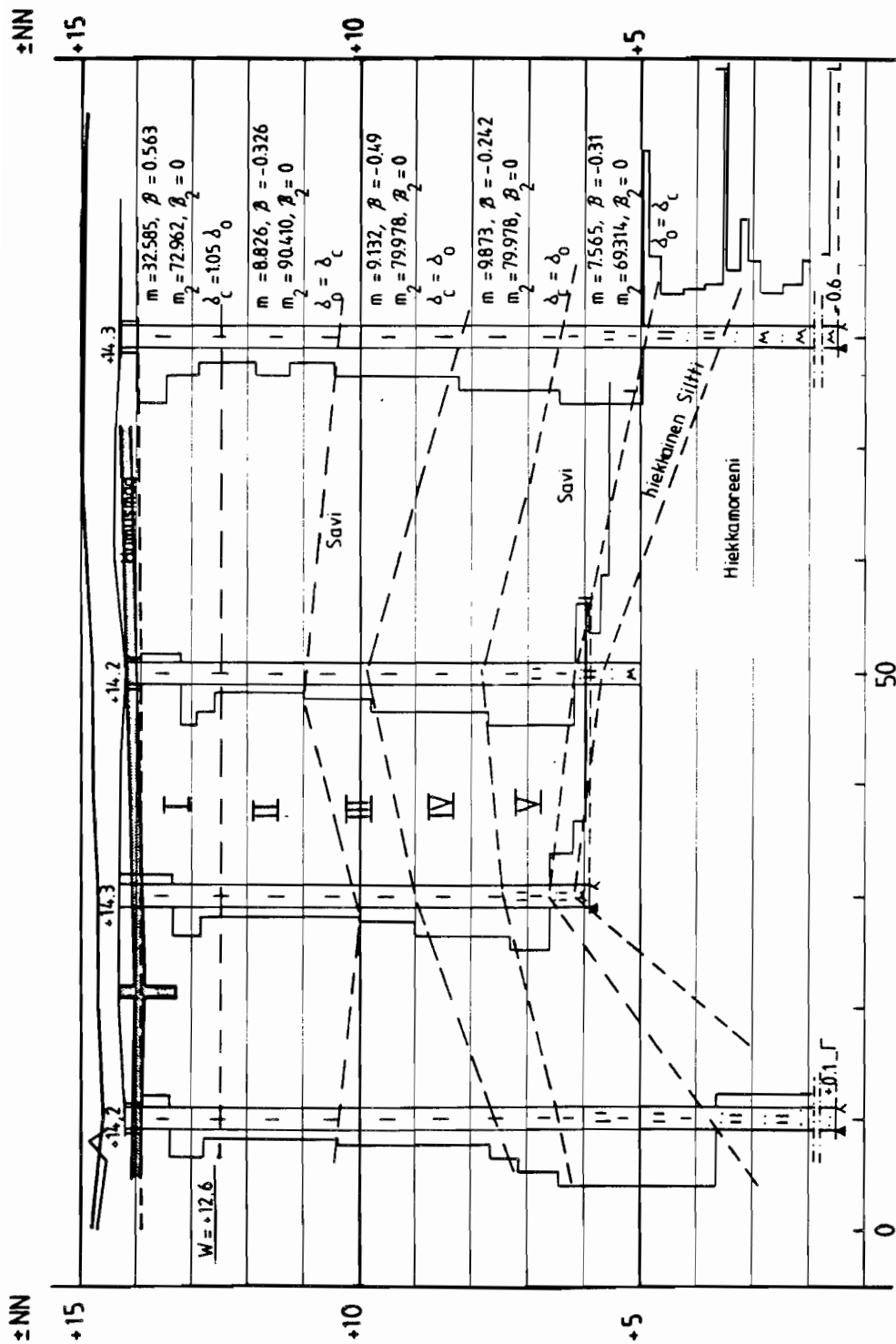
Kohteen pintakerros on muodostunut humusmaasta. Sen alapuolella on 7-9 m paksu savikerros. Savikerroksen ylin osa on lievästi ylikonsolidoitunut. Savikerroksen alapuolella on ohut silttikerros. Sen alapuolella on hiekkamoreenimuodostuma. Pohjaveden pinta on laskenut puoli metriä rakentamisen johdosta tasolle +12,6. Pohjasuhteet ja pohjatutkimuksien tulokset esitetään kuvissa 33, 35 ja 36.

Pohjatutkimustuloksista ilmenee näytepisteiden vertailukelpoisuus. Lisäkuormituksesta aiheutuva maassa vallitsevan kokonaisjännityksen kasvu on aiheuttanut konsolidaatiotilassa muutoksia. Selvimmin muutos näkyy välittömästi pohjavedenpinnan alapuolisessa geoteknisessä maakerroksessa, joka rakentamisesta johtuen on lievästi ylikonsolidoitunut. Kohteen kuormitukset esitetään kuvassa 34. Kuormitus aiheutuu pohjavedenpinnan alenemisesta ja luonnontilaisen maanpinnan korottamisesta 0,4-0,7 m.

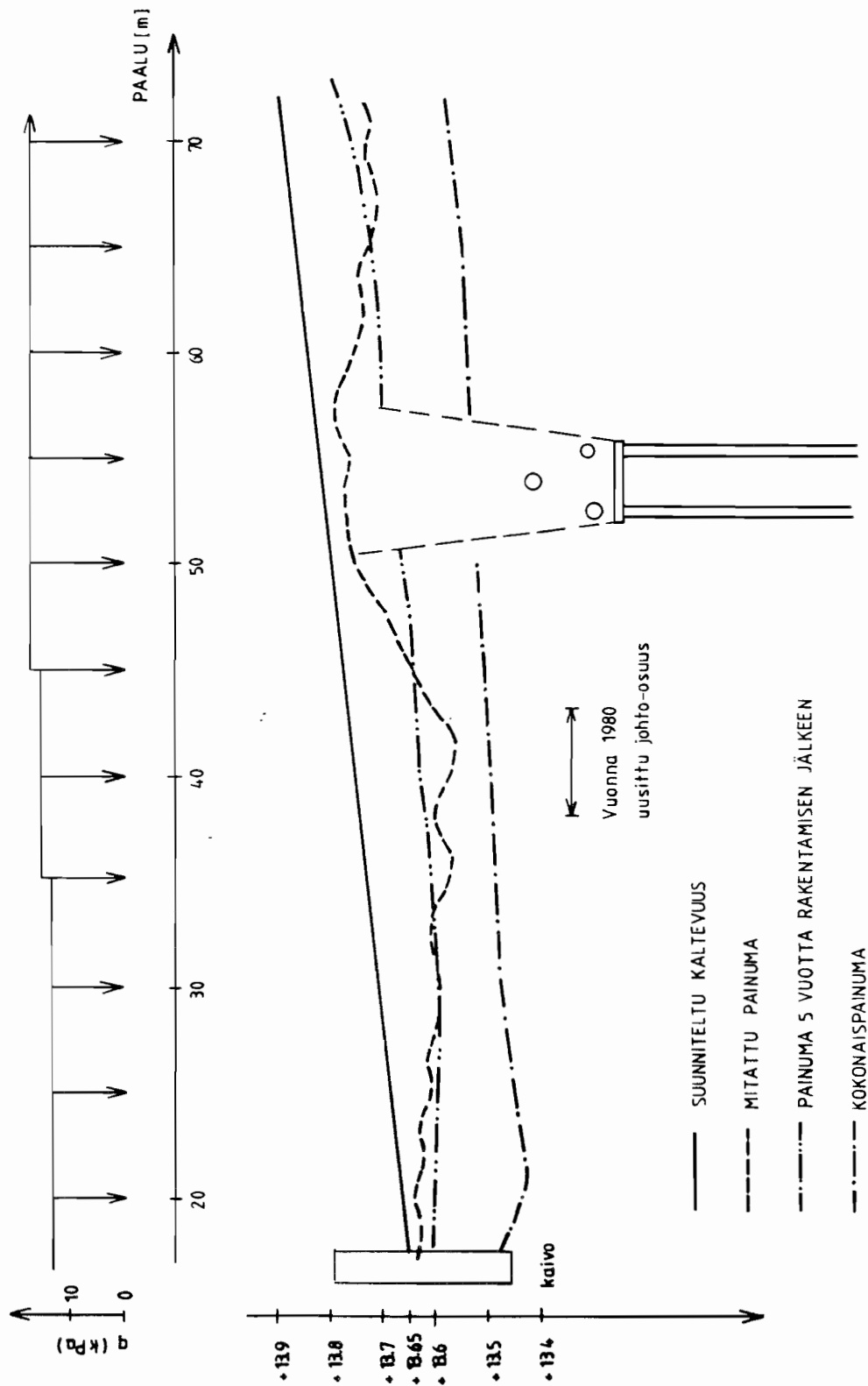
Painumalaskelmissa on pyritty ottamaan huomioon kaukolämpöjohdon kanssa yhdensuuntaisten painumattomien vesi- ja viemärijohdojen vaikutus. Paalutuksen vaikutusalue on oletettu kuormittamattomaksi. Laskelmissa on todettu painumattomiksi perustettujen johtojen vaikuttavan painumiin siten, että painumat pienenevät noin 10 %. Ohutta silttikerrosta ei painumalaskelmissa ole otettu huomioon. Painumalaskelmien tulokset esitetään kuvassa 34.

Korjauksen ajankohtana on kadun rakentamisesta johtuva lisäkuormitus vaikuttanut 5 vuotta. Kuivatus on tässäkin tapauksessa kaksitahoinen. Ylikonsolidoituneen kerroksen painumat ovat saavuttaneet lopullisen arvonsa. Kuvissa 37 ja 38 esitetään painumien laskenta paalun 50 osalta molempien näytepisteiden analyysituloksien perusteella. Katkoviivoilla on kuvissa piirretty laskelmissa käytetyt ϵ - z jakautumien approksimaatiot. Konsolidaatiopainuma 5 vuotta rakentamisen jälkeen esitetään taulukossa 1. Mitatut ja lasketut painumat esitetään kuvassa 34.

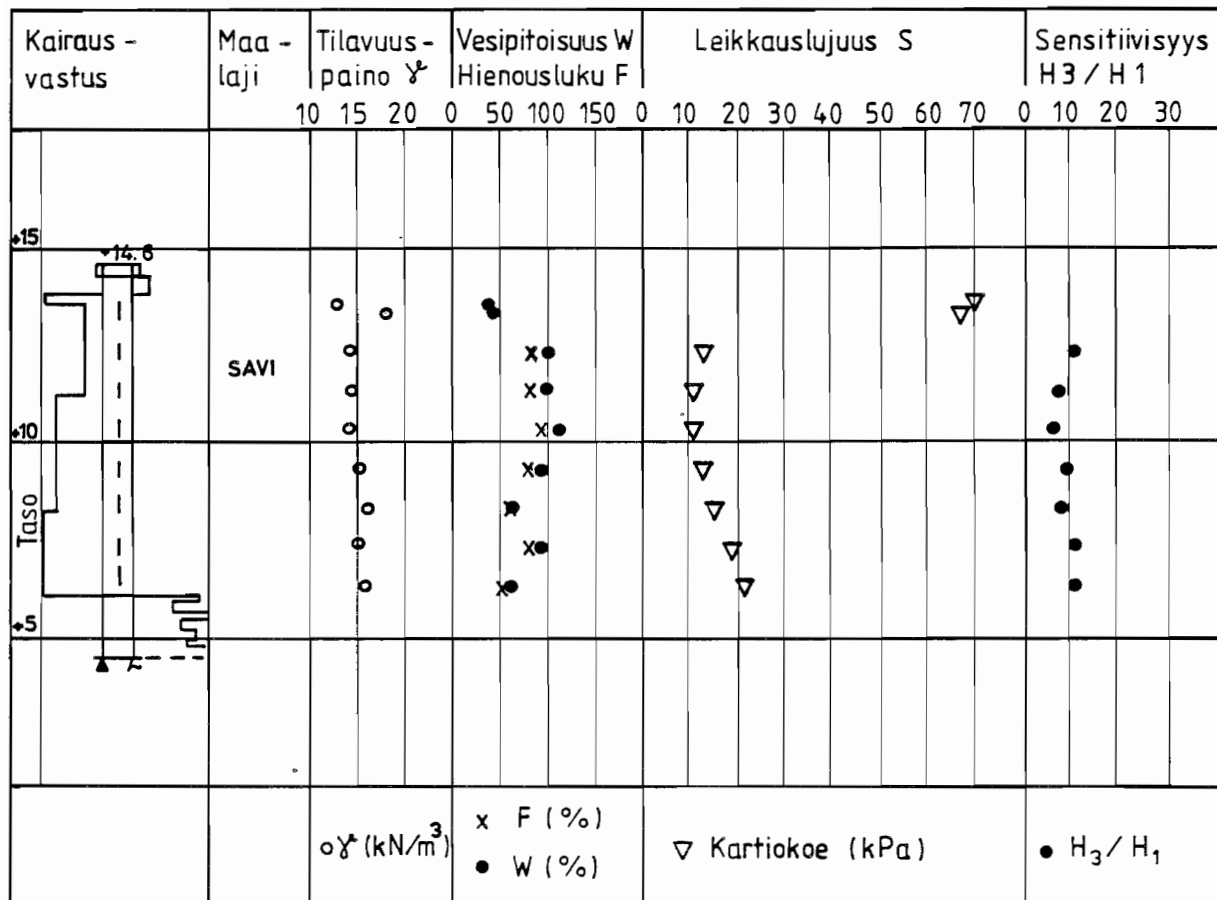




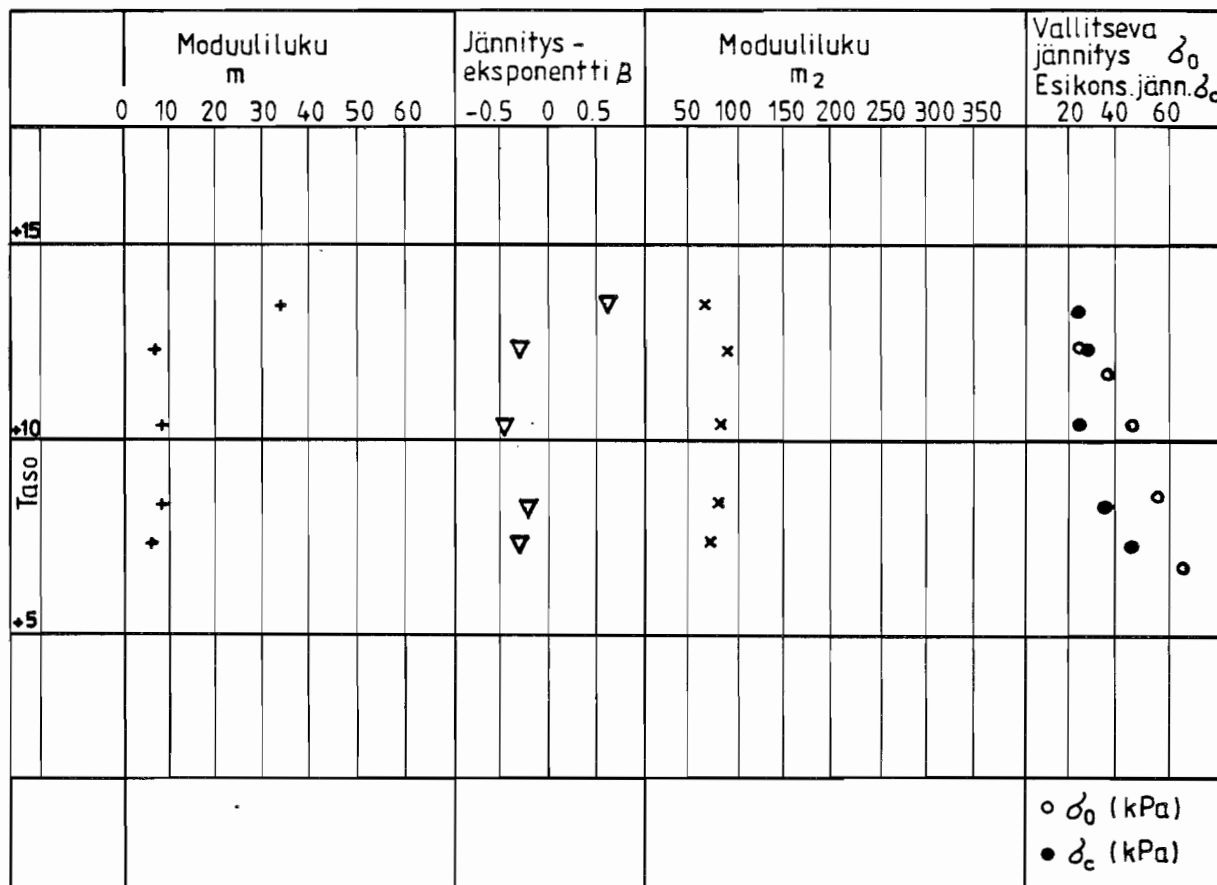
Kuva 33. Tyynelänkujan geotekniset maakerrokset, maaparametrien arvot ja kaukolämpö-johdon sijainti.



