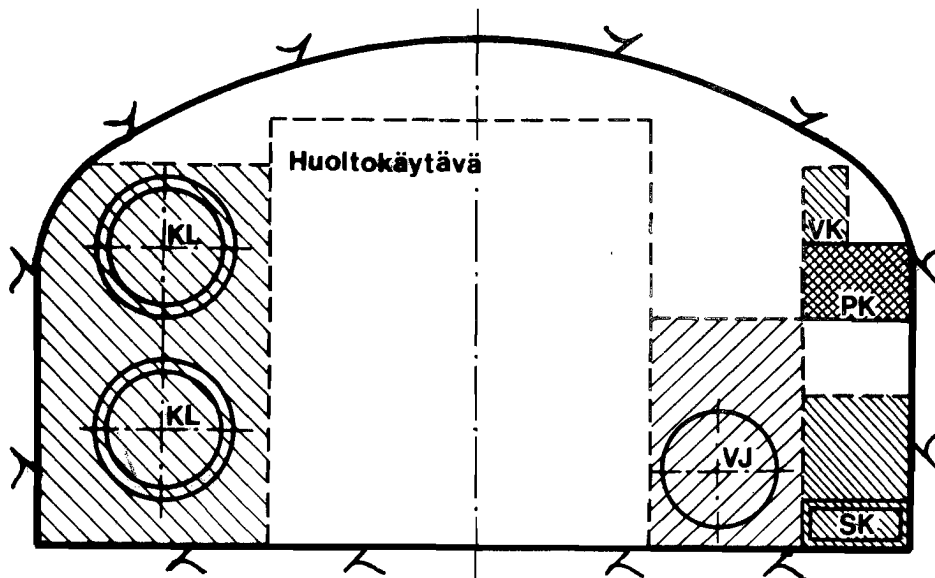


**HELSINGIN KAUPUNGIN KIIINTEISTÖVIRASTO
GEOTEKNINEN OSASTO**



Jarmo Roinisto

YHTEISKÄYTTÖTUNNELEIDEN

TEKNIS-TALOUEDELLINEN SELVITYS

Geoteknisen osaston

tiedote 19 30.3.1981

Y H T E I S K Ä Y T T Ö T U N N E L E I D E N
T E K N I S - T A L O U D E L L I N E N S E L V I T Y S

YHTEISKÄYTTÖTUNNELEIDEN TEKNIS-TALOUELLINEN SELVITYS

TIIVISTELMÄ

Yhteiskäyttötunneleita ovat sellaiset johtotunnelit, joihin on sijoitettu useampia putkia ja kaapeleita. Helsingissä tunneleihin sijoitettavista johdosta tulevat ensisijaisesti kysymykseen kaukolämpöjohdot, vesijohdot, sähkökaapelit, puhelin-kaapelit ja putkiviemärit.

Lähellä maanpintaa oleva kallioperä tarjoaa tekniseltä ja taloudelliselta kannalta hyvät edellytykset yhteiskäyttötunneleiden rakentamiselle. Suomessa ei ole aikaisemmin laajemmin selvitetty eri johtojen vuorovaikutuksia samassa tunnelissa, eikä tällaisten tunneleiden taloudellisuutta. Näiden syiden vuoksi tämän selvityksen tavoitteena on ollut kallioon rakennettujen yhteiskäyttötunneleiden teknisten ja taloudellisten rakentamisedellytysten selvittäminen.

ALKUSANAT

Helsingin kaupunginvaltuusto hyväksyi (äänin 75-0) 7.2.1979 toivomusponnen, jossa se kehotti Kaupunginhallitusta, kaupungin kunnallistekniikkaa suunniteltaessa ja uudistettaessa, tutkimaan mahdollisuuksia, tähänastista enemmän ja siellä, missä kallioperusta sen sallii, rakentaa yhteisiä tunneleita eri johtojärjestelmille, mikä olisi edullista huollon kannalta ja vähentäisi katujen aukirepimistarvetta eri johtojärjestelmiä huollettaessa ja muutettaessa.

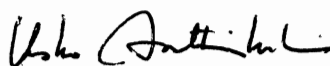
Geoteknisen osaston aloitteesta käynnistettiin kesäkuussa 1980 "Yhteiskäyttötunneleiden teknis-taloudellinen selvitys" yhteistyössä Energialaitoksen, Vesilaitoksen, Rakennusviraston, Kaupunkisuunnitteluviraston, Posti- ja lennätinhallituksen, Helsingin Puhelinyhdistyksen sekä Kiinteistöviraston geoteknisen osaston kesken. Työn tavoitteena oli selvittää johtoja varten rakennettavien yhteiskäyttötunneleiden rakentamisedellytykset. Edellä mainittujen laitosten edustajista (liite 3) perustettiin ryhmä valvomaan työn etenemistä.

Yhteiskäyttötunneleiden tekniset ja taloudelliset rakentamisedellytykset selvitettiin työn aikana pääpiirteissään. Selvityksen tuloksena voidaan todeta, että siirtojohtoja varten rakennettavat yhteiskäyttötunnelit ovat teknisesti mahdollisia ja investointikustannuksiltaan usein edullisempia kuin maanpintaan rakennetut vaihtoehdot, mutta taloudellisuuteen vaikuttavat niin monet tekijät, että taloudellisuustarkastelu on aina tehtävä projektikohtaisesti. Tunnelivaihtoehdon etuina ovat lisäksi ympäristöystävällisyys ja tunnelin pitkä ikä.

Yhteiskäyttötunneleiden ensimmäinen toteuttamisedellytys on laitosten välinen yhteistyö johtojärjestelmiä suunniteltaessa, koska yhteiskäyttötunnelit ovat pitkän suunnittelu- ja toteuttamisaikataulun omaavia projekteja. Tämän vuoksi tätä selvitystä valvonut ryhmä laati mallin laitosten välisen yhteistyön järjestämiseksi yhteiskäyttötunneleiden suunnittelemisessa (liitteet 1 ja 2).

Tänä vuonna alkaa Salmisaari-Kamppi-Ruskeasuo yhteiskäyttötunnelin rakentaminen. Tästä tunnelista saatavan kokemuksen ja edellä mainitun laitosten välisen yhteistyömallin pohjalta tehdään myöhemmin lopullinen ehdotus laitosten välisen yhteistyön järjestämiseksi yhteiskäyttötunnelikysymyksissä.

Helsingissä 30.3.1981



Usko Anttikoski
osastopäällikkö

YHTEISKÄYTTÖTUNNELEIDEN TEKNIS-TALOUDELLINEN SELVITYS

TIIVISTELMÄ
ALKUSANAT

Sisällysluettelo:	Sivu
1. JOHDANTO	1
1.1 Yhteiskäyttötunneli-idean synty	1
1.2 Yhteiskäyttötunneleiden rakentamisesta	1
1.3 Yhteiskäyttötunneleiden edut ja toteuttamisvai- keudet	2
1.4 Tämän selvityksen tavoitteet ja rajaukset	3
1.5 Selvityksen toteuttamisesta	4
2. AIKAISEMPIA KOKEMUKSIA YHTEISKÄYTTÖTUNNELEISTA..	5
2.1 Suomen tunneleista	5
2.11 Suomenlinnan tunneli	5
2.12 Naantali-Turku kaukolämpötunneli	6
2.13 Viikki-Pukinmäki tunneli	7
2.14 Hakunilan tunneli	8
2.2 Ruotsin tunneleista	9
2.21 Norra Järvafältet	9
2.22 Södermalmin tunneli	10
2.23 Tukholman City-tunnelit	12
2.24 Trollhättan	13
2.25 Göteborg	13
2.3 Muiden maiden tunneleista	14
2.31 Yhteiskäyttötunnelitutkimuksista Yhdysvalloissa	14
2.32 White Plainsin yhteiskäyttötunnelisuunnitelma ..	17
2.33 Yhteiskäyttötunnelitutkimuksista Saksan Liitto- tasavallassa	19
3. ERI JOHTOJEN SOVELTUVUUS YHTEISKÄYTTÖTUNNELIIN	23
3.1 Vesijohto	23
3.11 Veden lämpötila	23
3.12 Veden saastuminen	24
3.13 Vedenpaine	24
3.14 Tunnelin täyttymisen estäminen	24
3.15 Tilantarpeet tunneleissa ja pysty-yhteyksissä ..	24
3.2 Kaukolämpöjohdot	25
3.21 Kosteus	25
3.22 Kiertoveden lämpötila ja eristys	26
3.23 Kiertoveden paine	26
3.24 Lämpölaajeneminen	26
3.25 Välipumppausasemat	27
3.26 Putkiston asentaminen	27
3.27 Tunnelin täyttymisen estäminen	28
3.28 Tilantarpeet tunneleissa ja pysty-yhteyksissä ..	28

	Sivu
3.3	Viemärit 29
3.31	Viemärityyppit 29
3.32	Syvyys ja kaltevuus 30
3.33	Huolto 30
3.34	Putkiston rakentamisesta 30
3.35	Tilantarpeet tunneleissa ja pysty-yhteyksissä.. 31
3.4	Sähkökaapelit 31
3.41	Kaapeliverkot 31
3.42	Kaapelipalot 32
3.43	Lämpötilan vaikutus kapasiteettiin 32
3.44	Viestiverkon kaapelit 32
3.45	Asentamistavat ja tilantarpeet tunneleissa ja pysty-yhteyksissä 33
3.5	Puhelinkaapelit 33
3.51	Kaapelivaurioiden estäminen 33
3.52	Kaapeleiden pinnoitteet 34
3.53	Muiden johtojen läheisyyden vaikutus 34
3.54	Salakuuntelun estäminen 35
3.55	Kaapeleiden asentaminen 35
3.56	Tilantarpeet tunneleissa ja pysty-yhteyksissä.. 35
3.6	Kaasujohto 36
3.61	Kaasuverkoston kehitysnäkymät Helsingissä 36
3.62	Tunneliin sijoittaminen 36
3.7	Pneumaattiset kuljettimet..... 37
3.71	Periaatteellinen toiminta 37
3.72	Rakentamisesta 37
3.8	<u>Johtopäätökset</u> 38
4.	YHTEISKÄYTTÖTUNNELIN LÄMPÖTILA 40
4.1	<u>Lämmön muodostuminen</u> 40
4.2	<u>Lämmön poistaminen</u> 41
4.21	Kallioon johtuminen 41
4.22	Tuuletus 41
4.3	<u>Johtopäätökset</u> 43
5.	KÄYTÖNAIKAINEN HUOLTOTILA 44
5.1	<u>Johtojen asennus- ja huoltotila</u> 44
5.2	<u>Käytönaikaisen huollon vaihtoehdot</u> 47
5.21	Huolto ilman ajoneuvoa 47
5.22	Huolto kiskokalustolla 47
5.23	Huolto kumipyöräkalustolla 48
5.24	Vaihtoehtojen vertailu 49
5.3	<u>Muut huoltotilaan vaikuttavat tekijät</u> 50
5.31	Jalkaisin kulkevan miehen tila 50
5.32	Ohitusputki 51
5.4	<u>Johtopäätökset huoltotilaan liittyvistä kysymyk-</u> <u>sistä</u> 51

	Sivu
6.	YHTEISKÄYTTÖTUNNELIN POIKKILEIKKAUKSEN SUUNNIT- TELU 53
6.1	<u>Huoltokäytävän koon määrittäminen</u> 53
6.2	<u>Johtotilan koon määrittäminen</u> 53
6.3	<u>Johtojen sijoittaminen poikkileikkaukseen</u> 54
6.4	<u>Poikkileikkausesimerkkejä</u> 54
7.	KÄYTÖNAIKAINEN TURVALLISUUS 59
7.1	<u>Lähtökohta</u> 59
7.2	<u>Mahdollisten onnettomuuksien seuraukset</u> 59
7.21	<u>Vesijohtoveden vuotaminen</u> 59
7.22	<u>Kaukolämpöveden vuotaminen</u> 61
7.23	<u>Viemärin vuotaminen</u> 62
7.24	<u>Kaapeleiden vaurioituminen</u> 62
7.25	<u>Tulipalo</u> 63
7.3	<u>Toiminta onnettomuustilanteissa</u> 63
7.4	<u>Onnettomuuksien syyt</u> 64
7.5	<u>Johtopäätökset turvallisuuskysymyksistä</u> 65
8.	YHTEISKÄYTTÖTUNNELIN TALOUDELLISUUS 66
8.1	<u>Vesijohdon kustannukset</u> 66
8.2	<u>Kaukolämpöjohtojen kustannukset</u> 67
8.3	<u>Viemäreiden kustannukset</u> 68
8.4	<u>Sähkö- ja viestikaapeleiden kustannukset</u> 69
8.5	<u>Paikallispuhelinkaapeleiden kustannukset</u> 69
8.6	<u>Kaukopuhelinkaapeleiden kustannukset</u> 70
8.7	<u>Kustannusvertailu</u> 71
9.	YHTEISKÄYTTÖTUNNELIN LOUHINTAKUSTANNUSTEN JAKAMI- NEN JA TUNNELIN HALLINTA 73
9.1	<u>Kustannusten jaon periaatteet</u> 73
9.11	<u>Johtojen tarvitseman tilan leveyden perusteella</u> 74
9.12	<u>Johtojen poikki-pinta-alan perusteella</u> 75
9.13	<u>Johtojen käyttämän tilan perusteella</u> 75
9.2	<u>Kustannusten jakoperiaatteiden vertailu</u> 75
9.3	<u>Yhteiskäyttötunnelin hallinta</u> 76

	Sivu
10.	JOHTOHANKKEIDEN KOORDINOINTI JA YHTEISKÄYTTÖ-
	TUNNELIPROJEKTtien ORGANISOINTI 78
10.1	<u>Organisaatio yhteiskäyttötunneleiden suunnitte-</u>
	<u>lussa</u> 78
10.2	<u>Yhteiskäyttötunneliprojektien organisointi</u> 79
11.	YHTEISKÄYTTÖTUNNELEIHIN LIITTYVÄT JATKOSELVITYK-
	SET JA TUTKIMUKSET 80
12.	YHTEENVETO 81
	LÄHDELUETTELO 84
	LIITTEET

1. JOHDANTO

1.1

Yhteiskäyttötunneli-idean synty

Kaupunkien teknisen huollon verkostoja joudutaan jatkuvasti uusimaan ja laajentamaan. Verkostojen uusimistarve syntyy iän myötä ja laajentamistarve puolestaan kaupunkien kasvaessa sekä teknisten tai taloudellisten edellytysten muuttuessa niin, että joidenkin verkostojen laajentaminen on tarkoituksenmukaista.

Kun kunnallistekniset palvelut pidetään ajan tasalla, joudutaan tiheästi rakennetuilla kaupunkialueilla tämän tästä kaivamaan katuja auki, mistä taas aiheutuu suuria haittoja liikenteelle ja katujen pinnotteiden kunnolle. Katujen alla on jo nykyään tilanpuute, minkä vuoksi johtojen rakennuskustannukset maanpinnassa kasvavat. Näistä syistä on syntynyt ajatus, että eikö putkia ja kaapeleita voitaisi sijoittaa talojen ja katujen alle yhteiseen tunneliin eli yhteiskäyttötunneliin, jolloin johtoja uusittaessa ja uusia linjoja rakennettaessa voitaisiin päästä taloudellisesti edullisiin ratkaisuihin ja lisäksi ympäristöhaitat vähenisivät.

1.2

Yhteiskäyttötunneleiden rakentamisesta

Pohjoismaissa kallionpinta on joko paljastuneena tai lähellä maanpintaa. Yhteiskäyttötunneleiden rakentamisen kannalta tämä on suuri etu, sillä tunnelit voidaan täällä rakentaa edullisemmin kuin esimerkiksi Keski-Euroopassa.

Yhteiskäyttötunnelit voidaan jakaa kahteen ryhmään käyttötarkoituksensa mukaan: siirtojohtotunneleihin ja jakelujohtotunneleihin. Tyypillistä siirtotunneleille on, että yhteyksiä maanpintaan on rajoitettu ja ne voivat sijaita jopa useiden kymmenien metrien syvyydessä. Jakelutunnelit jakavat kunnallistekniikan palvelut kortteli- ja talokohdasta ja johtoyhteyksiä maanpintaan on täten runsaasti, joten nämä tunnelit sijaitsevat lähellä pintaa.

Useissa kaupungeissa ympäri maailmaa on rakennettu yhteiskäyttötunneleita kunnallistekniikan käyttöön. Lähes poikkeuksetta muualla kuin Pohjoismaissa yhteiskäyttötunnelit on tehty maakerrokseen kaivamal-

la katu auki ja laskemalla avattuun katuun betonielementit. Kallionpinta on näissä kaupungeissa niin syvällä, ettei kalliotunneleita ole voitu ajatella. Betoniset maakerrokseen tehdyt tunnelit (maatunnelit) ovat yleensä monta kertaa kalliimpia kuin kalliotunnelit.

1.3

Yhteiskäyttötunneleiden edut ja toteuttamisvaikeudet

Yhteiskäyttötunneleiden etuina on pidetty seuraavia seikkoja verrattuna maahan asennettuihin johtoihin:

- katujen aukaiseminen vähenee, josta ovat seurauksena liikenneuhkien väheneminen, katujen kunnan paraneminen ja kaupunkikuvan siistiytyminen /14/
- johtojen tarkastaminen ja huoltaminen on helppoa ja huoltomiesten työskentelyolosuhteet paranevat /23/
- johdot eivät joudu alttiiksi liikenteen aiheuttamalle kuormitukselle eikä roudalle, minkä vuoksi putkisto- ja kaapelivikojen lukumäärä vähenee ja tästä johtuen johtojen ikä kasvaa /23/
- uudisrakennusalueilla johtolinjojen rakentaminen sujuu itsenäisesti katutöistä riippumatta kummankaan häiritsemättä toisiaan /23/, /16/.

Kaupunkirakentamisen kannalta on myös suuri etu se, että kalliooperää käytetään säästään rakentamalla yhteiskäyttötunneleita. On ollut nähtävissä sellainen tilanne, jossa jokainen laitos rakentaa tarpeelliseksi katsomiinsa kohtiin johtotunneleita, ajatellen kuitenkin vain omia tarpeitaan. Tämä johtaa siihen, että kaupunkien alle tulee muutamia tunneleita, jotka estävät kalliorakentamisen myöhemmin.

Yhteiskäyttötunneleiden toteuttamisvaikeudet voidaan ryhmitellä seuraavasti:

- yhteistyö on vaikeaa toteuttaa yhteiskäyttötunneleiden suunnitteluvaiheessa, koska eri alojen asiantuntijat eivät aina ymmärrä toisten osapuolten näkökohtia
- eri laitosten aikataulujen ja linjaussuunnitelmien yhdistäminen ei ole helppoa
- kaikkia yhteiskäyttötunneleihin liittyviä teknisiä kysymyksiä ei ole aikaisemmin selvitetty, mikä ei taas rohkaise eri osapuolia tukemaan tällaisia projekteja
- yhteiskäyttötunnelin kustannusten jakaminen ja hallinta voidaan toteuttaa monella eri tavalla, joten sen oikeudenmukaisimman tavan löytäminen teettää paljon töitä suunnittelijoilla.

1.4

Tämän selvityksen tavoitteet ja rajaukset

Yhteiskäyttötunneleista ei ole tehty Suomessa tähän mennessä yhtään laajempaa selvitystä. Näiden tunneleiden rakentamisedellytyksistä sen paremmin teknisistä kuin taloudellisista, ei ole ollut kovin selvää käsitystä. Tämän vuoksi tämän selvityksen päätavoitteeksi asetettiin rakentamisedellytysten selvittäminen. Eri osa-alueisiin liittyvät kysymykset päätettiin ryhmitellä ja käsitellä seuraavasti:

1. Tekniset kysymykset

- johtojen erityisnäkökohdat yhteiskäyttötunnelissa
- johtojen vuorovaikutus tunnelissa
- johtojen tilantarpeet

2. Taloudelliset kysymykset

- tunnelivaihtoehdon ja pintavaihtoehdon kustannukset ja niiden vertailu
- kustannustenjaon periaatteet.

Johtolinjojen rakentamisesta ja uusimisesta aiheutuvat ympäristöhaitat ovat synnyttäneet yhteiskäyttötunneli-idean ja on tämän vuoksi perusteltua lähteä tarkastelemaan johtojen asentamista yhteiskäyttötunneliin. Tämän selvityksen puitteissa tarkastellaan myös jonkin verran johtoihin läheisesti liittyvien laitteistojen asentamista tunneliin (mm. venttiilit, puhelinkaapeleiden vahvistinasemat ym.), mutta ei sen sijaan tarkastella verkostoihin liittyvien asemien (mm. puhelinkeskukset, sähköasemat, puhdistamot ym.) asentamista tunneliin.

Yhteiskäyttötunnelit ovat useimmiten taloudellisesti edullisempia, kun niihin voidaan asentaa suuria siirtojohtoja. Tämän vuoksi esille nousevia kysymyksiä on pyritty, niissä kohdissa missä se on ollut tarkoituksenmukaista, tarkastelemaan lähinnä siirtotunneleiden kannalta.

Helsingissä kallionpinta on yleensä lähellä maanpintaa tai maapeite puuttuu kokonaan. Tämä luo edellytykset kalliotunneleiden rakentamiselle. Kun liissäksi kalliotunnelit ovat kustannuksiltaan edullisia verrattuna maatunneleihin, on perusteltua tarkastella asioita nimenomaan kalliotunneleiden kannalta.

Yhteiskäyttötunneleihin voidaan periaatteessa asentaa kaikkia mahdollisia johtoja. Tässä selvityksessä on keskitytty tarkastelemaan seuraaviin, tavanomaisimpiin johtoihin liittyviä kysymyksiä:

- kaukolämpöjohdot
- vesijohto
- viemärit (jätevesi-, sadevesi-, seka-)
- sähkökaapelit
- puhelinkaapelit.

Joissakin tapauksissa voidaan yhteiskäyttötunneleihin sijoittaa myös kaasujohto, pneumaattinen kuljetin, tavaraliikennettä ja matkustajaliikennettä. Näihin liittyviä kysymyksiä on sivuttu joissakin kohdissa.

1.5

Selvityksen toteuttamisesta

Tätä selvitystä on tehty Helsingissä Kiinteistöviraston geoteknisellä osastolla yhteistyössä Energialaitoksen kaukolämpö-, uudisrakennus- ja kaasuosastojen, Vesilaitoksen jakeluosaston, Rakennusviraston katurakennusosaston, Kaupunkisuunnitteluviraston yleiskaava- ja asemakaavaosastojen, Posti- ja lennätinhallituksen kiinteistötoimiston ja lennätinosaston sekä Helsingin Puhelinyhdistyksen yleissuunnittelutoimiston kanssa. Tästä johtuen selvityksen osa-alueet ovat painotuneet em. laitosten intressien mukaan. Kuitenkin selvityksen sisältö on pyritty tekemään mahdollisimman yleispäteväksi.

Tätä selvitystä valvomaan perustettiin ryhmä, jossa olivat edustettuina yllämainittujen laitosten edustajat. Työn tekijä toimi kyseisen ryhmän sihteerinä. Ryhmä kokoontui työn aikana kahdeksan kertaa ja ryhmäkokousten välillä sihteerin tehtävänä oli käydä neuvotteluja eri ratkaisujen yksityiskohdista laitosten edustajien kanssa.

Koska tästä aiheesta ei ole Suomessa aikaisemmin tehty yhtään laajempaa selvitystä tai tutkimusta, on tämän selvityksen luonne "kartoittava".

2. AIKAISEMPIA KOKEMUKSIA YHTEISKÄYTTÖTUNNELEISTA

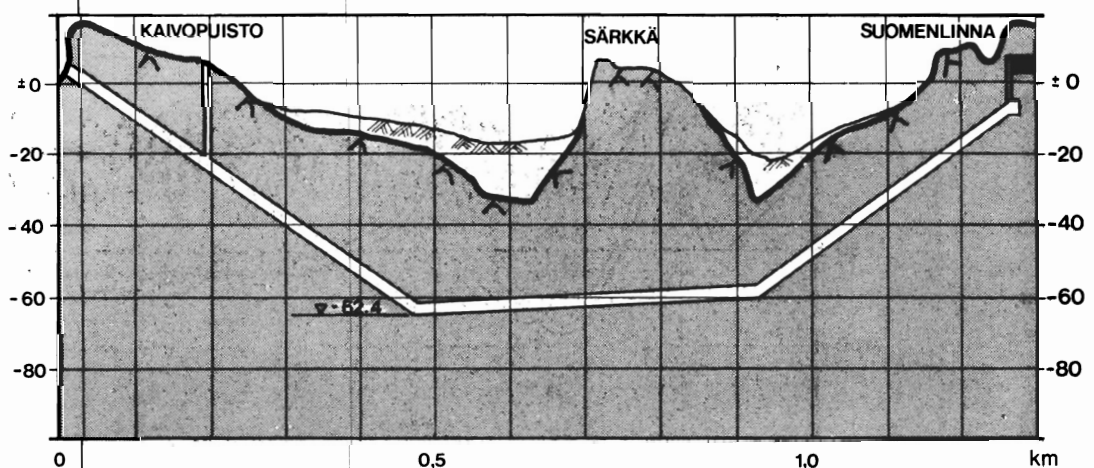
Yhteiskäyttötunneleista saatavissa oleva kirjallisuus jakautuu kahteen osaan: Ensinnäkin tekniseen materiaaliin, joka kertoo käytetyistä rakennetkaisuista ja yksittäisistä projekteista ja toiseksi tutkimusmateriaaliin, missä on yleensä pyritty analysoimaan tehtyjä ratkaisuja sekä tutkimaan edellytyksiä uusille ratkaisuille.

Suomalaisista ja ruotsalaisista yhteiskäyttötunneleista (kalliotunneleista) on saatavissa pelkästään teknistä materiaalia. Eurooppalaisista ja amerikkalaisista yhteiskäyttötunneleista (maatunneleista) on saatavissa teknisen materiaalin lisäksi tutkimusmateriaalia. Kohta 2. Aikaisempia kokemuksia yhteiskäyttötunneleista on koottu tällaisesta materiaalista.

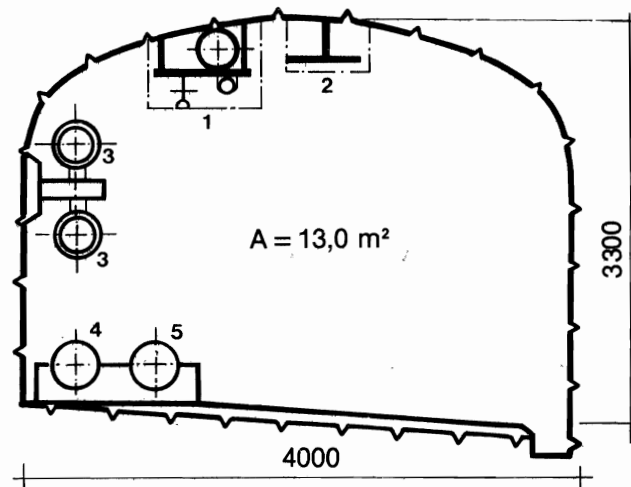
2.1 Suomen tunneleista 2.11 Suomenlinnan tunneli

Suomenlinnan saariryhmää varten on louhittu tunneli, johon sijoitetaan kaukolämpö-, vesi- ja viemäriputket sekä lisäksi sähkökaapeleita.

Tunnelin pituus on 1265 m, poikkipinta-ala 11,1 m² ja suurin kaltevuus 1:7. Huoltotöitä varten jätetyn tilan leveys on 2,30 m ja korkeus 2,60 m. Huolto hoidetaan kumipyöräajoneuvoilla. /13/



Kuva 1. Suomenlinnan tunnelin pituusleikkaus



Kuva 2. Suomenlinnan tunneli

1. tuuletus ja sähkö, 2. korkeajännitekaapelit,
3. kaukolämpö, 4. jätevesi, 5. vesi

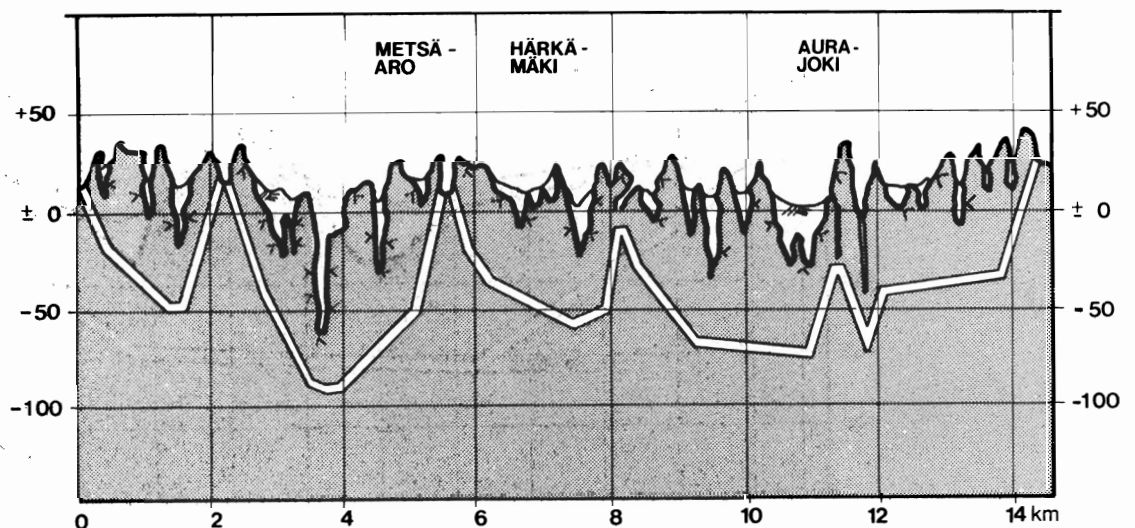
Kallion ruuhkeisuuden takia tunneli jouduttiin sijoittamaan paikoin hieman yli 60 m syvyyteen.