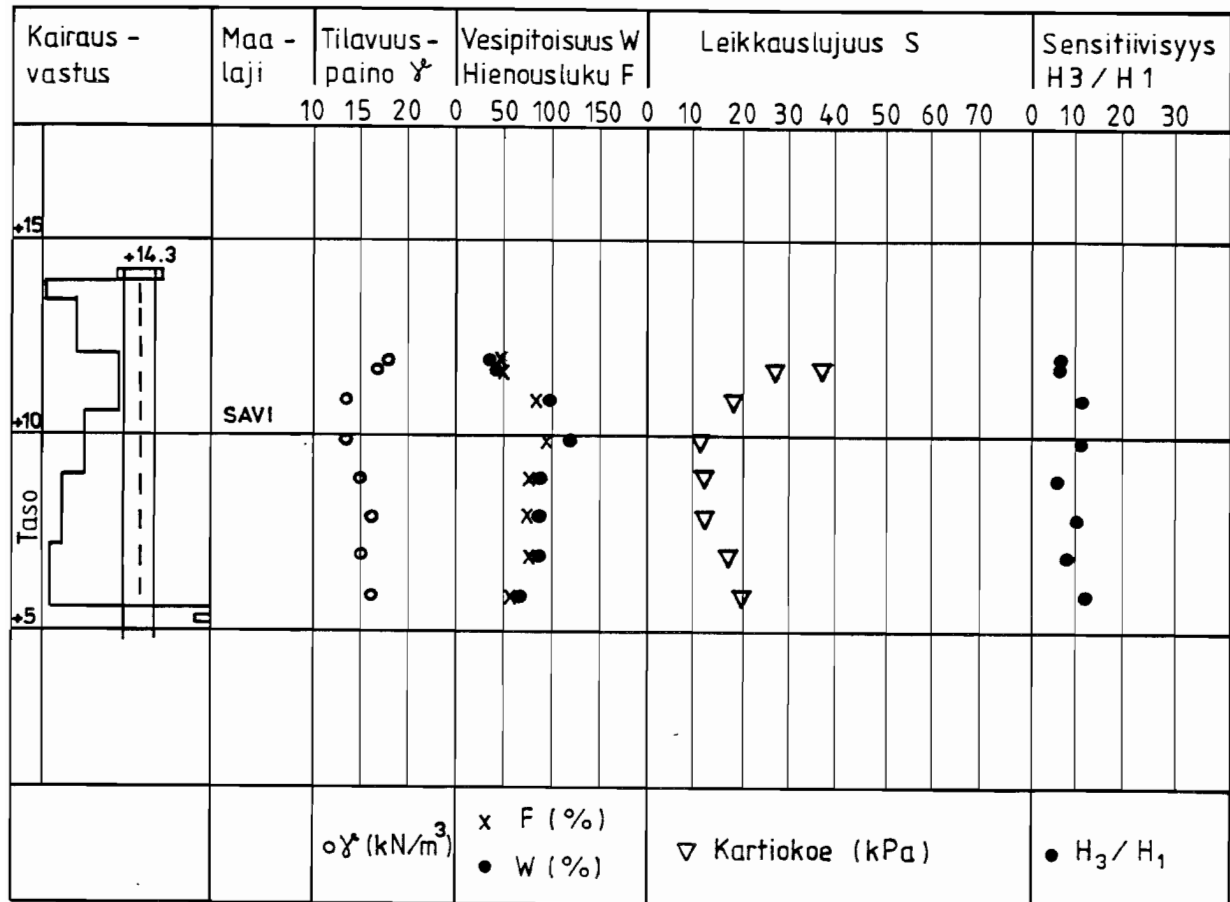
Kuva 34. Tyynelänkujan kuormitus, risteävät rakenteet ja mitatut sekä lasketut painumat.



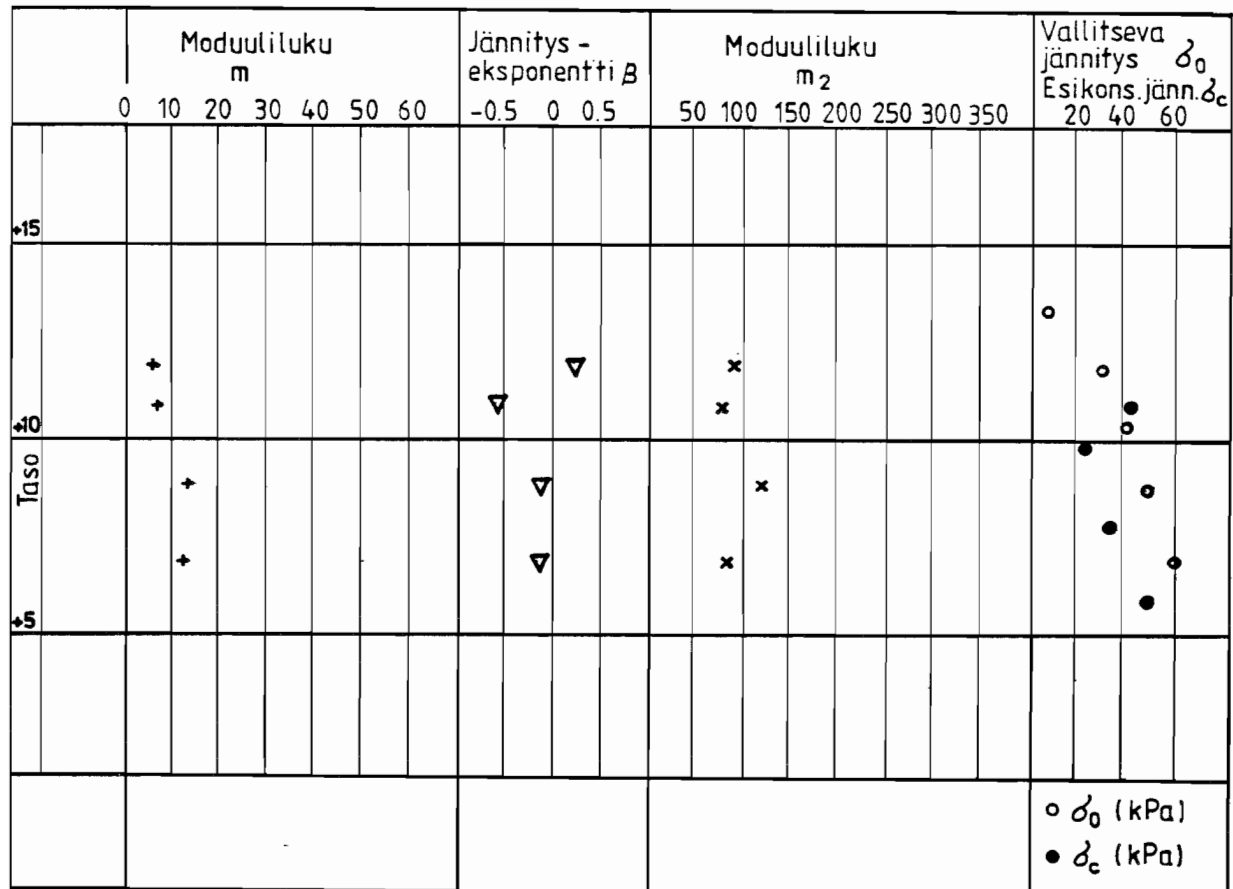
Kuva 35 a. Tyynelänkujan luokitus- ja lujuusominaisuudet luonnontilaisen näytepisteen analyysituloksien perusteella.



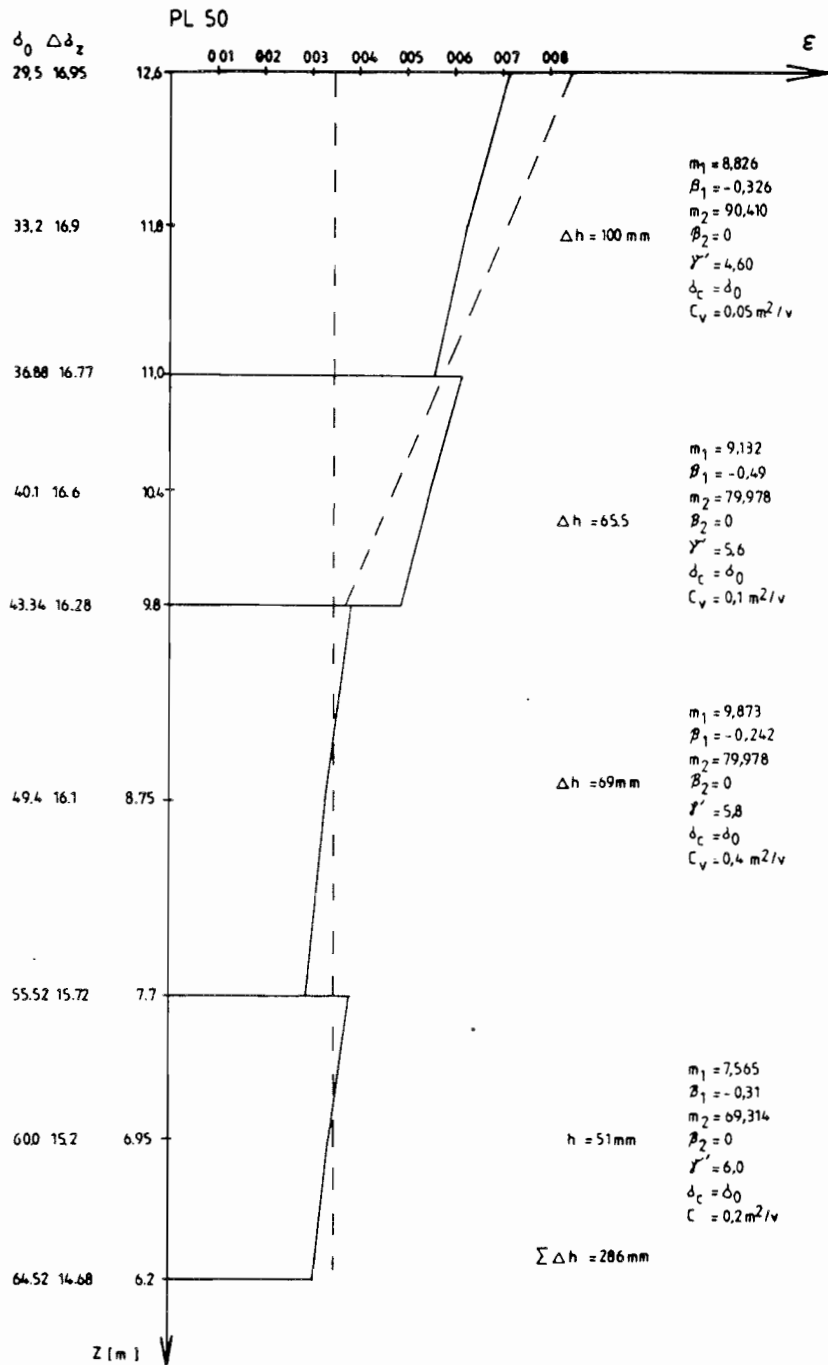
Kuva 35 b. Tyynelänkujan painumisominaisuudet luonnontilaisen näytepisteen analyysituloksien perusteella.



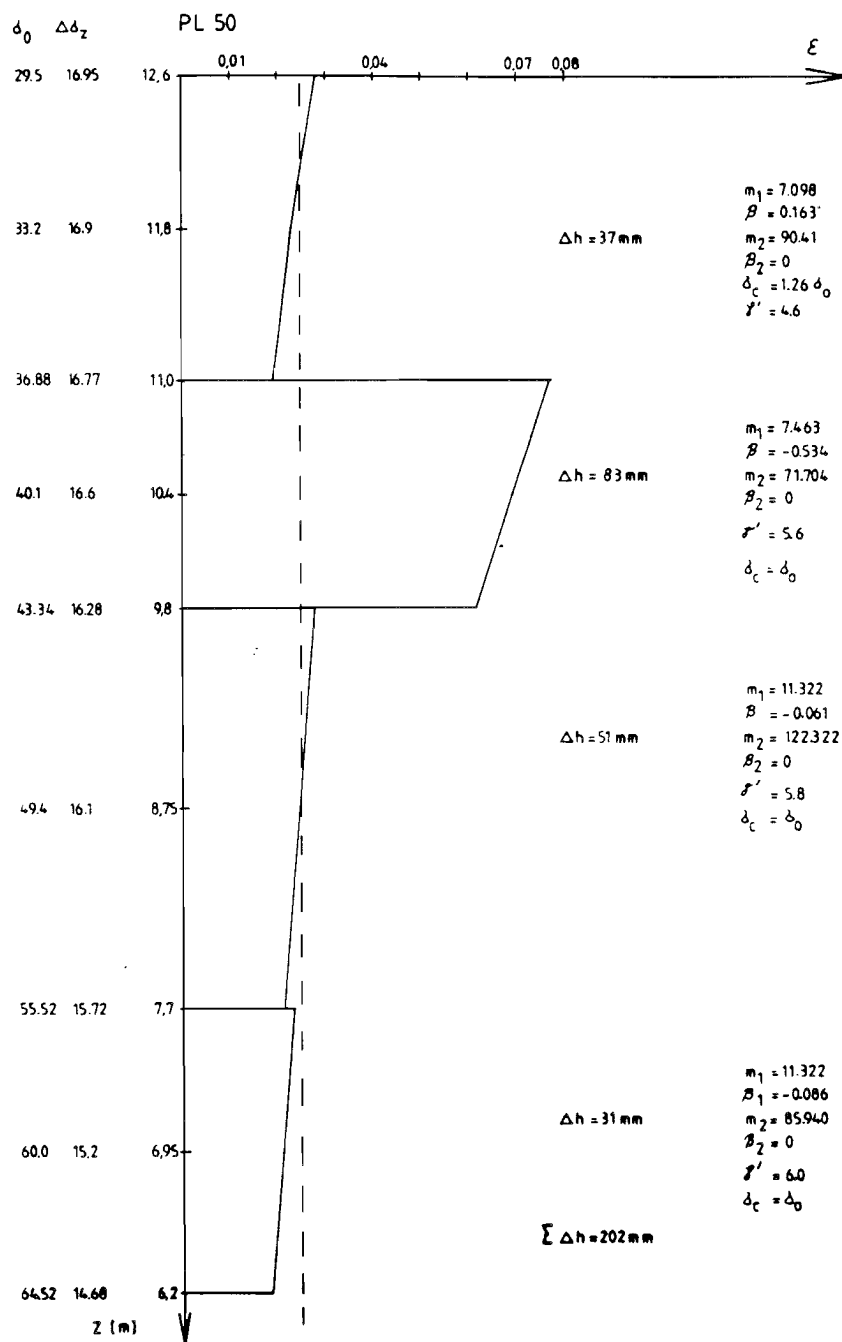
Kuva 36 a. Tyynelänkujan luokitus- ja lujuusominaisuudet kadun alueella sijaitsevan näytepisteen analyysituloksien perusteella.



Kuva 36 b. Tyynelänkujan painumisominaisuudet kadun alueella sijaitsevan näytepisteen analyysituloksien perusteella.



Kuva 37. Tyynelänkujan painumien laskenta luonnontilaisen näytepisteen analyysituloksien perusteella (paalu 50).



Kuva 38. Tyynelänkujan painumien laskenta katualueella sijaitsevan näytepisteen analyysituloksien perusteella (paalu 50).

Taulukko 1. Tyynelänkuja, konsolidaatiopainuma 5 vuotta rakentamisen jälkeen.

PAALU	20	40	50	70
c_{vA}	0,136	0,162	0,177	0,151
c_{vB}	0,073	0,067	0,071	0,076
T_{vA}	0,05	0,085	0,09	0,05
T_{vB}	0,08	0,013	0,18	0,08
U_A	24 %	32 %	33 %	24 %
U_B	49 %	55 %	62 %	49 %
Δh	64 mm	100 mm	180 mm	100 mm

Alaindeksit A ja B tarkoittavat ϵ -jakautuman A:n sekä B:n mukaisia c_v arvoja, aikakertoimien arvoja sekä konsolidaatioasteen arvoja.

Rakentamisessa toteutunut kaukolämpöjohdon kaltevuus on todennäköisesti ollut suunniteltua kaltevuutta pienempi. Risteävien painumattomasti perustettujen rakenteiden kohdalla paaluvälillä 55-56 painumat ovat luonnollisesti olemattoman pienet. Kohteen analyysituloksista ilmenee selvästi, että kaukolämpöjohdot täysin seuraavat savikerrostumien konsolidaatiopainumia.

3.335 Johtopäätökset vaurioiden syistä

Suurin osa kaukolämpöjohtojen vaurioista johtuu pehmeikköalueiden savikerrosten konsolidaatiopainumista. Tutkimuksissa on todettu, että kaukolämpöjohtojen painumat täysin seuraavat savikerroksen painumia. Kaikissa tutkituissa vauriotapauksissa painumaerot johtuvat kadun rakentamisen tai kaukolämpöjohdon betonirakenteiden aiheuttamasta lisäkuormituksesta tai risteävien johtorakenteiden erilaisista perustusrakenteista. Risteävät rakenteet suunnitellaan myös pohjarakennuksen kannalta. Pehmeikköalueella ei tällöin yleensä käytetä maanvaraista perustusrakennetta, jolloin risteävissä kohdissa aina

syntyy kaukolämpöjohtoon painumaero. Tutkimuksissa on todettu, että suojaputkirakenne vaurioituu melkein poikkeuksetta painumaerojen esiintyessä, sillä kyseisen rakenteen vesitiiviysvaatimus pätee ainoastaan teoriassa.

Rakennettaessa kaukolämpöjohtoja pehmeikköalueiden maanvaraisesti perustettuihin katuihin ei kaukolämpöjohtojen yleisen työselityksen /11/ mukainen sora-arina ole riittävä perusrakenne johdon vaatimusten kannalta. Myös lähteessä /6/ on täysin virheellisesti esitetty, että maanvarainen perustaminen kaikissa pohjasuhteissa täyttäisi johtorakenteen asettamat vaatimukset. Perimmäinen syy kaukolämpöjohtojen vaurioihin on siten suunnittelun puutteellisuus. Johtojen suunnitellun kaltevuuden takaamiseksi olisi johdot suunniteltava perustettaviksi pohjasuhteiden vaatimusten mukaisesti.

Vauriot ovat yleensä ulkopuolisen veden aiheuttamia korroosio- vaurioita. Kaukolämpöjohdot ovat usein ulkopuolisen vedenpaineen alaisina, sillä rakenteen kuivatusta ei ole järjestetty. Rakenteiden salaojitusta on käytetty vain harvoissa tapauksissa, vaikka kuivatuksella ilmeisesti pystyttäisiin parantamaan rakenteiden toimintaedellytyksiä. Kuvissa 39... 42 on esitetty vaurioituneita kaukolämpöjohtoja.

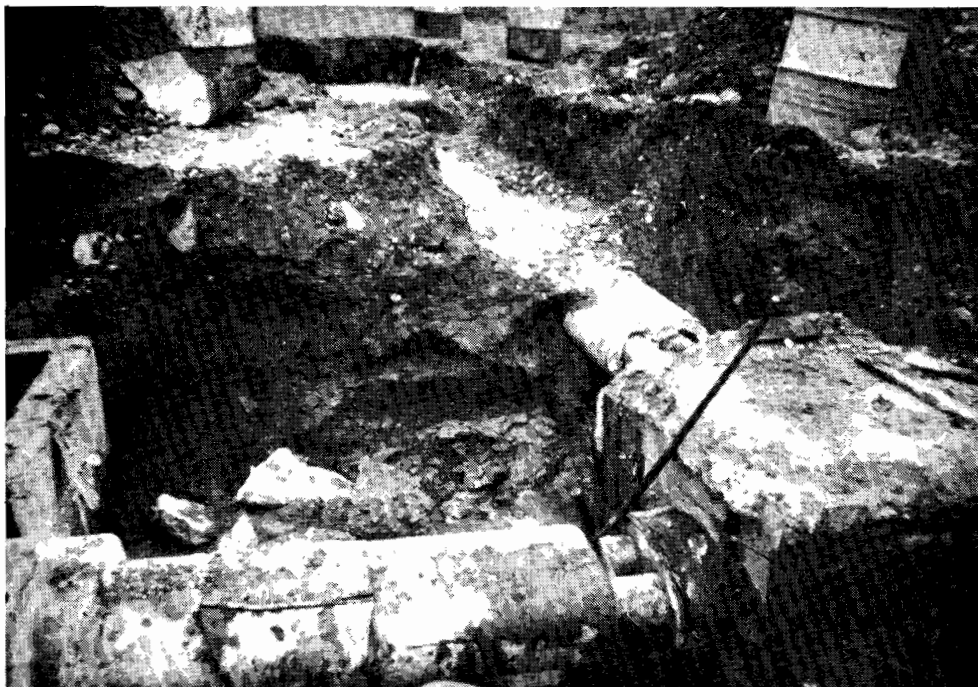
Pienen minimikaltevuuden johdosta kaukolämpöjohdot vaurioituvat erittäin pienienkin painumaerojen johdosta. Vaurioitumisen kannalta riittäviä painumaeroja on eräissä tapauksissa aiheutunut tiivistämistyön puutteellisuudesta. Tutkimuksessa on myös todettu, että johdon toteutunut kaltevuus ei kaikissa tapauksissa ole vastannut suunniteltua kaltevuutta. Tämän laatuiset vauriot ja työvirheet johtuvat töiden puuttellisesta valvonnasta. Nykyisen rakentamiskäytännön mukaan töiden valvojat eivät kuitenkaan pysty valvomaan kohteiden työn suoritusta yksityiskohtaisesti samanaikaisesti rakennettavien kohteiden suuren määrän vuoksi.



Kuva 39. Vaurioitunut kaukolämpöjohto.



Kuva 40. Vaurioitunut kaukolämpöjohto.



Kuva 41. Betonivalujen painumisesta vaurioitunut kaukolämpöjohto.



Kuva 42. Vaurioitunut kaukolämpöjohto.

3.4 Ehdotus kaukolämpöjohtojen geotekniselle suunnittelulle

3.41 Pohjatutkimukset

Pohjasuhteet vaikuttavat useinmiten ratkaisevasti kaukolämpöjohtojen toimivuuteen sekä vaurioitumiseen. Pohjatutkimuksien avulla selvitetään putkilinjan pohjasuhteet niin, että kaukolämpöjohtojen geotekninen suunnittelu voidaan tehdä. Rakentamisen kannalta suotuisissa olosuhteissa voivat tutkimukset rajoittua pohjasuhteiden selvittämiseen pääpiirteissään kaukolämpöjohtolinjoilla, mikä voi tapahtua esimerkiksi painokairausten avulla. Pehmeikköalueilla tarvitaan lisätutkimuksia kaukolämpöjohtojen painumalaskelmaa varten. Häiriintymättömiä maanäyitteitä on tällöin otettava vähintään yhdestä pisteestä. Pohjavedenpinnan taso vaikuttaa kaukolämpöjohtojen kuivatustarpeeseen ja pohjavedenpinnan tasossa tapahtuvat muutokset vaikuttavat alueen kuormituksiin. Tämän perusteella olisi pohjavedenpinta pyrittävä määrittämään mahdollisimman tarkasti. Pohjatutkimuksien avulla olisi edelleen pyrittävä arvioimaan rakentamisen vaikutus pohjavedenpinnan tasoon. Tässä tapauksessa on pohjavedenpintaa tarkkailtava pidemmän ajanjakson aikana. Helsingin kaupungin tapauksessa on todettava, että kaavoituksen ja muun rakentamisen yhteydessä suoritettut pohjatutkimukset antavat yleispiirteisen tiedon pohjasuhteista koko kaupungin alueella. Helsingin tapauksessa määrittyy uusien pohjatutkimuksien tarve alueella aikaisemmin suoritettujen pohjatutkimuksien perusteella.

3.42 Putkirakenteen asettamat vaatimukset

3.421 Teräspankin sallima maan painuma

Tarkasteltaessa kaukolämpörakenteen teräksisen virtausputken sallimaa maan painumista voidaan lähtöarvoksi ottaa kyseisen teräslaadun (Fe - 37 B) myötöraja, joka on 240 N/mm^2 /26/. Rakennetta rasittaa joko epätasaisen painuman aiheuttama taivutusjännitys tai sekä taivutusjännitys että estetystä

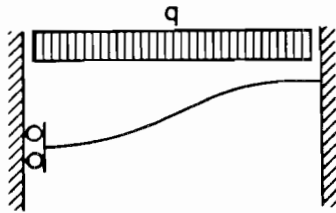
lämpölaajenemisesta aiheutuva veto- tai puristusjännitys. Rakennetta rasittavat lisäksi sisäisen paineen aiheuttamat jännitykset. Sisäisen paineen jännityksiä lisäävä vaikutus on kuitenkin verrattain pieni liittymisjohtoko'illa ($10 - 15 \text{ N/mm}^2$). Suojaputkirakennetta rasittaa pelkkä taivutusjännitys. Kiinnivaahdotetussa putkielementtirakenteessa lämpölaajeneminen on osittain tai kokonaan estetty. Suunniteltaessa kyseisen johtotyypin lämpöliikkeiden tasaaminen kiintopisteitä ja tasaimia käyttäen lämpöliikkeet ovat osittain estetyt ympäristäytön ja putkirakenteen välisen kitkan johdosta. Suunniteltaessa johto pelkästään kitkakiinnitetynä voidaan lämpöliikkeiden katsoa olevan täysin estetyt. Vaarallisin jännitystilanne muodostuu siten kitkakiinnitetyn kaukolämpöjohdon siinä yhdistetyssä jännitystapauksessa, jolloin sekä estetystä lämpölaajenemisesta aiheutuvat aksiaali-jännitykset että savikerrosten kokoonpuristumisesta aiheutuvat taivutusjännitykset rasittavat teräsputkea.

Kiinnivaahdotetun johtotyypin aksiaali-jännityksen suuruus on täysin riippuvainen asennustilanteen sekä käyttötilanteessa esiintyvän suurimman lämpötilan erotuksesta. Lämpötilaeroa pyritään pienentämään esijännittämällä johto ennen täyttöö, jolloin kitkaa ei esiinny, määrättyyn lämpötilaan, joka on esiintyvän maksimi- ja minimilämpötilan keskiarvo. Suurin teoreettinen lämpötilaero esiintyy silloin, kun oletetaan, että maksimilämpötila on 110°C ja minimilämpötila 0°C esimerkiksi verkossa sattuneen pitkäaikaisen häiriön johdosta. Esijännittämislämpötila on tällöin 55°C . Kaavalla 1 laskettu aksiaali-jännitys antaa tulokseksi 136 N/mm^2 . Kaukolämpöverkossa käytännössä esiintyvissä "normaaleissa" häiriötilanteissa (esim. korjaustöiden yhteydessä) pyritään lämmön toimituksessa esiintyvät häiriöt rajoittamaan mahdollisimman lyhyiksi, sillä kuluttajat eivät pitkään voi olla ilman lämpöä. Näissä tilanteissa voidaan verkon minimilämpötilan katsoa olevan noin 30°C .

Kaukolämpöjohtojen taivutuksen kannalta esiintyy, kuten mainittua, vaarallisin tilanne silloin, kun johtoa rasittaa sekä lämpötilaeroista johtuva aksiaali-jännitys että painumisesta aiheutuva taivutusjännitys. Kysymyksessä on nurjahdustaivutus. Nurjahdustaivutuksessa superpositioperiaate ei

päde, sillä puristetun ja taivutetun rakenteen jännitykset ovat aina suuremmat kuin puristuksen yksinään ja taivutuksen yksinään aiheuttamien jännitysten summa. Jännityksien yhteisvaikutuksesta syntyy nimittäin momenttiin lisäys. Nurjahdustaivutetun rakenteen reunajännitys lasketaan kaavalla 15 /22/

Olettamalla reunajännitys sallitun kokonaisjännityksen suuruiseksi sekä sijoittamalla kaavat 18 ja 19 kaavaan 15 voidaan taivutusjännitys ratkaista (kaava 20). Palkin keskellä on $\Delta M = \Delta \bar{M}$.



ϵ_0 on sallittu venymä, %

R kaarresäde, m

Varsinainen lämmöneriste muodostuu kovasta polyuretaanivaahdosta. Kuormituskokeiden avulla on todettu, että eriste

Suojaputkirakenne saumataan edelleen jossain määrin käyttäen pelkästään kutistemuhveja. Kyseisestä saumausmenetelmästä

3.43 Perustamistaparatkaisut

3.431 Pohjarakenteille asetettavat yleiset vaatimukset

Muut maanalaiset rakenteet määräävät tavallisesti kaukolämpöjohdon sijoittamisen. Kaukolämpöjohtojen linjaus pystytään täten erittäin harvoin valitsemaan pohjasuhteiden kannalta edullisimman vaihtoehdon mukaiseksi. Erityistä huomiota olisi tämän johdosta kiinnitettävä vaadittavien pohjarakennustöiden mahdollisimman edulliseen suorittamiseen. Putkiperustan oikealla mitoituksella on pystyttävä takaamaan suunnittelun lähtökohtana olevan kaltevuuden säilyminen. Perustusrakenteiden avulla on myös estettävä lyhyellä matkalla tapahtuvat painumaerot, jotka voivat aiheuttaa putken rikkoutumisen. Kaukolämpöjohdon asennusvaiheessa putkiperustan tulee myös toimia tukevana työalustana.

3.432 Muiden johtorakenteiden perustamismenetelmien huomioon ottaminen

Kaukolämpöjohtojen perustusrakenteiden suunnittelussa on erikoista huomiota kiinnitettävä alueella sijaitsevien muiden maanalaisten rakenteiden vaikutukseen kaukolämpöjohtoon. Perustustapoja suunniteltaessa muodostuvat risteävät johdot eräissä tapauksissa määrääviksi. Etenkin siinä tapauksessa, jolloin risteävät johdot on pehmeikköalueilla rakennettu painumattomiksi tai lähes painumattomiksi, on niiden vaikutuksen huomioon ottaminen erityisen tärkeää. Tämän kaltaisissa tapauksissa ei kaukolämpöjohtojen vaatimusten mukaista optimointia voida suorittaa.

3.433 Perustaminen maan varaan

Perustettaessa kaukolämpöjohto kallion, moreenin, soran tai vastaavan "kovan" pohjan varaan ei varsinaista perustusrakennetta tarvita. Putken alle rakennetaan tukikerros sorasta 0 - 16 mm. Tukikerros on tiivistettävä tärylevyllä vesipitoisuuden ollessa 5 - 9 % /20/.

Löyhissä hiekka- ja silttimaissa rakennetaan tukikerroksen alle sora- tai sepeliarina. Löyhät hiekat ja siltit ovat

erittäin helposti häiriintyviä, jolloin putki ei saa riittävästi tukea asennusvaiheessa. Arinan sekoittuminen pohjamaahan vältetään levittämällä suodatinkangas arinarakenteen alle. Arinamateriaalin tulee olla hyvin vettä läpäisevää. Arina tiivistetään tärylevyllä 90 % suhteelliseen tiiviyyteen parannetulla Proctor-menetelmällä mitattuna /19/.

Lyhyellä matkalla tapahtuvien painumaerojen tasaamiseksi käytetään arinarakenteita. Nykyään käytetään melkein yksinomaan betonilaattoja, sillä ne soveltuvat jäykemmän rakenteensa takia puisia arinarakenteita paremmin painumattomien sekä painuvien alueiden välisiksi siirtymärakenteiksi. Puiset arinarakenteet eivät myöskään sovellu käytettäväksi pohjaveden pinnan yläpuolella lahoamisvaaran takia. Teräsbetonilaatta tehdään yleensä paikalla valettuina, mutta myös elementtilaattoja voidaan käyttää. Pohjamaan sekoittuminen betoniin on estettävä. Betonilaatta rakennetaan keskeisesti raudoitettuna ei kantavana rakenteena 100-150 mm paksuiseksi.

Maanvaraisen perustuksen mitoituksen on aina perustuttava painumien laskentaan. Jotta painumat pystyttäisiin määrittämään luotettavasti, on niiden laskemisen perustuttava johtolinjalla suoritettujen pohjatutkimuksien tuloksiin.

3.434 Massanvaihto

Massanvaihtoa käytetään kun kaukolämpöjohdon alle jäävä kokoonpuristuva kerros on ohut, tavallisesti noin 2 metriä. Massanvaihto voidaan periaatteessa tehdä mistä tahansa kitka- maasta. Louheen käyttö edellyttää kuitenkin kiilakerroksen rakentamista, jotta yläpuolisen täytteen painuminen lohkareiden väliin estettäisiin. Massanvaihdon suunnittelussa on otettava huomioon kaivannon mahdollinen tukemistarve. Kaivantoon tuleva pohjavesi on myös pystyttävä poistamaan tiivistyksen ajaksi tiivistettävän kerroksen alapintaan saakka. Massanvaihto tiivistetään kerroksittain tiivistyskerroksen paksuuden riippuessa tiivistettävästä materiaalista ja tiivistyskalustosta.