Teknisesti ei olisi ollut mahdotonta sijoittaa liikennettä tunneliin, mutta aikaisemmin oli tehty päätös, että liikenne Suomenlinnaan hoidetaan vesitse.
/10/

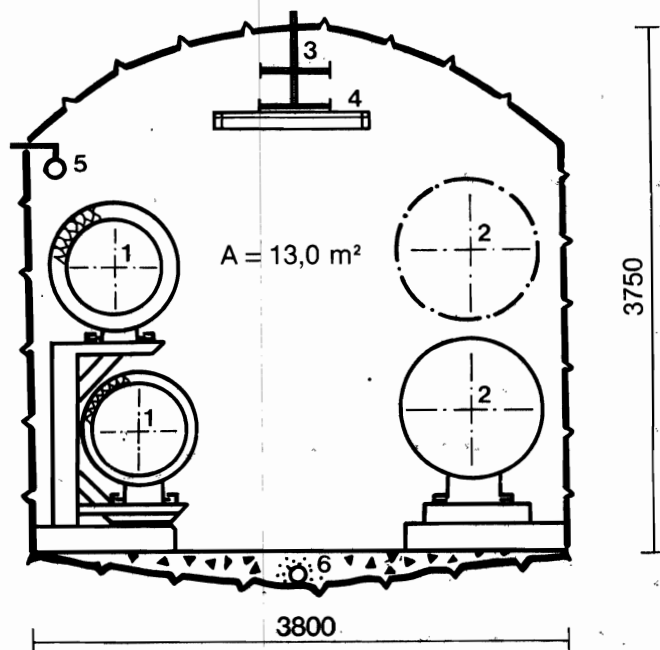
2.12

Naantali-Turku kaukolämpötunneli

Tunneli on 14,5 km pitkä, poikkipinta-alaltaan 13 m², syvimmillään 90 m pinnasta ja kaltevimmillaan 1:7. Poikkipinta-ala valittiin tunnelirakentamisen perusteella. Pinta-ala on myös riittävä tulevia asennuksia varten. Kaltevuus esti raiteellisten laitteiden käytön louhintaviheessä samoin kuin käyttövaiheessa. /7/



Kuva 3. Naantali-Turku tunnelin pituusleikkaus



Kuva 4. Naantali—Turku kaukolämpötunneli

1. kaukolämpö, 2. tilavaraus toiselle kaukolämpöjohtoparille, 3. kaapelihyllyt, 4. valaistus, 5. vuoto-vesiviemäri, 6. salaoja

Ensimmäisessä vaiheessa asennetaan kaksi NS 600 lämmönsiirtoputkea ja lisäksi valaistus, vedenpoistojärjestelmä ja tuuletus. Toisessa vaiheessa asennettaneen osalle matkaa yksi NS 800 putkipari tunnelin toiselle seinämälle.

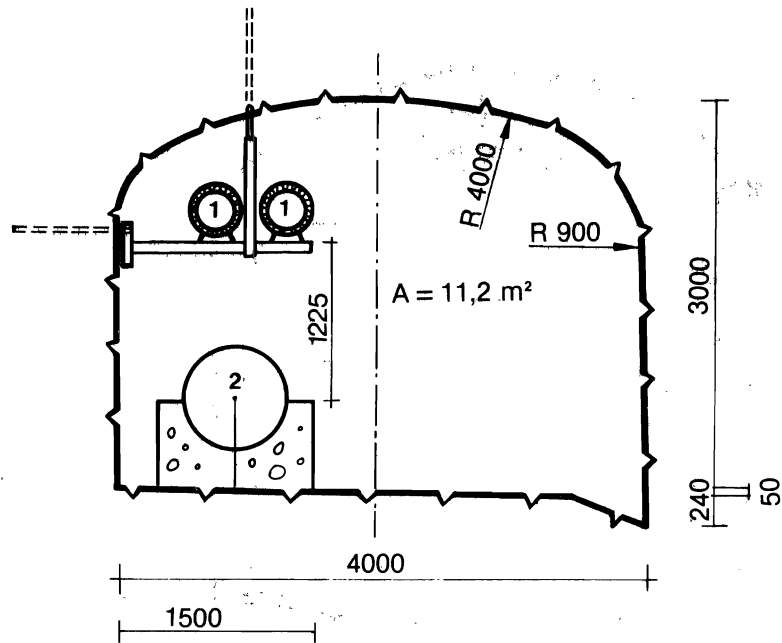
Laajentamismutkia varten rakennettavat syvennykset tulevat 500 m välein ja niitä voidaan käyttää rakennusvaiheessa lastaus- ja kääntymispaikkoina. Huoltotilan leveys on 2,5 m ja korkeus 2,9 m. /7/

14,5 km pitkän tunnelin louhinta- ja rakennusteknisten töiden kustannukset ovat n. 35 Mmk. Kustannussäästö pintavaihtoehtoon nähden on luokkaa 30 Mmk. Lisäksi hyötyä koituu rakennustavan ympäristöystävällisyytenä ja toimintavarmuutena. /12/

2.13

Viikki-Pukinmäki tunneli

Viikki-Pukinmäki tunnelin pituus on 1 km. Tunnelin huoltotilan leveys on 2,5 m ja korkeus 2,4 m. Kaukolämpöjohdot on ripustettu kattoon. Tarkemmin yksityiskohdat selviävät kuvasta 5. /14/



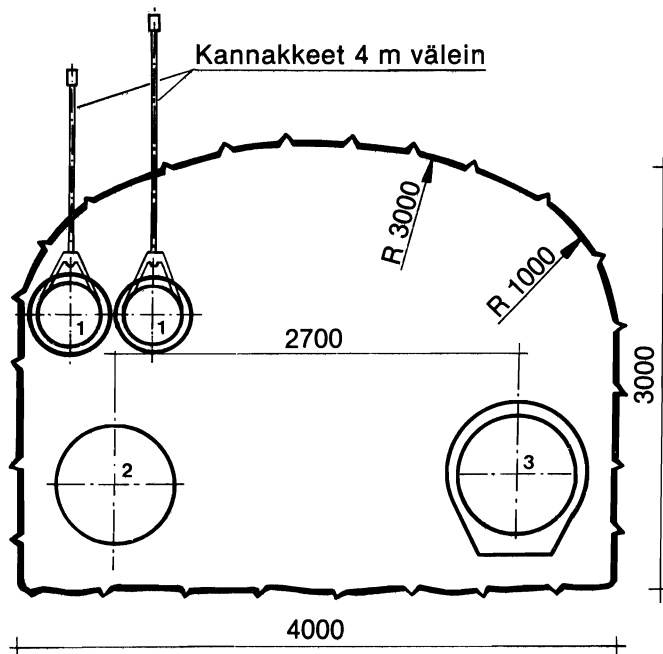
Kuva 5. Viikki—Pukinmäki tunneli

1. Kaukolämpö
2. Vesi

2.14

Hakunilan tunneli

Tunnelin pituus on n. 0,5 km. Tunneliin johdetaan jätevedet erillisiä syöksykuiluja myöten Hakunilan kerrostaloalueelta. Tunnelissa on tuuletus. Huoltotilan leveys on 1,7 m ja korkeus 2,9 m. Poikileikkaus tunnelista on kuvassa 6. /17/



Kuva 6. Hakunilan johtotunneli

1. kaukolämpö, 2. vesi, 3. viemäri

2.2

Ruotsin tunneleista

2.21

Norra Järvafältet /26/

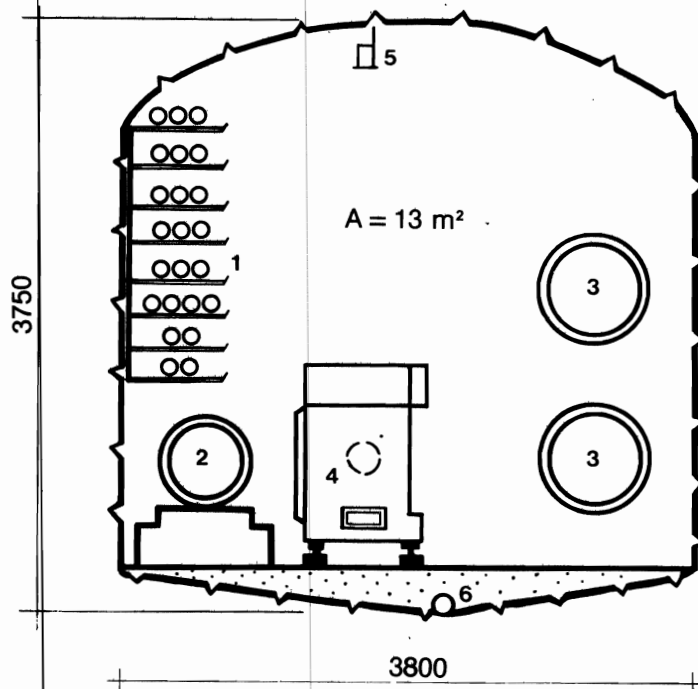
Norra Järvafältetin alueelle on rakennettu kolme tunnelisysteemiä. Alueella on n. 40 000 asukasta.

Tukholman metro alittaa alueen tunnelissa. Kaksi alueen kolmesta metroasemasta on maanpinnan alapuolella.

Pitkä sadevesitunneli toimii sadeveden kuljettajana ja varastona. Sadevesi kerätään tunneliin, josta se sitten pumpataan läheiseen merenlahteen. Samassa tunnelissa on myös teräksinen jätevesiputki. Tunnelissa on useita haaroja, joista jätevesi kerätään puhdistuslaitokselle.

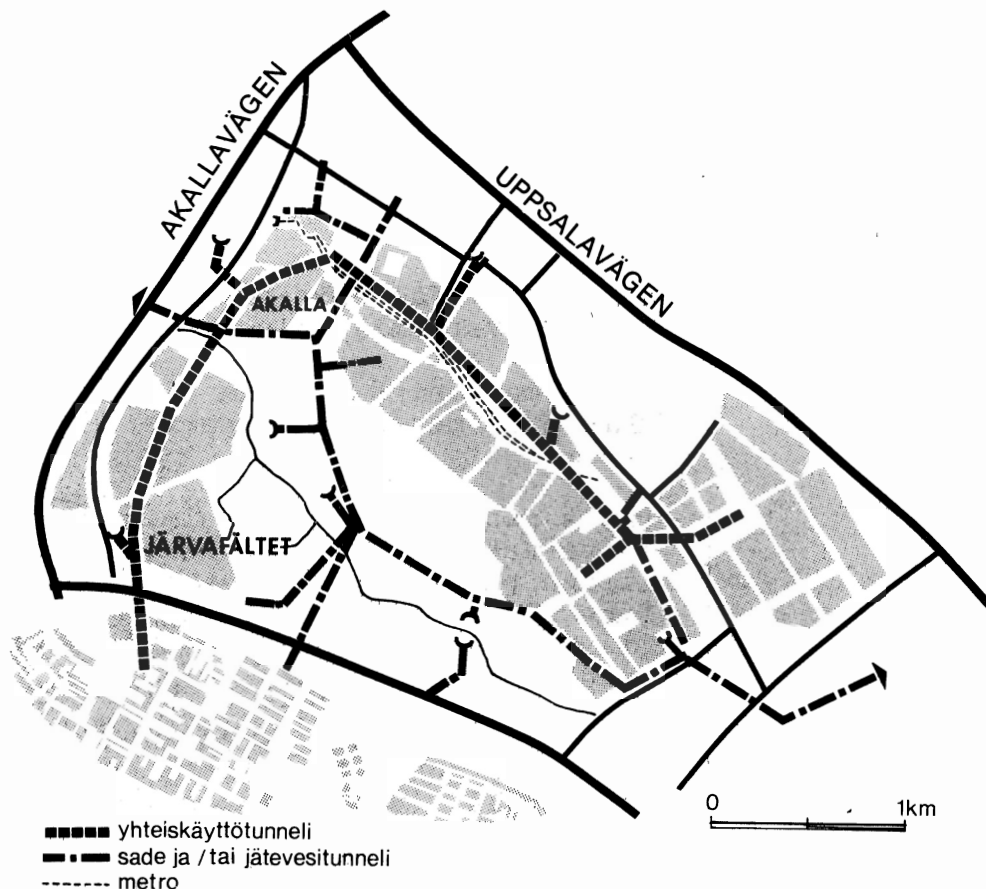
Alueen kolmas tunneli on yhteiskäyttötunneli (Järva-tunneli), johon on sijoitettu sähkökaapelit, puhelinkaapelit, vesijohto ja kaukolämpöjohdot.

Kaikki tunnelit on rakennettu itsenäisesti. Rakentaminen tapahtui sekä ennen että yhtäaikaan alueen rakennusten rakentamisen kanssa. Kun rakennukset olivat valmiina, pysyvät yhteydet lähimpään kuiluun tai porausreikään oli helppo tehdä ilman viivytystä.



Kuva 7. Järva-tunnelin poikkileikkaus

1. kaapelit, 2. vesi, 3. kaukolämpö,
4. kiskoajoneuvo, 5. valaistus,
6. salaoja



Kuva 8. Norra Järvafältetin alueella sijaitsevat tunnelit.

Järvatunneli on luonteeltaan siirtotunneli. Huoltoyhteydet hoidetaan kiskokalustolla. Kaukolämpöjohdot lämmittävät tunnelin ilman huoneenlämpöiseksi ja kun lisäksi tunnelissa on tehokas tuuletus, on tunneli työympäristöltään miellyttävä.

Tunnelin pituus on 6 km ja siinä on 18 kuilua. Poikkileikkauksen pinta-ala on 13 m^2 . Tunnelin poikkileikkaus on esitetty kuvassa 7. /16/

2.22

Södermalmin tunneli /16/

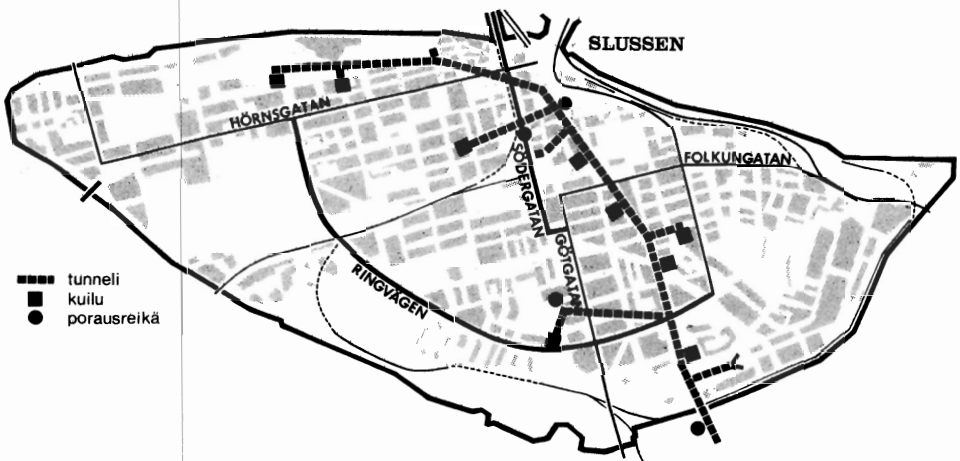
Södermalmin tunnelissa on kaukolämmön pääjohdot, jotka yhdistetään pinnassa olevaan jakeluverkkoon.

Tunnelin pituus on 5 km. Päättunnelista lähtee lyhyitä sivutunneleita, joista on otettu yhteys pintaan kuiluilla tai porausrei'illä.

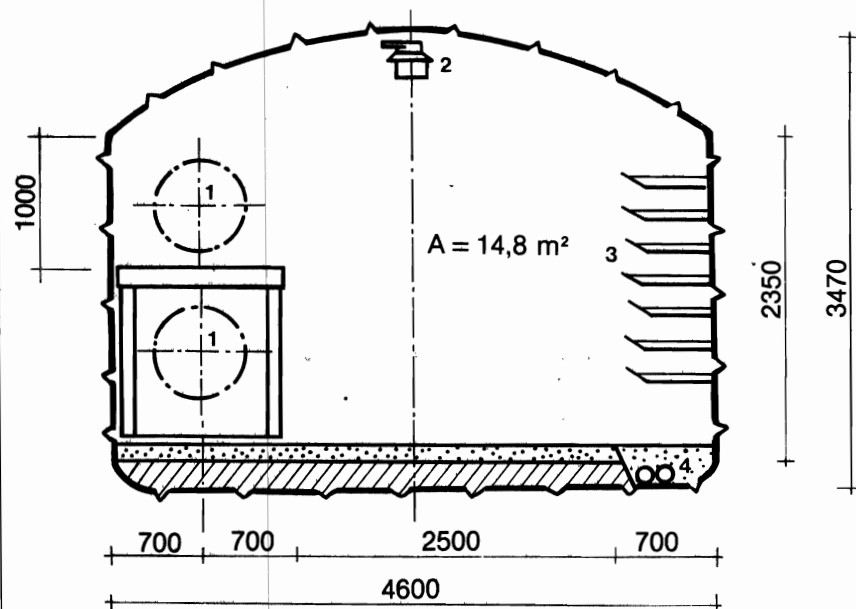
Tunneli on n. 40 m syvyydessä pinnasta. Sijaintiin on vaikuttanut ennen kaikkea alueella jo olevat kalliotilat, kuten esimerkiksi metro.

Valmiiseen tunneliin tulee ruiskubetoniverhous. Tunnelin lattia päällystetään asfaltilla, jotta kumipyöräkaluston käyttö siirtokuljetuksiin olisi mahdollisimman helppoa. Tunnelin poikkipinta-ala vaihtelee 9 - 24 m², riippuen käytetyistä putkihalkaisijoista ja putkien ja kaapeleiden määrästä.

Tunnelin varrella on 8 kuilua ja 6 porausreikää, joita käytetään maanpintayhteyksiin. Vinoaajoteitä on kaikkiaan kolme.



Kuva 9. Södermalmin tunnelin sijainti



Kuva 10. Södermalmin tunnelin poikkileikkaus
1. kaukolämpö, 2. valaistus, 3. kaapelit, 4. salaoja

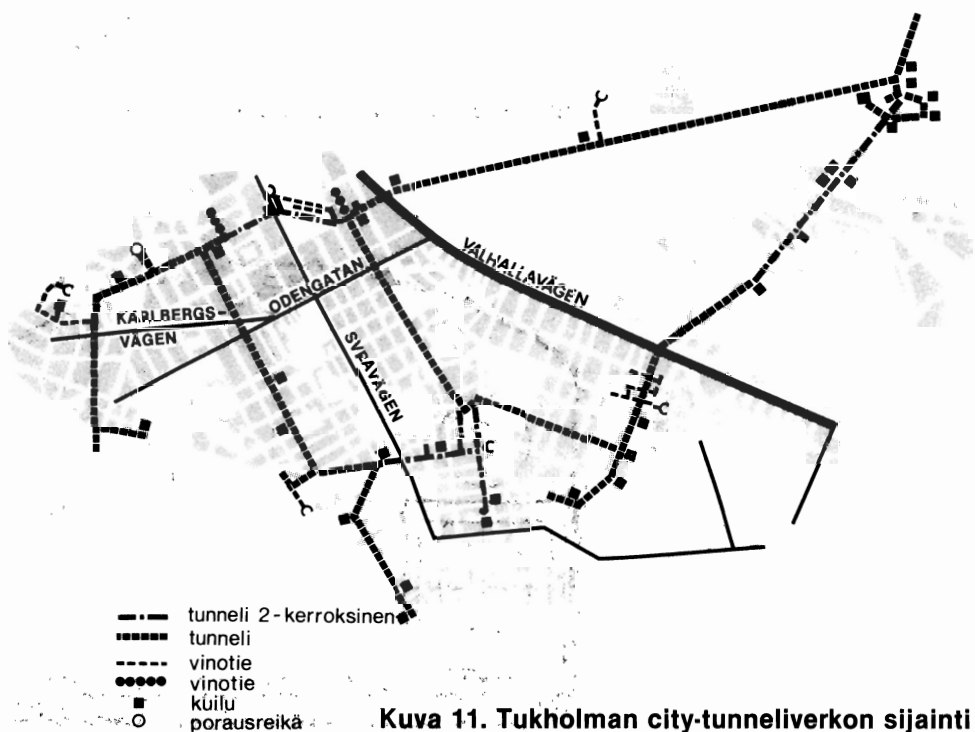
2.23

Tukholman City-tunnelit /5/

Tämä Tukholman keskustan alla oleva tunneliverkosto muodostuu useista tunneleista. Tunnelit liittyvät toisiinsa verkoksi, jossa jokaiseen pisteeseen päästään kahta eri reittiä. Paikoin kaapeleita ja putkia on ollut niin paljon, että tunnelit on rakennettu kaksinkertaisiksi. Yläkertaan on sijoitettu putket ja alakertaan kaapelit. City-tunneleiden poikkileikkausten pinta-ala vaihtelee sen mukaan kuinka suurta putkia ja kuinka paljon kaapeleita kuhunkin tunneliin on sijoitettu.

Tunneleissa on kaikki kunnallistekniikan palvelut sadevesiviemäreitä lukuunottamatta. Jätevesiviemäreitä ei ole myöskään sijoitettu tunneliin kovin monissa paikoin.

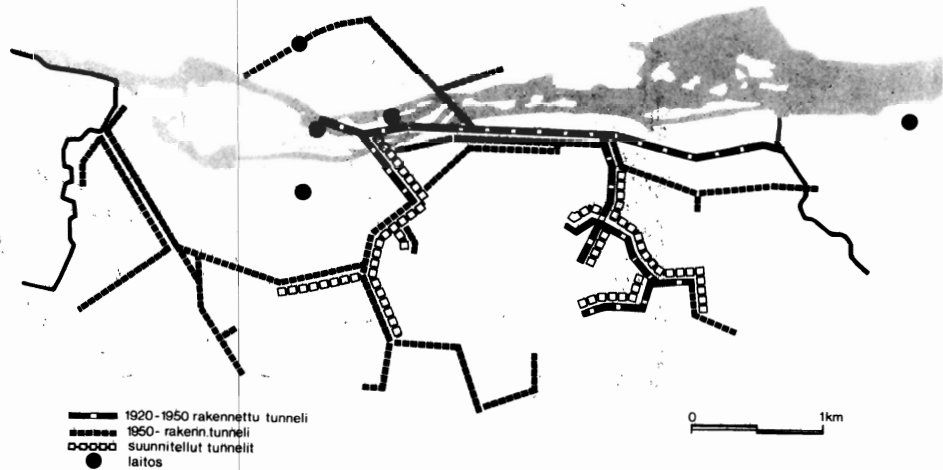
Tunneleiden huolto suoritetaan kiskokalustolla. Tämän takia on täytynyt rakentaa suuret hallit, joissa tavarat voidaan lastata kumipyöräajoneuvosta kiskoajoneuvoon.



Kuva 11. Tukholman city-tunneliverkon sijainti

2.24 Trollhättan

Trollhättanin kaupungissa on 40 000 asukasta. Kuva 12 esittää Trollhättaniin rakennettuja tunneleita. Valmiita tunneleita on kaikkiaan 38 km. /23/



Kuva 12. Trollhättanin tunneliverkosto

2.25 Göteborg /2/

Göteborg on kaupunkina samaa kokoluokkaa kuin Helsinki. Göteborgissa on (1973) 28,5 km kaapelitunnelia, joista 10 km yhteiskäyttötunnelia.

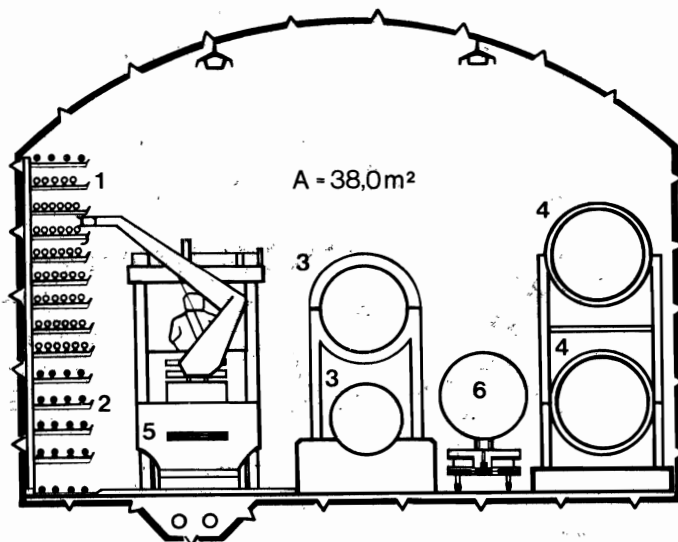
Göteborgin kallioperä on osittain rapautunutta ja paikoin on lähes 100 m syviä ruhjealueita. Suunnittelussa on lähdetty siitä, että tunneliverkko kulkee syvällä. Syvin tunneli on n. 90 m syvyydessä. Syvin kuilu on 47 m.

Kaapeleiden vetoa varten on käytetty erikoisvarustettua trukkia, jolla on päästy 20 m/min. kaapelinvetonopeuksiin kahden miehen työpanoksella.

Tunnelijärjestelmässä on kaksi erityyppistä tunnelia. Ensiksi ovat tavanomaiset yhteiskäyttötunnelit, joihin on sijoitettu sähkö- ja puhelinkaapeleita sekä kaukolämpö- ja vesiputkia. Yhteiskäyttötunnelin alapuolella on jätevesitunneli. Yhteiskäyttötunneliin vuotavat vedet johdetaan edelleen alapuolella olevaan jätevesitunneliin.

Tunnelien poikkipinta-ala vaihtelee tarpeen mukaan. Kaikissa tunnelissa on asfaltoitu pohja. Kuiluissa käytetään hissiä, mikä tunnelien yhteydessä on erikoista. Toisena erikoisuutena Göteborg-

gissa on suunniteltu pneumaattisen kuljettimen käyttöönottoa yhteiskäyttötunneleissa.



Kuva 13. Göteborgin yhteiskäyttötunnelin poikkileikkaus

1. puhelin, 2. sähkö, 3. vesi, 4. kaukolämpö, 5. kumi-pyörätrukki kaapelinvetoa varten, 6. kiskoajoneuvo putkien kuljetusta varten

2.3

Muiden maiden tunneleista

2.31

Yhteiskäyttötunnelitutkimuksista Yhdysvalloissa /1/

Maanalaisten tunneleiden sopivuudesta kunnallistekniikan palvelukseen on tehty tutkimus Yhdysvalloissa. Tutkimus tehtiin jo olemassa olevista tunneleista. Kirjeitä lähetettiin 19 kaupunkiin ja 27 yliopistoon ja kysyttiin oliko ko. kaupungissa yhteiskäyttötunneleita ja mitä tarkoitusta ne palvelivat.

Ainoastaan Fairbanksissa Alaskassa oli kaupungin omistama yhteiskäyttötunnelijärjestelmä. Yhteiskäyttötunnelit katsottiin siellä parhaaksi vaihtoehdoksi, koska näin pystytään jatkuvasti huoltamaan putkistoja ja estetään vesiputkistojen jäätyminen.

Kysytyistä 27 yliopistosta 21 vastasi. Tulokset on esitetty seuraavassa taulukossa.

Taulukko 1. Civil Defence Research Project kyselyyn vastanneiden yliopistojen yhteiskäyttötunnelit.

Tunneliin sijoitetut johdot	Lukumäärä	Osuus vastanneista %	
kaukolämmitys	21	100	central heating
kaukojäähdytys	11	52	central cooling
juomavesi	12	57	potable water
kaasu	3	14	fuel gas
sähkö	13	62	electric power
puhelin	11	52	telephone
muita	15	72	other utilities

Käyttäjistä ei kukaan pitänyt pintavaihtoehtoa parempana kuin tunnelivaihtoehtoa. Joissakin tapauksissa tunnelin ilmoitettiin käyneen liian ahtaaksi, jolloin oli jouduttu siirtämään osa putkistosta pois tunneleista.

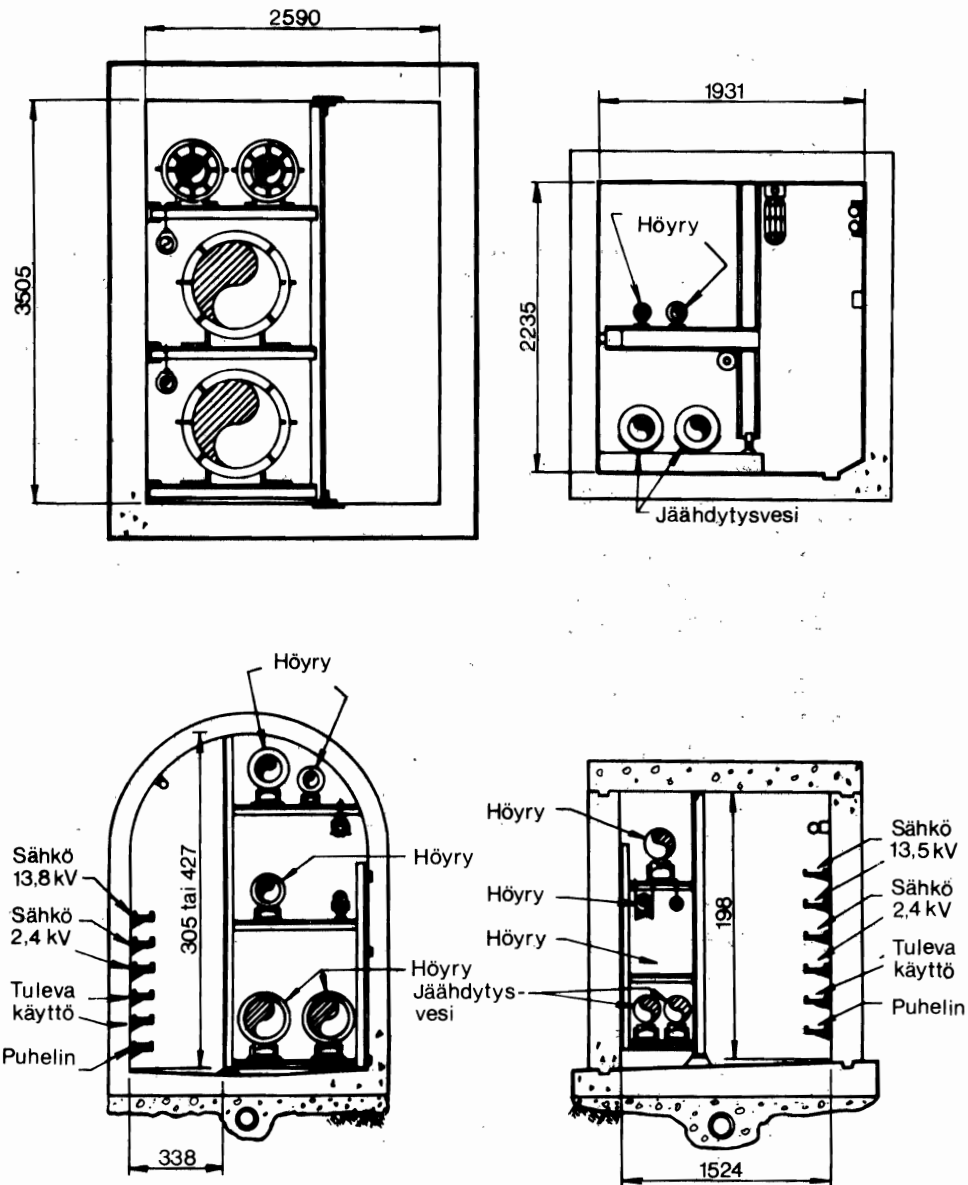
Taulukon 1 mukaan kaikissa yhteiskäyttötunneleissa oli kaukolämmitys. Kaasujohto oli kolmessa tunnelissa. Vesijohto (juomavesi) oli noin puolessa kaikista tunneleista. Kahdessa tapauksessa ilmoitettiin vesijohdon jätetyn pois, koska pelättiin veden lämpenemistä tunnelin korkeiden lämpötilojen johdosta. Sähkö oli sijoitettu n. 2/3 tunneleista, vaikka kolmessa tapauksessa oltiin huolestuneita lämpötilan vaikutuksesta sähkönjohtokaapeleiden kapasiteettiin. Ympäristön lämpötilan noustessa korkeimman sallitun virrankulutuksen on alennuttava, jotta eristeiden lämpötilat pysyvät sallituissa rajoissa. Kolmessa tapauksessa sähkökaapeleita ei ole sijoitettu tunneleihin.