Pohjamaata painavampana täyttö mahdollisesti tarvittavien tukiseinien poistamisen sekä perusmaan vaakasuuntaisen

kokoonpuristumisen vaikutuksesta pääsee leviämään sivulle päin, mikä saattaa aiheuttaa johdon epätasaista painumista. Massanvaihdon pohjan leveyden tulee tämän johdosta olla niin suuri, ettei täytön leviäminen sivulle päin aiheuta johdon painumista. Massanvaihdon reunan ja putken laen välinen minimietäisyys lasketaan kaavalla 24 /9/.

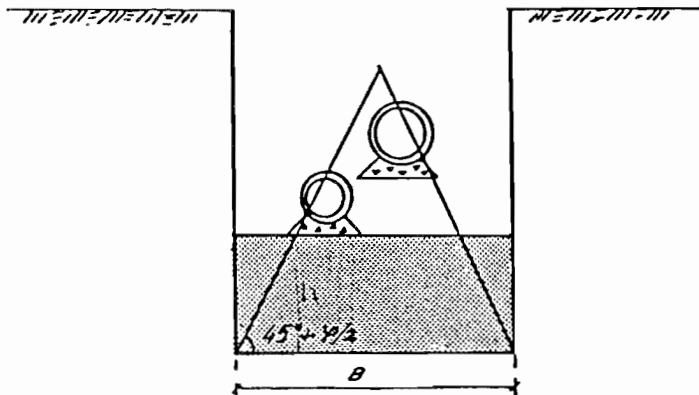
$$e = \frac{b}{\tan(45 + \phi/2)} \quad (24)$$

e on putken laen ja massanvaihdon reunan välinen minimietäisyys, m

b etäisyys massanvaihdon alareunasta, m

ϕ täytteen kitkakulma, °

Massanvaihdon leveyden määrittämisen periaate on esitetty kuvassa 46 /18/.



Kuva 46. Massanvaihdon leveyden määrittäminen /18/.

3.435 Perustaminen vahvistetulle maapohjalle

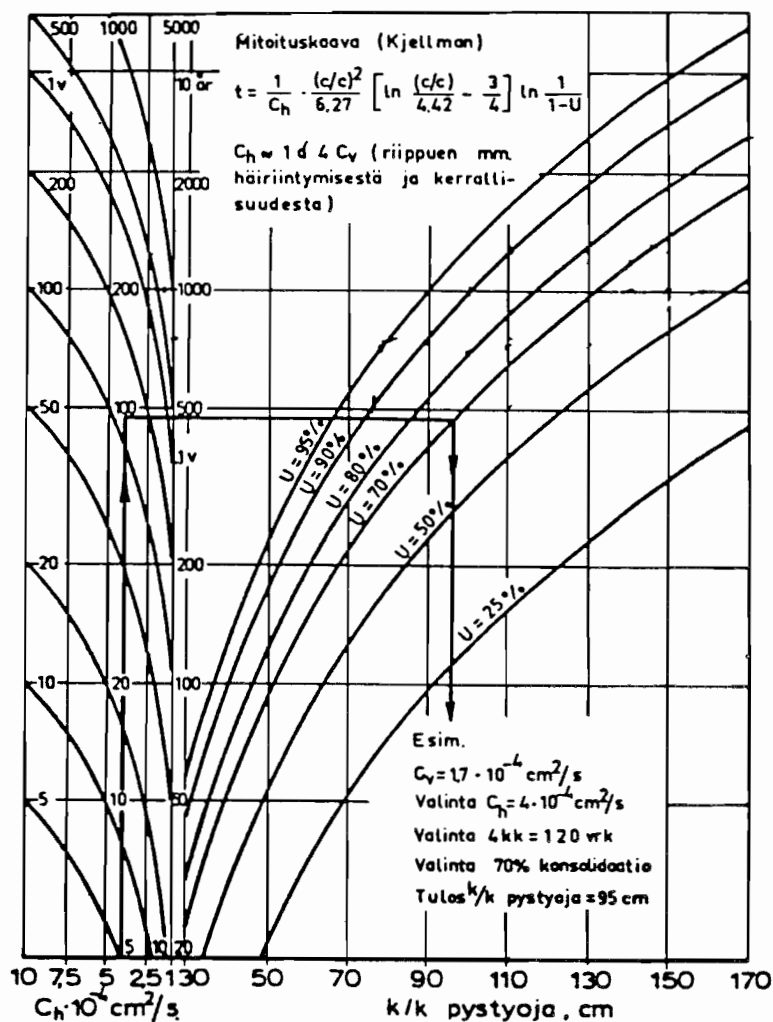
Pohjavahvistuksella ymmärretään kaikkia niitä toimenpiteitä, joilla kokoonpuristuva kerros lujitetaan painumien pienentämiseksi. Perusmaan lujittamista käytetään kun:

- maanvarainen perustaminen aiheuttaisi kaukolämpöjohdolle liian suuret painumat
- kaukolämpöjohtoa ei haluta perustaa paaluille joko taloudellisten tai koko katualueen toiminnallisten näkökohtien perusteella.

Maapohjan vahvistaminen voidaan suorittaa erilaisilla tiivistysmenetelmillä muunmuassa syvätiivistämällä, esikuormittamalla ja jäädyttämällä sekä syväinjektointimenetelmillä tai kemialliseen stabilointiin perustuvilla menetelmillä. Rakentamisesta aiheutuva lisäkuormitus voidaan myös kohdistaa savikerrokseen rakennettuihin kalkki- hiekka- tai sementtipilareihin. Kunnallisteknisessä rakentamisessa käytetään savipehmeikkökohteissa pohjavahvistusmenetelminä pystyjoitusta tai syvästabilointia. Pohjavahvistusmenetelmä määritetään maalajin ominaisuuksien, sallittavan painuman ja rakentamisaikataulun perusteella.

Pystyjoituksella nopeutetaan savikerroksessa olevan ylimääräisen huokosveden poistamista ja siten lisätään savikerroksen painumisnopeutta. Pystyjojat rakennetaan nykyään liuskapystyjojina. Liuskapystyjojien käyttö edellyttää aina esikuormitusta. Esikuormituksen vaikutuksesta savikerroksen huokosveden ylipaine purkautuu pystyjojiin, jonka seurauksena savikerros koonpuristuu. Pystyjoituksen mitoitus tapahtuu käyrästöjen avulla, joiden käyttö edellyttää vaakasuoran konsolidaatioskertoimen määrittämistä ödometrikokeiden avulla. Käyrästöstä saadaan käytettävissä olevasta kuormitusajasta ja tarvittavasta konsolidaatioasteesta riippuen määritettyä tarvittava pystyjojaväli /12/. Pystyjoituksen mitoitusperusteet esitetään kuvassa 47 /25/. Pystyjoituksen käyttö kaukolämpöjohdon perustuksena tulee erityisesti kysymykseen kun pystyjoitusta käytetään koko katualueen vahvistamiseen tai kaikkien putkijohtojen perustusrakenteena. Mikäli kaukolämpöjohdot rakennetaan vanhaan katurakenteeseen, pystyjoitus ei tällaisessa tapauksessa sovellu käytettäväksi pelkästään kaukolämpöjohdon perustusrakenteena.

Kalkkipilari soveltuvat hyvin käytettäväksi kaukolämpöjohtojen perustamiseen. Sekä kokonaisen johto-osuuden perustusrakenteeksi että maan varaan perustetun kaukolämpöjohdon niille kohdille, missä ylimääräiset pintakuormitukset aiheuttavat liian suuria epätasaisia painumia, kalkkipilarit soveltuvat hyvin käytettäväksi. Suurien epätasaisten painumien, esimerkiksi tien alituksen tai meluvallin kohdalle, paalutuksen käyttö ei yleensä onnistu. Käyttämällä kalkkipilareita



Kuva 47. Pystyöjituksen mitoitusdiagrammi /25/.

voidaan, pilariväliä ja pilaripituutta muuttamalla, painumat pintakuorman kohdalla säätää samaksi kuin muualla. Tämän perusteella kalkkipilarit soveltuvat myös hyvin käytettäväksi siirtymärakenteissa. Kalkkipilarit parantavat myöskin kaivannon pohjalla liikkumista, jolloin asennusaikainen työskenneltävyys paranee. Kalkkipilareiden käyttö asettaa vaatimukset rakentamisaikataulun suhteen, sillä kalkkipilareiden on annettava sitoutua maassa 2 - 3 kuukautta ennen kuin niitä voidaan kuormittaa.

Kalkkipilarikenttä mitoitetetaan siten, että kalkkistabiloidun maaperän painumat tulevat olemaan riittävän pienet kaukolämpöjohdon asettamien vaatimusten kannalta. Kalkkipilarikenttä

ei ole täysin painumaton, vaan kalkkipilareilla pienennetään painumia ja tasataan painumaeroja. Mitoitus on riippuvainen alueen kokonaiskuormituksen kalkkipilareihin kohdistamasta jännityksestä. Mitoituksessa esiintyy kaksi tapausta. Toisessa tapauksessa pintakuormitus on suhteellisen pieni eikä kalkkipilareiden myötöjännitystä ylitetä ja toisessa tapauksessa suuri pintakuorma aiheuttaa kalkkipilareiden myötöjännityksen ylittymisen. Pintakuormituksen kalkkipilareille aiheuttama jännitys valitulla pilarivälillä lasketaan kaavalla 25 /1/.

$$\sigma_p = \frac{q}{\frac{M}{E_p} (1 - a) + a} \quad (25)$$

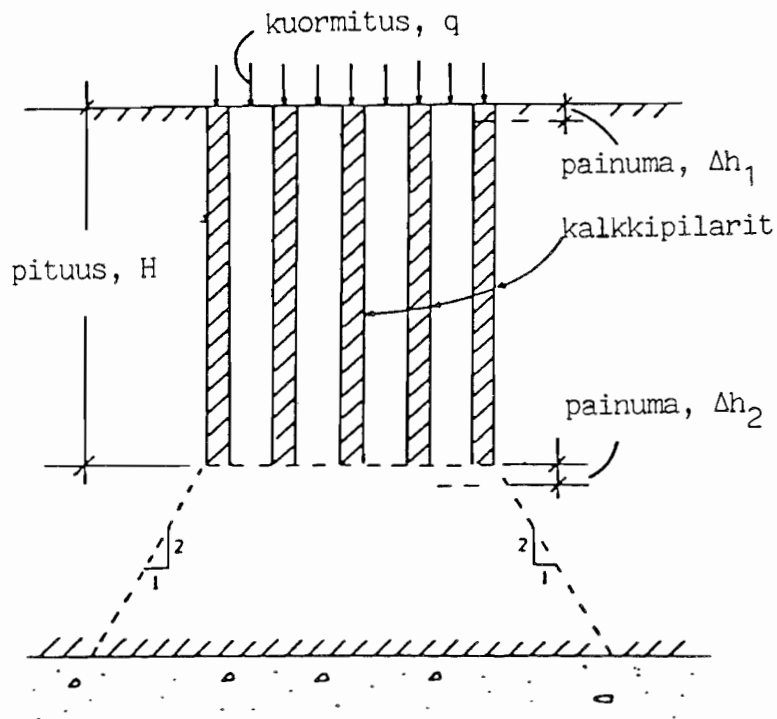
σ_p on pilarijännitys, kN/m^2
 q tasainen kuormitus, kN/m^2
 a pilareiden suhteellinen pinta-ala
 M maan kokoonpuristuvuusmoduuli, kN/m^2
 E_p pilareiden kimmomoduli, kN/m^2

Mikäli kaavan 25 mukaan laskettu pilarijännitys on pilareiden myötöjännitystä pienempi oletetaan, että kuormitus kokonaisuudessaan kohdistuu kalkkipilareihin. Vahvistetun maapohjan painumien laskentaperiaate tässä tapauksessa on esitetty kuvassa 48 /13/. Pilarikentän painuma Δh_1 lasketaan kaavalla 26 /1/.

$$\Delta h_1 = \frac{qH_1}{a E_p + (1 - a)M} \quad (26)$$

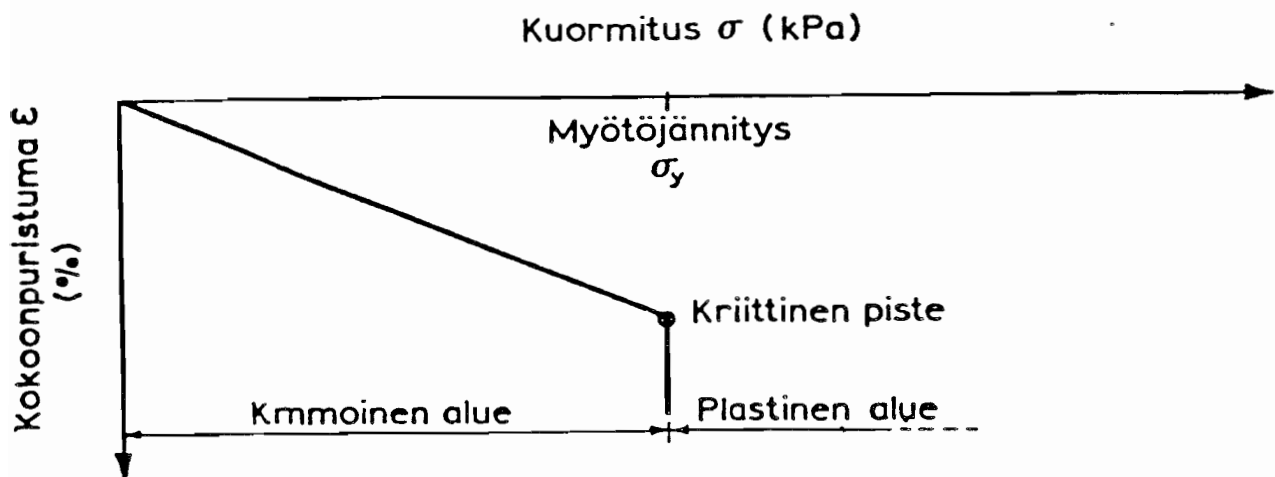
H_1 on pilareiden pituus, m
 Δh_1 pilarikentän painuma, m

Kalkkipilarikentän alapuolisten kerrosten kokoonpuristuminen lasketaan tässä tapauksessa olettamalla kokonaiskuormitus siirretyksi vaikuttamaan kalkkipilareiden alapäiden tasoon sekä suorittamalla normaali painumalaskenta alapuolisten kerrosten osalta. Jännitysjakautuma voidaan riittävällä tarkkuudella laskea 2:1-menetelmällä /1/. Kaukolämpöjohtojen perustuksien mitoituksen kannalta menetelmä antaa varmallalla puolella olevia tuloksia /13/.



Kuva 48. Kalkkipilarikentän painumien laskeminen /13/.

Kalkkipilareiden on lähteessä /1/ oletettu käyttäytyvän täysin kimmoisesti myötörajaan asti, minkä jälkeen muodonmuutokset on oletettu täysin plastisiksi. Oletettu kuormitus-kokoonpuristumakäyrä on tällöin kuvan 49 mukainen /30/.



Kuva 49. Kalkkipilareiden oletettu kuormitus-kokoonpuristumakäyrä lähteen /30/ mukaan.

Plastisessa tilassa pilarit ottavat vastaan myötökuormituksen suuruisen osan kokonaiskuormituksesta ja loppuosa jää maan kannettavaksi. Tällöin on kalkkipilareiden jännitys myötöjännityksen suuruinen. Maassa vallitseva jännitys voidaan tällöin ratkaista kaavalla 27 /1/.

$$\sigma_m = \frac{q - \sigma_y \cdot a}{1 - a} \quad (27)$$

σ_m on kalkkipilarikentän maassa vallitseva jännitys, kN/m^2
 σ_y kalkkipilareiden myötöjännitys, kN/m^2

Kalkkipilarikentän painuma Δh_1 aiheutuu pilareiden välissä olevan vahvistamattoman maan kokoonpuristumisesta jännityksen σ_m vaikutuksesta.

Kalkkipilarikentän alapuolelle jäävän kerrostuman kokoonpuristuma lasketaan olettamalla kalkkipilareiden myötökuorma siirretyksi kentän alapintaan ja laskemalla tämän kuormituksen aiheuttama painuma. Kokonaispainumaan Δh_2 vaikuttaa lisäksi jännityksen σ_m aiheuttama painuma. Jännitys σ_m kohdistuu kuitenkin kalkkipilarikentän yläpinnan tasoon, jolloin jännityksien σ_y ja σ_m aiheuttamat painumat on laskettava erikseen ja kokonaispainuma Δh_2 saadaan näiden painumien summana /1/.

Esitetty kalkkipilareilla vahvistetun maapohjan laskentamenetelmä perustuu lähteeseen 1. Laskentamenetelmä on sovellettu tietokoneelle tehtyyn painumalaskentaohjelmaan /30/.

Edellä esitetyn kalkkipilareiden mitoitusmenetelmän on todettu toimivan hyvin silloin kun pilareiden myötöjännitystä ei ylitetä. Kuvan 49 kuormitus-kokoonpuristumakäyrä ei kuitenkaan päde, vaan kalkkipilareiden muodonmuutokset kasvavat edelleen plastisella alueella /14/. Myötöjännityksen saavuttamisen jälkeen kalkkipilarit toimivat lähinnä konsolidaatiota nopeuttavina pystyjojina /14/. Luotettavan tuloksen saavuttamiseksi olisi kalkkipilarikentät mitoitettava siten, että pilareiden myötöjännitystä ei ylitetä.

3.436 Paaluperustus

Putkijohdot paalutetaan yleensä silloin kun johto on suunniteltava lähes täysin painumattomaksi. Paaluperustus voi määrätyissä tapauksissa myös osoittautua edullisimmaksi vaihtoehdoksi, vaikka johdon täydellinen painumattomuus ei ole välttämätön toimintavaatimus. Paaluperustus muodostuu teräsbetoni- tai puupaalujen varaan rakennetusta teräsbetonilaatasta. Betonipaalut ovat nykyään puupaaluja huomattavasti yleisempiä. Laatta tehdään tavallisesti paikalla valettuina, mutta myös elementtilaattoja on käytetty. Elementtien käyttö lyhentää rakennusaikaa, mutta niiden käyttö asettaa toisaalta paalutustyölle suuremmat tarkkuusvaatimukset.

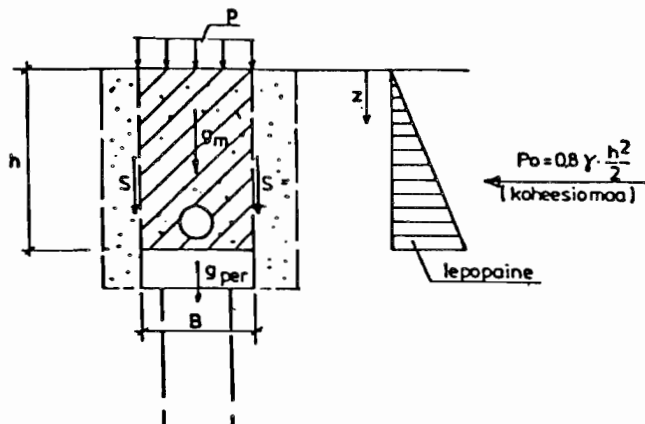
Paaluperustukseen kohdistuvat kuormitukset lasketaan käyttörajatilassa. Paalutuksen kuormitus muodostuu laatan painosta ja mahdollisesta pintakuormituksesta. Mikäli paalutuksen ympärillä oleva maa pääsee vapaasti painumaan, perustusta rasittaa lisäksi painuvan maan sivuhankausta ja paalujen negatiivinen vaippahankausta. Paaluperustukseen kohdistuvat kuormitukset ja sivuhankauksen laskennallinen määrittäminen esitetään kuvassa 50 /9/. Sivuhankausta lasketaan kaavalla 28 /18/.

$$S = P_0 \tan \phi \quad (28)$$

S on sivuhankausta, kN/m

P_0 lepopaineen resultantti, kN/m

ϕ täytteen kitkakulma, °



Kuva 50. Paaluperustukseen vaikuttavat kuormat /9/.

Negatiivinen vaippahankaus voidaan koheesiomaassa arvioida saven leikkauslujuuden ja sävessä olevan paaluosan vaippapinnan tulon suuruiseksi /18/.

Teräsbetoni- ja puupaalujen sallitun puristusjännityksen arvona käytetään kunnallisteknisessä rakentamisessa $7,5 \text{ MN/m}^2$. Lyhyiden paalujen vähennyksiä ei yleensä tehdä. Mikäli paalut sijaitsevat yli viiden metrin pituudelta koheesiomaassa, jonka leikkauslujuus on pienempi kuin $0,5 \text{ kN/m}^2$, on niiden nurjahdusvaara tarkistettava./16/

Täyttemaan tai tien rakennekerrosten painosta aiheutuva ympäröivän maan painuminen voi aiheuttaa paaluille toispuoleisen maanpaineen. Tämän johdosta paalut voivat taipua, mikäli savikerroksella ei ole riittävää stabiliteettia laatan alle syntyvään tyhjätilaan nähden. Maan stabiliteetti voidaan arvioida kaavalla 29 /9/.

$$f_1 = \frac{5,5 S_u}{h' \cdot \gamma + p} \quad (29)$$

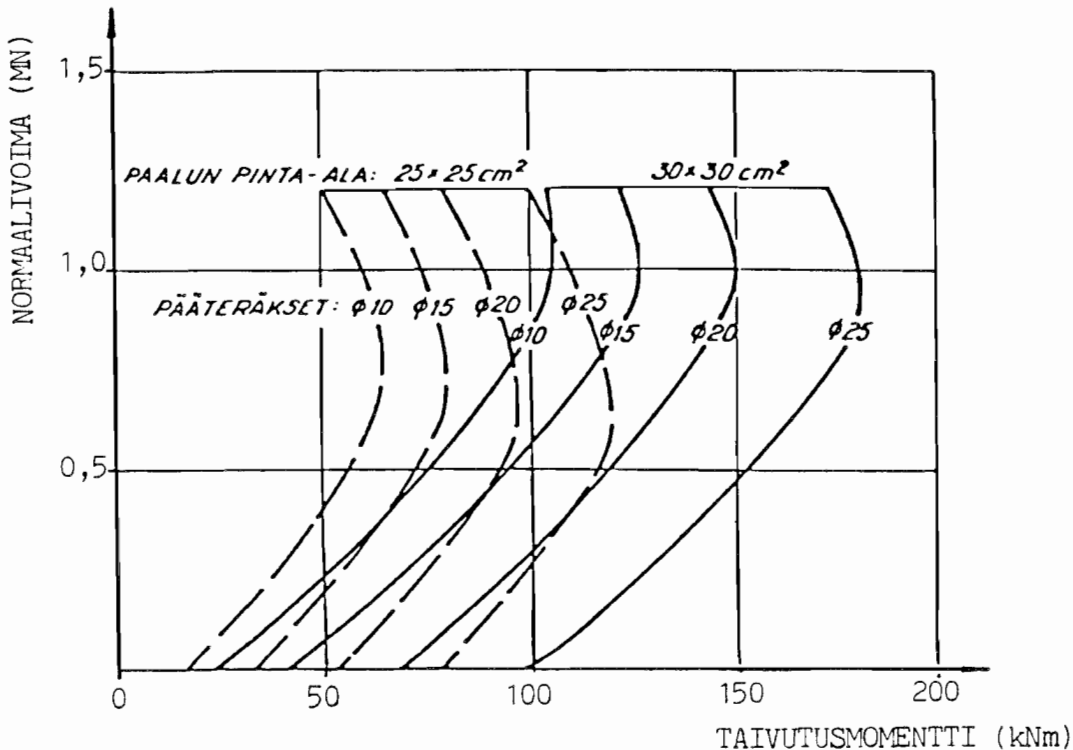
f_1 on varmuuskerroin
 S_u saven leikkauslujuus, kN/m^2
 h' täytön paksuus, m
 γ täytön tilavuuspaino, kN/m^3
 p pintakuorma, kN/m^2

Mikäli varmuuskerroin on pienempi kuin 1.6, on tutkittava kestävätkö paalut toispuoleisesta maanpaineesta aiheutuvan taivutuksen. Paaluja voidaan tarkastella yksinkertaisina palkkeina, joita kuormittavat normaalivoima ja toispuoleisesta maanpaineesta aiheutuva pintakuorma. Pintakuorma lasketaan kaavalla 30 /24/.

$$p' = \gamma d_p (\gamma h' + p - 4 S_u) \quad (30)$$

d_p on paalun halkaisija, m
 p' pintakuorma
 κ kerroin

Betonipaaluja käytettäessä on kertoimella arvo 3.0 ja puupaaluja käytettäessä 2.0. Normaalivoimaan aiheuttama taivutusmomentti voidaan määrittää teräsbetonipaaluille esimerkiksi kuvasta 51 /24/.



Kuva 51. Normaalivoiman ja taivutusmomentin välinen riippuvuussuhde teräsbetonipaaluilla /24/.

Mikäli paalujen sallittu taivutusmomentti ylitetään, on laatan sivuilla tapahtuvaa painumaa pienennettävä kevyitä täyttöjä käyttäen tai suojapaalutuksella /9/.

Betonilaatta mitoitetetaan jatkuvan vapaasti tuetun palkin tavoin. Paalujen stanssautumisen välttämiseksi on laatan oltava vähintään 350 mm paksuinen 250 x 250 mm² teräsbetonipaaluja käytettäessä ja vähintään 400 mm paksuinen 300 x 300 mm² teräsbetonipaaluja käytettäessä /18/.

3.44 Perustamistaparatkaisujen taloudellisuus

Suojaputkirakenteen korjausten määrän vuotuisen kasvun seurauksena ovat myös vuotuiset korjauskustannukset kasvaneet. Taulukossa 3 on esitetty korjauskustannusten suhde uusittuun

johtopituuteen. Kustannukset on laskettu vuoden 1982 hintatason mukaan. Vuosittain korjattua johtomäärää voidaan verrata vuosittaiseen uudisrakennusjohtomäärään. Viime vuosina on Helsingissä keskimäärin rakennettu noin 40 km johtoa vuosittain. Suojaputkirakenteen uudisrakennushinta on vuoden 1982 hintatason mukaan ollut keskimäärin 940 mk/jm. Voidaan olettaa, että vähintään edellisten vuosien kustannustaso korjausten osalta tulee säilymään.

Taulukko 3. Suojaputkielementtijohdon korjauskustannusten suhde uusittuun johtopituuteen /31/.

		1979	1980	1981	1982
Mpu-johtojen korjaustyöt	kmk/vuosi	941	1127	2264	3552
Uusittu johtoa Mpu-korj. yhteensä	m/vuosi	493	807	1484	2973
Korj.kust./Uusittu johtopituus	mk/m	1770	1360	1460	1180

Kaukolämpöjohtorakenteiden investoinnin kuoletusaikana käytetään yleensä 15 - 20 vuotta. Kuoletusajaksi on tässä työssä valittu 20 vuotta, sillä tällä hetkellä on käytössä yli 20 vuotta vanhoja toimivia kaukolämpöjohtoja. 9 % korkokantaa käyttäen saadaan annuiteettitekijäksi 0.1095. Vuosien 1981 ja 1982 korjauskustannukset vastaavat näin laskettuna 20.6 - 32.4 Mmk investointeja. Kun vuosikorjauskustannusta vastaava investointi jaetaan kyseisenä vuonna korjausten kohteena olevan verkon kokonaispituudella, saadaan investoinniksi johtopituutta kohti 90 - 125 mk/jm, mikä vastaa noin 11 % uudisrakennushinnasta. Korjaukset aiheuttavat myös haittaa kuluttajille sekä ympäristölle, mutta koska haittavaikutuksien rahallinen arvo on erittäin vaikea määrittää, on tässä työssä tarkasteltu pelkkiä korjauskustannuksia.

Vaurioselvityksestä käy toisaalta ilmi, että vauriot pääasiassa keskittyvät pehmeikköalueille. Tämän johdosta on vastaavasti laskettu pehmeikköalueilla suoritettujen korjaustöiden kustannusten vastaamia investointeja. Tarkastelun kohteeksi on valittu Puistolän kaukolämpöverkko. Alueen

verkko on pääasiassa rakennettu vuosina 1974...1981. Verkon nykyinen pituus on noin 3,2 km. Vuoden 1981 aikana on 66 m johtoa uusittu, vuonna 1982 200 m ja vuonna 1983 150 m. Kuoletusaika 20 vuotta ja 9 %:n korkokanta antavat vuosien 1982 ja 1983 suojaputkijohtojen korjauskustannuksia vuosikustannuksina käytettäessä vastaaviksi investoinneiksi 1,64...2,19 Mmk. Jaettuna kyseisen alueen verkon pituudella saadaan investoinniksi johtopituutta kohti 512...684 mk/m. Vaurioraporttien mukaan kaikki alueen vauriot ovat pehmeikköalueille tyypillisiä painumisesta aiheutuneita vaurioita, joihin pohjarakennustoimenpiteillä olisi pystynyt vaikuttamaan. Tämän perusteella voitaisiin ajatella, että investoimalla 500 mk/m pehmeikköalueiden pohjarakenteiden suunnitteluun ja rakentamiseen voitaisiin pehmeikköalueiden kaukolämpöjohtojen investointikustannuksia pienentää. Tällöin on oletettu, että korjauskustannuksien vuosittainen taso tulee säilymään muuttumattomana.

Investointikustannuksiksi muutettuja korjauskustannuksia voidaan verrata pehmeikköalueiden vaatimusten mukaisten pohjarakenteiden suunnittelun ja rakentamisen aiheuttamiin kustannuksiin. Taulukossa 4 on esitetty yleisimpien pohjarakennussuunnitteluun liittyvien töiden ja kaukolämpöjohtojen perustamistaparatkaisujen yksikkökustannukset. Kustannukset perustuvat Helsingin kaupungin geoteknisen osaston kustannusselvityksen alustaviin tuloksiin. Kustannukset ovat vuoden 1984 hintatason mukaisia ja tietenkin jossain määrin likimääräisiä. Esitetyt kustannukset ovat kokonaiskustannuksia, joihin sisältyvät kaikkien erillisten työsuoritusten kustannukset. Esimerkiksi betonilaatan yksikkökustannus sisältää laudoitus-, raudoitus- ja betonityöt ja liuskapystyöjituksen yksikkökustannus sisältää ylipenkereen rakentamisesta ja poistamisesta aiheutuvat kustannukset. Kaukolämpöjohto-osuuden suunnittelukustannukset ovat noin 30 % kohteen kenttä- ja tutkimuskustannuksista. Pehmeikköalueelle rakennettavan kaukolämpöjohdon tutkimus- ja suunnittelukustannukset vaihtelevat normaalitytapauksessa noin 10000-15000 mk/100 m johtoa. Tällöin on suoritettu kaikki geoteknisen suunnittelun vaatimat työt. Tavallisesti kustannuksia pienentävät alueella aikaisemmin suoritettut pohjatutkimukset.

Taulukko 4. Pohjarakennustöiden tutkimus- ja rakentamiskustannukset.

Painokairaus	1400 mk/työvuoro
Näytteenotto	1600 "
Mittaustyö	1400 "
Pohjavedenpinnan määrittäminen	700 mk/putki
Näytteiden laboratoriokäsittely	300 mk/näyte
Ödometrikoe	700 mk/näyte
Massanvaihto	80 mk/m ³
Betonilaatta	700 mk/m ³
Paalutus	110 mk/m
Liuskapystyöjitys	100 mk/m ²
Kalkkistabilointi	35 mk/m

Edellä esitetyn perusteella olisi pehmeikköalueiden kaukolämpöjohtojen perustaminen rakenteen vaatimusten mukaan nykyisiin korjauskustannuksiin verrattuna taloudellisesti kannattavaa, sillä ainoastaan kaukolämpöjohdon perustaminen tukipaalujen varaan aiheuttaisi nykyisten kustannusten ylittymisen.

3.5 Esimerkkiratkaisut

3.51 Vesalantie

Vesalantien paaluväli 80-120 on suunniteltava täysin painumattomaksi, mikäli johto-osuus rakennetaan suojaputkirakenteella, sillä paalun 123 risteävien johtojen kohdalle muodostuu muussa tapauksessa johto-osuuden toiminnan kannalta haitallinen painumaero. Kaukolämpöjohto on edullisinta perustaa massanvaihdolle painuvien kerrosten pienen paksuuden takia. Massanvaihdon on ulotuttava silttikerrokseen saakka. Massanvaihdon pohjan leveys on suurimmillaan 2,5 m paalulla 120. Paaluväli 80-120 rakennetaan vähintään 1 % kaltevuuteen.

Paaluväli 120-170 perustetaan suodatinkankaan varaan sora-arinalle. Risteävien johtojen kohdalla paalulla 123 rakennetaan painumia tasaava siirtymärakenne. Siirtymärakenne rakennetaan 10 m pitkäksi kiilamaiseksi rakenteeksi massanvaihdolla. Paaluväli rakennetaan vähintään 1,5 % kaltevuuteen. Johto-osuuden vähäinen tasainen painuminen ei aiheuta toiminnallisia häiriöitä. Paaluväli 80-170 on kokonaisuudessaan salaojitettava.

Rakennettaessa johto-osuus kiinnivaahdotettua putkielementtirakennetta käyttäen perustetaan johto paaluvälillä 80-170 suodatinkankaan varaan sora-arinalle. Paalun 123 risteävien johtojen kohdalle rakennetaan painumaeroja tasaavat siirtymärakenteet. Siirtymärakenteet rakennetaan suorittamalla kiilamainen massanvaihto 10 metrin matkalla paalun 123 molempiin suuntiin. Kaukolämpöjohto on salaojitettava.