Kohtaan muita kuuluu viemäreitä, kaapeli-TV-systeemejä, dieselöljyputkia, kasteluvesiputkia ja palohälytysjohtoja.

Keskusteluissa eri asiantuntijoiden kesken tuli esille kaasuputkien asentaminen tunneleihin. Etuna nähtiin kaasuvuotojen helppo paikallistaminen, paikallistamistahan ei voida tehdä maahan haudatuissa putkistoissa yhtä helposti.

Viemäreitä ei yleensä ole sijoitettu yhteiskäyttötunneleihin lukuunottamatta Fairbanksia. Gravitaatioperiaate ja syvyys sulkivat viemärit pois. Painelliset viemärit taas voitiin käyttäjien mielestä ottaa mukaan.

Yleisimmin on käytetty neliskulmaista poikkileikkausta. Tunnelit on yleensä rakennettu maaperään, eikä kalliooperään.



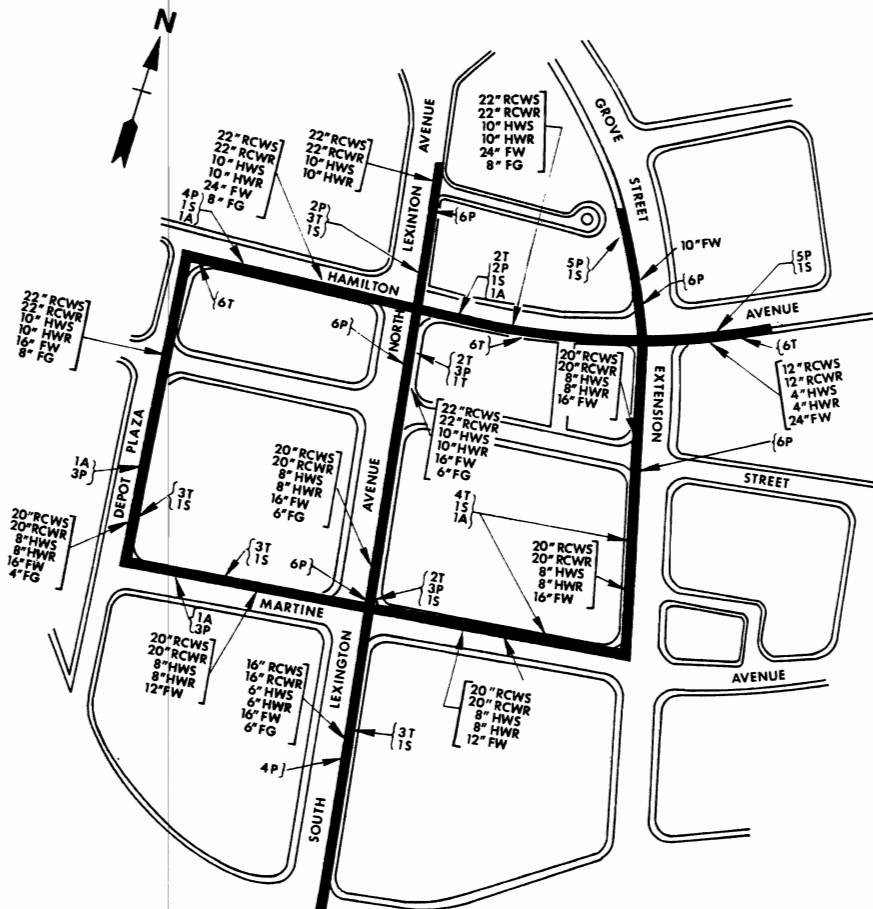
Kuva 14. USA:ssa käytettyjen tunnelien poikkileikkauksia:

Ylh. vas. Californian yliopiston alueella oleva tunneli, ylh. oik. Campus-Irvine-tunneli, alhaalla NASA:n avaruuskeskuksessa olevia tunneliteita.

2.32

White Plainsin yhteiskäyttötunnelisuunnitelma /1/

Kohdassa 2.31 kerrotun tutkimuksen tulosten perusteella suunniteltiin tyypillinen yhteiskäyttötunnelisysteemi White Plainsiin New Yorkiin. Tunneli layout-suunniteltiin olemassaolevien rakennusten ja kunnallistekniikan tarpeiden perusteella.



Kuva 15. Layout White Plainsin tunneleista

Merkintöjen selitykset:

T — telephone = puhelin
P — power distribution = jakelukaapeli
S — tunnel aux-low voltage = sähkökaapeleita
— traffic lights
— fire alarms
A — tunnel aux-high voltage = sähkökaapeleita
— street lights

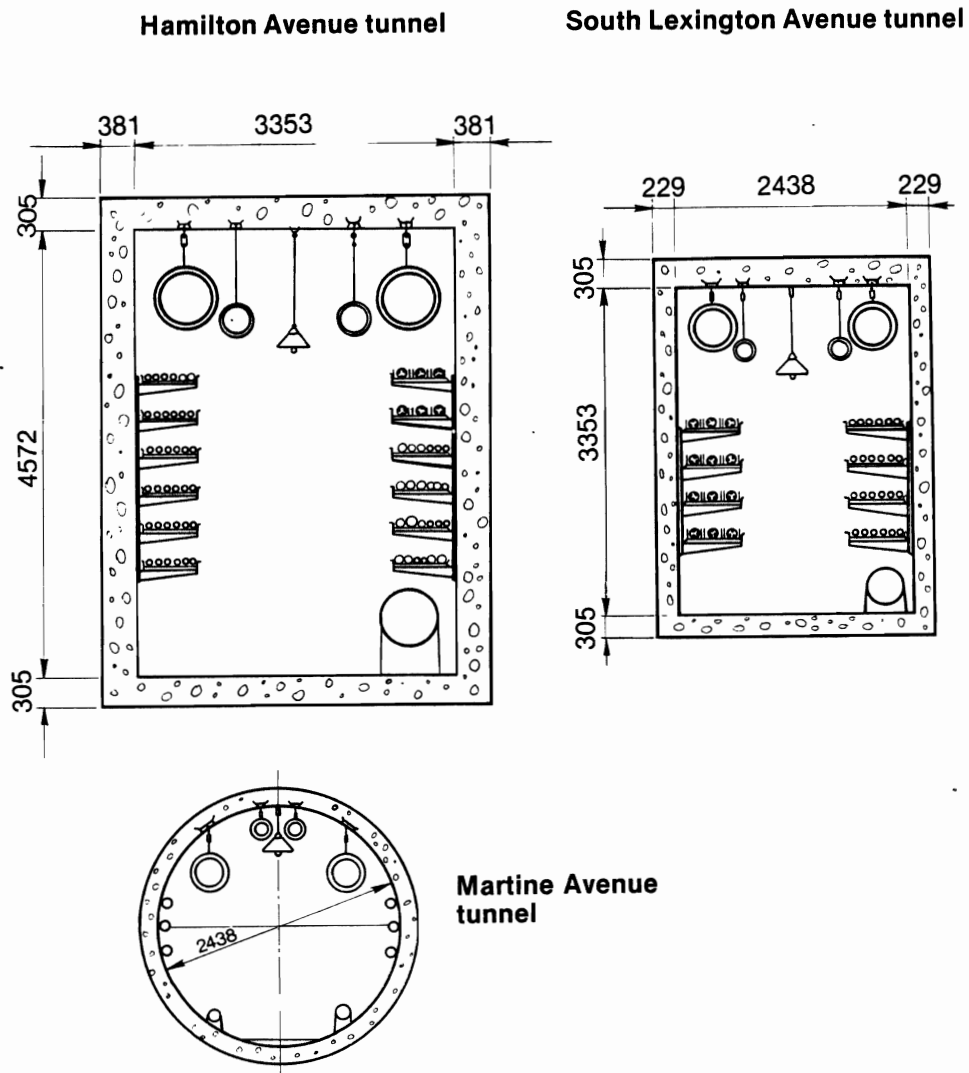
RCWS	— chilled water supply	=	kaukojäähdytys syöttöputki
RCWR	— chilled water return	=	kaukojäähdytys paluuputki
HWS	— hot water supply	=	kaukolämmitys syöttöputki
HWR	— hot water return	=	kaukolämmitys paluuputki
FW	— cold filtered water	=	juomavesi
FG	— naturalgas	=	kaasu

Kuvassa 16 esitetty suunnitelma sisältää kunnallistekniiikan palvelut lukuunottamatta jäte- ja sadevesiviemäreitä. Viemärit jätettiin pois suuren kokonsa ja kaltevuudelle asetettujen rajoitusten vuoksi.

Tunneleiden koot vaihtelevat neliskulmaisesta 4,57 m korkeasta ja 3,35 m leveästä ympyrän muotoisiin 2,44 m halkaisijaltaan oleviin tunneleihin.

Tunneleita suunniteltiin alueelle yhteensä 2160 m.

Suuret kaukolämmitys- ja jäähdytysjohdot ripustettiin tunnelin kattoon. Kaapelit sijaitsevat tunnelin seinillä hyllyillä ja vesijohto tunnelin pohjalla kaapeleiden alapuolella.



Kuva 16. White Plainsiin New Yorkiin suunniteltuja poikkileikkauksia. Katosta riippuvat kaukolämpö- ja kaukojäähdytysjohdot. Seinillä ovat kaapelit ja pohjalla vesijohto.

2.33

Yhteiskäyttötunnelitutkimuksista Saksan Liittotasavallassa /2/ /3/

Vuonna 1968 julkaistiin Saksan Liittotasavallassa Günter Girnaun kokoama tutkimus "Begehbahre Sammelkanäle für Versorgungsleitungen". Tutkimuksessa selostettiin eri johtojen vuorovaikutusta yhteiskäyttötunneleissa kansainvälisen kokemuksen perusteella. Keski-Euroopassa tunnelit tehdään yleensä kaivamalla ura maaperään ja laskemalla siihen betonielementit. Näin tehdyt tunnelit tulevat luonnollisesti lähelle kadun pintaa, joten yhteyksien otto tunnelista ei ole kallista. Tällaiset tunnelit voivat siten olla luonteeltaan joko siirtotunneleita tai jakelutunneleita.

Kuvissa 17 ja 18 on esitetty olemassa olevia yhteiskäyttötunneleita. Poikkileikkauksista nähdään kuinka yhteensopivat palvelut on ryhmitelty ja erotettu yhteensopimattomista. Näiden poikkileikkausten tutkiminen osoittaa seuraavaa:

- a Jokaisen kaupungin suunnitteluosastolla on pyrkimys suunnitella tunnelit sopimaan omiin erityisvaatimuksiin, ja yleensä valittuun järjestelyyn ovat vaikuttaneet seuraavat seikat:
 - eri osapuolten lukumäärä, tilantarpeet ja erityisvaatimukset
 - maaperäolosuhteet, pohjavedentaso, tunnelin syvyys kadun pinnasta (nämä seikat vaikuttavat tunneleiden rakentamistapaan ja tunnelin vuoraukseen)
 - olemassa olevien maanalaisten ja/tai maanpäällisten rakennusten, liikenteen, rasitteiden, perustusten ja muiden rakenteiden vaikutus.Useimmissa tunneleissa on neliskulmainen poikkileikkaus, mikä sopii hyvin pinnalta käsin tapahtuvaan tunnelin rakentamiseen. Maanalaisena työnä rakennetut tunnelit ovat yleensä ympyränmuotoisia, erityisesti viime vuosina rakennetut.
- b Saksassa on tavoitteena se, että liian monia eri johtoja ei soviteta samaan tunneliin, kun taas Madridissa, Moskovassa ja Tokiossa tunneleissa on melkin kaikki mahdolliset johdot.
- c Tunneleiden on oltava tarpeeksi suuret, jotta putkien asennus sekä myös huolto ja vaihto on mahdollista. Suurimmassa osassa tunneleista on luonnon tuuletus, vedenpoisto tunnelin pohjalla ja sähkövalaistus.
- d Liitännät on järjestetty tunnelin seinien läpi tulevista kanavista. Suuriin rakennuksiin ja rakennuskomplekseihin voidaan ottaa yhteys pienemmillä tunneleilla.

G.Girnau analysoi johtojen vuorovaikutusta ja korostaa seuraavia seikkoja:

Kaasujohto

- räjähdysvaaran takia ei sijoiteta mielellään tunneliin
- kontrollointilaitteisto on oltava vuotojen takia
- sytyttävien kipinöiden estäminen
- kaasuputken ympäröiminen suojaputkella
- muut kuin sähköjohdot eivät voi juuri vaikuttaa kaasujohtoon.

Vesijohto

- veden laadun on oltava hyvä
- lämpötila ei saa kohota tunnelissa yli 12° C
- kaukolämpö- ja vesijohtoja ei saa asentaa vierekkäin
- vesi ei saa saastua
- vedenvuoto tunneliin otettava suunnittelussa huomioon
- paineiskuihin putkistossa on varauduttava
- vesijohdon ja muiden johtojen vuorovaikutus on mahdollista vain voimien vaikutuksesta tai vesi- ja sähköjohdon kontaktista.

Sähkökaapeli

- korkeajännitekaapeleita voidaan asentaa tunneliin
- lämpötila ei saa kohota yli 20° C, koska kapasiteetti heikkenee
- kaapelit suojattava mekaanisia vaurioita vastaan
- puhelinkaapeleita ei saa asentaa rinnakkain sähkökaapeleiden kanssa.

Puhelinkaapeli

- puhelinkaapelit eivät vaikuta muihin johtoihin
- kaapelit suojattava mekaanisia vaurioita vastaan.

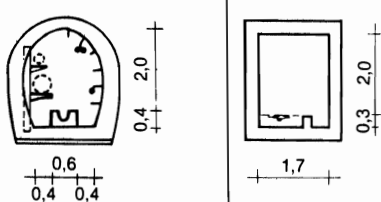
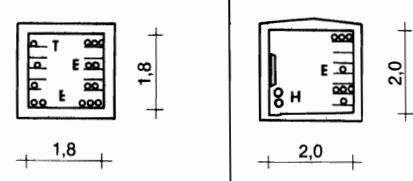
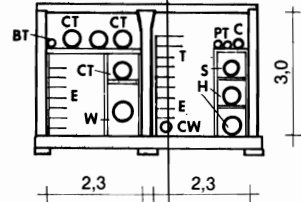
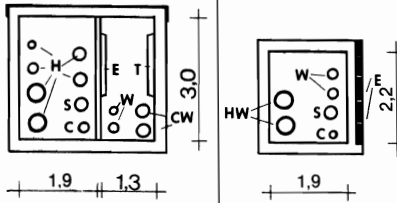
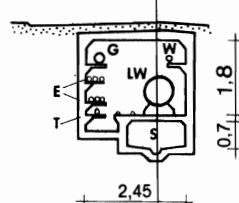
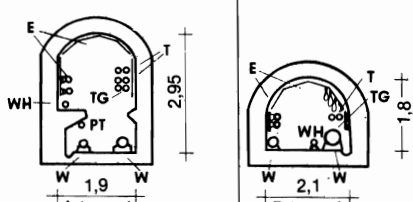
Jätevesi- ja sadevesiviemärit

- gravitaatioviiemärit vaativat vähimmäiskaltevuuden
- viemäreiden vaikutus muihin johtoihin vähäinen, koska viemärit voidaan rakentaa pohjalle ja eristää täydellisesti.

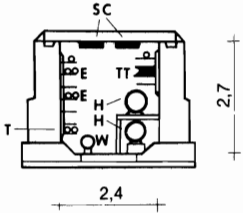
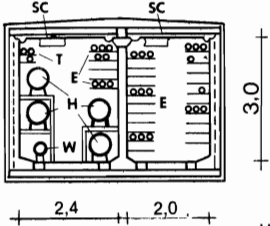
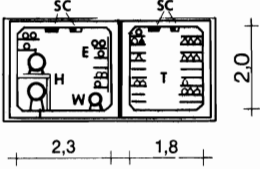
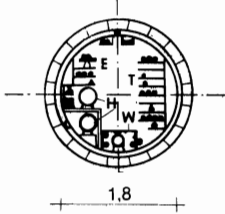
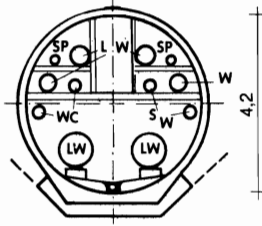
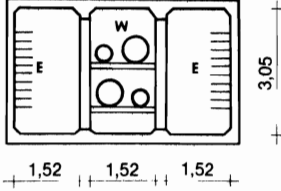
Pneumaattiset kuljettimet

- tunneliin asentamiselle ei ole juuri mitään esteitä
- kova PVC-johto varautuu staattisella sähköllä kontin liikkeestä
- putken ikä on n. 30 v ja putken uusiminen on helppoa.

G.Girnau on lähtenyt tarkastelemaan keski-eurooppalaisista näkökohdista, joten on ymmärrettävää, että tarkastelusta ovat kaukolämpöjohdot jääneet vähälle huomiolle. Toisaalta kaasujohdon korostaminen on ymmärrettävää kaasun aiheuttaman räjähdysvaaran takia. Suomalaisissa olosuhteissa kaasulla ei ole tällä hetkellä läheskään samaa merkitystä kuin sillä on Keski-Euroopassa.

	Poikkileikkaukset (mitat m)	Kaupunki	Tunnelissa olevat johdot	Huomautukset ja selitykset
A		Reimscheld Mannesmann- Röhrenwerke	Jäähdytysvesi Teollisuusvesi Juomavesi Höyry Paineilma Sähkökaapeleita 25 kV saakka Valaistus Viemäri Sadevesiviemäri	Poikkileikkauksen pinta-ala on liian pieni Jäteveden lämmön aiheuttamaa höyryä Luonnollinen tuuletus riittävä
B		Stuttgart a) Paulinen-Strasse b) BWV pumppaus- asema	Sähkökaapelit (E) 0,4 kV 6 kV 10 kV 30 kV 110 kV Katuvalo Liikennevalo Puhelin (T) Kaukolämpö (H)	Vain siirtojohtoja Luonnollinen tuuletus Sähkövalaistus tunnelin sisällä
C		Bochum Ruhrin yliopisto	Sähkökaapelit (E) 380 V, 10 kV Puhelin (T) Pneumaattinen kulj. (PT) Kaukolämpö (H) Kaukojäähdytys (CT) Höyry (S) Vedenpoisto (C) Juomavesi (W) Kemiallinen aine (CW) Olut (BT)	Kokonaispituus 5 km Maakerroksen paksuus 1,5 m Kaksiosainen kanava (lämmin ja kylmä) Jätevesijohdot asennettu osittain tunneliin Kaasujohto asennettu tunnelin yläpuolelle turvallisuussyistä Luonnollinen tuuletus Vuotovedet johdetaan sadevesiviemäriin Fluorisoiva valaistus Yhteydet taloihin kävelykelpoisten haara- tunnelien kautta Pistokkeet 50 m välein ja korkeajännite- pistokkeet 100 m välein
D		Giessen Justus Liebig yliopisto	Kuuma vesi (HW) Lämmin vesi (WW) Kylmä vesi (CW) Höyry (S) Vedenpoisto (C) Sähkökaapelit (E) Puhelin (T)	Luonnollinen tuuletus Vuotovedet sadevesiviemäriin Valaistus ja pistokkeet 10 m välein Yhteydet rakennuksiin Kaasuohdot ja korkeajännitekaapelit asennettu maaperään katon yläpuolelle ja seinien taakse Kokonaispituus 1,02 km Maakerroksen paksuus 1,0—2,8 m
E		Zürich	Sähkökaapelit (E) 220 V, 380 V, 500 V Kaasu (G) Vesi (W) Puhelin (T) Järvivesi (LW) Pääviiemäri (S)	Kulkuaukot 60 m välein Kulkuaukot tavaraita varten 200 m välein Tuuletuksessa käytetään puhaltimia Valaistus kattolampuina 8—10 m välein Yhteydet rakennuksiin haaratunnelleilla Yleensä hyviä kokemuksia kaikilla osa- puolilla, ei onnettomuuksia Tunnelit tarkastetaan kerran kuussa
F		Madrid	Sähkökaapelit (E) Korkeajännite (E) Matalajännite (E) Puhelin (T) Kaukopuhelin (TG) Vesi (W) Paloposti (WH) Pneumaattinen kulj. (PT)	Tyyppi A on vakiopoikkileikkaus katujen alapuolella Vuotovedet sadevesitunneliin Koska sadevesitunneli on syvällä, ei ole asennettu laitetta sadeveden tunkeutumisen estämiseksi Yhteiskäyttötunnelit ovat osoittautuneet Madridissa onnistuneiksi

Kuva 17. Yhteiskäyttötunnelien poikkileikkauksia Saksan Liittotasavallasta, Sveitsistä ja Espanjasta

	Poikkileikkaukset (mitat m)	Kaupunki	Tunnelissa olevat johdot	Huomautukset ja selitykset
A	 VANHA TYPPI	Moskova	Sähkökaapelit (E) 10 kV Katuvalo Puhelin (T) Kaukopuhelin (TT) Kaukopuhelin (TG) Tunnelia palveleva kaapeli (SC) Vesi (W) Kaukolämpö (H)	Rakentaminen: A ja B) Cut and Fill Kaivu kauhakuormaajalla Pohja betonista tai valmiista elementeistä Muut osat elementeistä Vesitiiviste bitumista Kuilut 1000—1500 m välein Sijainti katujen alla Minimi kerrospaksuus päällä 0,5 m Minimi etäisyys rakennuksiin 0,8 m C) Tätä tyyppiä käytetään raskaan liikenteen kulkiessa yläpuolella Pyöreä profiili Verhous betonisegmenteistä Tunnelin minimikaltevuus 0,3 % Tuuletus 300 m välein sijaitsevilla puhaltimilla Vuotovedet johdetaan sadevesiviemäriin, tai kerätään kaivoihin ja pumpataan pois Valaistus ja pistokkeet 50 m välein Yhteydet rakennuksiin haarautuvilla tunneleilla tai porareillä Hälyttimet putkien vuotojen tai kaasun havaitsemiseksi Tunnelleita huoltaa oma osasto, jolla on omat työntekijät 10 hengen ryhmä vastaa 5 km pitkän tunnelin huollosta. 30 km pitkää tunneli-osuutta kohti on 15 hengen korjausryhmä Tunnelin kestoikä on arvioitu 100 vuotta Korkeajännitekaapelit eivät ole häirinneet puhelinkaapeleita Tunnelleihin on asennettu myös kaasuputkia
B	 UUSI TYPPI			
C	 UUSI TYPPI			
D		Moskova	Sähkökaapelit (E) Puhelin (T) Kaukolämpö (H) Vesi (V)	Kuten yllä
E		Shdanow	Teollisuusvesi (LW) Jäähdytysvesi (WC) Vesi (W) Pehmennetty vesi (SW)	Tunneli on vuorattu vettä läpäisemättömällä vuorauksella Vuorausrenkaita käytetty 2360 kpl Yhden renkaan pituus 1,5 m Yhden renkaan paino 15 t Renkaat asennettiin erikoisnostureilla
F		New York Ehdotettu tunneli	Sähkökaapelit (E) Vesi (W)	New Yorkissa ei ole yhteiskäyttötunneleita, koska palvelut ovat monien yksityisten yritysten hallussa. Pilvenpiirtäjien vaatimien suurten putki- ja kaapelimäärien takia tunnelin koko kasvaisi liian suureksi ja toisaalta tilaa teiden alla ei ole riittävästi olemassa olevien metrotunnelien, rautateiden ja rautatieasemien sekä jalankulkukäytävien takia.

Kuva 18. Yhteiskäyttötunnelien poikkileikkauksia Neuvostoliitosta ja Yhdysvalloista

3. ERI JOHTOJEN SOVELTUVUUS YHTEISKÄYTTÖTUNNELIIN

Maanpinnassa samoinkuin kaivantoon sijoitettuja johtoja erottaa toisistaan jonkinpaksuinen maakerros. Kaivantoja on yleensä ollut helppo laajentaa eri suuntiin tarpeen mukaan. Tunnelissa johdot ovat yleensä samassa avoimessa tilassa. Tilaa ei yleensä ole käytettävissä runsaasti ja kerran tehtyä tunnelia on lähes mahdotonta laajentaa. Näin ollen on selvää, että niitä tietoja, mitä on ollut käytettävissä johtojen rakentamisesta maanpintaan, ei voida suoraan soveltaa yhteiskäyttötunneleihin.

Kun johtojen soveltuvuutta yhteiskäyttötunneleihin laitosten edustajien kesken selvitettiin, esille nousi suuri määrä tekijöitä, jotka yhteiskäyttötunneleita suunniteltaessa ja rakennettaessa on otettava huomioon. Näitä tekijöitä, jotka liittyvät johtojen soveltuvuuteen, johtojen tunnelin olosuhteille asettamiin vaatimuksiin ja tilantarpeisiin, on koottu kohtaan 3 "Eri johtojen soveltuvuus yhteiskäyttötunneliin".

3.1 Vesijohto 3.11 Veden lämpötila

Vesijohtoverkostoon lähtevän veden lämpötila on kesäaikana korkeimmillaan $+14 - +16^{\circ}\text{C}$. Maanpintaan rakennetussa verkostossa veden lämpötila alenee, kun vesi etenee verkostossa kohti kuluttajaa. Tunneliin sijoitetussa putkistossa veden lämpötila ei välttämättä alene, vaan kaukolämpöjohtojen aiheuttaman ilman lämpenemisen takia vesijohtoveden lämpötila mahdollisesti kohoaa.

Veden lämpötilan nouseminen yli $+14 - +16^{\circ}\text{C}$ aiheuttaa terveysriskejä bakteerikannan lisääntymisedellytysten parantuessa. Kuluttajan kannalta lämmin juomavesi ei ole miellyttävää. Siirtojohdoissa virtaamat ovat yleensä niin suuria, ettei vesijohtoveden lämpenemistä tunnelin ilman vaikutuksesta pääse merkittävästi tapahtumaan. On olemassa kuitenkin putkistoja, esimerkiksi rakennusvaiheessa olevilla esikaupunkialueilla, joiden virtaamat ovat pieniä ja veden lämpeneminen tällöin mahdollista. Edellä olevien seikkojen perusteella tunnelin lämpötilan pitäisi pysyä alle 15°C , jotta vesijohtoveden lämpeneminen kesäaikanakaan ei olisi mahdollista.

3.12

Veden saastuminen

Jätevesiviemärin läsnäollessa on varmistauduttava siitä, että missään olosuhteissa jätevettä ei pääse vesijohtoverkoston. Onnettomuustapauksissa, jolloin sekä jätevesi- että vesijohto menevät rikki, ei yleensä ole mitään vaaraa, koska vesijohdon paine on suurempi. Suomenlinnan tunnelissa on hyväksytty vesi- ja jätevesijohdon sijoittaminen rinnakkain. Lisäksi on huomattava, että tunneliratkaisussa putkistot eivät joudu ulkopuolisen kuormituksen alaiseksi ja siksi putkistojen vaurioitumisalttius on pieni.

3.13

Vedenpaine

Putkiston mitoituspaine on 1000 kPa. Normaali käyttöpaine on n. 400 - 700 kPa, mutta se voi vaihdella rajoissa 300 - 900 kPa. Koska putkiston paine kasvaa n. 100 kPa/10 metrin syvenemä, on normaalitytapauksissa ja 30 - 60 metrin syvyyteen rakennettujen vesijohtojen yhteydessä ryhdyttävä harkitsemaan mitoituspainealtaan vahvemman laitteiston (venttiilit ym). käyttöönottoa.

3.14

Tunnelin täyttymisen estäminen

Yhteiskäyttötunnelin täyttyminen on pyrittävä estämään siinä tapauksessa, että putkistoon syntyy vuoto. Estämällä täyttyminen vähennetään muiden putkien ja kaapeleiden vaurioitumisriskiä sekä mahdollistetaan korjaustöiden nopea aloittaminen.

Tunneleihin asennettuihin päävesijohtoihin on asennettava venttiilit tunneliosan molempiin päihin tunnelin ulkopuolelle. Venttiilien on oltava kaukoohjattavia sulkuventtiilejä, jotta sulkeminen voitaisiin suorittaa mahdollisimman nopeasti.

3.15

Tilantarpeet tunneleissa ja pysty-yhteyksissä

Pääjohtojen halkaisijat ovat 600, 800 ja 1000 mm. Tavanomaisimmat jakelujohtojen halkaisijat ovat 100, 150, 200, 300 ja 400 mm. Putkien pituudet ovat yleensä 6, 9 ja 12 m.

Putket on asennettava vähintään 400 mm:n päähän seinästä. Tyhjennysventtiilien ja virtausmittareiden tilantarpeet ovat suhteellisen helposti järjestettävissä. Ilmanpoistovenktiilit asennetaan tunnelis-

sa sijaitsevan johdon korkeimmille kohdille ja vedenpoistoventtiilit matalimmille.

Huoltokäytävällä tilantarve on sama kuin suurimman käytetyn putken halkaisija sekä asennukseen tarvittava tila. Arvion mukaan tämän tilan on oltava ainakin 1,4 m leveä.

Johtoa korjattaessa tarvitaan ohitusjohdolle tila. Ohitusjohdon halkaisijan ei tarvitse olla yhtä suuri kuin alkuperäisen johdon. Nyrkkisääntönä voidaan sanoa, että ohitusjohdon halkaisija saa olla noin kolmannes alkuperäisen johdon halkaisijasta.

Yleensä vesijohto on sijoitettu yhteiskäyttötunnelissa tunnelin pohjalle seinän viereen. Poikkeuksen tästä tekee Göteborgin yhteiskäyttötunneli.

Vesijohto voidaan sijoittaa myös huoltokäytävän alle ja pienten putkien ollessa kyseessä ($\emptyset$ alle 300 mm) kattoon ripustaminen tulee myös kysymykseen. Huoltokäytävän alle sijoitettu putki on suojassa mekaanisilta vaurioilta ja toisaalta huoltoliikenne on niin kevyttä ja vähäistä, ettei se putkistoa rasita. Sepelikerros toimii myös eristeenä estäen tunnelin lämpimän ilman vaikutukset vesijohtoon. Vesijohto ei tällaisessa asennustavassa olisi näkyvisä, mikä on yleensä laskettu tunneliratkaisun eduksi. Vesilaitoksen asiantuntijoiden mukaan ei ole välttämätöntä, että johdon olisi oltava näkyvissä.

Helsingin kaupungin vesilaitos on tähän mennessä käyttänyt tunneleissaan mm. pystykuiluja, joiden poikkipinta-ala on 4 m^2 ($2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$). Kuiluissa on oltava portaat ja tasanteet liikkumista ja asentamista varten.

3.2

Kaukolämpöjohdot

3.21

Kosteus

Kosteus on kaukolämpöjohtojen ja niiden kannakkeiden suurin vaiva. Kosteus aiheuttaa korroosiota. Putkistojen korroosio voidaan estää kosteussuojalla ja kannakkeiden korroosio esim. valmistamalla kannakkeet betonista. Jos putket asennetaan pohjalle, betoniset kannakkeet ovat hinnaltaan edullisempia kuin teräksiset. Betoniset kannakkeet ovat myös huollon kannalta edullisemmat kuin teräksiset.

3.22

Kiertoveden lämpötila ja eristys

Kaukolämpöjohdoissa virtaavan veden lämpötilat vaihtelevat vuodenaikojen mukaan. Vesi kaukolämmön siirtojohdoissa veden lämpötila on seuraavassa taulukossa esitettyä suuruusluokkaa.

Taulukko 2. Veden lämpötilat kaukolämpöjohdoissa

Vuoden- aika	Veden lämpötila °C	
	Menojohto	Paluujohto
Kesä	75 (min)	60 (maks)
Talvi	129 (maks)	70 (maks)

Tämän hetken käsitysten mukaan taloudellinen eristyspaksuus menojohdossa on n. 120 mm mineraalivil-laa ja paluujohtossa n. 80 mm. Taloudelliseen eris-tyspaksuuteen vaikuttaa ennenkaikkea energian hin-ta, joten edellä olevat arvot ovat suuntaa antavia.

3.23

Kiertoveden paine

Putkistot rakennetaan yleensä 1000 tai 1600 kPa:n käyttöpaineelle. Tunneliosuuksilla korkeusasemasta riippuen voidaan joutua käyttämään putkistoja, joi-den paineluokka on 2500 tai 4000 kPa. Koska paine kas-vaa n. 100 kPa/10 metrin syvenemä, riittää nykyisin putkien mitoitus (1600 kPa) aina 60 metrin syvyy-teen saakka laitostasosta, mikäli käyttöylipaine laitoksella on n. 1000 kPa.

3.24

Lämpölaajeneminen

Putkistojen asennuslämpötila on n. 10° C ja suurin käyttölämpötila 120° C. Lämpölaajenemista tapahtuu menoputkessa n. 200 mm 180 metrin matkalla, käytet-täessä teräkselle lämpölaajenemiskerrointa $K = 1,16 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$.

Lämpölaajeneminen voidaan tasata joko erityisillä aksiaalitasaimilla (putkiston suuntaiset paljeta-saimet) niveltasaajilla tai ns. luonnollisella me-netelmällä. Niveltasaajia tai luonnollista menetel-mää käytettäessä tarvitaan mutkat tietyin välimat-koin putkistoon. Turku-Naantali tunnelissa on käy-tetty luonnollista menetelmää. Se soveltuu tekni-sesti hyvin, jos kaukolämpöputket asennetaan pääl-lekkäin ja tunnelin louhintamenetelmä on ollut sel-lainen, että tunneliin jää ns. syvennyksiä louheen-siirtoajoneuvojen kääntymispaikoiksi. Näitä käänty-

mispaikkoja voidaan hyödyntää putkistoja rakennettaessa. Tunnelit voidaan louhia myös nykyään niin, että syvennyksiä ei jää. Tällöin voidaan käyttää aksiaalitasaimia, joka täten on rakennuskustannuksiltaan halvin.

3.25

Välipumppausasemat

Välipumppausasemia tarvitaan siirtojohdoissa. 1000 kPa:n verkolla päästään ilman välipumppausasemia n. 5 km, koska paine-eron laskun mitoitusarvona käytetään yleensä 20 kPa/100 m. Paineluokkaa nostamalla päästään pitempiin pumppausasemien välisiin etäisyyksiin.

3.26

Putkiston asentaminen

Putkiston asentaminen on helppoa, jos ne voidaan asentaa tunnelin pohjalle rinnakkain. Tunnelin pinta-alan hyödyntämisen kannalta tämä ei ole kuitenkaan edullisinta. Korjaustyön kannalta rinnakkaisratkaisu on edullinen. Tunnelin poikkipinta-alan hyödyntämisen kannalta kaukolämpöputket on yleensä edullisinta asentaa päällekkäin.

3.27

Tunnelin täyttymisen estäminen

Kohdan 3.22 mukaan kaukolämpövesi on talvella kuumimmillaan 120° C. Jos tällaista kuumaa vettä pääsee vuotamaan tunneliin suuret määrät, tavanomaiset pumput eivät kestä kuuman veden aiheuttamaa rasi-tusta. Yhteiskäyttötunneliin onkin asennettava pumput, jotka pystyvät pumppaamaan kuumaa vettä.

Tukholman yhteiskäyttötunneleihin kuumaa vettä kestäviä pumppuja ollaan parhaillaan asentamassa. Tukholmassa on kerran tapahtunut onnettomuus, jossa suuret määrät kuumaa kaukolämmitysvettä valui yhteiskäyttötunneliin /5/. Vähintään kaukolämpöjohtojen tunneliosuuksien molempiin päihin on syytä asentaa kauko-ohjattavat sulkuventtiilit, jotta mahdollinen vuoto saadaan nopeasti tyrehtytettyä. Tällaisessa tapauksessa pumppujen olisi oltava vaihdettavissa maanpinnalta käsin. Tämä edellyttää kivilujen rakentamista pumppaamojen yhteyteen.

Tunnelin täyttyminen, joko kylmällä tai kuumalla vedellä, on ehkä kaikkein haitallisinta kaukolämpöjohtojen kannalta, koska eristeet vaurioituvat välittömästi tunnelin täytyttyä. Kuuman kaukolämpöveden vuotaessa tunneliin muodostuu vesihöyryä, ja tilanne on lähes sama jos kylmä tunneliin vuotanut

vesi koskettaa kuumaa kaukolämpöjohtoa. Vesihöyry on pyrittävä poistamaan tuuletuksen avulla, jotta korjaustyö voisi alkaa nopeasti.

3.28

Tilantarpeet tunneleissa ja pysty-yhteyksissä

Eri putkikoot selviävät taulukosta 3. Siirtojohdot ovat yleensä yli 300 mm halkaisijaltaan. Putkien pituus on 12 m. Eristekerros on paksuudeltaan n. 120 mm, putken kannake ja työtila lisäävät tilantarvetta.

Taulukko 3. Vesikaukolämpöverkoissa Pohjoismaissa käytettävät putket

NS mm	DU x s mm x mm	Sisätilavuus dm ³ /m	Paino kp/m
25	33,7 x 2,6	0,638	2,01
40	48,3 x 2,6	1,459	2,95
50	60,3 x 2,9	2,333	4,14
65	76,1 x 2,9	3,882	5,28
80	88,9 x 3,2	5,346	6,81
100	114,3 x 3,6	9,009	9,90
125	139,7 x 3,6	13,78	12,00
150	168,3 x 4,0	20,18	16,3
200	219,1 x 4,5	34,67	23,7
250	273,0 x 5,0	54,33	33
300	323,9 x 5,6	76,80	43,8
400	406,4 x 6,2	121,7	62,4
500	508,0 x 6,3	192,7	78,1
600	609,6 x 8,0	276,6	118,6
700	711,2 x 8,8	377,6	152,4
800	812,8 x 8,8	496,6	175,6
900	914,4 x 10,0	628,3	224,4
1000	1016,0 x 11,0	776,0	274,3

Aksiaalitasaus ei tarvitse lisätilaa kun taas laajentumismutka tarvitsee syvennyksen. Putken etäisyys seinästä määräytyy putken tukirakenteiden (kannake) ja työtilan tarpeen perusteella, jolloin vähimmäisetäisyydeksi muodostuu 10 cm. Huoltotilassa

on pystyttävä kuljettamaan suurin tunnelissa oleva putki.

Pienet kaukolämpöputket (alle 300 mm) voidaan ripustaa tunnelin kattoon. Muutoin putket voidaan sijoittaa joko tunnelin pohjalle rinnakkain tai seinälle päällekkäin. Molempia tapoja on tähän mennessä käytetty. Seinäasennuksen etuna katsotaan olevan, jos useampia kaukolämpöjohtopareja ei asenneta, se, että tunnelin poikkipinta-ala hyödynnetään mahdollisimman tehokkaasti. Seinäasennuksen haitta on se, että kannakkeet ovat kalliimpia kuin pohja-asennuksessa.

3.3

Viemärit

3.31

Viemärityypit

Viemärityyppejä on kahdenlaisia: erillisviemäreitä ja sekaviemäreitä. Erillisviemäröinnissä sadevesi ja jätevesi johdetaan eri putkissa, sekaviemäreissä ne johdetaan samassa putkessa.

Sadevesiviemärit toimivat pääasiassa gravitaatioperiaatteella. Jätevesiviemärit ja sekaviemärit toimivat gravitaatioperiaatteella kortteleista pumppaamoille saakka, kun taas pumppaamoilta jätevesi pumpataan paineellisissa viemäreissä puhdistuslaitokselle johtaviin gravitaatioviemäriin.

Sekaviemäröintiä käytetään Helsingissä pääasiassa kantakaupungissa ja erillisviemäröintiä esikaupunkialueilla. Sadevesiviemäreiden mitoitus perustuu sellaisen sateen varalle, jonka esiintymistodennäköisyys on kerran kahdessa vuodessa.

Yhteiskäyttötunneleihin soveltuvat parhaiten paineviemärit ja kokoojäviemärit, kun taas keräilyviemärit, joihin tulee yhteyksiä kaikista kiinteistöistä, soveltuvat näiden yhteyksien takia huonommin. Yhteiskäyttötunneleissa tulevat kysymykseen vain putkiviemärit, joko paineelliset tai gravitaatioviemärit. Viemäriveden avovirtausta ei voida sallia yhteiskäyttötunneleissa syövyttävien ja jonkinverran myrkyllisten kaasujen vuoksi. Tästä johtuen myös yhteiskäyttötunneleihin asennettaville putkiviemäreille ja tarkistuskaivoille täytyy asettaa vaatimukseksi ehdoton tiiviys. Kaasuvuotojen estäminen johtaa siis korkeampaan työn laatuvaatimukseen kuin perinteisissä maahan upotettavissa ratkaisuisissa.

Sadeveden avovirtausta yhteiskäyttötunneleissa ei voida yleensä sallia, koska on olemassa ilmeinen tunnelin täyttymisen vaara rankkasateella.

3.32

Syvyys ja kaltevuus

Keräilyviemäreiden syvyystaso on tarkasti määrätty verkostoon liittyneiden kiinteistöjen korkeus-
aseman mukaan. Lisäksi gravitaatioperiaatteen ta-
kia putkijohtojen ja tunneleiden pitää olla tasai-
sesti kaltevia virtaussuuntaan. Vaatimus on $\geq 1 \text{ }^{\circ}/\text{oo}$
sekä viemäritunnelilla että viemäriputkella.

3.33

Huolto

Gravitaatioviemäreiden huoltotehtävissä on pystyt-
tävä käyttämään paineellista huuhtelulaitetta 60 -
100 metrin välein olevista huuhteluluukuista. Huuh-
telu voi tapahtua katutasolta käsin tai tunnelista,
mikäli huuhteluajoneuvo mahtuu huoltotilaan.

Virtauksen katkaiseminen viemäreiden rikkoontues-
sa on vaikeaa. Pienissä ja keskisuurissa viemäreis-
sä viemäreiden katkaisu ja ohipumppaus onnistuvat.
Suurien putkien ollessa kyseessä ohitusyhteyden ra-
kentaminen vie tilaa. Väliaikainen putki voi olla
oleellisesti pienempi kuin alkuperäinen, jolloin
virtausnopeus kasvaa.

Ainakin alle 30 vuoden ikäisten aikavälillä viemä-
reiden rikkoontuminen voidaan yleensä korjata pai-
kallisella betonoinnilla tai sujuttamalla toinen
putki rikkoontuneen sisään. Vanhempien putkien uu-
simistyö voidaan järjestää huoltotilaan rakennetul-
la ohitusputkella. Ohitusputki voidaan tietysti ra-
kentaa erikseen sille varattuun tilaan.

Todennäköisyyttä sille, että viemäriputket särkyi-
sivät tunnelissa, on pidettävä erittäin pienenä.
Putkisto ei tunnelissa joudu ulkopuolisen rasituk-
sen kohteeksi sillä tavoin, kuin se katuverkon alla
joutuu. Ulkopuolisista voimista ainoastaan tunne-
lissa käytetyt huoltoajoneuvot voivat rikkoa viemä-
riputken, mutta tämäkin riski voidaan minimoida put-
ken oikealla sijoituksella.

3.34

Putkiston rakentamisesta

Käytön aikana putkistossa ei tapahdu lämpölaajene-
mistä, koska putkiston lämpötila on ympäri vuoden
tasalämpöistä eli n. $15 - 16^{\circ} \text{ C}$. Liitoksissa ja
haaraumissa voidaan käyttää joustavia liitoskappa-
leita, jotka estävät vaurioiden synnyn rakentami-
sen jälkeen tapahtuvan lämpölaajenemisen vaikutuk-
sesta.

3.35

Tilantarpeet tunnelissa ja pysty-yhteyksissä

Jätevesiputkien ja sekavesiputkien halkaisijat vaihtelevat 200 - 1800 mm:iin, pituudet 1 - 12 metriin ja painot 30 - 3400 kiloon. Painavimmat putket ovat betoniputkia ja kevyimmät muoviputkia. Nämä ovat yleisimmin käytetyt putkilaadut.

Viemäriputket voidaan asentaa tunnelissa pohjalle seinän viereen tai huoltokäytävän alle. Asennustilaa putkien ympärillä olisi oltava 200 - 300 mm. Huoltokäytävän kevyt ja vähäinen liikenne ei sanottavasti rasita viemäriputkia, onhan putket mitoitettu kestäämään raskasta katuliikennettä. Viemäriputkien ei siis välttämättä edellytetä olevan näkyvissä yhteiskäyttötunneleissa.

Tunnelissa olevan viemärin liitos maanpintaan voidaan toteuttaa porausrei'illä. Tällaisia pysty-yhteyksiä on tehty mm. Länsi-Pasilassa. Porausreiän sisälle asennetaan putki.

3.4

Sähkökaapelit

3.41

Kaapeliverkot

Kaapeliverkot voidaan Helsingissä luokitella seuraavasti:

1. Siirtoverkko (110 kV)
2. Suurjännite-jakeluverkko (20 - 10 kV)
3. Kaupungin energialaitoksen viestiverkko
4. Pienjännite-jakeluverkko (380/220 kV)
5. Katuvaloverkko
6. Liikennevaloverkko.

Edellämainituista kaapeleista yhteiskäyttötunneliin voidaan harkita sijoitettavaksi seuraavia kaapeleita

- sähköasemien ja voimalaitosten välisiä siirtoverkon 110 kV kaapeleita
- viestiverkon kaapeleita
- mahdollisesti 20 kV ja 10 kV jakeluverkon vahvistukseksi tarvittavia kaapeleita.

Perusedellytyksenä on, että tunnelin tai sen osan linjaus noudattaa suunnilleen tulevan kaapeliyhteyden suuntaa.

Muille kuin edellisessä kappaleessa luetelluille kaapeleille on tyypillistä, että niiden on päästävä toistuvasti maanpinnalle kulutuspisteisiin. Kallioon rakennetut yhteiskäyttötunnelit ovat luonteeltaan siirtotunneleita, jolloin pysty-yhteyksien

lukumäärä on rajoitettu eikä näin ollen näiden kaapeleiden sijoittaminen tällaisiin yhteiskäyttötunneleihin ole mahdollista.

3.42

Kaapelipalot

Sähkökaapeleiden kannalta suurin vaara tunnelissa on kaapeleiden palaminen. 110 kV kaapelit ovat kaupungin sähkön jakelun kannalta erittäin tärkeitä. Niissä sattuva vaurio katkaisee sähkön jakelun useilta kaupunginosilta. Vauriosta on mitä suurimmalla todennäköisyydellä seurauksena kaapelipalo, joka saattaa tuhota kaikki lähellä olevat kaapelit. Tällaisen vaurion korjaus kestää vähintään viikon. 20 kV ja 10 kV kaapeleissa sattunut vaurio katkaisee sähkön jakelun keskimäärin tunniksi yhden kaupunginosan laajuiselta alueelta.

Viime vuosina ympäri maailman on sattunut tuhoisia kaapelipaloja, jonka vuoksi määräykset kaapeleiden tunneliasentamisesta ovat todennäköisesti tiukkenemassa. Toisaalta Tukholmassa /5/ on vielä 1970-luvulla asennettu 30 kV kaapeleita hyllyköihin. Tukholman yhteiskäyttötunneleissa ei ole tapahtunut vielä yhtään kaapelipaloa.

Kaapelin palaessa syntyy runsaasti savua ja kaasua, minkä vuoksi kaapelipalon sammuttaminen on vaikeata tunneliolosuhteissa. Muovieristeen palamistuotteena syntyy suolahappoa, joka aiheuttaa betonirakenteiden rapautumista sekä ihmisille myrkytysvaaran.

3.43

Lämpötilan vaikutus kapasiteettiin

Lämpötilan kohoaminen pienentää kaapeleiden kapasiteettia. Asemien välisissä johdoissa voi mennä esim. koko Helsingin kaupungin käyttämä energia. Yhteiskäyttötunnelin lämpötila ei saa tämän vuoksi kohota yli 20° C. Tämä rajoitus on myös käytössä mm. Saksan Liittotasavallassa /2/.

Kaapeleiden asentaminen tunnelin pohjalle hiekalla täytettyyn kouruun tarjoaa tässä suhteessa edun, sillä näin asennettuna kaapelit eivät ole herkkiä lyhytaikaiselle lämpötilan kohoamiselle. Kannakkeille asennetut kaapelit olisivat lämpötilan kohoamiselle alttiimpia.

3.44

Viestiverkon kaapelit

Viestiverkon kaapelit ovat voimalaitosten, sähköasemien ja valvomoiden välisiä erittäin tärkeitä puhelin- ja kaukokäyttökaapeleita. On mahdollista

että näiden kaapeleiden vaurion seurauksena on laaja sähköön jakeluhäiriö.

Viestiverkon kaapelit vaurioituvat vain ulkopuolisten tekijöiden vaikutuksesta. Vauriosta ei seuraa tulipaloa, ellei kaapeli syty ulkopuolisesta palosta.

Uusien viestikaapeliyhteyksien reitit noudattavat siirtoverkon (110 kV) reittejä. Kullekin siirtoverkon kaapelireitille tulee 2- 3 kpl viestikaapeleita. Kaapelit voidaan asentaa tunnelin yläosaan arinalle, jolloin mahdollisissa tunnelissa tehtävissä töissä niiden vaurioitumisvaara on pienin mahdollinen. Arinamateriaalina tulee olla kuumasinkitty teräs korroosion ja mekaanisen suojauksen takia. Kaapelit voidaan viedä tunnelista pintaan poranreikien avulla.

3.45

Asentamistavat ja tilantarpeet tunnelissa ja pysty-yhteyksissä

110 kV:n kaapelit voidaan asentaa elementtikanavaan, jonka leveys on n. 40 cm ja korkeus n. 30 cm. Kanava voidaan sijoittaa tunnelin pohjalle tai sepelikerroksen sisään. 10 kV:n kaapelit voidaan asentaa arinalle (kannakkeille) tai betonikouruilla suojattuna hiekan sisään tunnelin pohjalle.

Palojen estämiseksi sähkökaapelit on parasta asentaa tunnelin pohjalle elementtikanavaan, joka puolestaan täytetään hiekalla. Tällä tavoin asennettu kaapeli on myös suojassa mekaanisilta vaurioilta. Nykyiset kaapelit sietävät hyvin kosteutta, joten veden valuminen kanavaan ei haittaa. Kosteus kanavassa on hyödyksi, koska tällöin lämpö johtuu paremmin ympäristöön ja kaapelit pysyvät viileämpiä. Vesi ei saa virrata kourussa, jotta lämpöä johtava hiekka pysyisi paikallaan.

Viestikaapelit asennetaan mahdollisesti arinalle, jonka yläpuolelle on jätettävä vapaata tilaa kaapelin asentamista ja huoltoa varten.

Pysty-yhteydet voidaan tehdä porausreikien avulla. Reiän yläpäässä tarvitaan tilaa kaivantaja varten.

3.5

Puhelinkaapelit

3.51

Kaapelivaurioiden estäminen

Puhelinkaapeleiden kannalta tärkein seikka asennettaessa niitä tunneleihin on löytää varmimmat

ratkaisut kaapeleiden toiminnan kannalta. Taloudellisesti edullisinta ratkaisua haettaessa yhtenä tärkeänä tekijänä pidetään kaapelivaurioiden ehkäisemistä ennakolta. Katuverkossa olevien maapuhelinkaapeleiden vaurioitumisalttius on suurempi kuin tunnelissa olevien, kun taas kanavakaapelien suojaus on lähes tunnelien luokkaa.

Tunneliolosuhteissa on kaapelit sijoitettava niin, että huoltoajoneuvo ei voi tönäistä kaapeleita rikki. Kaapelihyllyn reuna voidaan varustaa vahvalla tunnelin suuntaisella suojakaiteella.

Kosteus muodostaa riskin viallisille kaapeleille. Kosteusvaurioiden vähentämiseksi kaapelit paineistetaan ylipaineella. Paine toimii ensisijaisesti kosteussuojana ja toisaalta paineen tarkkailulaitteiston avulla saadaan nopeasti hälytys vaurioituneesta kaapelin vaipasta. Tunneleihin sijoitettavat kaapelit on yleensä paineistettava.

Puhelinkaapelit tulisi sijoittaa tunneliin niin, ettei muiden johtojen huoltaminen aiheuttaisi puhelinkaapeleille vaurioitumisriskiä. Vaurioita on päästävä huoltamaan kaikkina vuorokaudenaikoina.

3.52

Kaapeleiden pinnoitteet

Kaapeleiden pinnoitteina on käytetty juuttia, polyeteeniä, polyvinyylikloridia (PVC) ja lyijyä. PVC-pinnoitteiden alla on alumiinivaippa ja ohut PVC-kerros toimii korroosiosuojana.

Kalkkipitoinen vesi vaikuttaa vahingoittavasti muovi- ja lyijypintaisiin kaapeleihin, joten veden valuminen tunneliolosuhteissa kaapeleiden päälle on estettävä.

5.53

Muiden johtojen läheisyyden vaikutus

Puhelin- ja sähkökaapeleiden asentamista rinnakkain tulee välttää. Näitä kaapeleita toistensa läheisyyteen asennettaessa tulee noudattaa Sähköturvallisuusmääräyksiä ja niiden nojalla annettuja muita määräyksiä /18/.

Puhelinkaapeleiden kannalta muodostaisi tasainen tunnelin lämpötila edullisimmat olosuhteet. Lämpötila ei mielellään saisi ylittää $+30^{\circ}\text{C}$, optimilämpötila kaapeleiden kannalta on $+6^{\circ}\text{C}$. Lämpövaikutusten takia puhelinkaapeleita ei saa sijoittaa kaukolämpöjohtojen viereen.

3.54 Salakuuntelun estäminen

Yhteiskäyttötunneliin pääsevät kaikki sitä käyttävät osapuolet. Salakuuntelun mahdollisuus voidaan estää sijoittamalla kytkentäpisteet lukittujen ovien taakse ja estämällä kytkentäjakamoon pääsy tunnelin kautta.

3.55 Kaapeleiden asentaminen

Asennettaessa uusia kaapeleita tiheästi rakennetuilla alueilla katutasossa käytetään nykyisin kaapelikanavia ja -kaivoja, mikäli asennettavalla välillä on vapaita kanavaputkia. Kaapelikaivojen välinen etäisyys on 200 m. Etäisyyden määrää kaapeleiden vetolujuus. Tunneliolosuhteissa päästään arvioiden mukaan aina 300 m vetopituuteen saakka. Tunneliin sopivat asennettaviksi lähinnä kaukokaapelit, puhelinkeskusten väliset ns. yhdyskaapelit ja suuret tilaajakaapelit, jotka syöttävät mahdollisimman pitkälle ilman väli-ulosottoja maan pinnalle.

Tunnelissa eri laitosten kaapelit tulisi asentaa eri hyllyille. Tämä tekee huoltamisen ja asentamisen yksinkertaiseksi eikä jatkossa tarvitse pelätä sitä, että huollettaessa yhden laitoksen kaapeleita, aiheutetaan vahinkoa toisen laitoksen kaapeleille. Hyllyasentamisen lisäksi kaapelit voidaan asentaa tunnelin pohjalle (kaapelikanava, putkitus, kourut) tai ripustaa tunnelin kattoon tai seinälle.

Kaapeleiden taivutussäteet eivät aseta rajoituksia. Sekä koaksiaalikaapeleiden että valokaapeleiden taivutussäteet ovat 1,5 metrin luokkaa.

Tunneliin asennettavien kaapeleiden pontentiaali-ero maan potentiaaliin ei saa muodostua liian suureksi, minkä vuoksi kaapeleiden maadoitus on järjestettävä.

3.56 Tilantarpeet tunneleissa ja pysty-yhteyksissä

Puhelinkaapelihyllyn yläpuolelle on jätävä vapaata tilaa sen verran, että kaapeli voidaan nostaa huoltoon varten pois. Käytännössä vapaata tilaa on siten oltava 30 - 40 cm. Käytävällä tarvitaan tila huoltomiehelle.

Kaapeleiden lukumäärä ja koko määräytyy projekti-kohtaisesti. Siirtyminen valokaapeleihin tulee pienentämään kaapeleiden kokoa.

Kauko- ja yhdyskaapelireiteillä tarvitaan tilat vahvistimille, joita tulee n. 1,5 km:n välein. Vahvistimet sijoitetaan arkkuihin, jotka ovat mitoiltaan n. 70 cm x 60 cm x 40 cm. Kokonaistilantarve on 2 - 6 m² vahvistinasemaa kohti. Arkut sijoitetaan yleensä seinälle, joten tilantarve koskee seinäneliöitä. Arkut ulottuvat seinästä n. 0,5 metrin päähän. Arkkujen lattia-asennus voi myös tulla kyseeseen, jos tunnelissa on syvennyksiä lounhintatöiden jäljiltä, jolloin on järjestettävä vedenpoisto näistä syvennyksistä. Valokaapeleiden käyttö tulevaisuudessa tietää myös vahvistimien tarpeen vähenemistä.

Kuiluissa puhelinkaapelit sidotaan kannatinrakenteisiin n.s 2,5 metrin välein. Näin estetään mekaanisen lujuuden ylittäminen jatkuvan rasituksen takia. Kuiluissa on oltava portaat ja työskentelytasot kaapeleiden kiinnittämiseksi.

Jos tehdään porausreikiä tunnelista maanpintaan kaapeleita varten, on sitä parempi, mitä kaltevampi porattu reikä on. Kaltevassa reiässä kaapeli lepää paremmin alustallaan eikä mekaanista lujuutta näin ollen ylitetä.

3.6

Kaasujohto

3.61

Kaasuverkoston kehitysnäkymät Helsingissä

Helsingissä ei rakenneta tulevaisuudessa uusia kaasun siirto- tai jakelujohtoja. Vanhoja johtoja korjataan tarpeen vaatiessa.

Maakaasun jakelun aloittaminen pääkaupunkiseudulla ei ole todennäköistä. Jos maakaasua tulevaisuudessa jaettaisiin Helsinkiin, kysymykseen tulisi pääasiassa jakelu suurkuluttajille, kuten teollisuuslaitoksille ja voimalaitoksille. Maakaasun pienkuluttajajakelu ei tunnu todennäköiseltä, koska maakaasua käytettäisiin vain liesien energiana eikä talojen lämmitykseen, kuten Keski-Euroopassa on tapana.