3.52 Niitynperäntie

Niitynperäntien paaluvälillä 100-150 laskettu painuma kasvaa paalun 150 suuntaan. Painuma lisää johto-osuuden kaltevuutta suunniteltuun kaltevuuteen verrattuna.

Käytettäessä suojaputkirakennetta täytyy painumien lisääntyä täysin lineaarisesti. Kaukolämpöjohto perustetaan maanvaraisesti. Painumaerojen välttämiseksi rakennetaan paaluväli 115-150 betonilaatalle. Johto-osuuden tasainen painuminen ei aiheuta virtausputkien sallitun jännityksen ylittymistä. Laatta on rakennettava vähintään 0,7 m leveäksi. Teräsbetonilaatta suunnitellaan painumaeroja estäväksi ei kantavaksi rakenteeksi. Laatan vähimmäispaksuus on 100 mm ja laatta raudoitetaan keskeisesti 10 mm harjateräksiä käyttäen. Pituussuuntaisten terästen väli on 150 mm ja poikittaisten 300 mm. Laatta valetaan muovikalvon päälle pohjamaan sekoittumisen välttämiseksi. Kaukolämpöjohdon asennustyö aloitetaan aikaisintaan 3-4 vuorokautta laatan valun jälkeen. Laatan päälle rakennetaan 150 mm paksu tuki- ja tasauserros, jonka varaan kaukolämpöjohto asennetaan. Johto-osuus rakennetaan vähintään 1 % kaltevuuteen. Kaukolämpöjohto on salaojitettava. Täyttötyö tehdään Helsingin kaupungin rakennusviraston ohjeiden mukaisesti.

Kiinnivaahdotettua putkielementtirakennetta käytettäessä johto-osuus perustetaan suodatinkankaan varaan sora-arinelle. Johto-osuudella esiintyvät painumaerot eivät aiheuta teräsputken sallitun jännityksen ylittymistä. Kaukolämpöjohto on tässäkin tapauksessa salaojitettava.

Niitynperäntien kaukolämpöjohdon perustamiskustannukset vaihtelevat valitusta rakennetyypistä riippuen. Kiinnivaahdotetun rakenteen käyttö on ehdottomasti paras ratkaisu. Verrattuna johto-osuudella suoritettujen korjausten aiheuttamiin kustannuksiin olisi myös suojaputkirakenteen perustaminen kyseisen rakenteen asettamien vaatimusten mukaan betonilaatalle edullista, sillä kaukolämpöjohdon perustaminen betonilaatalle lisää rakentamiskustannuksia vain noin 100 mk/m.

3.53 Tyynelänkuja

Tyynelänkujan konsolidaatiopainuma vaihtelee 200-300 mm. Kaukolämpöjohto on perustettava joko tukipaalujen varaan tai vahvistetulle maapohjalle suuren kokonaispainuman ja

savikerroksen suuren paksuuden johdosta. Mikäli johto-osuus rakennetaan suojaputkirakenteella, on johto perustettava tukipaaluille painumattomiksi perustettujen risteävien johtojen asettamien vaatimusten johdosta. Paaluperustus lisää kuitenkin rakennuskustannuksia niin huomattavasti, että johto-osuus olisi ehdottomasti rakennettava kiinnivaahdotettua putkielementtirakennetta käyttäen.

Kiinnivaahdotettu rakenne perustetaan kalkkipilareilla vahvistetulle maapohjalle. Taulukossa 5 esitetään vahvistetun maapohjan kokonaispainuma pilarivälin eri arvoilla.

Taulukko 5. Tyynelänkujan kalkkipilareilla vahvistetun savikerrostuman painuma pilarivälin vaihdellessa.

Pilariväli (m)	Painuma (mm)
1,2	51
1,3	56
1,5	67
2,0	87

Tyynelänkujalla esiintyvä kuormitus ei aiheuta kalkkipilareiden myötöjännityksen ylittymistä. Kalkkipilarit ulottuvat silttikerrokseen saakka. Kalkkipilarit rakennetaan 1,3 m välein. Risteävien rakenteiden molemmille puolille on rakennettava painumaeroja tasaavat betonilaatat. Laatat rakennetaan 6 m pitkiksi ja 0,1 m paksuiksi. Laattojen vähimmäisleveys on 0,8 m ja ne raudoitetaan keskeisesti 10 mm harjateräksillä. Kaukolämpöjohto perustetaan vahvistetulle savikerrokselle suodatinkankaan varaan sora-arinalle. Johto-osuus salaojitetaan. Täyttötöyt suoritetaan Helsingin kaupungin rakennusviraston ohjeiden mukaan. Ennen kaukolämpöjohdon asentamista on kalkkipilareiden annettava kovettua vähintään 2 kuukautta.

Kaukolämpöjohdon perustaminen vahvistetulle maapohjalle lisää rakentamiskustannuksia vajaat 500 mk johtometriä kohti. Kustannuksiin sisältyvät myös kohteen tutkimus- ja suunnittelukustannukset. Kohteen korjauskustannuksiin verrattuna olisi johto-osuuden putkirakenteen vaatimusten mukainen perustaminen myös taloudellisesti kannattavaa.

3.6 Näkökohtia kaukolämpöjohtojen suunnittelusta sekä töiden valvonnan tarpeesta

Suunniteltaessa kaukolämpöjohtoja pehmeikköalueelle olisi poikkeuksetta rakenteeksi valittava kiinnivaahdotettu elementtityyppi. Tämänhetkisen tiedon mukaan on kyseisen rakenteen painumien sietokyky suojaputkirakennetta parempi, mutta tieto pohjautuu suhteellisen lyhytaikaisiin käyttökokemuksiin.

Käytettäessä suojaputkirakennetta olisi kaltevuutta lisättävä. Kaltevuuden lisääminen johtaisi kaivovälien lyhenemiseen. Kyseisen rakenteen on kuitenkin todettu vaurioituvan erittäinkin pienien painumaerojen johdosta, jolloin kaivovälien lyhentämisestä aiheutuvat rakennuskustannukset ovat täysin merkitykselliset mahdollisesti syntyviin korjauskustannuksiin verrattuna.

Kaukolämpöjohdot olisi melkein poikkeuksetta salaojitettava. Vauriothan ovat suuremmaksi osaksi ulkopuolisen veden aiheuttamia korroosioaurioita, joten vähentämällä kaukolämpöjohtoihin vaikuttavaa vedenpainetta pystyttäisiin vaurioiden syntymistä osittain ehkäisemään.

Tämän selvityksen perusteella olisi kaukolämpöjohtojen suunnitteleminen pohjasuhteiden vaatimusten mukaan taloudellisesti kannattavaa nykyiseen rakentamiskäytäntöön verrattuna. Johtorakenteiden kestävyys selvittämiseksi olisi kuitenkin suoritettava tutkimuksia. Johtorakenteiden sallittujen taipumien määrittäminen olisi ensiarvoisen tärkeätä geoteknisen suunnittelun kannalta. Laboratorio-olosuhteissa suoritettavien kuormituskokeiden ja kenttäolosuhteissa suoritettavien koeasennuksien avulla voidaan taipumat määrittää. Johtorakenteiden erilaisten jatkoskohtien vesitiiviyyttä olisi myös tutkittava. Tutkimuksissa on ehdottomasti selvitettävä materiaalien pitkäaikaiskäyttäytyminen. Kiinnivaahdotetun putkielementin kitka-kiinnityksen toimivuus olisi myös selvitettävä erilaisia

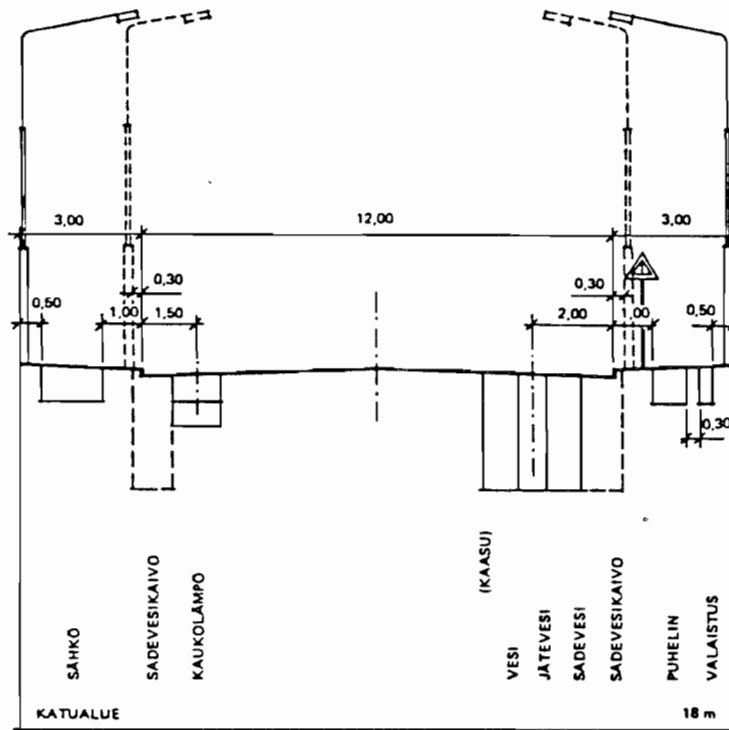
täyttömateriaaleja käyttäen eri asennusolosuhteissa. Voidaan ajatella, että ellei kitkakiinnitys toimi suunnitellulla tavalla, niin joko teräsputken ja vaahdotuksen välinen tartunta voi pettää tai johtorakenne voi liikkua maan sisällä.

Pohjarakennussuunnittelun liittäminen kaukolämpöjohtojen suunnitteluun aiheuttaa sekä suunnittelu- että varsinkin pehmeikköalueilla rakennusajan pitenemisen. Tämän johdosta olisi kaukolämpöverkon vuosittainen laajentaminen suunniteltava hyvissä ajoin ennen rakentamisen alkua. Suunnittelu- ja rakentamisajan piteneminen olisi myös otettava huomioon kuluttajien kanssa lämmön toimitusajankohdasta sovittaessa.

Helsingin kaupungin kunnallistekniikan rakentamisesta aiheutuvien kustannusten pienentämiseksi olisi suunnittelu- ja rakentamiskäytäntöä pyrittävä yhtenäistämään. Uudisrakennusalueilla olisi kaikkien johtorakenteiden suunnittelu ja rakentaminen suoritettava samanaikaisesti. Tämän periaatteen mukaisesti katu muodostaisi toimivan kokonaisuuden, jossa eri johtorakenteiden vaatimukset otetaan huomioon. Johtojen sijoituksen sovellutusesimerkki on esitetty kuvassa 52 /23/. Kadun ja sen kaikkien johtojen pohja- ja maarakennustöiden suunnittelusta vastaisi yksi suunnittelija ja pohjarakennustyöt suorittaisi yksi pohjarakennusurakoitsija. Tällöin eri laitokset vastaisivat pelkästään omien johtorakenteidensa asennustöistä. Eri johtojen ongelmalliset risteävät kohdat pystyttäisiin näin suunnittelemaan optimaalisesti ja geotekninen suunnittelu voitaisiin suorittaa toimivan kokonaisuuden vaatimuksia silmälläpitäen. Kunnallistekniikan rakentamisen yhtenäistäminen vaatisi luonnollisesti eri laitosten välistä tiivistä yhteistyötä.

Kunnallistekniikan rakentamisessa olisi töiden suorituksen valvontaa tehostettava huomattavasti. Nykyisen käytännön mukaan jokainen laitos kiinnittää yleensä huomiota ainoastaan omiin töihinsä. Muille maanalaisille rakenteille aiheutuvia haittoja ei yleensä oteta huomioon. Tämän johdosta olisi pyrittävä valvonnan yhtenäistämiseen. Tässäkin tapauksessa olisi ajateltava katurakenteen muodostaman kokonaisuuden toimivuutta.

Myös eri johtojen rakennustöiden valvontaa olisi tehostettava, jotta suunnittelun vaatimukset täyttyisivät.



Kuva 52. Johtojen sijoituksen sovellutusesimerkki /23/.

KIRJALLISUUSLUETTELO LUKUUN 3

1. Broms, B., Boman, P., Stabilization of soil with lime columns, Design handbook, Stockholm 1977. Department of soil and rock mechanics. Royal institute of technology.
2. Das Ergenschaftbild von Hartschaumstoffen auf Basis von Polyisocyanat. Untersuchung Bayer AG 1977.
3. Erityisohjeet erilaisten johtojen ja niihin liittyvien laitteiden sijoittamisesta katualueelle. Helsinki 1968. Kaupunkiliiton toimiston julkaisu 36.
4. Hakansson, K., Handbuch der Fernwärme Praxis. Vulkan-Verlag, Essen 1982.
5. Helenelund, K.V., Maarakennusmekaniikka. Otaniemi 1974. Teknillisen korkeakoulun ylioppilaskunta. Moniste 137.
6. Huovilainen, R.T., Koskelainen, L., Kaukolämmitys. Lappeenranta 1982.
7. Janbu, N., Grunnlag i geoteknik, Tapirförlag, Trondheim 1970.
8. Janbu, N., Computation of stress and time dependent, settlements of clay. Sarajevo 1969. International Symposium on Civil Engineering, Structures resting on soil and rocks. Vol II.
9. Järvelä, R., Putkijohtojen rakentamiseen liittyvä geotekniikka. Helsinki 1979. Helsingin kaupungin rakennusviraston geotekniikan kurssi.
10. Kaukolämpöelementin kuormituskoe. Helsinki 1982. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Geotekniikan laboratorio. Tutkimusraportti.

11. Kaukolämpöjohtojen rakennusteknisiä töitä koskevat yleiset määräykset. Helsingin kaupungin energialaitos. Kaukolämpöosasto 1984.
12. Kjellman, W., Accelerating consolidation of fine grained soils by means of card-board wicks. Rotterdam 1948. Proceedings of the II International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Vol. 2.
13. Lahtinen, P.O., Vepsäläinen, P.E., Dimensioning deep-stabilization using the finite element method. Helsinki 1983. Proceedings of the 8th European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Volume 2.
14. Lahtinen, P.O., Soil Stabilization, Topic 3, Long time performance. Helsinki 1983. Proceedings of the 8th European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Volume II.
15. Lohjan kaukolämpöjärjestelmät, tuote ja suunnittelu-opas.
16. Lyöntipaalutusohjeet. Otaniemi 1979. Suomen Geoteknillinen yhdistys r.y.
17. Maahan ja veteen asennettavat muoviputket. Helsinki 1978. Suomen Rakennusinsinöörien liitto, RIL77C.
18. Mäki, S., Putkiperustusten suunnittelu ja toteutus. Helsinki 1982. Insko 188-82.
19. Naumann, G-H., Fachkunde für Wärmenetz-Monteur, Kapitel 2, Leipzig 1979, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie.
20. Ohjeita kaivantotöiden suorittamisesta yleisellä alueella Helsingissä. Helsingin kaupungin rakennusvirasto, katuosasto 1983.

21. Partanen, J., Kaukolämpöjohtojen korjaustyöt. Helsinki 1983, Insko 36-83.
22. Pennala, E., Lujuusopin perusteet. Otaniemi 1972, Teknillisen korkeakoulun ylioppilaskunta. Moniste 293.
23. Polyeteenisuojakuorella varustettujen polyuretaani-eristeisten putki- ja johtoelementtien teknilliset vaatimukset. Helsinki 1983. Lämpölaitosyhdistys r.y. Suositus 5/1983.
24. Putkijohtojen pohjarakenteiden mitoittaminen. Helsinki 1977. Helsingin kaupungin geoteknillinen toimisto. Tiedote 7.
25. Rathmayer, H., Kirjallisuusselvitys heikosti kantavan maapohjan parantamiseen soveltuvista menetelmistä. Otaniemi 1976. Valtion tekninen tutkimuskeskus. Geotekniikan laboratorio. Tiedonanto 22.
26. Rörbok. Stockholm 1975. Gustavsbergs fabriker/Orrje & Co. Scandiaconsult.
27. Tammirinne, M., Rakennusten perustaminen maan varaan. Painumien laskeminen. Otaniemi 1975. Valtion tekninen tutkimuskeskus. Geotekniikan laboratorio. Tiedonanto 21.
28. Taylor, D.W., Fundamentals of Soil Mechanics. New York 1948.
29. Tekniikan käsikirja 1. Jyväskylä 1968.
30. Vähäaho, I., Pehmeikölle perustettavan pientalon painumien laskeminen. Helsinki 1979. Helsingin kaupungin geoteknillinen toimisto. Tiedote 14.

31. Öhman, T., Kaukolämpöverkkojen kunnossapidon kustannukset ja kunnossapitoon käytetyt työtunnit vuosina 1978-1982. Helsinki 1983. Helsingin kaupungin energialaitos. Julkaisematon selvitys.
32. Öhman, T., Kaukolämpöverkon kunnossapitokustannusten rajoittaminen ja kunnossapitotoiminnan kehittäminen. Helsinki 1983. Helsingin kaupungin energialaitos. Julkaisematon selvitys.
33. Öhman, T., Kaukolämpöverkoston vauriot. Helsinki 1982. Helsingin kaupungin energialaitos. Julkaisematon muistio.