3.62

Tunneliin sijoittaminen

Helsingissä noudatetaan kaasujohtoihin liittyvissä kysymyksissä DVGW:n (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.) säännöskokoelmia kaasuputkistoille, joiden suurin sallittu paine on 4 baria. Suomalaisissa standardeissa ei ole tälle ns. kaupunkikaasulle määräyksiä, kun taas maakaasulle ja nestekaasulle suomalaisetkin standardit löytyvät.

Edellisen mukaan kaasujohtojen sijoittaminen kanaaleihin on sallittu vain silloin, kun kanaali on täytetty tai kaasujohto on varustettu suoja-putkella. Suojaputki estää vuototapauksissa kaasun leviämisen tunneliin ja toisaalta suojaputki estää itse kaasuputkea vahingoittumasta mekaanisten voimien tai esimerkiksi ruosteen vaikutuksesta.

Helsingissä on tunneleita mm. Kalliossa, joihin on sijoitettu kaasujohto yhdessä muiden johtojen kanssa. Näissä tapauksissa ainoa huolen aihe kaasujohdon kannalta on korroosion vaikutus.

3.7

Pneumaattiset kuljettimet

3.71

Periaatteellinen toiminta /3/

Pneumaattisia kuljettimia käytetään silloin, kun kahden tai useamman pisteen välillä on vilkas tavaraliikenne, esim. postia. Pneumaattisen kuljettimen muodostavat vähintään kaksi asemaa, niitä yhdistävä putki tai putkipari sekä ilmalaitteisto. Asemien välisen putken halkaisija voi vaihdella 65 mm:stä aina 900 mm:iin. Tavarankuljetuskontin koko vaihtelee tietenkin putken halkaisijan mukaan, niin että suurimmissa putkissa kontti kulkee kiskojen päällä pienten pyörien avulla.

3.72

Rakentamisesta /3/

Alle 200 mm halkaisijaltaan olevat putket taipuvat pienimmillään 4 metrin säteellä. Putkissa pitää olla aukaistavat luukut 300 - 400 metrin välein, jotta huoltaminen olisi mahdollista.

PVC-putkista rakennettu pneumaattinen kuljetin varautuu staattisella sähköllä kontin liikkeestä ja tästä voi aiheutua kipinöintiä. Tästä syystä näitä putkia ei pitäisi asentaa kaasuputken läheisyyteen ilman eristystä. Siinä tapauksessa, että kaasuputket joudutaan asentamaan samaan tunneliin kuin pneumaattinen kuljetin, olisi syytä käyttää teräs- tai asbestiputkia putkimateriaalina. Nämä putket eivät varaudu staattisesti.

Pneumaattisten kuljettimien ja vesi-, jätevesi-, sähkö- ja puhelinjohtojen kesken ei esiinny mitään vuorovaikutusta, joten pneumaattisia kuljettimia voidaan hyvin asentaa yhteiskäyttötunneliin.

3.8

Johtopäätökset

Monet tekijät vaikuttavat eri johtojen soveltuvuuteen yhteiskäyttötunneleihin. Tämän selvityksen perusteella voidaan esittää seuraava luettelo niistä tekijöistä, jotka yhteiskäyttötunneleita suunniteltaessa on otettava huomioon:

Vesijohto:

- vesi ei saa lämmetä yli 15° C
- vesi ei saa saastua missään olosuhteissa
- vedenpaineen kasvu on huomioitava syvissä tunneleissa
- tunnelin täyttyminen rikkoontumistapauksissa on estettävä tehokkaalla valvonta- ja sulkulaitteistolla
- ohitusjohdolle on oltava tila
- vesijohto asennetaan pääsääntöisesti tunnelin pohjalle, alle 300 mm:n johtoja voidaan myös ripustaa
- vesijohto voidaan peittää.

Kaukolämpöjohdot:

- putkiston ja kannakkeiden korroosio on estettävä
- kiertoveden lämpötila vaihtelee vuodenaikojen mukaan, jolloin tunneliin tuleva lämpöteho vaihtelee
- kiertoveden paineen kasvu on huomioitava syvissä tunneleissa
- putkiston lämpölaajenemisen tasaaminen
- tunnelin poikkileikkauksen hyödyntämisen kannalta on edullisinta asentaa johdot päällekkäin
- tunnelin täyttyminen rikkoutumistapauksissa on estettävä tehokkailla valvonta- ja sulkulaitteistoilla sekä tehokkailla kuumavesipumpuilla.

Viemärit:

- viemäriputket soveltuvat yhteiskäyttötunneleihin
- haitallisten kaasujen pääsy tunneliin on estettävä
- syvyys ja kaltevuusrajoitukset (kaltevuus ≥ 1 ‰) on huomioitava
- gravitaatioviemärit on pystyttävä huuhtelemaan
- ohitusputkelle on oltava tila
- putkistot voidaan peittää sepelillä.

Sähkökaapelit:

- kaapelit on suojattava mekaanisilta vaurioilta
- mahdollinen vaurio ei saa johtaa jatkuvaan tulipaloon
- tunnelin lämpötila ei saa nousta yli 20° C
- kaapeleissa syntyvän lämmön johtamisesta pois on huolehdittava.

Puhelinkaapelit ja viestikaapelit:

- kaapelit eivät saa vaurioitua mekaanisista tai muista syistä
- kaapeleiden päälle ei saisi valua vettä
- puhelin- ja sähkökaapeleiden turvaetäisyyksissä tulee noudattaa Sähköturvallisuusmääräyksiä
- hyllyn yläpuolella on oltava riittävästi tilaa asennusta ja huoltoa varten
- salakuuntelu on estettävä.

Kaasujohto:

- kaasujohto on varustettava suojaputkella.

Pneumaattinen kuljetin:

- PVC-putki varautuu staattisella sähköllä.

Edellisten tekijöiden lisäksi kaikki osapuolet vaativat omien huoltomiestensä esteetöntä pääsyä yhteiskäyttötunneliin kaikkina vuorokaudenaikoina.

Tämän selvityksen yhteydessä esille nousi lisäksi paljon yksityiskohtaisia rakennustekniikkaan liittyviä kysymyksiä, joita kaikkia ei ole tarkoituksenmukaista lähteä luetteloimaan.

Kaasujohtoon ja pneumaattiseen kuljettimeen liittyvien kysymysten tarkastelu jää vähäiseksi, koska näiden johtojen rakentaminen ei ole Helsingissä tällä hetkellä ajankohtaista. Kaasujohtoon liittyvät kysymykset mm. katastrofivaara ovat ehkä kaikkein vaikeimpia ratkaista. Lähemmän tarkastelun seurauksena voisi olla se, että kaasujohtoa ei hyväksyttäisi yhteiskäyttötunneliin muiden johtojen joukkoon.

Yleisesti ottaen voidaan todeta, että vesijohdon, kaukolämpöjohtojen, viemäreiden sekä sähkö- ja puhelinkaapeleiden asentamiselle yhteiskäyttötunneliin on hyvät edellytykset.

Selvitettäessä eri johtojen soveltuvuutta yhteiskäyttötunneliin tärkeimpinä kysymyksinä esille nousivat:

- yhteiskäyttötunnelin lämpötila
- huollon vaatima tila
- eri johtojen sijoittaminen ja asentamistavat tunnelin poikkileikkaukseen.

Näitä kysymyksiä on käsitelty selvityksen kohdissa 4, 5 ja 6.

4.

YHTEISKÄYTTÖTUNNELIN LÄMPÖTILA

Yhteiskäyttötunneliin sijoitetaan usein kaukolämpöjohdot, jotka lämmittävät tunnelin ilmaa. Vähäisempiä ilman lämmittäjiä ovat sähkökaapelit ja valaistus. Kaukolämpöjohdoista tunneliin siirtyvään tehoon vaikuttavat johtojen halkaisijat, eristyspaksuus, eristysmateriaali sekä putkissa virtaavan veden lämpötilat.

Saksalaisten tutkimusten mukaan yhteiskäyttötunnelin lämpötila ei saa nousta yli 20°C , jotta sähkökaapeleiden kuormituskapasiteetti ei laskisi. /2/

HKE:n uudisrakennusosasto on asettanut yhteiskäyttötunnelin lämpötilalle ylärajan $+20^{\circ}\text{C}$, koska muutoin sähkökaapeleiden kapasiteetti laskee liikaa.

HKV:n jakeluosaston mukaan yhteiskäyttötunnelin lämpötila ei saa kohota ylitse 15°C , jotta vesijohtovesi ei lämpiäisi.

USA:ssa yhteiskäyttötunneleista on jätetty pois juomavesijohto, koska tunnelin lämpimän ilman on epäilty vaikuttavan juomaveden lämpötilaan. Jo olemassa olevissa tunneleissa pelättiin lämpötilan vaikuttavan sähkökaapeleihin. /1/

4.1

Lämmön muodostuminen

Yhteiskäyttötunneleihin muodostuu lämpöä pääasiassa kaukolämpöputkista. Kertaluokaltaan vähäisempää on sähkökaapeleista ja valaistuksesta syntyvä lämpö.

Kaukolämpöputkistojen lämpöhäviöt (taulukko 4) laskettiin tämän selvityksen yhteydessä kahdelle eri putkityypille kahdessa eri tapauksessa talviaikana, jolloin putkistossa virtaava vesi on kuumimmillaan sekä kesäaikana vallitsevissa olosuhteissa.

Taulukko 4. Lämpöhäviöt kaukolämpöjohdoista mineraalivillaaeristyksellä. Eristyksen paksuus menoputkessa on 120 mm ja paluuputkessa 80 mm, tunnelin lämpötila on 20°C .

	Kiertoveden lämpötila $^{\circ}\text{C}$		Lämpöhäviöt W/jm	
	Menoputki	Paluuputki	NS 700	NS 500
Kesällä	75 (min)	maks 60 (maks)	120	90
Talvella	120 (maks)	maks 70 (maks)	180	140

Yhdestä 110 kV:n kaapeliyhteydestä syntyy lämpöä n. 45 W/jm.

Jos tunneleiden valaisu järjestetään esimerkiksi 30 metrin välein olevilla 60 watin lampuilla, syntyy lämpöä n. 2,0 W/jm.

4.2

Lämmön poistaminen

Tunnelin ympärillä oleva kalliomassa vaikuttaa tunnelissa olevaan ilmaan. Kallion lämpötila on 6 - 8° C niissä syvyyksissä, missä kalliorakentamista tapahtuu.

Yhteiskäyttötunneliin tulevan lämmön on johdettava pois tai se on johdettava pois. Tunnelista pois lähtevän lämpömäärän on oltava yhtä suuri kuin sinne tuleva lämpömäärä, tällöin ei tunnelin lämpötila nouse. Tunnelista lähtee pois lämpöä kahdella tavalla: kallioon johtumalla ja tuuletuksella.

4.21

Kallioon johtuminen

VTT:n lämpöteknillinen laboratorio on suorittanut kokeen /25/, jossa tunnelin ilmaa lämmitettiin viikon ajan niin, että lämpötila oli 29,0 - 20,5° C. Tunnelin sisäpinta-alan yksikköä kohti lasketun lämpövirran arvoksi saatiin kokeen lopussa 47 W/m². Suoritetun kokeen perusteella voitiin havaita lämpövirtakäyrien tasaantuneen viikon aikana, jonka perusteella ylläoleva lämpövirran arvo on sitten saatu. Koe on tehty väestönsuojamääräyksiä varten ja on siten ilmeistä, että yhteiskäyttötunneleita ajatellen kokeen kesto aika on ollut liian lyhyt.

Väestönsuojamääräysten /21/ mukaan väestönsuojien jäähdytyslaitteita mitoitettaessa käytetään kallionpinnan ja ruiskubetonoidun kallionpinnan lämmönjohtamisarvona 50 W/m². Toiminnallisissa tiloissa käytetään vastaavana arvona 25 W/m².

Taulukon 4 mukaan NS 700 kaukolämpöputket luovuttavat lämpötehoa enintään 180 W/jm. Kun oletetaan kallioon johtuvan 25 W/m², tarvitaan vapautuvaa lämpötehoa sitomaan 7,2 m² puhdasta kallionpintaa, mikä vastaa poikkileikkaukseltaan n. 7 m² tunnelia, tällöin ei tunnelin pohjan pinta-alaa oteta huomioon. Poikkileikkaukseltaan 13 m² tunnelissa on yhden metrin matkalla n. 10 m² puhdasta kallionpintaa, mikä pystyy sitomaan 250 W vapautuvaa lämpöä.

4.22

Tuuletus

Tunneliin kaukolämpöjohdosta tuleva lämpö voidaan tarvittaessa johtaa pois tuuletuksella. Lämmön poissiirtoon tarvittavan kuivan tuuletusilman määrä voidaan laskea kaavasta

$$V = \frac{Q_h}{c_p (t_u - t_s)} \times 3600$$

missä

V = kuiva tuuletusilmamäärä m^3/h

Q_h = tunneliin saapuva lämpöteho $kcal/s$

c_p = ilman ominaislämpö vakio paineessa $kcal/m^3 \text{ } ^\circ C$

t_u = tunnelista ulos tulevan ilman lämpötila $^\circ C$

t_s = tunneliin sisään menevän ilman lämpötila $^\circ C$

Otetaan esimerkkitapaukseksi tunneli, joka on suora putki ja tuuletus tapahtuu puhaltamalla ilmaa sisään toisesta päästä.

Otetaan seuraavat arvot:

- poikkileikkauspinta-ala $A = 13 \text{ m}^2$
- tunnelin pituus $I = 2000 \text{ m}$
- lämpöä tulee tunneliin $Q = 120 \text{ W/jm}$
- tunneliin sisään menevän ilman lämpötila $t_s = 15^\circ C$
- tunnelista ulos tulevan ilman lämpötila $t_u = 18^\circ C$
(siis sallitaan $3^\circ C$ nousu tuuletusilman lämpötilassa)
- ilman ominaislämpö $c_p = 0,31 \frac{kcal}{m^3 \text{ } ^\circ C}$
- $1 \text{ W} = 0,2389 \times 10^{-3} \text{ kcal/s}$

Sijoittamalla edellämainitut arvot kaavaan saadaan tuuletusilman määräksi $222\,000 \text{ m}^3/h$.

Tunnelin ilma täytyy siten vaihtaa $222\,000 \text{ m}^3 / 13 \times 2000 \text{ m}^3 \sim 8,5$ kertaa/h.

Tuuletusilman virtausnopeudeksi muodostuu tällöin $8,5 \times 2000 \text{ m/h} = 17\,000 \text{ m/h} = 4,7 \text{ m/s}$.

Näin voidaan teoreettisesti laskea tarvittava tuuletusilmamäärä niissä tapauksissa, missä kallion jäädyttävä vaikutus ei riitä pitämään lämpötilaa riittävän alhaisena. Edellisen laskutavan suurin virhe on se, että tunnelista ilmaan tuleva kosteus sitoo myös lämpöä ja näin ollen todellinen tuulettotarve on pienempi kuin laskettu.

4.3

Johtopäätökset

1. Kallioon johtuu lämpöä n. $25 - 40 \text{ W/m}^2$, kun tunnelissa oleva ilman lämpötila on 20°C . Tarkasti tätä lämpövirran arvoa ei tunneta.
2. Kun oletetaan seuraavien tekijöiden olevan voimassa
 - lämpövirta kallioon on 25 W/m^2
 - tunneliin tulee lämpöä enintään 250 W/jm
 - tunnelin poikkipinta-ala on 13 m^2riittänee pelkkä kallion jäähdyttävä vaikutus pitämään yhteiskäyttötunneleiden lämpötilan riittävän alhaisena.
3. Tarvittaessa lämmönsiirto tunneleista tuuletuksen avulla on helposti järjestettävissä.

5. KÄYTÖNAIKAINEN HUOLTOTILA

Kun verrataan Suomessa ja Ruotsissa toteutettuja yhteiskäyttötunnelihankkeita Keski-Euroopassa toteutettuihin tunnelihankkeisiin, huomataan kaksi keskeistä eroa:

1. Pohjoismaiset tunnelit ovat kalliotunneleita, kun taas muuanne rakennetut tunnelit ovat yleensä kaivettu maaperään.
2. Pohjoismaissa jätetään käytävä huoltoajoneuvolle, kun taas muualla jätetään ahdas tila huoltomiehelle.

Nämä kaksi seikkaa ovat syy ja seuraus. Maaperään kaivettuihin tunneleihin ei ole varaa jättää tilaa huoltoajoneuvoille, koska ne ovat jo muutenkin erittäin kalliita.

Suomen olosuhteissa tunnelin poikkipinta-alaan vaikuttavat tunneliin sijoitetut johdot ja käytönaikaisen huollon vaatima tila. Vaikka nämä tilantarpeet olisivat yhteensä alle 13 m², kannattaa silti rakentaa tuo kustannuksiltaan "minimitunneli".

Käytönaikainen huoltotila jakaantuu kahteen osaan. Ensinnäkin johtojen asennus- ja huoltotilaan putkien ja kaapeleiden ympärillä sekä huoltotilaan huoltokäytävällä.

5.1 Johtojen asennus- ja huoltotila

Sijoitettaessa johtoja tunnelin poikkileikkaukseen on otettava huomioon johtojen asennus- ja huoltotila. Tämä tila vaihtelee johdoittain ja laitoksittain jonkin verran, mutta jo olemassa olevien kokemusten perusteella voidaan jotakuinkin tarkasti määritellä nämä tilatarpeet.

Kaukolämpöjohtojen asentamisessa on useimmiten lähdettävä siitä, että johdot asennetaan päällekkäin. Mitoitettaessa kaukolämpöjohtojen tarvitseman tilan leveyttä Tukholmassa on käytetty seuraavassa taulukossa esitettyjä arvoja.

Taulukko 5. Kaukolämpöjohdon tarvitseman tilan leveys putken halkaisijan mukaan /5/.

Putken halkaisija mm	Putken + eristeen ¹⁾ halkaisija mm	Putken tarvitseman ²⁾ tilan leveys mm
500	740	1150
600	840	1300
700	940	1500

1) Eristeen paksuus oletettu 120 mm.

2) Johdot asennetaan päällekkäin.

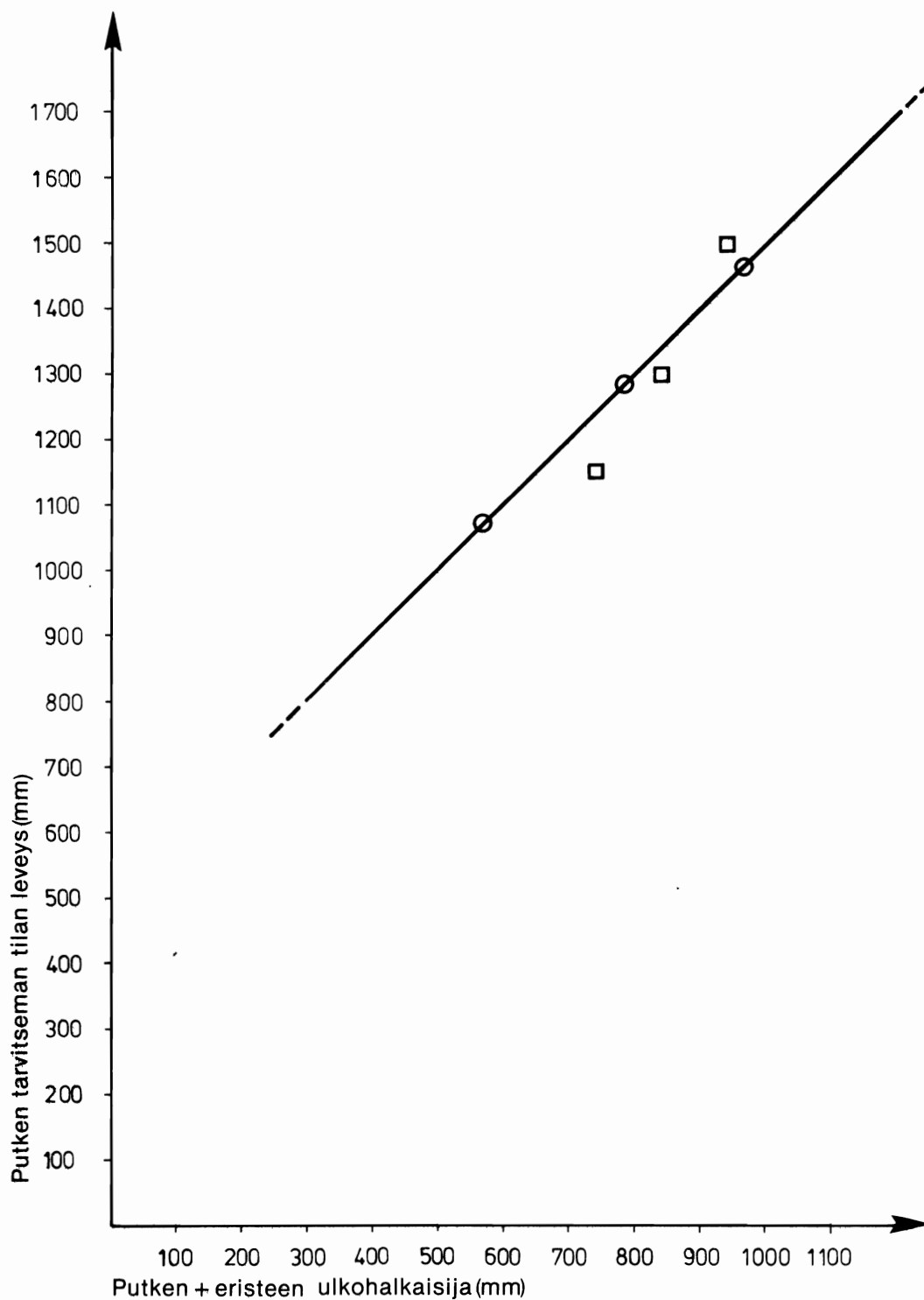
Toisaalta vesijohdon ja seinän välissä on oltava tilaa n. 400 mm. Johdon ja huoltokäytävän välisen tilan on tietysti oltava pienempi eli n. 100 mm. Tästä saadaan seuraava taulukko.

Taulukko 6. Vesijohdon tarvitseman tilan leveys putken halkaisijan mukaan.

Putken halkaisija mm	Putken tarvitseman tilan leveys mm
600	1100
800	1300
1000	1500

Kun taulukoiden 5 ja 6 arvot sijoitetaan kuvaan 19, voidaan vetää käyrä, jonka mukaan määräytyy johdon tarvitseman tilan leveys putken ja eristeen halkaisijan funktiona. Tämä kuvassa 19 esitetty käyrä soveltuu vesi- ja kaukolämpöjohdoille sekä viemäriputkille, joiden halkaisija vaihtelee välillä 400 - 1200 mm. Viemäreiden ja vesijohdon tilan leveyteen ei vaikuta se, onko ne asennettu huoltokäytävän alle sepelin sisään vai onko ne jätetty näkyviin.

Kaapelit voidaan asentaa hyllylle tai tunnelin pohjalle kanavaan. Kaapelihyllyjen leveytenä Tukholman yhteiskäyttötunnelissa on käytetty 700 mm /5/. Hyllyn yläpuolella pitää olla vapaata tilaa niin, että kaikki kaapelit voidaan nostaa pois hyllystä huoltoon varten. Yläpuolella olevan vapaan tilan on siten oltava 300 - 400 mm. Kanava-asennuksessa oleellista on, että kanava voidaan avata vain ylhäältä käsin. Kanava voidaan asentaa vain tunnelin pohjalle, jolloin se vie osan tilasta, johon suuret putket on helpointa asentaa.



Kuva 19. Kaavio putken tarvitseman tilan leveyden mitoittamiseksi putken + eristeen ulkohalkaisijan perusteella.

5.2

Käytönaikaisen huollon vaihtoehdot

Käytönaikaisen huollon vaihtoehdot voidaan ryhmitellä seuraavalla tavalla:

- huolto ilman ajoneuvoa
- huolto kiskokalustolla
- huolto kumipyöräkalustolla.

Käytönaikaisen huoltotavan valinta vaikuttaa tunnelin lopulliseen poikkileikkaukseen yhdessä johtojen lukumäärän ja koon perusteella.

5.21

Huolto ilman ajoneuvoa

Huoltoajoneuvon vaatima lisätila kalliotunnelissa on niin helppo järjestää, että on hyvin vaikea perustella sellaista vaihtoehtoa, joka perustuu pelkästään jalan liikkuviin huoltomiehiin. Huolto ilman ajoneuvoa tulee kysymykseen vain lyhyissä tunnelleissa. Tällaisessakin tapauksessa huoltokäytävällä pitää kuitenkin pystyä kuljettamaan varaputkia, esimerkiksi kattoon ripustetun kiskon avulla. Tämän vaihtoehdon etuna voidaan pitää pienintä mahdollista huoltotilaa ja sitä kautta pienintä tunnelin poikkipinta-alaa.

5.22

Huolto kiskokalustolla

Kiskokaluston käyttö aiheuttaa rajoituksia tunnelin kaltevuuksille ja kaarevuussäteille. Kiskokalustoa ei yleensä käytetä yli 3 % kaltevuuteen louhitussa tunnelissa /4/. Lisäksi kiskokalustoa ei yleensä voida käyttää tavaran kuljetukseen maanpinnalta saakka, vaan putket yms. olisi ensin kuljetettava tunneliin ajotunnelia pitkin. Tämän vuoksi pitäisi rakentaa asema, jossa tavarat siirretään kumipyöräajoneuvolta kiskoilla kulkevaan vauunuun.

Kiskoihin joudutaan investoimaan seuraavasti (1980 hintataso):

- kiskot 1,5 mk/kg, 30 kg/m	= 90 mk/m
- puupalkit 1,6 kpl/m á 80 mk kpl	= 130 mk/m
- työ (arvio)	= 80 mk/m
	300 mk/m

Kumipyöräkalustolla huollettavaan tunneliin verrattuna tätä voidaan pitää ylimääräisenä investointina.

Kiskokaluston etuna kumipyöräkalustoon verrattuna on pienempi tilantarve, koska kiskoajoneuvo voi olla kapea (Järvätunnelissa kiskoajoneuvon leveys on 100 cm, kts. kuva , kohta 2.21). Lisäksi vapaan tilan tarve ajoneuvon ympärillä on pienempi kuin kumipyöräkalustolla. VR:n mukaan tunnelissa on oltava vapaata tilaa sivusuunnassa yhteensä 40 cm.
/20/

5.23

Huolto kumipyöräkalustolla

Kumipyöräajoneuvo on tunnelin louhimisen kannalta joustavampi huoltoajoneuvo kuin kiskoajoneuvo. Valttavana on eri pyöräleveydellä toimivia laitteita. Huoltoajoneuvoksi voidaan ottaa trukki, traktori, kaivosten huoltoon tarkoitettu runko-ohjattu laite tai sitten tavallinen kuorma-auto.

Tunnelin kaltevuus voi olla vaakatasosta 1:7 kaltevuuteen saakka, harvemmin enemmän /4/.

Kumipyöräajoneuvon ympärillä tarvitaan tunnelissa vapaata tilaa. Tälle vapaalle tilalle ei löydy yksiselitteistä ohjetta tai määritelmää. TVL:n ohjeiden mukaan alle 40 km/h nopeudella liikkuva kuorma-auto tarvitsee ajovarmuusvaraa ja liikkumisvaraa sivuillaan (= vapaata tilaa) yhteensä 70 cm /24/. KTM:n päätöksen mukaan alle 15 km/h nopeudella tapahtuvalle raiteettomalle kuljetukselle, jalankulun ollessa kielletty, on oltava vapaata tilaa sivuilla yhteensä 60 cm. Jos väylä ei ole kestopäällystetty on tähän vielä lisättävä 20 %, jolloin tarvittavaksi vapaaksi tilaksi tulee 72 cm. KTM:n päätös antaa ohjeen myös siitä, että ajoneuvon yläpuolella on oltava vapaata tilaa 30 cm. Kumpikaan näistä ohjeista ei koske suoranaaisesti yhteiskäyttötunneleita /11/.

Ruotsissa yhteiskäyttötunneleiden huoltokäytävän mitoitus tapahtuu lain mukaan seuraavasti /5/:

- ajoneuvona trukki (10-20 km/h) leveys 120 cm
- ajoneuvon etäisyys hyllystä 50 cm
- jalkaisin kulkevan miehen tila 80 cm
- kokonaisleveys 250 cm
- kokonaiskorkeus 280 cm

Tämän mukaan ei siis määritellä ajoneuvon sivuilla olevaa vapaata tilaa, vaan määritellään ensinnäkin ajoneuvon etäisyys hyllystä ja toiseksi jalkaisin kulkevan miehen tila. Nämä muodostavat sitten luonnollisesti yhdessä ajoneuvon sivuilla olevan "vapaan tilan". Vapaan tilan leveys on 130 cm. Ruotsalaisen käytännön mukaan ajorata on tällöin päällystetty /5/.

5.24

Vaihtoehtojen vertailu

Huoltokäytävän leveys on tärkein kriteeri verrattaessa erilaisia huoltoajoneuvoja toisiinsa, koska putket ja kaapelit pyritään asentamaan huoltokäytävän molemmin puolin. Putkia ja kaapeleita ei mielellään asenneta huoltokäytävän yläpuolelle, jonka vuoksi tunnelin korkeus ei muodostu kriittiseksi. Jos tunnelin pohjalle huoltokäytävän alapuolelle asennetaan suuria (yli 500 mm) vesi- tai viemäriputkia, myös tunnelin korkeus voi muodostua tärkeäksi tekijäksi valittaessa huoltoajoneuvoa.

Eri huoltoajoneuvojen vaatimaa huoltokäytävän leveyttä voidaan verrata, kun tiedetään, että kiskoajoneuvon sivuilla on oltava vapaata tilaa 40 cm ja kumipyöräajoneuvon 70 cm (kts. kohdat 5.22 ja 5.23). Alla olevaan taulukkoon on otettu mukaan Suomessa kysymykseen tulevat ajoneuvot.