MERKINNÄT LUKUUN 3

A	pinta-ala, m^2
a	kalkkipilareiden suhteellinen pinta-ala
B	paaluperustuksen leveys, m
b	etäisyys massanvaihdon alareunasta, m
c_v	konsolidaatiokerroin, $m^2/vuosi$
D	kaukolämpöjohtoelementin ulkohalkaisija, m
d	putken halkaisija, m
d_p	paalun halkaisija, m
E	teräksen kimmokerroin, kN/m^2
E_p	kalkkipilareiden kimmokerroin, kN/m^2
e	putken laen ja massanvaihdon reunan välinen minimietäisyys, m
F	kaukolämpöputken aksiaalivoima, kN
F_n	nurjahdusvoima, kN
f	kitkavoima pituusyksikköä kohti, kN/m
f_1	varmuuskerroin
g_m	täytteen paino, kN/m^3
g_{per}	perustuksen paino, kN/m^3
H	konsolidoituvan maakerroksen paksuus, m
H_1	kalkkipilareiden pituus, m
h	peitesyvyys, m
h^I	täytön paksuus, m
L	johdon pituus, m
L_k	kitkapituus, m
M	maan kokoonpuristuvuusmoduuli, kN/m^2
M_o	taivutusmomentti, kNm
m_1 m_2	moduuliluku
n	kerroin
P_o	lepopaineen resultantti, kN/m
p	tasainen pintakuorma, kN/m^2
p^I	tasainen kuorma putken laen tasolla, kN/m^2
q	kalkkipilareiden kokonaiskuormitus, kN/m^2
R	kaarresäde, m
S	sivuhankaus, kN/m

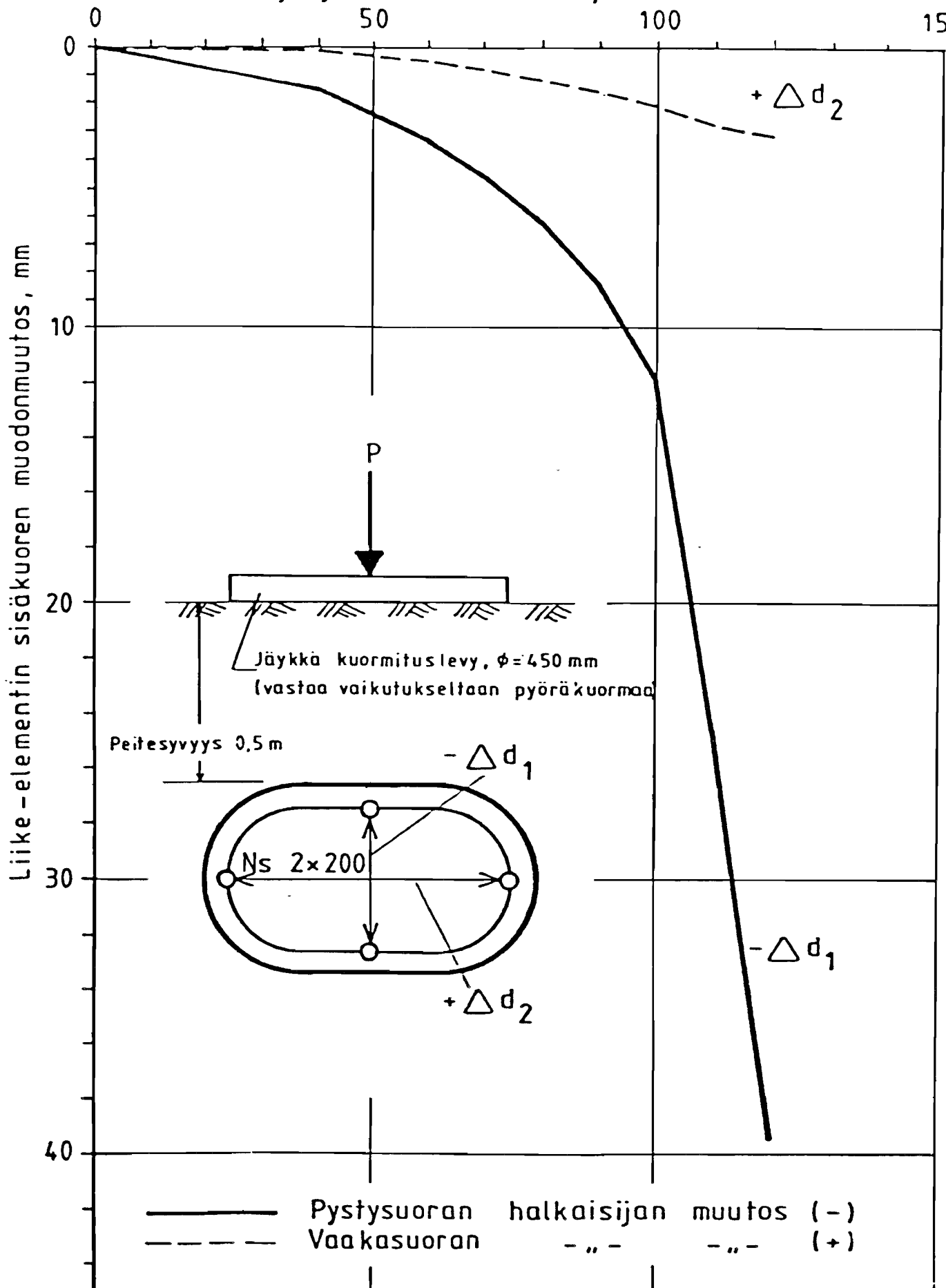
S_k	S_{kt}	konsolidaatiopainuma, m
S_{k1}	S_{k2}	konsolidaatiopainuma, m
S_u		leikkauslujuus, kN/m^2
T		lämpötila, $^{\circ}\text{C}$
T_v		aikatekijä
t		aika, vuosi
U , U_t		konsolidaatioaste, %
U_{t1}	U_{t2}	konsolidaatioaste, %
W		taivutusvastus, m^3
α		teräksen lämpölaajenemiskerroin, $1/^{\circ}\text{C}$
β		jännityseksponentti
γ		tilavuuspaino, kN/m^3
δ		siirtymä, m
Δh		kokoonpuristuma, m
Δh_1		kalkkipilarikentän painuma, m
Δh_2		kalkkipilareiden alapuolisten maakerrosten painuma, m
ΔL		kaukolämpöputken vapaan pään siirtymä, m
ΔL_1		teräspanputken pituudenmuutos, m
ΔL_2		teräspanputken pituudenmuutoksen estyminen, m
ΔM		momentinlisäys, kNm
$\Delta \bar{M}$		suurin momentinlisäys, kNm
ΔT		lämpötilan muutos, $^{\circ}\text{C}$
$\Delta \sigma_z$		pystysuora lisäjännitys, kN/m^2
ϵ	ϵ_1 ϵ_2	suhteellinen kokoonpuristuma, %
ϵ		sallittu venymä, %
μ		kitkakerroin
θ , κ		kertoimia
σ_c		konsolidaatiojännitys, kN/m^2
σ_m		kalkkipilarikentän maassa vallitseva jännitys, kN/m^2
σ_p		kalkkipilarien jännitys, kN/m^2
σ_{sall}		sallittu taivutusjännitys, kN/m^2
σ_t		taivutusjännitys, kN/m^2
σ_v		vertailujännitys, 100 kN/m^2
σ_y		kalkkipilarien myötöjännitys, kN/m^2
σ_o		maassa vallitseva jännitys, kN/m^2
$\sigma_{1,2}$		reunajännitys, kN/m^2
ϕ		maan sisäinen kitkakulma, $^{\circ}$
ρ		irtotiheys, kg/m^3

Kaukolämmön liittäminen vanhaan kiinteistöön

Sopimuksen teko	HKE-kiinteistö
Alueen työohjelma	LVI - suunnittelija
Esitiedot talosta	LVI - suunnittelija
Johdon periaatteellinen sijainti	LVI - suunnittelija
Korkeuksien mittaus	HKE/mittaryhmä
LVI - suunnitelma	LVI - suunnittelija
Työsuunnitelma	LVI - suunnittelija
Kaivannon kaivu	Kaivu-urakoitsija
Kaivannon katselmus	Rak.tekn.valvoja, LVI - suunnittelija
Putken asennus	Putki-urakoitsija
Kaivannon täyttö	Kaivu-urakoitsija
Loppukatselmus	LVI - suunnittelija, rak.tekn.valvoj

Kaukolämmön liittäminen uudisrakennukseen

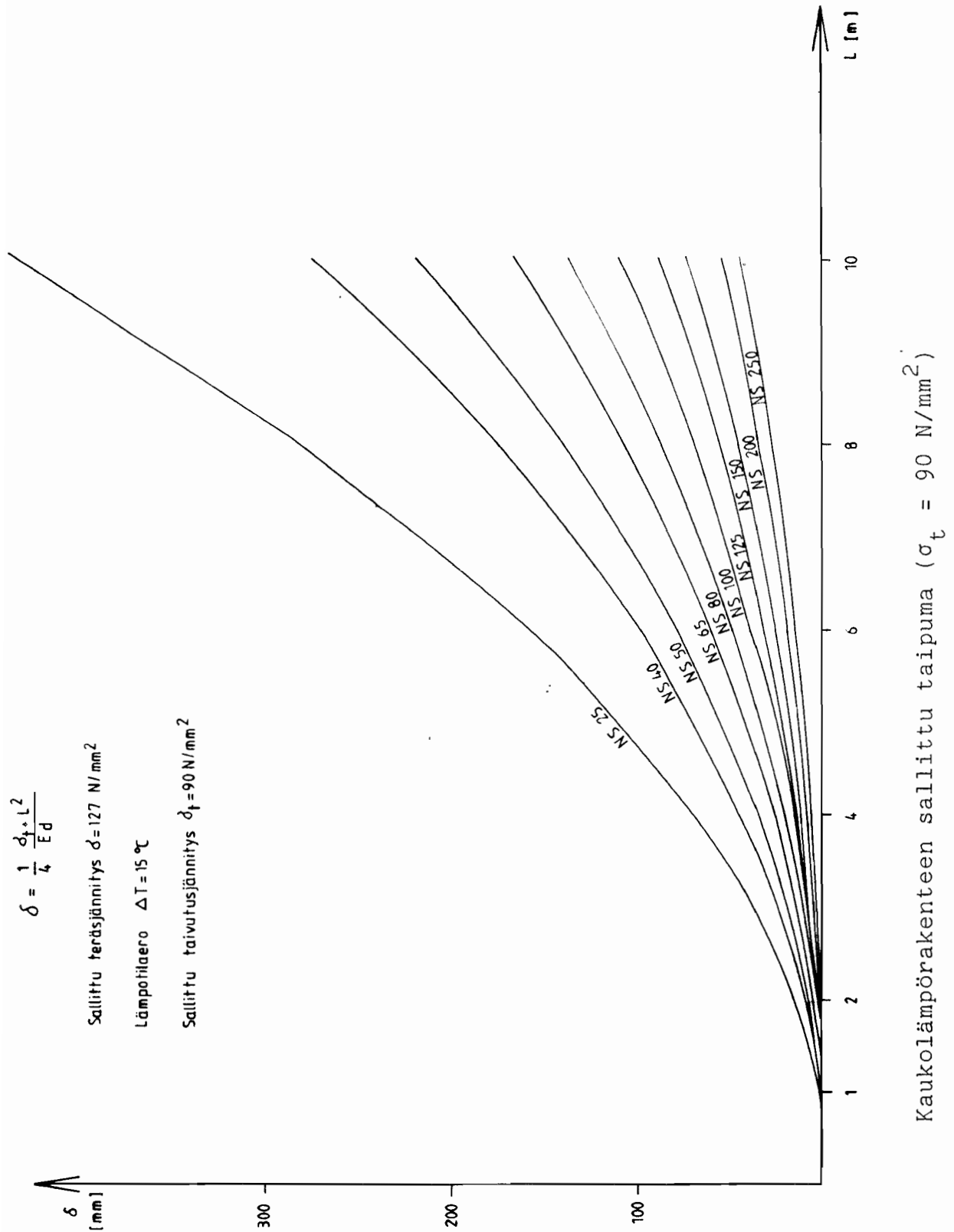
Sopimuksen teko	HKE - Kiinteistö
Alueen työohjelma	LVI - suunnittelija
Esitiedot talosta	LVI - suunnittelija
Johdon periaatteellinen sijainti	LVI - suunnittelija
Korkeuksien mittaus	HKE/mittaryhmä
Esikatselmus	LVI - suunnittelija
Kaivannon kaivu	Kaivu-urakoitsija(kiinteistö)
Putken asennus	Putki-urakoitsija
Kaivannon täyttö	Kaivu-urakoitsija(kiinteistö)
Loppukatselmus	LVI-suunnittelija

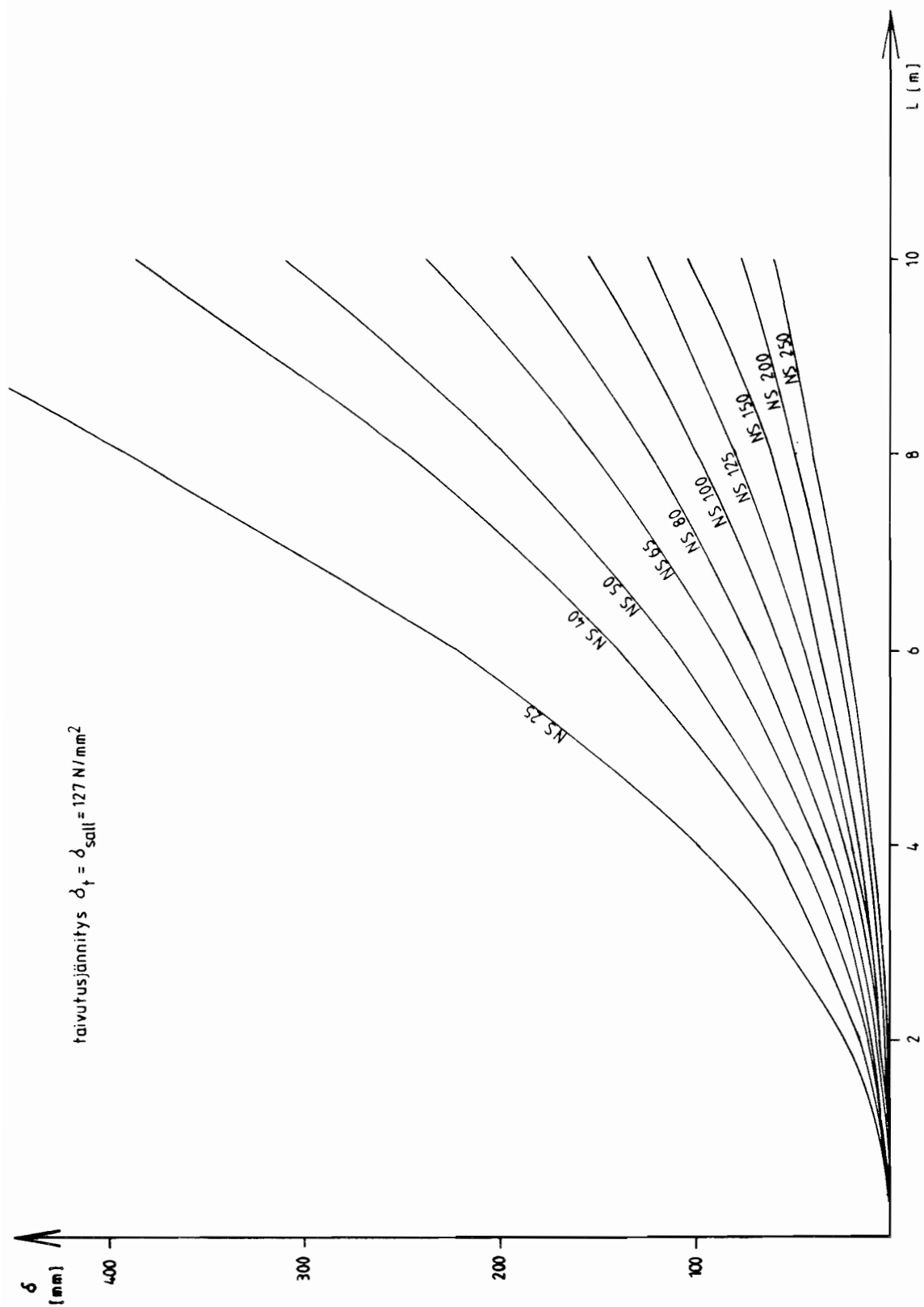


Kaukolämpöelementin kuormituskoe

Muodonmuutoksen kehitys

.