Taulukko 7. Huoltokäytävän leveys huoltoajoneuvon perusteella.

Vaihtoehto	Ajoneuvon leveys korkeus		Huoltokäytävän leveys m	Huom.
	m	m		
1. Ei ajoneuvoa	-	-	1,40	Putki Ø 100 cm + 2 x 20 cm
2. Järvätunnelin juna	1,00	1,35	1,40	
3. Trukki Clark C 500 Y 80	1,20	2,20	1,90	
4. Traktori (Valmet 602)	1,77	n. 2,20	2,47	Ei soveltu yleiseen liikenteeseen
5. Normet 1) PK 3000	1,81	1,88	2,51	
6. Kuorma-auto (Sisu-R-type)	2,40	2,65	3,10	

1) Kaivosten huoltotehtäviin rakennettu runko-ohjattava ajoneuvo.

Taulukon 7 mukaan kumipyöräkalusto vaatii leveämmän huoltokäytävän kuin kiskokalusto. Vertailussa on mukana tosin vain yksi kiskovaihtoehto.

Taulukossa 8 on pyritty muuttamaan erilaiset huoltotilat rahaksi. Siinä on lähdetty ajatuksesta, että tunnelin louhintakustannukset voidaan arvioi-

da olevan kuutiometriä kohden n. 150 mk (1980 hintataso). Eri ajoneuvojen tarvitseman huoltokäytävän poikkipinta-ala on verrattu vaihtoehtoon 1.

Taulukko 8. Eri ajoneuvojen huoltokäytävän ala poikkileikkauksessa ja tästä aiheutuvat kustannukset tunnelin rakentamisessa. Huoltokäytävän ala on saatu kertomalla taulukon 7 huoltokäytävän leveydet korkeudella 2,8 m. Eri vaihtoehtoja on verrattu vaihtoehtoon 1. Huoltokäytävän louhintakustannukset on saatu kertomalla huoltokäytävän ala yhden kuutiometrin louhintahinnalla 150 mk (1980 hintataso).

Vaihtoehto	Huoltokäytävän ala m ²	Lisätilantarve vaihtoehtoon 1 verrattuna m ²	Huoltokäytävän louhintakustannukset mk/jm	Lisäkustannus vaihtoehtoon 1 verrattuna mk/jm
1 Ei ajoneuvoa	3,92	-	588	-
2 Järvätunnelin juna	3,92	0	588	300 ¹⁾
3 Trukki	5,32	1,40	798	210
4 Traktori (Valmet 602)	6,92	3,00	1038	450
5 Normet PK 3000	7,03	3,11	1055	467
6 Kuorma-auto (Sisu R-tyyppi)	8,68	5,76	1302	714

¹⁾ muodostuu kokonaan kiskokustannuksista

Taulukon 8 kohdan 6 perusteella karsiutuu pois kuorma-autovaihtoehto, joka on selvästi kalliimpi kuin vaihtoehdot 2, 3, 4 ja 5. Vertailupohjana käytetty vaihtoehto 1 "ei ajoneuvoa" ei myöskään tulle kysymykseen liikuteltavien putkien painon perusteella.

5.3

Muut huoltokäytävään vaikuttavat tekijät

5.31

Jalkaisin kulkevan miehen tila

Määritettäessä lopullista huoltotilaa yhteiskäyttötunneleille oleelliseksi kysymykseksi muodostuu se, miten suuri tila on varattava jalkaisin kulkevalle miehelle.

Suomessa kaivosten turvallisuusmääräysten /11/ mukaan jalkaisin kulkevan miehen tarvitsemaa tilaa

ei ole yksiselitteisesti määritelty. Raiteettomassa kuljetuksessa vapaa tila ajoneuvon sivuilla, jalankulun ollessa sallittu, on oltava vähintään 90 cm, kun ajoneuvon nopeus on alle 15 km/h eikä tietä ole päällystetty. Vilkkaasti liikennöityjen väylien varrella on samojen määräysten mukaan oltava 80 cm leveä jalkakäytävä. Nämä määräykset koskevat kaivoksia.

Jalkaisin kulkevalle miehelle tarvitaan tilaa nimenomaan tunnelin rakennustöiden aikana. Kun yhteiskäyttötunneli on valmis, voidaan tarkastukset ja muu liikkuminen suorittaa ajoneuvolla.

Ruotsissa jätetään /5/ yhteiskäyttötunneleissa tilaa jalkaisin kulkevalle miehelle 80 cm.

5.32 Ohitusputki

Vesijohdot sekä viemärit tarvitsevat tilaa ohitusputkea varten. Ohitusputkea käytetään silloin, kun alkuperäistä putkea korjataan voimatta kuitenkaan katkaista virtausta alkuperäisessä putkessa.

Ohitusputkelle on tyypillistä, että sen halkaisija voi olla oleellisesti pienempi kuin alkuperäisen putken. Nyrkkisääntönä voidaan sanoa, että ohitusputken halkaisija voi olla noin kolmannes alkuperäisen putken halkaisijasta.

Jos jalkaisin kulkevalle miehelle varataan tila, voidaan tätä tilaa käyttää ohitusputken asentamiseen, koska ohitusputki on aina väliaikainen rakenne.

5.4 Johtopäätökset huoltotilaan liittyvistä kysymyksistä

Eri johtojen ympärilleen tarvitsema huolto- ja asennustila määräytyy asianomaisen laitoksen käytännön mukaan. Suurien putkien on yleensä oltava 40 cm:n päässä seinästä, jotta huoltomiehet pääsevät tarkastamaan ko. putken myös seinän puolelta.

Käytönaikainen huolto voidaan yhteiskäyttötunneleissa järjestää nykyään vain ajoneuvon avulla. Tällöin on valittavissa kisko- ja kumipyöräajoneuvoja, joiden kustannukset ovat yhtäsuuret, jolloin kumipyöräajoneuvo joustavampana ratkaisuna puoltaa paikkaansa. Kiskoajoneuvo tulee kysymykseen pitkissä tunneleissa, joiden kaltevuus on alle 2° /4/.

Huoltokäytävän tärkein mitta on leveys. Suomessa ei ole yhteiskäyttötunneleita koskevia lakeja tai

säännöksiä, jotka kertoisivat kuinka huoltotila on mitoitettava. Soveltaen voidaan käyttää KTM:n kaivosten turvallisuusohjeita sekä TVH:n määräyksiä ja ohjeita, joiden mukaan huoltokäytävä voidaan mitoittaa seuraavasti:

- vapaa tila kiskoajoneuvon molemmin puolin yht. 40 cm
- vapaa tila kumipyöräajoneuvon molemmin puolin yht. 90 cm
(nopeus alle 15 km/h, ajotietä ei ole päällystetty)
- jalan kulkevan miehen tila 80 cm

Jos kumipyöräajoneuvon leveys on 120 cm, on koko huoltokäytävän leveys siten ylläolevassa tapauksessa $90/2 + 120 + 80 = 245$ cm.

Ruotsissa vastaava mitoitus antaa huoltokäytävän leveydeksi 250 cm kumipyöräajoneuville, jonka leveys on 120 cm /5/.

6.

YHTEISKÄYTTÖTUNNELIN POIKKILEIKKAUKSEN SUUNNITTELU

Yhteiskäyttötunnelin poikkileikkauksen kokoon suomalaisessa kallioperässä vaikuttavat tekijät ovat huoltokäytävän koko sekä johtojen koko, lukumäärä ja asentamistapa.

6.1

Huoltokäytävän koon määrittäminen

Huoltokäytävän kokoon vaikuttavat (kohta 5.2):

- käytönaikainen huoltoajoneuvo
- jalkamiehelle ja ohitusjohdoille varattu tila.

Tunnelin rakentamiskustannusten minimoimiseksi huoltoajoneuvoksi on syytä valita mahdollisimman kapea ajoneuvo, koska johdot pyritään asentamaan huoltokäytävän molemmiin puolin ja tällöin tunnelin poikkipinta-ala lisääntyy leveyden suunnassa.

Yhteiskäyttötunneleiden huoltokäytävä voidaan mitoitaa seuraavasti:

- a) Kumipyöräajoneuvo, nopeus alle 15 km/h
- | | |
|----------------------------------|----------|
| - etäisyys hyllystä | 500 mm |
| - ajoneuvon leveys (esimerkiksi) | 1 200 mm |
| - jalkaisin kulkevan miehen tila | 800 mm |
| (= myös ohitusjohdon tila) | |
| - leveys yhteensä | 2 500 mm |
| - korkeus | 2 800 mm |
- b) Kiskoajoneuvo
- | | |
|----------------------------------|----------|
| - etäisyys hyllystä | 200 mm |
| - ajoneuvon leveys (esimerkiksi) | 1 200 mm |
| - jalkaisin kulkevan miehen tila | 800 mm |
| (= myös ohitusjohdon tila) | |
| - leveys yhteensä | 2 200 mm |
| - korkeus | 2 800 mm |

Koska tunnelit kannattaa louhintateknisistä syistä yleensä louhia vähintään 3,3 m korkeiksi, jää huoltokäytävän yläpuolelle tilaa (ajoneuvon suurin korkeus 2,8 m) tunnelin valaistusta, tuuletusta ja sähkön jakelua varten. Taulukossa 7 kohdassa 5.3 mainittujen ajoneuvojen korkeus on kuorma-autoa lukuunottamatta 2,2 m.

6.2

Johtotilan koon määrittäminen

Johtotilaan sisältyy johdon huolto- ja asennustila. Jokainen laitos määrittelee sen tilan leveyden ja

korkeuden, johon ko. laitoksen johto asennetaan. Johdon omistamalla laitoksella on tällöin oikeus käyttää asentamiseen vain tätä tilaa.

Tunneliin asennettavat suuret johdot vaikuttavat ratkaisevasti poikkileikkauksen kokoon. Kuvan 19 (kohta 5.1) mukaan voidaan mitoittaa kaukolämpöjohtojen, vesijohdon ja viemäreiden tarvitseman tilan leveys putken halkaisijan ja eristepaksuuden mukaan. Tämä mitoitusohje soveltuu käytettäväksi myös silloin, kun johdot sijoitetaan tunnelissa pohjan alle sepelikerroksen sisälle. Tällaisessa tapauksessa ei ole mitään syytä laittaa paksua sepelikerrosta johtojen päälle, koska vesi- ja viemäriputket on mitoitettu kestäämään katujen aiheuttamaa kuormitusta.

Asennettaessa kaapelit kanavaan tunnelin pohjalle, on kanavan kansi pystytettävä avaamaan, joten kanavan yläpuolella tulisi olla vapaata tilaa n. 1000 mm. Kaapelikanavan leveys yhdelle 110 kV:n sähkökaapeliyhteydelle on n. 400 mm.

Mahdollisessa hyllyasennuksessa kaapelihyllyjen yläpuolella olevan vapaan tilan on yleensä oltava 300 - 400 mm.

6.3

Johtojen sijoittaminen poikkileikkaukseen

Kaukolämpöjohdot on edullisinta sijoittaa päällekkäin poikkipinta-alan hyödyntämistä ajatellen.

Vesijohto ja viemärit on pääsääntöisesti pyrittävä sijoittamaan tunnelin pohjalle, ja ne voidaan peittää sepelillä.

Halkaisijaltaan alle 300 mm:n kaukolämpöjohdot, vesijohto ja viemärit voidaan tarvittaessa ripustaa tunnelin kattoon.

Suurjännitekaapelit on syytä asentaa kaapelipalojen estämiseksi kaapelikanavaan tunnelin pohjalle. Pienjännitekaapelit (alle 1000 V) voidaan asentaa hyllyyn tai tunnelin pohjalle tai ripustaa.

Puhelinkaapelit voidaan asentaa tunnelin pohjalle tai hyllyyn tai ripustaa.

6.4

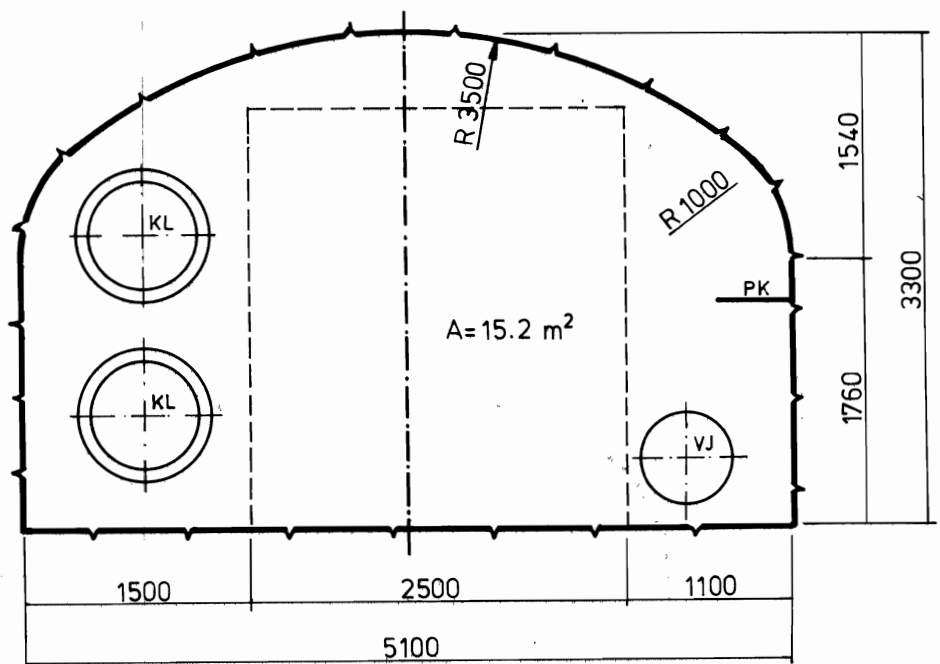
Poikkileikkausesimerkkejä

Seuraavissa kuvissa on esimerkkejä mahdollisista poikkileikkausjärjestelyistä. Kuvat on tehty edellä lueteltujen periaatteiden mukaan. Huoltoajoneuville on varattu tilaa 2,5 m x 2,8 m.

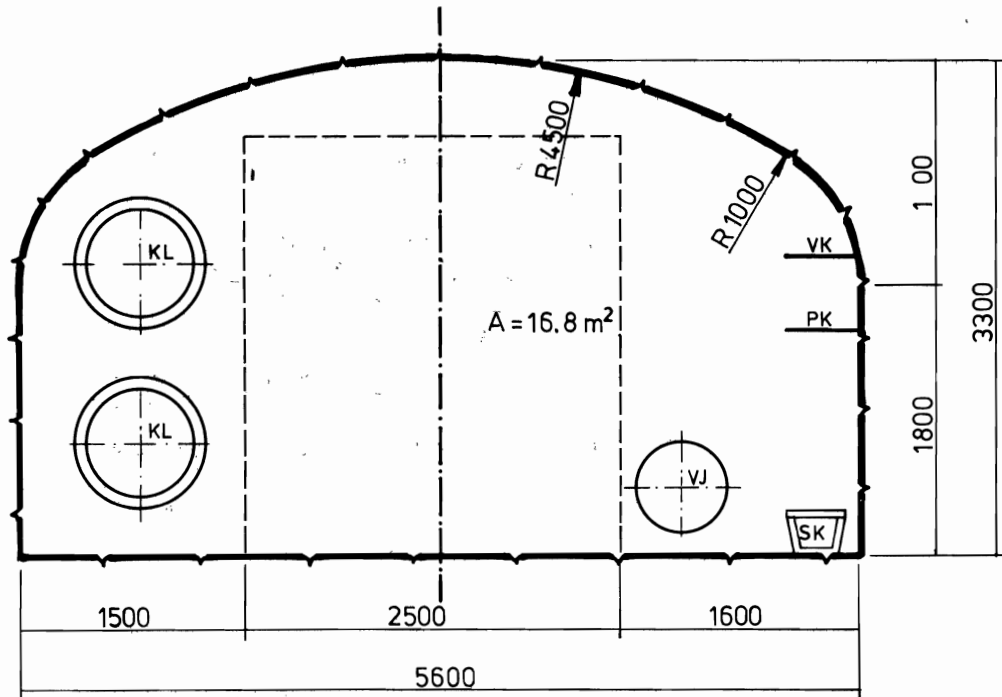
Kuvissa on käytetty seuraavia merkintöjä ja johtokokoja:

- kaukolämpöjohdot, KL, Ø 700 mm, eriste 120 mm
- vesijohto, VJ, Ø 600 mm
- jätevesiviemäri, JV, Ø 800 mm
- puhelinkaapelit, PK, Ø 60 mm, 3 kpl
- sähkökaapelit, SK, 110 kV, 1 yhteys (= 3 kaapelia)
- viestikaapelit, VK, Ø 20 mm, 2 kpl.

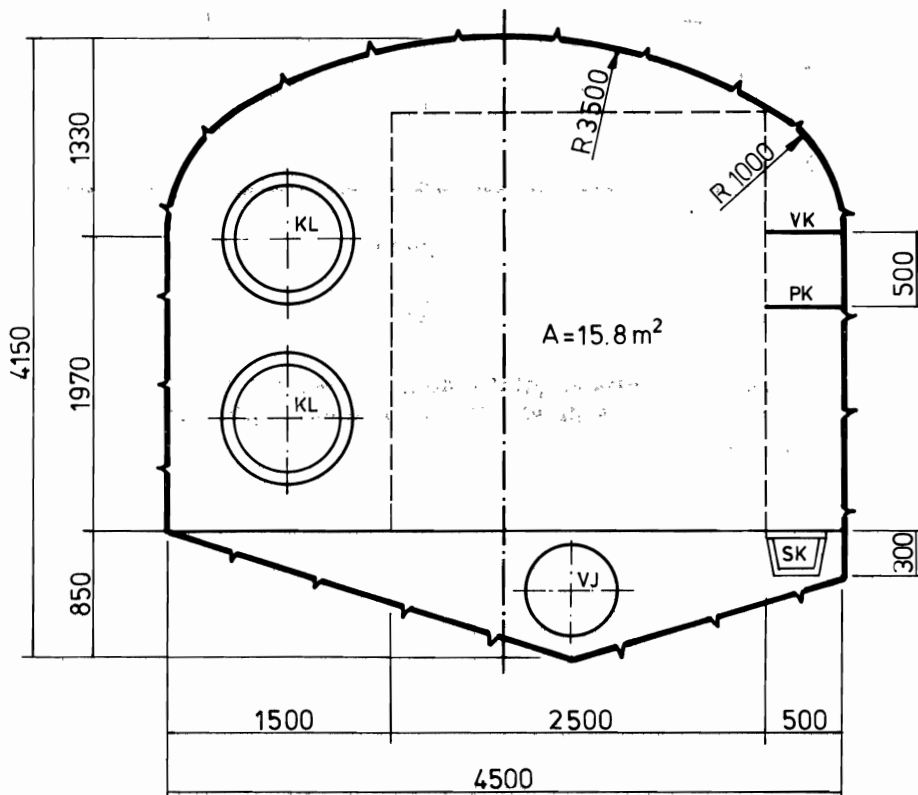
Poikkipinta-aloja laskettaessa on oletettu vesiojan pinta-alaksi 0,125 m² niissä vaihtoehdoissa, joissa pohja on merkitty tasaiseksi.



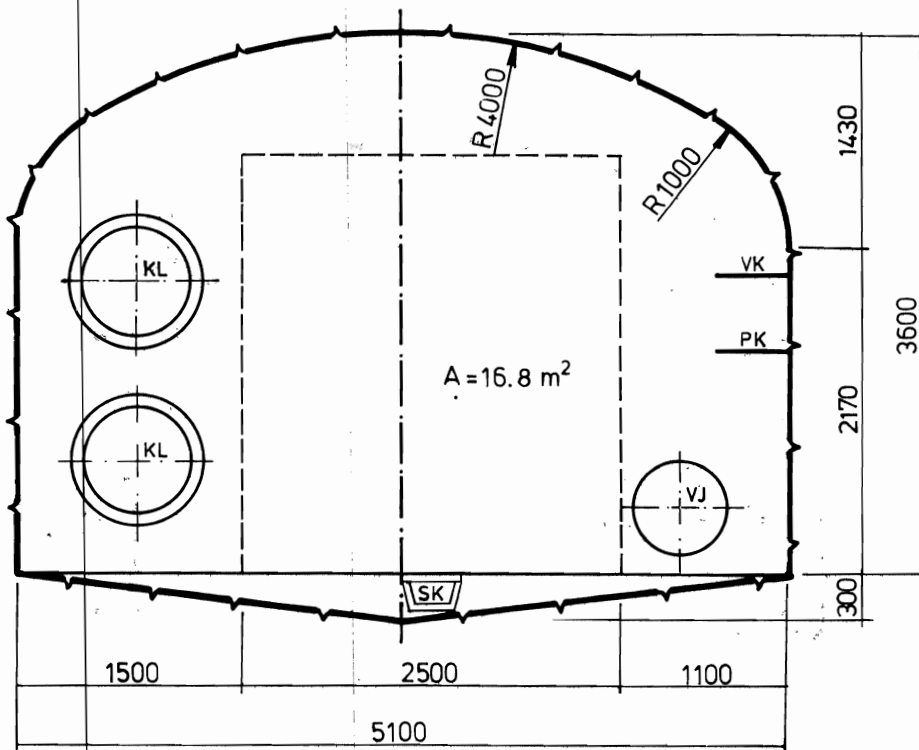
Kuva 20. Yhteiskäyttötunneli: Kaukolämpöjohdot Ø 700 mm, vesijohto Ø 600 mm, puhelinkaapelit 3 kpl hyllyllä.



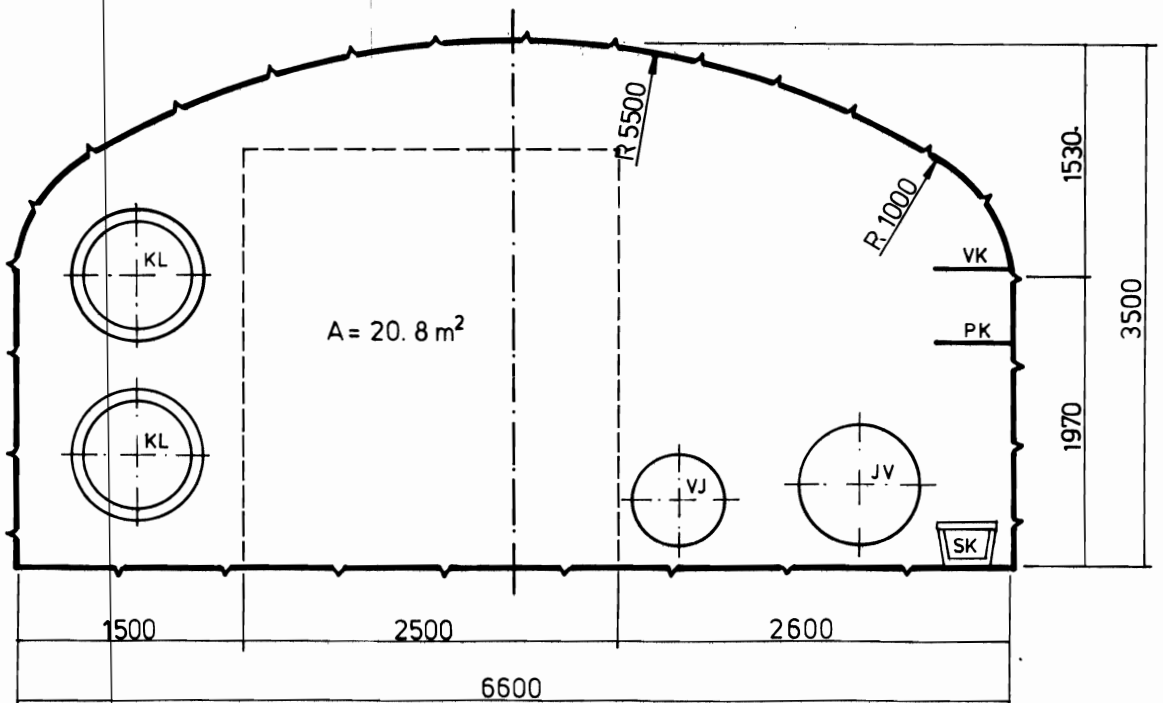
Kuva 21. Yhteiskäyttötunneli: Kaukolämpöjohdot Ø 700 mm, vesijohto Ø 600 mm, puhelinkaapelit 3 kpl hyllyllä, sähkökaapelit (110 kV) kanavassa, viestikaapelit 2 kpl hyllyllä.



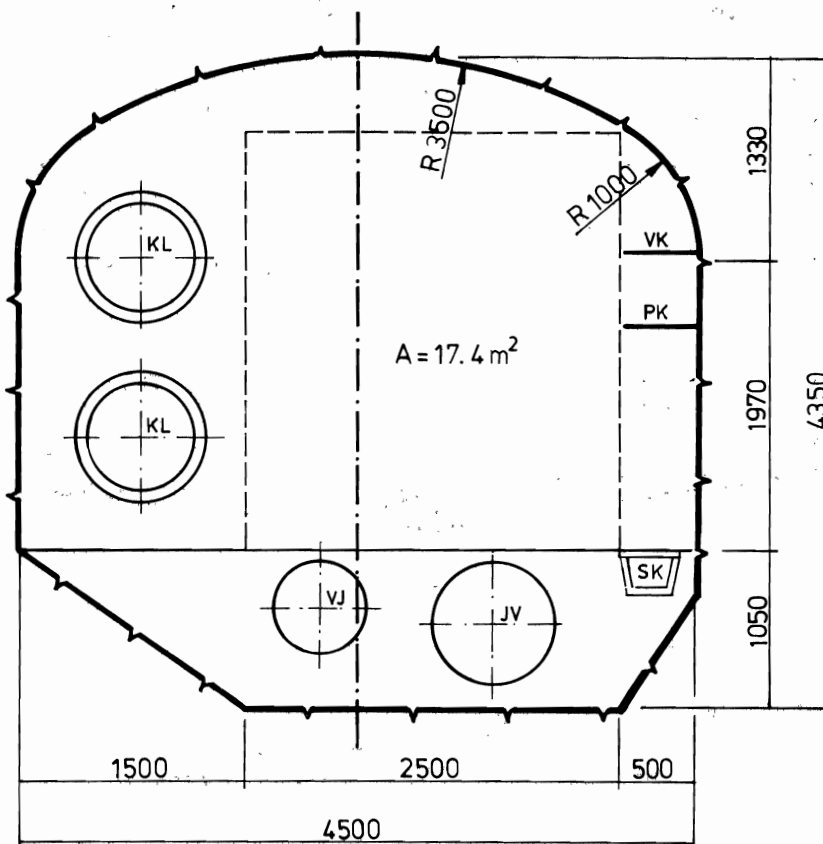
Kuva 22. Yhteiskäyttötunneli: Kaukolämpöjohdot Ø 700 mm, vesijohto Ø 600 mm upotettuna, puhelinkaapelit 3 kpl hyllyllä, sähkökaapelit (110 kV) kanavassa upotettuna, viestikaapelit 2 kpl hyllyllä.



Kuva 23. Yhteiskäyttötunneli: Kaukolämpöjohdot Ø 700 mm, vesijohto Ø 600 mm, puhelinkaapelit 3 kpl hyllyllä, sähkökaapelit (110 kV) kanavassa upotettuna, viestikaapelit 2 kpl hyllyllä.



Kuva 24. Yhteiskäyttötunneli: Kaukolämpöjohdot Ø 700 mm, vesijohto Ø 600 mm, puhelinkaapelit 3 kpl hyllyllä, sähkökaapelit (110 kV) kanavassa, viestikaapelit 2 kpl hyllyllä, jätevesiviemäri Ø 800 mm.



Kuva 25. Yhteiskäyttötunneli: Kaukolämpöjohdot Ø 700 mm, vesijohto Ø 600 mm upotettuna, puhelin-kaapelit 3 kpl hyllyllä, sähkökaapelit (110 kV) kana-vassa upotettuna, viestikaapelit 2 kpl hyllyllä, jäte-vesiviemäri Ø 800 mm upotettuna.

7. TYÖNAIKAINEN TURVALLISUUS

7.1

Lähtökohta

Yhteiskäyttötunnelissa johdot ovat yleensä alttiita vuorovaikutuksille. Samoin on mahdollisissa onnettomuustilanteissa.

Tässä luvussa tavoitteena on ollut luetteloida johdoille ja laitteille mahdolliset onnettomuustyyppit ja niiden aiheuttamat seuraukset yhteiskäyttötunneleissa. Tämän perusteella voidaan jo suunnitteluvaiheessa tehdyillä ratkaisuilla pyrkiä estämään onnettomuuksia tai minimoimaan niiden aiheuttamia seurauksia.

7.2

Mahdollisten onnettomuuksien seuraukset

Onnettomuudet on yksinkertaisinta ryhmitellä seurausten perusteella. Mahdollisia seurauksia erilaisista onnettomuuksista yhteiskäyttötunnelissa, johon on asennettu kaukolämpöjohdot, vesijohto, sähkö- ja puhelinkaapeleita ja paineellinen tai gravitaatioviemäri ovat:

- vesijohtoveden vuotaminen
- kaukolämpöveden vuotaminen
- viemärin vuotaminen
- kaapeleiden vaurioituminen
- tulipalo (ajoneuvo tms.)

Pahimmassa tapauksessa kaksi tai useampia näistä tapahtuu yhtäaikaan.

7.21

Vesijohtoveden vuotaminen

Vesijohtoveden vuotaminen voi aiheutua mm. seuraavista syistä:

- mekaaninen vaurio, esim. huoltoajoneuvon törmäys
- metallin väsyminen
- virheellinen huolto.

Esimerkiksi halkaisijaltaan 800 mm:n putkesta, jossa paine on 510 kPa, veden virtaamaksi tulee $Q = 6,0 \text{ m}^3/\text{s}$ (alussa) ja virtausnopeudeksi tulee $v = 12 \text{ m/s}$ (putken suussa).

Seurauksena tällaisesta veden vuotamisesta on:

- painesuihku voi vaurioittaa lähellä olevia joh-toja ja rakenteita
- tunnelin pohjalla oleva irtain aines kulkeutuu vesimassojen mukana
- vuotokohdan alapuolella olevat jondot voivat vau-rioitua, ellei niitä ankkuroida
- soran sisään asennetut sähkö- ja puhelinkaapelit jäävät louheen varaan, jolloin kaapeleiden vauri-oituminen on todennäköistä
- betonikanavaan asianmukaisesti asennetut kaapelit tuskin vaurioituvat
- veden mukana tuleva irtain aines voi tukkia pumput
- tunneli voi täyttyä, jolloin kaukolämpöjohtojen eristeet vaurioituvat
- täyttyneessä tunnelissa olevat muoviset gravitaa-tioviemäriputket alkavat kellua, ellei niitä ole ankkuroitu tunnelin pohjaan.

Veden vuotamisen estäminen:

- teräsputkien käyttö vesijohtona tunnelissa, koska näiden halkeaminen on epätodennäköisempää kuin valurautaputkien
- huoltoajoneuvoille erittäin tiukat nopeusrajoitukset
- putkien suojaaminen ajoneuvon törmäystä vastaan kriittisissä paikoissa, kuten kaarteissa.

Veden vuotamisesta aiheutuvien vaurioiden minimoiminen voidaan suorittaa seuraavien toimenpiteiden ja tarkkailulaitteiden avulla:

- vedenpaineen tarkkailu putkistossa
- veden virtausnopeuden tarkkailu putkistossa
- vedenpinnan tarkkailu tunnelissa
- tunnelista pois pumpatun vesimäärän kontrollointi
- kauko-ohjattavat automaattiset venttiilit tunne-liosuuden molempiin päihin
- venttiilejä myös tunneliin riittävän tihein vä-lein vuotoveden määrän minimoimiseksi
- suuret varastoaltaat pumppaamoihin, jotta täytty-mistä ei tapahtuisi
- tehokkaat pumput
- soran ja liejun kulkeutuminen pumppuihin on es-tettävä
- kaikkien johtojen ankkurointi alustaan.

Automaattiset, kauko-ohjattavat venttiilit on syytä sijoittaa tunnelissa niihin paikkoihin, joista on yhteys maanpintaan. Näin varmistetaan se, että on-nettomuustapauksissa yhteydet venttiileihin eivät mene poikki, koska yhteydet on rakennettu maanpin-taa eikä tunnelia pitkin.

Suuret, vuotovesiä varten louhitut varastoaltaatkaan eivät estä tunnelia täyttymästä, jos vuotavaa johtoa ei voida nopeasti sulkea vuotopaikan molemmin puolin. Vuotoaltaita on lähdettävä mitoittamaan suurimman mahdollisen vuotavan vesimäärän perusteella. Suurin mahdollinen vuotava vesimäärä voidaan arvioida kauko-ohjattavien venttiilien välisen etäisyyden, hälytykseen kuluvan ajan ja venttiilien sulkemiseen kuluvan ajan perusteella. Jos johtoihin asennetaan paineen tarkkailuanturi jokaiselle venttiileillä suljettavalle välille, on helppoa nopeasti löytää se väli, jossa mahdollinen vuoto on.

7.22

Kaukolämpöveden vuotaminen

Kaukolämpöveden vuotaminen poikkeaa vesijohtovedestä siinä, että vesi on kuumaa ja vuotaessa syntyy vesihöyryä. Näistä syistä johtuen kaukolämpöveden vuotaessa seurauksena on vesijohdon yhteydessä lueteltujen seurausten lisäksi:

- tunnelin pohjalla olevien sähkökaapeleiden vaurioituminen, koska lämpö ei pääse johtumaan pois kaapeleista
- puhelinkaapeleiden vaurioituminen kuuman veden vaikutuksesta, jos kaapelit joutuvat suoranaisesti kuuman veden vaikutukselle alttiiksi
- mahdolliset pelastus- ja korjaustyöt vaikeutuvat kuuman vesihöyryn takia
- vesihöyryn tuulettaminen pois tunnelista on vaikeaa ja hidasta, mikäli tunneli täyttyy kokonaan
- tunnelin pohjalla oleva asfaltti vaurioituu
- pumpput voivat vaurioitua kuuman veden takia.

Kaukolämpöveden vuotamisesta aiheutuvien vaurioiden minimoiminen (niiden seikkojen lisäksi, mitä on jo lueteltu vesijohdon kohdalla) voidaan suorittaa seuraavien toimenpiteiden avulla:

- virran katkaisu sähkökaapeleista
- tuuletuksen tehostaminen
- kuumaa vettä kestävät pumpput ja vedenpoistoputket
- pumpput pitäisi pystyä vaihtamaan maan pinnalta käsin, eli pumppaamojen olisi sijaittava kuilujen yhteydessä.

Onnettomuustilanteisiin varauduttaessa on pyrittävä, vaurioiden minimoimisen lisäksi, korjaustöiden mahdollisimman nopeaan aloittamiseen.

7.23

Viemärin vuotaminen

Viemärin vuotaminen eroaa vesijohdon vuotamisessa siinä, että veden mukana tulee kiintoainesta ja syövyttäviä ja jonkinverran myrkyllisiä kaasuja.

Paineellisissa viemäreissä vedenpaine on niin pieni, että vesisuihku ei vaurioita ympärillä olevia rakenteita. Paineellisia viemäreitä pitkin jätevesi pumpataan puhdistamoille johtaviin gravitaatioviemäriin ja tämän vuoksi mahdollisesti vuotavat vesimäärät eivät ole suuria ja eikä näinollen ole syytä lähteä asentamaan väliventtiilejä viemäriin. Tarpeen vaatiessa vesi voidaan laskea paineellisista viemäreistä pumppaamoilla oleviin kaivoihin.

Jäteveden vuotamisesta aiheutuvat vahingot syntyvät pääasiassa virtaavan veden takia. Yhteiskäyttötunnelissa olevien pumppujen pitäisi pystyä pumppaamaan vettä, jossa on mukana kiintoainesta. Vuototauksessa tunnelia on pystyttävä tuulettamaan.

7.24

Kaapeleiden vaurioituminen

Kaapelit voivat vaurioitua mekaanisista tai kemiallisista syistä, lämpötilan nousun tai laskun (rou-ta) takia.

Sähkökaapelin (110 kV) vaurioitumisesta voi aiheutua oikosulku, josta seuraa:

- räjähdys ja paineaalto
- kaapelipalo.

Oikosulun estäminen:

- huolehditaan kaapelissa syntyvän lämmön johtumisesta pois
- estetään ympäristön lämpötilan nousu esimerkiksi tuuletuksen avulla
- mikäli lämpötila tunnelissa kaikesta huolimatta nousee, vähennetään kaapelin kuormitusta
- mekaanisten vaurioiden estäminen riittävän vahvala elementin kannella tai muulla kaapelin suojaamisella.

Vaurioiden minimoiminen oikosulun sattuessa:

- estetään kaapelin palamisen jatkuminen
- estetään muiden kaapeleiden syttyminen.

Todennäköisin puhelinkaapelin vaurioittaja on huoltoajoneuvo, huoltomies, tai aktiivinen vesi, joka syövyttää kaapelin vaipat.

Puhelinkaapeleiden mekaaniset vauriot on paras estää sijoittamalla kaapelit tunnelin poikkileikkauksessa mahdollisimman suojaiseen paikkaan. Tällöin on otettava huomioon, että vesi ei saa valua kaapeleiden päälle.

Puhelinkaapelit voivat syttyä palamaan vain ulkopuolisesta vaikutuksesta. Palon sattuessa syntyy happopitoista kaasua ja savua. Betonirakenteet syöpyvät hapon vaikutuksesta.

7.25
Tulipalo

Palolaitoksen edustajien näkemysten mukaan ennaltaehkäisevät toimet, kuten tiukat turvallisuusohjeet ja niiden valvonta, ovat paras tapa varautua tunnelissa tapahtuvaan paloon.

Kaapeleiden palamista on käsitelty jo edellä, joten keskitytään tässä huoltoajoneuvon ja sen mukana olevien palavien tarvikkeiden palamiseen.

Palolaitoksen edustajien mukaan todennäköisin palon aiheuttaja tunnelissa on korjausmies, jolla on mukana hitsausvälineet. Tällöin voi syttyä palamaan mukana olevat tarvikkeet (esim. pahvilaatikot) ja myös ajoneuvo. Tätä varten olisikin turvallisuusohjeissa määrättävä, että tunneliin ei saa viedä herkästi syttyviä materiaaleja ja huoltoajoneuvo on pysäköitävä esim. 20 metrin päähän mahdollisesta korjauspaikasta. Hitsausta varten pitäisi olla lupa.

Palon sattuessa Helsingin palolaitoksella on käytettävissään happilaitteet, joilla tunnelissa voidaan edetä enintään 1000 metrin päähän lähtöpis- teestä. Palotilanteissa olisi hyödyllistä, jos tuuletuksen avulla voitaisiin ohjata savua haluttuun suuntaan. Tuuletuksen käyttäminen savujen ohjaamiseen edellyttää sekä pelastajilta että uhreilta loogista toimintaa etukäteen laadittujen suunnitelmien mukaisesti. Palolaitoksen edustajien käsityksen mukaan pelastustoimet tunnelipaloissa tulevat kysymykseen vain, jos on kysymys ihmisten pelastamisesta. Pelkästään palavaa ajoneuvoa ei lähdetä mielellään sammuttamaan.

7.3
Toiminta onnettomuustilanteessa

Palon tai muun onnettomuuden sattuessa olisi kaikin tärkeintä saada tietää, missä onnettomuus on tapahtunut. Tätä varten tunneliin olisi merkittävä

paikkaa osoittavat yksinkertaiset ja helppolukuiset koodit, joiden mukaan paikallistaminen olisi helppo tehdä. Paikkakoodoja voisi olla esimerkiksi 50 metrin välein. Palolaitoksen hälytyskeskukseen on toimitettava ajanmukainen kopio tunnelissa käytettävistä koodeista.

Koska radiopuhelimet eivät toimi tunnelissa, olisi tunnelissa oltava puhelinkaapeli ja siinä riittävän tihein välein pistokkeita puhelinkoneita varten, jotta yhteydenpito onnettomuustilanteissa olisi mahdollista. Puhelinkoneita olisi tällöin oltava sisäänkäyntien yhteydessä.

Tunnelissa liikkuvia varten olisi tunnelissa oltava selkeät merkit, jotka osoittavat käytettävän poistumistien onnettomuustilanteissa.

Onnettomuustilanteita varten tunnelissa pitää olla kaikissa olosuhteissa toimiva hätävalaistus.

7.4

Onnettomuuksien syyt

Yhteiskäyttötunnelissa tapahtuvien onnettomuuksien primääriset syyt voidaan ryhmitellä seuraavasti:

- a) mekaaniset syyt
 - huoltoajoneuvon törmäys
 - huoltomiehen aiheuttama vaurio
- b) kemialliset syyt
 - kosteus, ruostuminen
 - kemialliset aineet kalliooperässä
 - kaasu
- c) virheellinen tuuletus
 - tunnelin lämpeneminen
 - tunnelin jäähtyminen
- d) rakennevirheet, laiteviat
 - virheellinen materiaali
 - virheellinen asennus
 - kivien putoaminen
 - pumppujen rikkoontuminen
 - huoltoajoneuvon palaminen
- e) huoltovirheet
 - asiantuntemattomuus.

Ryhmiin a ja b kuuluvat syyt voidaan eliminoida oikeilla suunnittelu- ja rakenneratkaisuilla. Ryhmiin c, d ja e kuuluvat syyt voidaan eliminoida valvonnalla ja tarkkailulla.

7.5

Johtopäätökset turvallisuuskysymyksistä

Yhteiskäyttötunneleihin on syytä asentaa seuraavat valvonta-, kontrollointi- ja yhteydenpitolaitteistot:

- vedenpaineen tarkkailu kaukolämpö- ja vesijohtoihin venttiileillä suljettaville väleille
- kauko-ohjattavat automaattiset venttiilit tunneliosuuden molempiin päihin ja tunneliin tietyin välimatkoin
- vedenpinnan tarkkailu veden keräysaltaassa
- tunnelin lämpötilan tarkkailu ja tuuletuksen ohjaus
- puhelinkaapeli onnettomuustilanteita varten
- koodit paikallistamista varten
- poistumistien osoittavat merkit.

Valvonta voidaan jakaa kahteen osaan: Tunnelissa oleviin johtojen toiminnan valvontaan ja tunnelin olosuhteiden valvontaan.

Laitoksilla on jo olemassa valvontakeskukset omia johtoverkkojaan varten, joten on tarkoituksenmukaista, että jokainen laitos valvoo oman johtonsa toimintaa.

Tunnelin olosuhteiden valvonta ja ohjaus, kuten lämpötilan ja tuuletuksen ohjaus, on keskitettävä yhteen valvontapisteeseen, jotta valvontaa seuraavat ohjaustoimenpiteet olisivat keskenään sopusoinnussa. Yhteiskäyttötunneleissa mukana olevat laitokset määrittelevät yhdessä mitattavien parametrien ohjeelliset arvot ja sallitut poikkeamat, jotka sitten toimivat tunnelin olosuhteita valvovan valvontakeskuksen ohjeena.

Yhteiskäyttötunneleita varten olisi laadittava kaikkia laitoksia sitovat yhtenäiset turvallisuusohjeet, joiden avulla pyrittäisiin ehkäisemään ennakolta onnettomuuksia ja annettaisiin toimintaohjeet onnettomuustilanteita varten.

8.

YHTEISKÄYTTÖTUNNELIN TALOUDELLISUUS

Yhteiskäyttötunneleiden talousselvityksessä keskitytään kahteen kokonaisuuteen. Ensiksi tässä kohdassa vertaillaan maanpinnassa tapahtuvan putki- ja kaapelirakentamisen kustannuksia tunnelissa tapahtuvaan rakentamiseen ja kohdassa 9 selvitetään yhteiskäyttötunnelin louhintakustannusten jakamisperiaatteita sekä tunnelin hallintaa.

Seuraavissa kohdissa on johdoittain tarkasteltu johdolinjan rakentamiskustannuksia maanpintaratkaisussa ja tunneliratkaisussa. Tunneliratkaisussa ei ole otettu huomioon tunnelin louhinta- ja vahvistuskustannuksia, koska on mahdotonta sanoa miten suuri osuus tunnelin louhintakustannuksista jyvitetään kullekin johdolle.

8.1

Vesijohdon kustannukset

Esimerkkitapauksessa putki on halkaisijaltaan 600 mm. Jälkilaskennan avulla on saatu seuraavia kanavakustannuksia:

Taulukko 9. Vesijohdon rakentamisen kanavakustannuksia Helsingissä.

Vuosi	Kustann.mk/m ¹⁾	Huomautuksia
1979	1020	pehmeikkö
1976	649	pieni hiekkatie
1976	870	teoll.rata-alue
1977	660	vilkasliikent. katu
1980	960	keskeneräinen työ

¹⁾ Kustannuksissa ei oteta huomioon putkisto- ja työkustannuksia n. 600 mk/m.

Tunnelivaihtoehdossa putkisto- ja kannakekustannukset ovat samat kuin kanavavaihtoehdoissa. Kun tunnelin louhintakustannuksia ei oteta huomioon, on vesijohdon (putki Ø 600) maanpintakustannuksen ja tunnelikustannuksen erotus n. 1000 mk/m (1980 kustannustaso).

8.2

Kaukolämpöjohtojen kustannukset

Kustannukset maanpintaan rakennettaessa:

Taulukko 10. Kaukolämpöjohtojen rakennuskustannukset maanpinnassa, 1980 kustannustaso.

Johtokoko mm	Rak.kust. mk/m	Elementti-kust. mk/m	Putkiasent. kust. mk/m	Erist. kust. 1) mk/m	Kust.yht. mk/m
400	800	530	700	220	2250
500	1000	700	820	280	2800
600	1200	930	950	320	3400
700	1500	1200	1200	400	4300

1) Eristeet oletettu menoputkessa 160 mm ja paluuputkessa 140 mm.

Tunneliin rakennettaessa pois jäävät rakennuskustannukset (sis. mm. maarakennuskust.) ja elementtikustannukset.

Lisäkustannuksia aiheutuu tunnelissa seuraavasti:

Taulukko 11. Tunneliin rakennettaville kaukolämpöjohdoille aiheutuvat lisäkustannukset maanpintarakentamiseen verrattuna, 1980 kustannustaso.

Putkikoko mm	Vesisuojaus mk/m	Kannakekust. 1) mk/m	Lisäkust. yht. mk/m
400	160	210	340
500	190	240	410
600	210	270	470
700	240	300	540

1) Betonikannake, putket päällekkäin.

Tunnelirakentamiskustannuksiin tulevat lisäksi asentamiskustannukset ja eristyskustannukset. Nyt voidaan verrata maanpinta- ja tunnelirakentamista.

Taulukko 12. Kaukolämpöjohtojen maanpinta- ja tunnelirakentamiskustannusten erotus, 1980 kustannustaso.

Johtokoko mm	Maanpintakust. k/m	Tunnelikust. 1) mk/m	Erotus mk/m
400	2250	1250	990
500	2800	1500	1300
600	3400	1740	1660
700	4300	2140	2160

1) Tunnelin louhinnasta aiheutuvia kustannuksia ei ole otettu huomioon.

8.3

Viemäreiden kustannukset

Maanpinnassa muodostuvat kustannukset allaolevan taulukon mukaan.

Taulukko 13. Viemäreiden rakentamiskustannukset maanpinnassa, asentamiskustannuksissa on mukana putkimateriaali, 1980 kustannustaso.

Putkikoko mm	Kaivantokust. mk/m	Asentamiskust. mk/m	Kok.kust. mk/m
300	800	100	900
600	1220	250	1470
1200	1600	700	2300

Tunnelissa kaivantokustannukset jäävät pois ja lisäksi tulevat kannakkeet. Kustannukset tunnelissa muodostuvat kannakekustannuksista ja asentamiskustannuksista alla olevan taulukon mukaan.

Taulukko 14. Viemäreiden rakentamiskustannukset tunnelissa, kun tunnelin louhintakustannuksia ei oteta huomioon, 1980 kustannustaso.

Putkikoko mm	Kannakkeen kust. mk/m	Asentamiskust. mk/m	Kokonais kust.mk/m
300	80	100	180
600	110	250	360
1200	180	700	880

Maanpinnassa ja tunnelissa tapahtuvaa rakentamista voidaan verrata seuraavan taulukon mukaisesti.

Taulukko 15. Viemäreiden maanpinta- ja tunnelirakentamiskustannusten erotus, 1980 kustannustaso.

Putkikoko mm	Maanpintakust. mk/m	Tunnelikust. 1) mk/m	Erotus mk/m
300	900	180	720
600	1470	360	1110
1200	2300	880	1420

1) Tunnelin louhinnasta aiheutuvia kustannuksia ei ole otettu huomioon.

8.4

Sähkö- ja viestikaapeleiden kustannukset

Sähkökaapelit on syytä kaapelipalojen estämiseksi asentaa tunnelin pohjalle kouruun, joka täytetään hiekalla. Viestikaapelit on seuraavassa oletettu asennettavaksi tunnelin pohjalle.

Taulukko 16. 110 kV:n kaapeliyhteyden ja viestikaapeliyhteyden rakentamiskustannukset maanpinnassa ja tunnelissa. Tunnelivaihtoehdossa ei ole otettu huomioon tunnelin louhinnasta aiheutuvia kustannuksia, 1980 kustannustaso.

Kustannukset maanpinnassa	
- 110 kV kaapeliyhteys + asennus	660 mk/m
- viestikaapeli + asennus	74 mk/m
- kaivu + elementti + täyttö	700 mk/m
	1434 mk/m
Kustannukset tunnelissa	
- 110 kV kaapeliyhteys + asennus	660 mk/m
- elementti + kansi + asennus	140 mk/m
- asennus suljettuun elementtiin + täyttö	30 mk/m
- viestikaapeli + asennus	74 mk/m
- viestikaaplikourut + putki + asennus	40 mk/m
	994 mk/m

Kun tunnelin louhintakustannuksia ei oteta huomioon on tunnelivaihtoehdon kustannuksen ja maanpintakustannuksen erotus 490 mk/m.

8.5

Paikallispuhelinkaapeleiden kustannukset

Kaapeli on eri vaihtoehdoissa sama, 1200 parin kaapelin hinta on n. 220 mk/m. Kaivun hinta on urakkasopimuksista johtuen vain vähän maaljeista riippuvainen.

Taulukko 17. Paikallispuhelinkaapelin vetokustannukset mk/m, 1980 kustannustaso.

	Maa	Kanava	Tunneli
Pienmateriaali	20	5	5
Veto	10	12	12
Jatkaminen	19	17	17
Oja	28		
Päällyste	52		
Kanavaputki		62	
	129	96	34 1)
Kaapeli (1200 paria)	220	220	220
Yhteensä	349	316	254 1)

1) Ei sisällä tunnelin louhintakustannuksia eikä hyllykustannuksia.

Kun tunnelin louhintakustannuksia ei oteta huomioon, on maanpintakustannuksen ja tunnelikustannuksen erotus 95 mk/m, ja vastaavasti kanavakustannuksen ja tunnelikustannuksen erotus 62 mk/m.

8.6

Kaukopuhelinkaapeleiden kustannukset

Kaukopuhelinkaapeleiden vetokustannukset muodostuvat seuraavan taulukon mukaisesti.

Taulukko 18. Kaukopuhelinkaapelireitin rakentamiskustannukset mk/m, 1980 kustannustaso.

	Maa	Kanava	Tunneli ¹⁾
Kaapelin asentaminen (työ)	80	70	85
Kaivu ja täyttö, päällyste	85		
Putkivuokra 50 v 6 %		80	
	165	150	85
Ko-kaapeli	90	90	90
Yhteensä	255	240	175

1) Ei sisällä tunnelin louhintakustannuksia eikä hyllykustannuksia.

Kun tunnelin louhintakustannuksia ei oteta huomioon, on maanpintaan asennetun kaapelin ja tunneliin asennetun kaapelin kustannusero n. 80 mk/m ja kanavaputkeen asennetun ja tunneliin asennetun kaapelin kustannusero n. 65 mk/m.

8.7

Kustannusvertailu

Taulukko 19. Yhteenveto eri johtojen rakentamiskustannuksista maanpinnassa ja tunnelissa, vuoden 1980 kustannustaso.

Johto	Johto- koko mm	Kust.maan- pinn.mk/m	Kust.tunn. mk/m 1)	Erotus mk/m
Vesi	600	1600	600	1000
Kaukolämpö	400	2250	1260	990
	500	2800	1500	1300
	600	3400	1740	1660
	700	4300	2140	2160
Viemäri	300	900	180	720
	600	1470	360	1110
	1200	2300	880	1420
110 kV sähkökaapeliyhteys ja viestikaapelit	100	1434	944	490
Paikallispuhelin- kaapeli (1200 paria)		349 (kanavassa) 316	254	95 (62)
Kaukopuhelinkaapeli (Ko-kaapeli)		255 (kanavassa) 240	175	80 (65)

4435 ²⁾

- 1) Tunnelin louhintakustannuksia ei ole laskettu mukaan.
2) Summaan on laskettu yhteen viivalla merkityt luvut.

Taulukon 19 oikeanpuoleisesta sarakkeesta huomataan, että on olemassa paljon suuria kustannuksia, jotka jäävät pois, kun johdot asennetaan yhteiskäyttötunneliin. Jos tunneliin asennetaan 600 mm:n kaukolämpöjohdot, 600 mm:n vesijohto, 600 mm:n viemäri, yksi 110 kV:n sähkökaapeliyhteys ja yksi 1200 parin puhelinkaapeli ja yksi Ko-kaapeli, säävutetaan 4435 markan säästö metriä kohti maanpintakustannuksiin verrattuna, kun tunnelin louhintakustannuksia ei oteta huomioon. Vuoden 1980 kustannustason mukaan poikkipinta-alaltaan 20 m²:n tunneli, johon edellä mainitut johdot mahtuvat, maksaa n. 3000 mk/m. Täten voidaan todeta, että (suoralla

osuudella) asentamalla yllämainitut johdot tunneliin saavutetaan n. 1400 markan säästö metriä kohti.

Edellä oleva tarkastelutapa ei ota huomioon seuraavia seikkoja:

- Säästöä voi aiheutua siitä, että tunneli on suorempi kuin maanpintavaihtoehto.
- Liikenteelle aiheutuvia kustannussäästöjä, kun katuja ei revitä auki.
- Katujen kunnon paranemisesta aiheutuvia säästöjä.
- Johtosiirtojen määrä ja tästä aiheutuvat kustannukset vähenevät.
- Myös maanpinnassa johdot voivat sijaita samassa kanavassa, mistä aiheutuu säästöä maanpinnassa.
- Vinoteiden ja kuilujen vaikutus.
- Pumppauksen ja tuuletuksen vaikutus.
- Laitokset vertailevat koko linjan kannattavuutta, eivätkä vain tunneliosuutta, mikä on yleensä osa koko linjasta.

Kustannusten tarkastelu mk/m-periaatteella on kaikkein helpointa, koska nuo luvut on helposti saatavissa eri laitosten tilastoista. Tämä periaate antaa selkeän, mutta liian yksinkertaistetun kuvan asioista. Myöskään laitoskohtainen taloudellisuustarkastelu ei ole käytännöllinen, koska se johtaa usein koko kaupungin kannalta kalliiseen ratkaisuun. Kustannuksia tulisikin pyrkiä jatkossa tarkastelemaan projektikohtaisesti koko kaupungin kannalta ja lisäksi olisi arvioitava niiden tekijöiden vaikutuksia, joita on lueteltu edellä.

9.
YHTEISKÄYTTÖTUNNELIN LOUHINTAKUSTANNUSTEN JAKAMINEN JA TUNNELIN
HALLINTA

Tunnelin louhinta on avoimen tilan tekemistä kalliioon ja kustannukset kasvavat tilavuuden kasvessa, kun tunnelin poikkileikkaus on yli 13 m². Tämän vuoksi tuntuu järkevältä, että yhteiskäyttötunnelin louhintakustannusten jakaminen eri johdoille suoritetaan sen tilan perusteella, mitä kukin johto koko tunnelista käyttää.

Louhintakustannuksilla käsitetään tässä yhteydessä itse louhinnan lisäksi mahdolliset tunnelin vahvistus- ja tiivistystyöt sekä pohjan ajokuntoon laittaminen.

9.1
Kustannusten jaon periaatteet

Tunnelin tila jakautuu kahteen osaan, huoltokäytävään ja johtotilaan. Kustannusten jaossa voitaisiin lähteä ajatuksesta, että jaetaan erikseen huoltokäytävän ja johtotilan kustannukset. Tätä periaatetta on käytetty Tukholmassa Järvätunnelissa /5/. Huoltokäytävään on n. 40 % ja johtotila n. 60 % tunnelin kokonaistilavuudesta. Huoltokäytävän kustannukset on jaettu Tukholmassa tasan eri laitosten kesken eikä muita käyttökelpoisia periaatteita huoltokäytävän kustannusten jakamiseksi ole. Kaapeleiden kannalta tämä kustannusten jakotapa ei ole mielekäs, koska kaapeleille tuleva kustannusosuus muodostuu suhteettoman suureksi, jos tunneliin tulee vain muutama kaapeli. Tämä puolestaan johtaisi siihen, että maanpintavaihtoehdot tulevat kaapeleiden kannalta niin edullisiksi, että kaapelit jäisivät yhteiskäyttötunneleista pois ja koko idea alkaisi romuttua.

Lähdetään jatkossa kustannusten jaossa siitä, että koko tunnelin kustannukset jaetaan tietyssä suhteessa eikä kustannuksia jaeta huoltokäytävän ja johtotilan kustannuksiin.

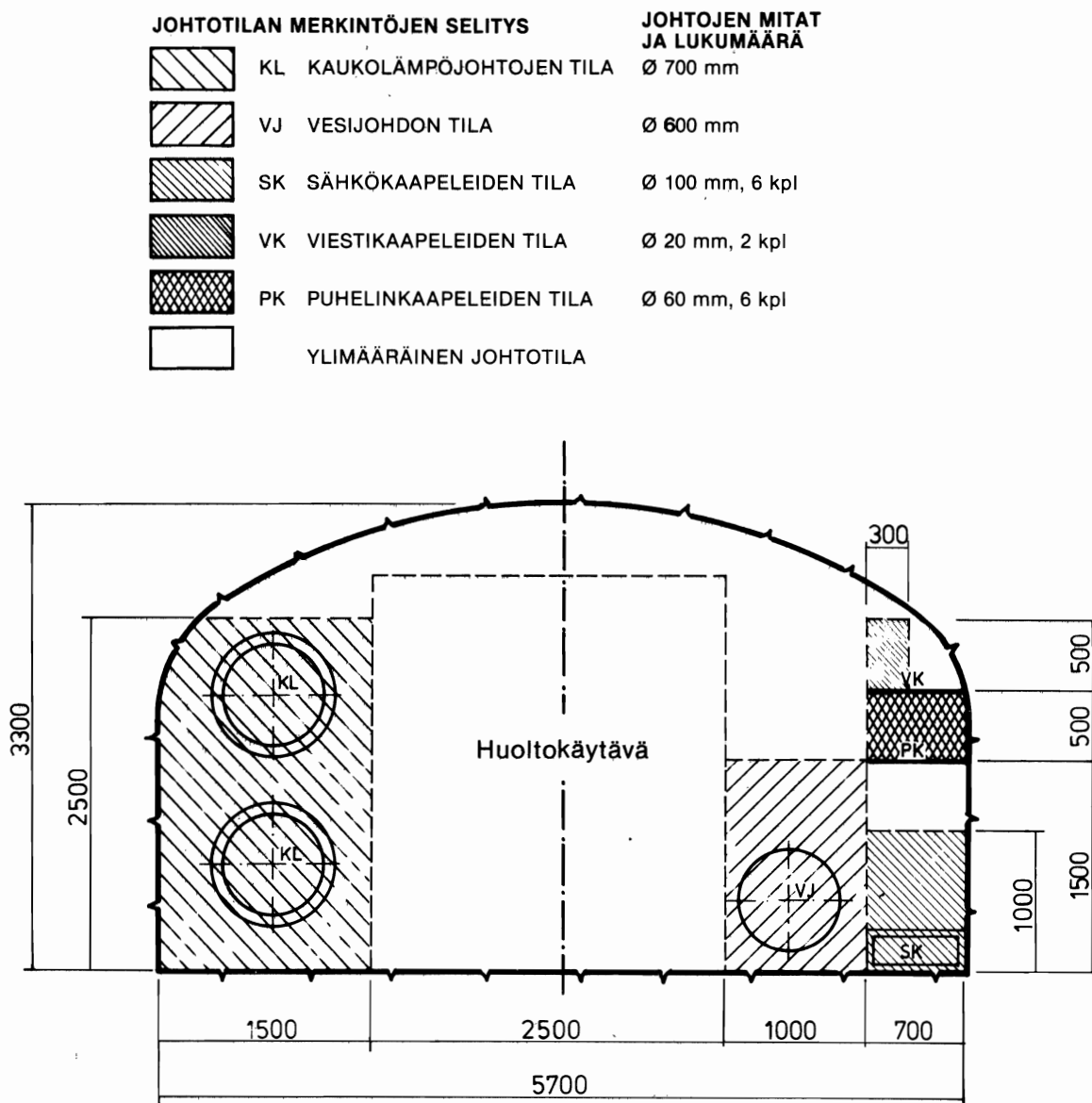
Yhteiskäyttötunnelin kustannukset voidaan jakaa mm. seuraavilla periaatteilla:

- johtojen tarvitseman tilan leveyden perusteella
- johtojen poikkipinta-alan perusteella
- johtojen käyttämän tilan perusteella.