Kaukolämpörakenteen sallittu taipuma ($\sigma_t = 127 \text{ N/mm}^2$)

4. JOHDOT YHTEISKAIVANNOSSA

Tämän selvityksen kohdassa 2.6 on käsitelty tonttivesijohdon ja tonttviemärin rakentamista samalle perustusrakenteelle. Perustusrakenteet on tällöin miltei kaikissa tapauksissa mitoitettava viemäreiden vaatimusten mukaan, sillä vesijohtojen sallima maan painuma on tonttijohtojen rakentamiseen käytettävien yleisimpien materiaalien, polyeteenimuovin ja kuparin kohdalla yleensä suurempi kuin tonttviemäreiden toimivuusvaatimusten perusteella määritetty sallittava painuma.

Nykyään käytetään kiinteistöjen lämmitysmuotona erittäin yleisesti kaukolämpöä. Kaukolämpöjohto suunnitellaan tällöin usein tuotavaksi kiinteistöön samaa reittiä kuin muut kunnallistekniset putkijohdot. Tonttijohtojen perustusrakenteita suunniteltaessa on tällaisissa tapauksissa myös otettava huomioon kaukolämpöjohdon asettamat vaatimukset. Edellä esitetty pätee tietenkin ainoastaan uudisrakennuksille, sillä vanhojen kiinteistöjen, joiden lämmitysmuoto vaihtuu kaukolämmöksi, kohdalla on kaukolämpöjohdon perustusrakenteet suunniteltava ainoastaan kyseisen johdon vaatimusten kannalta.

Tämän selvityksen luvussa 3 on esitetty, että pehmeikköalueilla aina tulisi käyttää kiinnivaahdotettua kaukolämpöjohtorakennetta. Kyseisen rakenteen sallima maan painuma määräytyy teräksiselle virtausputkelle sallittavan taivutusjännityksen perusteella. Tämän selvityksen perusteella voidaan kiinnivaahdotetun kaukolämpöjohtorakenteen sallima maan painuma määrittää luvun 3 liitteestä 4. Liitteestä saatavat painuman arvot ovat huomattavan pienet verrattuna tonttivesijohdosten ja tonttviemäreiden vastaaviin arvoihin. Täten on tonttijohtojen perustusrakenteet mitoitettava kaukolämpöjohdon vaatimusten mukaan siinä tapauksessa, että kaikki kunnallistekniset putkijohdot suunnitellaan rakennettaviksi samalle perustusrakenteelle. Perustusrakenteiden mitoitusta sekä eri olosuhteissa kysymykseen tulevia vaihtoehtoisia perustamistaparatkaisuja on tarkemmin käsitelty luvuissa 2 ja 3.

5. JOHTOPÄÄTÖKSET JA KEHITTÄMISTARPEET

Jäli-selvityksessä on keskitytty liitosjohtoihin liittyvien ongelmien selvittämiseen. Kaukolämpöjohtojen kohdalla on kuitenkin käsitelty kaikkia muovisuojakuoreen rakennettuja kaukolämpöjohtoja, jolloin tarkastelun ulkopuolelle jäävät ainoastaan betonielementtikanaviin rakennetut pääjohdot.

Jo projektin alkuvaiheessa todettiin, että riittävällä tarkkuudella ei pystytty selvittämään sellaisia keskeisiä kysymyksiä kuten viemärin sallima maan painuma huuhtoutumisen kannalta, muovi- ja kupariputken sallima maan painuma sekä kaukolämpöjohtojen eriste-elementtien jatkoskohtien kestävyys, jotka ovat lähtökohtina perustamis- ja asennusohjeita laadittaessa. Tällöin projektin tavoitteeksi muodostui tarkastella putkien putkiperustalle asettamia vaatimuksia siinä laajuudessa, että tämän selvityksen aiheuttama keskustelu johtaisi tällä sektorilla tapahtuvan suunnittelun ja rakentamiskäytännön parantumiseen sekä jatkotutkimuksiin. Tämän johdosta ei tässä selvityksessä päädytty yksityiskohdaisiin asennusohjeisiin. Selvitystyötä tulisi jatkaa lisätutkimuksin. Suoritettujen lisätutkimusten jälkeen voisi jokin järjestö, kuten Kaupunkiliitto, Suomen Kunnallisteknillinen Yhdistys tai Lämpölaitosyhdistys r.y. nimetä työryhmän laatimaan rakentamis- ja asennusohjeita. Siihen mennessä voidaan tämän selvityksen tuloksia soveltuvien osin käyttää hyväksi.

Edellä mainitun perusteella tämä selvitys muodostaa esitutkimuksen, jossa alustavasti on selvitetty kunnallisteknisten putkijohtojen asennusohjeiden laatimiseksi tarvittavia eri putkijohtojen geoteknisiä toleransseja ja lisäksi määritetty asennusohjeiden laatimiseksi tarvittavat tutkimukset. Tutkimus- ja kehitystarpeita on seuraavilla sektoreilla:

- Putkijohtojen ja liitosten sekä liitosrakenteiden kehitys ja tutkimustarve

- Putkijohtojen suunnitteluun liittyvät kehitystarpeet
- Putkien rakentamiseen ja valvontaan liittyvät kehitystarpeet
- Putkien saneeraukseen liittyvät kehitystarpeet.

Edellä mainituilla sektoreilla suoritettavien tutkimusten päämääränä tulisi olla suunnittelu-, rakennus- ja valvontaohjeiden laatiminen tonttivesijohdoille, tonttiviliemäreille sekä kaikille kaukolämpöjohdoille.

Asennusohjeiden laatimiseksi olisi vesi- ja viemärijohtojen kohdalla seuraavia asioita tutkittava tarkemmin.

Tonttivesijointojen osalta olisi selvitettävä yleisimpien käytössä olevien tonttijohtomateriaalien, muovin ja kuparin, geotekniset toleranssit eli sallittavan painuman suuruus.

Tonttiviliemäreiden osalta tulisi selvittää:

- Muoviputkien geotekniset toleranssit rakenteellisen kestävyyskannalta.
- Muovi- ja betoniviliemäreiden sallittu painuma toimivuuden kannalta.
- Viemäriputkien muhviiliitoksille sallittava kulmanmuutos vuotamisen ja rikkoutumisen kannalta.

Sekä tonttivesijointojen että tonttiviliemäreiden osalta tulisi myös selvittää miten nykyistä suunnittelu- ja rakentamiskäytäntöä voitaisiin kehittää ja valvontaa tehostaa, jotta rakentaminen johtaisi nykyistä tilannetta parempaan ja yhtenäisempään tulokseen.

Kaukolämpöjohtojen osalta on tämä selvitys osoittanut, että kyseisten johtorakenteiden kestävyys geotekniikan kannalta on tutkimatta. Kaukolämpöjohtojen suunnittelua ja rakentamista

käsittelyvien ohjeiden laatimiseksi olisi seuraavia asioita tutkittava:

- kaukolämpörakenteille sallittavat painumaerot,
- kaukolämpöjohtojen kuivatustarve,
- kaukolämpöjohtojen elementtien jatkoskohtien kestävyys eri olosuhteissa etenkin rakenteen vesitiiviyttä silmällä pitäen,
- suojaputkirakenteisen kaukolämpöjohtorakenteen vaadittava minimikaltevuus toimivuuden kannalta asennustoleranssit huomioon ottaen,
- kiinnivaahdotetun kaukolämpörakenteen ympärystäytön ja putkirakenteen välisen kitkan vaikutus rakenteen kestävyyteen ja toimivuuteen.

Lisäksi olisi selvitettävä miten nykyistä suunnittelu- ja rakentamiskäytäntöä sekä töiden valvontaa voitaisiin kehittää, jotta myös pohjarakennuksen asettamat vaatimukset tulisivat huomioon otetuiksi.

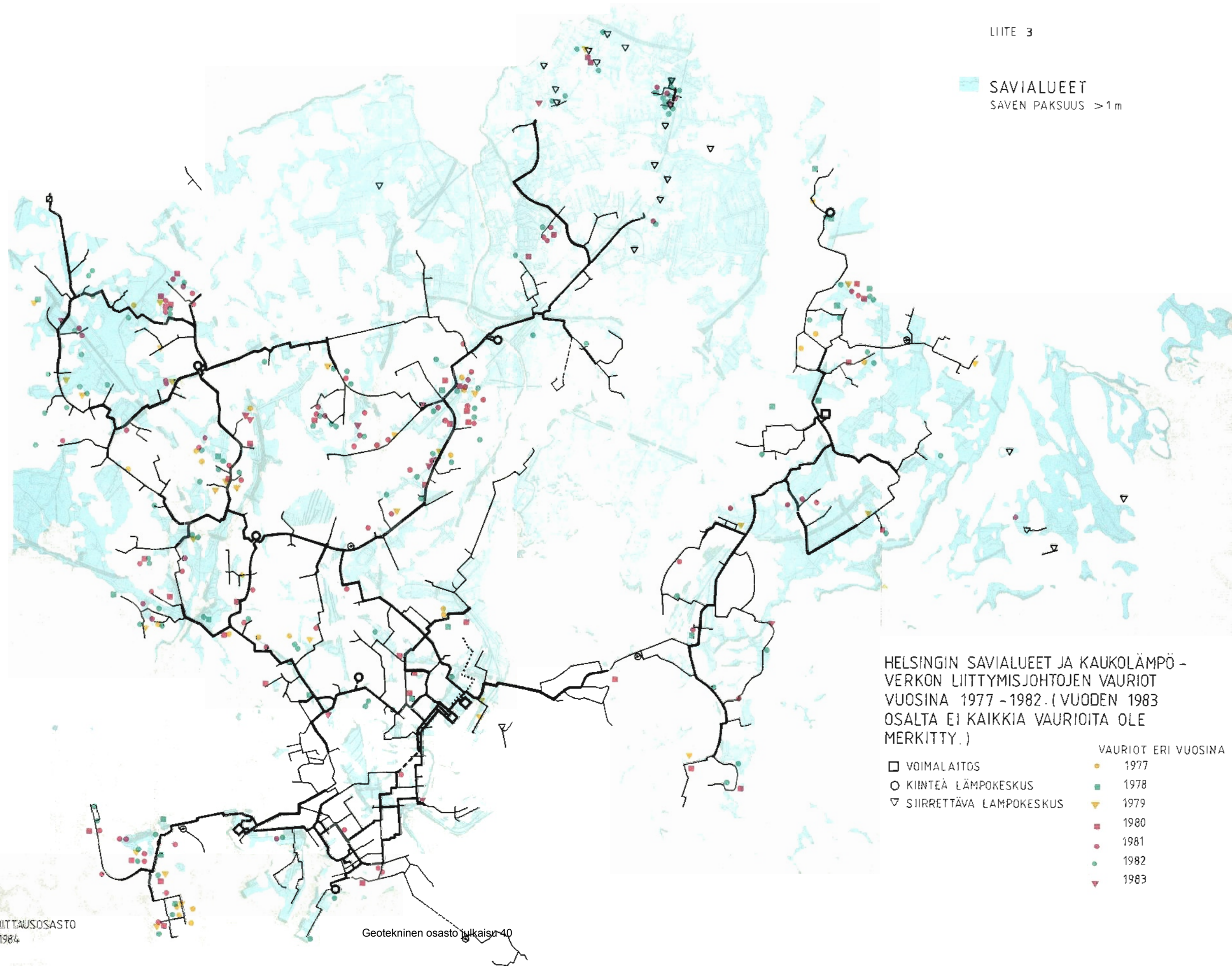
GEOTEKNISEN OSASTON TIEDOTTEET

1. Anttikoski, U., Geoteknilliset kartat ja niiden käyttäminen. 1973. 30,-
2. Anttikoski, U., Kaupunkisuunnittelun geoteknillinen tutkimus ja suunnittelu. 1973. 50,-
3. Anttikoski, U., Kunnallistekniikan geoteknillinen tutkimus ja suunnittelu. 1974. 50,-
4. Mäkinen, R., Täyttömäkien rakentaminen kaupunkialueella. 1974. 50,-
5. Saarela, M., Melusuojarakenteiden perustamistapaselvitys. 1974. 30,-
6. Saarela, M., Kitkapaalujen kantavuus. 1976. 30,-
7. Petäjä, J., Putkijohtojen pohjarakenteiden mitoittaminen. 1977. 50,-
8. Raudasmaa, P., Metrotunnelien injektointi. 1977. 120,-
9. Anttikoski, U., Kalliotunnelien käyttö varastointiin. 1977. 50,-
10. Tikkanen, H., Rakentamisen vaikutus pohjaveteen Helsingin keskustassa. 1978. 70,-
11. Arkima, O., Kluuvien ruuhkeen jäädytys. 1978. 120,-
12. Raudasmaa, P., Puiiset perustusrakenteet. 1979. 50,-
13. Havukainen, J., Voimalaitostuhkan ja polttolaitoskuonan hyötykäyttö rakentamisessa. 1979. 50,-
14. Vähäaho, I., Pehmeikölle perustettavan pientalon painumien laskeminen. 1979. 50,-
15. Raudasmaa, P., Pohjavesitarkkailu -80. 1980. 50,-
16. Anttikoski, U., Katsaus tunnelien rakentamistekniikan nykytilaan Atlantan kansainvälisen tunneli-konferenssin kokemusten perusteella. 1979.
17. Roinisto, J., Matkakertomus tutustumismatkalta Tukholman yhteiskäyttötunneleihin. 1981. 50,-
18. Havukainen, J., Kivihiilivoimalan tuhkan käyttö maarakenteissa. 1981. 50,-
19. Roinisto, J., Yhteiskäyttötunnelien teknis-taloudellinen selvitys. 1981. 50,-
20. Vuola, P., Talonrakennuksen maarakenteet ja niiden laadunvalvonta. 1981. 50,-
21. Havukainen, J., Korhonen, O., Tonttialueiden maarakenteet. 1981. 30,-
22. Havukainen, J., Esimerkkejä jätteiden hyötykäytöstä raaka-aineena ja energianlähteenä. 1981.
23. Havukainen, J., Kivihiilivoimalan tuhkien hyötykäyttöselvitys kunnallistekniikassa. 1982. 50,-
24. Latvala, A., Rakennusjätteen alustava hyötykäyttöselvitys. 1982. 30,-
25. Havukainen, J., Hämäläinen, A., Sulamäki, A., Alustava selvitys polttolaitoskuonan hyötykäyttö-mahdollisuuksista maarakentamisessa. 1982. 30,-
26. Halkola, H., Kunnallistekniikan geotekniikkaan liittyvät koerakentamiskohteet Torpparinmäessä. 1982.
27. Paavola, P., Kunnallistekniikan tunnelien louhintakustannus selvitys. 1982. 50,-
28. Vähäaho, I., Maarakennusta koskeva mallityöselitys. 1982. 70,-
29. Gulin, K., Rakentamisen vaikutus pohjaveden tasoon ja rakennusten painumiin Helsingin Puistolassa. 1982. 50,-
30. Halkola, H., Syvästabiloinnin laadun ja lujuuden valvontamenetelmät. 1982. 50,-
31. Havukainen, J., Kivihiilituhkan käyttö maarakentamisessa, tekniset ohjeet. 1983. 30,-
32. Havukainen, J., Användning av stenkolsaska vid anläggningsarbeten, tekniska anvisningar. 1983. 30,-
33. Havukainen, J., The utilization of coal ash in earth works, technical guidelines. 1983. 30,-
34. Salmelainen, J., Helsingin kallioperän geologiasta ja kivilajien lujuusominaisuuksista porattavuuden kannalta. 1983. 50,-
35. Havukainen, J., Matkakertomus kivihiilituhkien ympäristövaikutuskonferenssista. 1983.
36. Hytti, P., Esi-injektoinnin suoritus ja sen huomioiminen urakka-asiakirjoissa. 1984. 60,-
37. Leinonen, J., Kalliomekaaniset mittaukset Hanasaaren syvävarastossa. 1984. 60,-
38. Pirinen, J., Kelluvan rantapenkereen rakentaminen. 1984. 60,-
39. Latvala, A., Geotekninen kustannustiedosto, Geo-kuti. 1984. 60,-
40. Korpela, J., Schüller, M., Jäykkien liitosjohtojen pohjarakenneselvitys (Jäli-selvitys). 1984. 80,-



LIITE 3

SAVIALUEET
SAVEN PAKSUUS > 1 m



HELSINGIN SAVIALUEET JA KAUKOLÄMPÖ -
VERKON LIITTYMISJOHTOJEN VAURIOT
VUOSINA 1977 - 1982. (VUODEN 1983
OSALTA EI KAIKKIA VAURIOITA OLE
MERKITY.)

□ VOIMALAITOS
○ KIINTEÄ LÄMPÖKESKUS
▽ SIIRRETTÄVÄ LÄMPÖKESKUS

VAURIOT ERI VUOSINA

● 1977
■ 1978
▲ 1979
■ 1980
● 1981
● 1982
▼ 1983