9.11

Johtojen tarvitseman tilan leveyden perusteella

Otetaan esimerkkitapaukseksi kuvan 26 mukainen tunneli.



Kuva 26. Yhteiskäyttötunneli: Kaukolämpöjohdot Ø 700 mm, vesijohto Ø 600 mm, puhelinkaapelit 6 kpl hyllyllä, sähkökaapelit (110 kV) kaksi yhteyttä, viestikaapelit 2 kpl hyllyllä.

Kuvassa 26 johtojen tarvitseman tilan leveydet ja prosentuaaliset osuudet kustannuksista ovat:

- kaukolämpö		1 500 mm	~ 47 %
- vesijohto		1 000 "	~ 31 "
- sähkökaapelit	400/2 + 300/3 =	300 "	~ 9 "
- viestikaapelit	300/3 =	100 "	~ 3 "
- puhelinkaapelit	400/2 + 300/3 =	300 "	~ 9 "
Yhteensä		3200 mm	99 %

Tämä jakotapa ei määrittele eri johtojen tarvitsemien alueiden rajoja ellei sovita, että tila omistetaan kattoon saakka. Tällöin päällekkäin olevat johdot ovat ongelmallinen tapaus.

9.12

Johtojen poikkipinta-alan perusteella

Eri johtojen poikkipinta-alat ja suhteelliset osuudet (kuva 26) kustannuksista ovat:

- kaukolämpö	$\sqrt{x} \ 35^2 \text{ cm}^2 \times 2 =$	7 697 cm^2	~ 63 %
- vesijohto	$\sqrt{x} \ 35^2 \text{ cm}^2 \times 1 =$	3 848 "	~ 32 "
- sähkökaapelit	$\sqrt{x} \ 5^2 \text{ cm}^2 \times 6 =$	471 "	~ 3 "
- viestikaapelit	$\sqrt{x} \ 1^2 \text{ cm}^2 \times 2 =$	6 "	~ 0 "
- puhelinkaapelit	$\sqrt{x} \ 3^2 \text{ cm}^2 \times 6 =$	170 "	~ 1 "
Yhteensä		12 193 cm^2	100 %

Tämä jakotapa ei myöskään määrittele johtojen tarvitsemien alueiden rajoja.

9.13

Johtojen käyttämän tilan perusteella

Eri johtojen käyttämä tila poikkileikkauksessa ja suhteelliset osuudet kustannuksista ovat (kuva 26):

- kaukolämpö	1,5 m x 2,5 m =	3,75 m^2	~ 58 %
- vesijohto	1,0 m x 1,5 m =	1,50 "	~ 23 "
- sähkökaapelit	0,7 m x 1,0 m =	0,70 "	~ 11 "
- viestikaapelit	0,3 m x 0,5 m =	0,15 "	~ 2 "
- puhelinkaapelit	0,7 m x 0,5 m =	0,35 "	~ 5 "
Yhteensä		6,45 m^2	99 %

Tämä jakotapa määrittelee tarkasti eri johtojen tarvitsemien alueiden rajat. Jäljelle jäävä johtotila omistetaan tässä suhteessa.

9.2

Kustannusten jakoperiaatteiden vertailu

Kustannusten jakamiseen ei voida tehdä mitään yksityiskohtaisia tarkkoja sääntöjä, jotka sitten soveltuisivat kaikkiin eri tapauksiin. Kustannusosuudet vaihtelevat eri johtoyhdistelmillä. Jos jokin periaate soveltuu suurille putkille, se ei välttämättä sovellu enää kaapeleille.

Edellä olevista vaihtoehtoista kaksi ensimmäistä mittaavat johtojen käyttämää tilaa jollakin dimensiolla. Tämä johtaa herkästi ilmeisen epäoikeudenmukaisiin ratkaisuihin, koska kaapeleiden erittäin pienet dimensiot johtuvat minimaalisiin kustannusosuuksiin (kohta 8.12).

Kustannusten jaon perusteena kohdassa 8.13 ovat kuvan 26 mukaiset nelikulmiot. Nämä nelikulmiot osoittavat sitä tilaa tunnelin poikkileikkauksessa, jota johdon asentamiseen ja huoltamiseen tarvitaan. Kustannusosuudet muodostuvat näiden nelikulmioiden pinta-alojen suhteessa. Jokainen laitos saisi asentaa vain tähän tilaan johdon, sen kannakkeet, apulaitteet yms. laitteet. Edellä lueteltujen seikkojen perusteella tämä kustannusten jakotapa on perustelluin.

Kustannusten jako on sovittava jokaisessa projektissa erikseen. Tavoitteena tulee olla, että mahdollisimman moni osapuoli tulee mukaan yhteiskäyttötunneliin. On tärkeää, että minkään johdon kustannukset eivät muodostu tunnelissa suhteellisesti huomattavasti kalliimmiksi kuin maanpinnassa, koska tällöin ko. laitos voi perustellusti vetäytyä pois yhteiskäyttötunnelihankkeesta.

9.3

Yhteiskäyttötunnelin hallinta

Yhteiskäyttötunnelin hallinta voitaisiin järjestää seuraavien periaatteiden mukaan:

- eri laitokset omistavat tunnelin siinä suhteessa, kuin ne ovat maksaneet louhintakustannuksia
- osuudet louhintakustannuksista määräytyvät sen tilan perusteella, mitä kukin laitos tunnelista käyttää
- laitoksilla on oikeus asentaa johtonsa vain omistamaansa tilaan, muu tila on joko huoltokäytävää tai yhteisesti (omistuksien suhteessa) omistettua ylimääräistä johtotilaa
- jos jokin ulkopuolinen laitos ottaa käyttöön jälkikäteen tilaa tunnelista, maksetaan tilasta käytävän hinnan mukaan sille laitokselle, jonka tilasta osuus otetaan tai jos tila otetaan yhteisesti omistetusta tilasta, maksetaan omistaville laitoksille näiden omistusosuuksien suhteessa
- jos jokin ulkopuolinen laitos haluaa vuokrata tilaa tunnelista, maksetaan vuokraa sille laitokselle, jonka tilaan ylimääräinen johto asennetaan tai jos ylimääräinen johto asennetaan yhteisesti omistettuun tilaan, maksetaan vuokraa omis-

taville laitoksille näiden omistuosuuksien suhteessa

- huoltokäytävää käytetään vain tilapäisten ohitusjohtojen asentamiseen.

Tavoitteena näissä tunnelin hallintaan ja omistussuhteisiin liittyvissä järjestelyissä on oltava mahdollisimman joustava käytäntö omistus- ja vuokraussuhteiden muuttamiseksi, jotta jatkossa jo olemassaolevat tunnelit voitaisiin käyttää mahdollisimman tehokkaasti hyödyksi. Hallinnolliset esteet eivät saa estää uusien johtojen sijoittamista vanhoihin tunneleihin.

10. JOHTOHANKKEIDEN KOORDINOINTI JA YHTEISKÄYTTÖTUNNELIPROJEKTtien ORGANISOINTI

Eri laitosten johtohankkeiden koordinointia ei ole järjestetty yhtenäisesti. Jotta johtohankkeet voitaisiin toteuttaa yhtäaikaaisesti samoilla alueilla, on koordinointi välttämättömyys. Jotta putkien suunnittelu- ja toteuttamisaikataulun omaavat yhteiskäyttötunnelit voitaisiin ottaa huomioon yhtenä vaihtoehtona johtohankkeita toteutettaessa, on koordinointi suoritettava pitkällä tähtäimellä.

Jos koordinointia eri laitosten johtohankkeiden kesken ei tehdä pitkällä tähtäimellä, ajautuvat hankkeet niin lähelle nykyhetkeä, että eri johtojen sijoittaminen yhteiskäyttötunneliin on pelkästään aikataulun vuoksi mahdotonta, vaikka yhteiskäyttötunnelivaihtoehto voisi olla taloudellisesti ja teknisesti edullisin.

10.1 Organisaatio yhteiskäyttötunneleiden suunnittelussa

Organisaatiokaavio yhteiskäyttötunneleiden suunnittelemiseksi on esitetty liitteessä 1.

Organisaatiokaavion mukaan yhteiskäyttötunneleiden suunnittelu liittyy siirtojohtohankkeiden koordinointiin.

Siirtojohtohankkeiden koordinointi jakautuu kahteen osaan, ensinnäkin ideointi- ja yleissuunnitteluvaiheeseen ja toiseksi projektikohtaiseen suunnittelu- ja toteuttamisvaiheeseen.

Ideointi- ja yleissuunnitteluvaiheessa kartoitetaan eri laitosten johtorakennushankkeet pitkän ja keskipitkän tähtäimen suunnitelmien puitteissa. Tavoitteena on yhdistää eri johtorakennushankkeita, vaikka niitä ei alkuperäisten suunnitelmien mukaan tehtäisiäkään aivan samanaikaisesti. Kartoitustyön tekee yhteiskäyttötunnelitoimikunta, jossa on edustettuna johtoja rakentavat laitokset sekä Ksv ja geotekninen osasto. Tarkemmin toimikunnan tehtäviä on selvitetty liitteessä 2, joka on samalla "Yhteiskäyttötunneleiden teknis-taloudellista selvitystä" valvovan ryhmän ehdotus laitosten ja virastojen väliseksi yhteistyöksi yhteiskäyttötunnelikysymyksissä.

Kun toimikunnassa nousee esille realistinen hanke yhteiskäyttötunnelin rakentamiseksi, laatii toimikunta siitä kirjallisen ehdotuksen alustavine tiedoineen ao. laitoksille, jotta ne voivat sen pohjalta päättää jatkosuunnittelun käynnistämisestä ja projektiorganisaation perustamisesta.

10.2

Yhteiskäyttötunneli-projektien organisointi

Liitteen 1 mukaan kiinnostuneet laitokset nimeävät edustajansa johtoryhmään, joka valitsee tarvittaessa projektin vetäjän, suunnitteluryhmän ja toteuttamisryhmän jäsenet.

Johtoryhmän päätehtäviä olisivat:

- projektin toteuttamistavasta ja tärkeimmistä teknisistä yksityiskohdista päättäminen
- tehtävien antaminen suunnittelu- ja toteutusryhmälle sekä projektin vetäjälle
- laitosten lautakuntien informointi
- tarvittavien päätöksien hankkiminen
- rahavirtojen valvominen ja kustannuksista päättäminen.

Projektin vetäjän päätehtäviä olisivat:

- tarvittavien lupien hankkiminen
- alustavien kustannuslaskelmien tekeminen eri vaihtoehtoisista
- suunnittelu- ja toteuttamisryhmien johtaminen
- asioitten esittely johtoryhmälle.

Suunnitteluryhmän päätehtäviä olisivat:

- yksityiskohtainen suunnittelu.

Toteuttamisryhmän päätehtäviä olisivat:

- hankinnan valmistelu
- toteuttamisen valvonta.

11.

YHTEISKÄYTTÖTUNNELEIHIN LIITTYVÄT JATKOSELVITYKSET JA TUTKIMUKSET

Tämän yhteiskäyttötunneleihin liittyvän selvityksen ulkopuolelle jää tärkeitä osa-alueita, joita olisi syytä tutkia. Näitä kysymyksiä on mahdollista pohdita esimerkiksi työnsä aloittavassa yhteiskäyttötunnelitoimikunnassa Salmisaari-Kamppi-Ruskeasuo tunnelista saatujen kokemusten valossa.

Yhteiskäyttötunneleihin liittyviä lisäselvitystä ja tutkimusta kaipaavia osa-alueita ovat:

- yhteiskäyttötunneleiden tekniset suunnitteluohjeet
- yhteiskäyttötunneleiden turvallisuusohjeet
- käyttö- ja huoltovastuukysymysten selvittäminen
- omistusoikeudet ja vuokraussuhteet
- erilaisten tunneleiden korkeusaseman määrittely (yhteiskäyttötunnelit, liikennetunnelit)
- tulevaisuuden tilantarpeiden huomioiminen nykyisiä tunneleita rakennettaessa.

12. YHTEENVETO

Yhteiskäyttötunnelissa on monenlaista vuorovaikutusta eri johtojen kesken. Lisäksi tunnelin erikoiset olosuhteet vaikuttavat johtoihin.

Kaukolämpöjohdot lämmittävät tunnelin ilmaa, mutta tuuletus ja lämmön johtuminen kallioon pitävät ilman lämpötilan riittävän alhaisena. Kaukolämpöputkistot ja niiden kannakkeet on syytä suojata tunnelin ilman kosteutta vastaan.

Vesijohdossa virtaavan veden lämpötila ei saa kohota yli $+15^{\circ}\text{C}$, minkä vuoksi tunnelin ilman lämpötila on pidettävä tuuletuksen avulla riittävän alhaisena. Veden saastuminen on estettävä kaikissa olosuhteissa.

Viemäriputket on tehtävä niin tiiviiksi, että haitallisten kaasujen vuotaminen estetään. Viemäreiden syvyys ja kaltevuusrajoitukset estävät usein viemäriputkien asentamisen yhteiskäyttötunneliin.

Yhteiskäyttötunneleissa on syytä varautua kaikkien vettä sisältävien putkien vuotamiseen. Tavoitteena tulee olla tunnelin täyttymisen estäminen ja korjaustöiden nopea aloittaminen.

Sähkökaapeleiden takia tunnelin ilman lämpötila ei saa kohota yli $+20^{\circ}\text{C}$ ja kaapeleissa syntyvän lämmön johtamisesta pois on pidettävä erityistä huolta. Kaapeleiden palamisen jatkuminen on estettävä myös onnettomuustapauksissa.

Puhelinkaapeleiden kannalta on tärkeintä, että mekaaniset ja veden aiheuttamat kaapelivauriot estetään.

Vaikka edelläluetellut johdot asettavat lukuisia teknisiä vaatimuksia tunnelin olosuhteille, ovat kaikki nämä vaatimukset teknisesti ja taloudellisesti toteuttamiskelpoisia. Täten voidaan todeta, että kaukolämpö- ja vesijohdot, sähkö- ja puhelin-kaapelit sekä putkiviemärit soveltuvat hyvin yhteiskäyttötunneleihin.

Kallioon rakennettujen yhteiskäyttötunneleiden huoltaminen on käytännöllisintä toteuttaa kumipyöräajoneuvon avulla. Poikkileikkauksen pinta-alan minimoimiseksi huoltoajoneuvon on syytä olla

mahdollisimman kapea ja lisäksi on syytä pyrkiä asentamaan johdot päällekkäin huoltokäytävän molemmin puolin.

Yhteiskäyttötunneleiden taloudellisuutta on tarkkailtava projektikohtaisesti koko kaupungin kannalta, eikä mk/m periaatteella tai laitospohjaisesti. Linjausten kustannusten vertailu mk/m-periaatteella antaa selkeän lähtökohdan, jonka perusteella voidaan lähteä arvioimaan kokonaiskustannuksia sekä tunnelissa että maanpinnassa.

Kun tunnelin louhintakustannuksia ei oteta huomioon johtojen rakentamiskustannukset muodostuvat seuraavasti suoralla linjalla:

Johto	Johto- koko mm	Kust.maan- pinn.mk/m	Kust.tunn. mk/m 1)	Erotus mk/m
Vesi	600	1600	600	1000 I
Kaukolämpö	400	2250	1260	990
	500	2800	1500	1300
	600	3400	1740	1660 I
	700	4300	2140	2160
Viemäri	300	900	180	720
	600	1470	360	1110 I
	1200	2300	880	1420
110 kV sähkökaapeli- yhteys ja viesti- kaapelit	100	1434	944	490 I
Paikallispuhelin- kaapeli (1200 pa- ria)		349 (kanavassa) 316	254	95 I (62)
Kaukopuhelinkaapeli (Ko-kaapeli)		255 (kanavassa) 240	175	80 I (65)
				4435 2)

1) Tunnelin louhintakustannuksia ei ole laskettu mukaan.

2) Summaan on laskettu yhteen viivalla merkityt luvut.

Vuoden 1980 kustannustason mukaan poikkipinta-alaltaan 20 m²:n tunneli, johon viivalla merkityt johdot mahtuvat, maksaa n. 3000 mk/m. Täten voidaan todeta, että suoralla osuudella asentamalla yllämainitut johdot tunneliin saavutetaan n. 1400 markan säästö metriä kohti.

Louhintakustannusten jakaminen eri laitosten kesken on oikeudenmukaisinta suorittaa niiden pinta-

alojen suhteessa, mitä kukin johto tunnelin poikkileikkauksesta käyttää. Kustannusten jako on sovitettava jokaisessa projektissa erikseen. Tavoitteena tulee olla, että mahdollisimman moni osapuoli tulee mukaan yhteiskäyttötunneliin.

Siirtojohtoja varten tehtyjen yhteiskäyttötunnelien ensimmäinen toteuttamisedellytys on laitosten välinen yhteistyö johtojärjestelmiä suunniteltaessa, koska yhteiskäyttötunnelit ovat pitkän suunnittelu- ja toteutusaikataulun vaativia projekteja.

LÄHDELUETTELO:

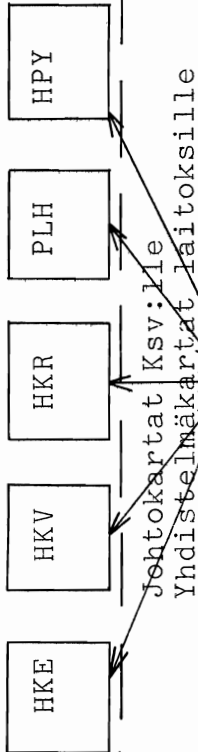
- /1/ Boegly, W.J., Griffith, W.L.: Underground utility tunnels, Mechanical Engineer, September 1971.
- /2/ Girnau, G.: Begehbare Sammelkanäle für Versorgungsleitungen. Düsseldorf 1968. Forschung+Praxis U-Verkehr und Unterirdisches Bauen.
- /3/ Girnau, G.: Unterirdischen Städtebau, Planungs-, Konstruktions- und Kostenelemente, Düsseldorf 1970.
- /4/ Heiskanen, R.: Pientunneleiden optimikoko ja kaltevuuden vaikutus, Vuorimiesyhdistyksen pientunnelisymposium, Helsinki 1979.
- /5/ Helsingin kaupungin Kiinteistövirasto geotekninen osasto: Matkakertomus tutustumiskäynnistä Tukholman yhteiskäyttötunneliin 8.10.1980.
- /6/ Helsingin kaupungin Kiinteistövirasto geotekninen osasto: Tunnelirakentajien neuvottelupäivät 13.-14.10.1977.
- /7/ Hiekkanen, R., Oksman, O.: District heat transmission tunnel Naantali-Turku. Proceedings of the International Symposium, Stockholm, Sweden, June 23-27 1980, Vol 2 pp, 633-638, Rockstore 80.
- /8/ Hyttinen, E., Kalla, J., Laine, T., Mehto, L., Saanio, V.: Kalliotilojen rakenteiden suunnittelu sovellettavaksi Helsingin metron kalliotilojen rakenteiden suunnittelussa. Helsinki 1970.
- /9/ IVA:s kommittée för underjordsbyggande: Bygga under mark - spara olja. Rapport från konferens Stockholm 1979.
- /10/ Kalenius, V.: Suomenlinnan lämpö kulkee meren alitse. Rakennustaito 12, 1980.
- /11/ Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös kaivosten turvallisuusmääräyksistä 1979.
- /12/ Kianne, I., Oksman, P.: Kaukolämpötunneli välillä Naantali-Turku, Rakennustekniikka 4/80.
- /13/ Koskelainen, L.ym.: District Heating - Production, storage and distribution of heat underground - an economical method of better utilization of energy available and projection of the environment. Proceedings of the International Symposium, Stockholm, Sweden, June 23-27 1980. Vol 2 pp 499-508. Rockstore 80.
- /14/ Kähönen, Y.: Yhteiskäyttötunnelit - kilpailukykyinen ratkaisu johtojen pintarakentamiselle. Maansiirto 1977:6.

- /15/ Ljungberg, Ulf: Tunnlar för fjärrvärme i Stockholm, Väg- och vattenbyggaren 10/1978.
- /16/ Nilsson, M.: Servicetunnlar i Stockholm - användbarhet och ekonomi - jämfört med utförda ledningar. Stockholm 1973. Ingenjörsvetenskapsakademien. IVA-rapport 56. Uttnyttjar vi underjorden rationellt.
- /17/ Pesonen, M., Heino, E., Pöyhiä, K.: Hakunilan kerrostaloalue. Rakennustaito 69 (1974) 10.
- /18/ Posti- ja lennätinhallitus: Puhelinverkkojen rakennemääräykset. Helsinki 1979.
- /19/ Puhelinlaitosten liitto: Perustietoa tietoliikenteen rakentamisaankäytön suunnittelijoille ja rakentajille. Helsinki 1975.
- /20/ RIL: Maa- ja kalliorakennus, Helsinki 1976.
- /21/ Sisäasiainministeriö: S-3 ja S-6 luokan väestönsuojien teknilliset määräykset. Helsinki 1977.
- /22/ Skånska Cementgjuteriet AB: Kirje Helsingin kaupungin geotekniselle osastolle 17.10.1980.
- /23/ Swedish State for the Art Report for the Rockstore 80 Symposium: Environmental Protection, Stockholm 1980.
- /24/ Tie- ja vesirakennushallitus: Normaalimääräykset ja ohjeet, jotka koskevat yleisten teiden suunnittelua, rakentamista ja kunnossapitoa, Helsinki 1968.
- /25/ VTT:n lämpöteknillinen laboratorio: Kalliotunneleista ympäröivään kallioperään tapahtuva lämmönsiirto. Otaniemi 1970.
- /26/ Winqvist, T.: How can society encourage relevant use for subsurface space? Proceedings of the International Symposium, Stockholm, Sweden, June 23-27 1980, Vol 1 pp 231-236. Rockstore 80.

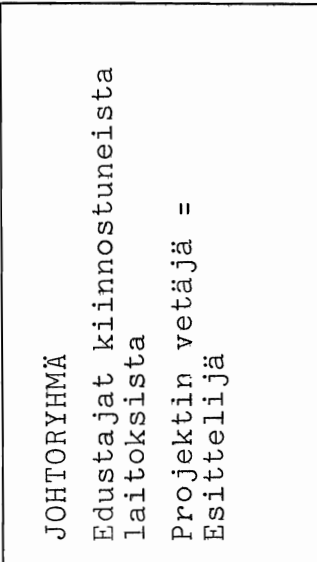
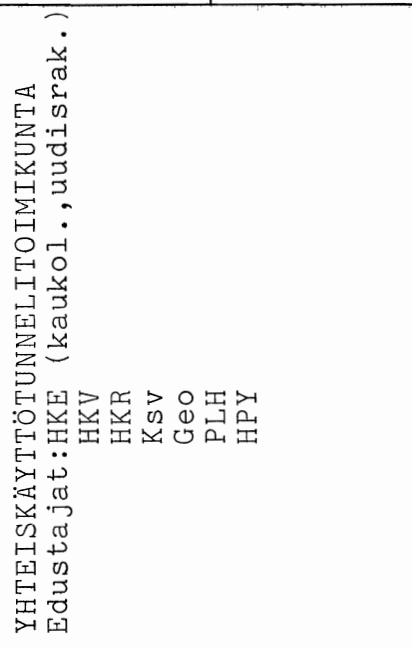
I IDEOINTI- JA YLEISSUUNNITTELUVAIHE

II PROJEKTIKOHAINEN SUUNNITTELU- JA TOTEUTTAMINEN

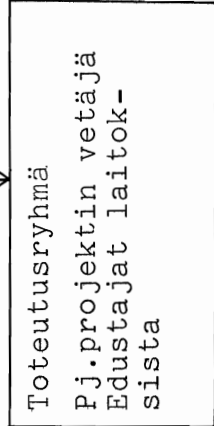
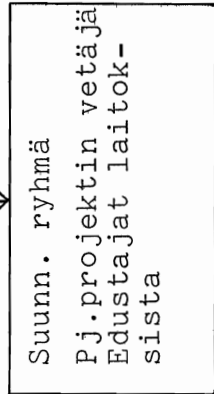
Päätös jatko-
suunnittelun
käynnistä-
misestä



Ehdotus jatko-
suunnittelun
käynnistämiseksi



Nimeää
Valvoo



LAITOSTEN JA VIRASTOJEN VÄLINEN YHTEISTYÖ
YHTEISKÄYTTÖTUNNELIKYSYMYKSESSÄ1.
YLEISTÄ

Yhteiskäyttötunneleiden teknis-taloudellista selvitystä valvonut eri laitosten ja virastojen edustajista koottu työryhmä ehdottaa, että johtohankkeiden koordinointia ja yhteiskäyttötunneleiden alustavaa yleissuunnittelua varten perustetaan yhteiskäyttötunnelitoimikunta. Seuraavassa hahmotellaan tämän toimikunnan kokoonpanoa ja kokoontumisesta sekä eri osapuolten ja toimikunnan tehtäviä.

2.
TOIMIKUNNAN KOKOONPANO

Toimikuntaan tulisi edustajat seuraavista johtoja rakentavista laitoksista: HKE (kaukolämpö, kaapelit), HKV, HKR, PLH ja HPY. Näistä laitoksista olisi edustajina sellaiset henkilöt (suunnittelijat), joille kuuluu johtojen rakentamisen pitkän tähtäyksen suunnittelu. Lisäksi toimikunnassa olisi edustajat Geo:sta ja Ksv:sta. Geo:n edustaja edustaisi toimikunnassa tunneleiden rakennusteknistä asiantuntemusta. Ksv:n edustaja olisi yleiskaavaosaston teknis-taloudellisesta toimistosta ja olisi toimikunnan työn vetäjä.

3.
TOIMIKUNNAN KOKOONTUMINEN

Alkuvuosina toimikunta kokoontuisi pääsääntöisesti kaksi kertaa vuodessa: syyskuussa ja tammikuussa. Myöhemmin olisi ilmeisesti riittävää kokoontua pääsääntöisesti kerran vuodessa, jolloin sopiva ajankohta olisi tammikuu. Tarvittaessa voisi toimikunta kokoontua myös useammin.

4.
ERI OSAPUOLTEN TEHTÄVÄT

Ksv:n yleiskaavaosaston teknis-taloudellinen toimisto vastaisi toimikunnan koollekutsumisesta ja kokousjärjestelyistä sekä toimisi yhteistyön koordinoijana. Se toimittaa vuosittain elokuun loppuun mennessä kullekin laitokselle tiedot oleellisimmista kaavasuunnitelmista, esim. osayleiskaavoista.

Kukin johtoja rakentava laitos laatii pitkän tähtäyksen suunnitelmat uusista rakennettavista siirtojohdoista sekä vastaavasti saneerausohjelman van-

hoista uusittavista siirtojohdoista. Suunnitelmat ja saneerausohjelmat esitetään 1:20 000 kartalla tarpeellisine lisätietoineen. Tämä kartta tarkistetaan vuosittain ja toimitetaan marraskuun loppuun mennessä Ksv:n yleiskaavaosaston teknis-taloudelliseen toimistoon, joka laatii yhdistelmäkartan saamiensa suunnitelmakarttojen pohjalta sekä yhteenvedon myös muusta kootusta materiaalista. Yhteenvetokartta toimitetaan toimikunnan jäsenille ennen tammikuun kokousta.

Suunnitteilla olevaa Kamppi-Ruskesasuo-tunnelin suunnittelua, rakentamista ja käyttöä pyritään seuraamaan huolellisesti ja kirjaamaan muistiin esim. oleellimmat ongelmat eri vaiheissa, jotta myöhemmin mahdollisesti syntyvissä uusissa yhteiskäyttötunneliprojekteissa aikaisemmin saatu kokemus pysytään tehokkaasti hyödyntämään. Suunnitteluvaiheen seurannasta vastaa Geo, joka toimittaa kokoamansa materiaalin Ksv:n yleiskaavaosaston teknis-taloudelliseen toimistoon. Rakentamisen ja käytön seurannasta sovitaan myöhemmin.

5. TOIMIKUNNAN TEHTÄVÄT

Yhteiskäyttötunnelitoimikunnan tarkoituksena on parantaa eri laitosten ja virastojen välistä yhteistyötä johtolinjausten suunnittelussa ja siten luoda edellytyksiä yhteiskäyttötunneleiden rakentamiselle.

Toimikunnan tehtävänä olisi mm.:

- ideoida em. aineiston pohjalta mahdollisesti syntyviä uusia yhteiskäyttötunnelihankkeita,
- pyrkiä sovittamaan yhteen eri laitosten linjauksia ja rakentamisaikatauluja ja selvittämään alustavasti yhteiskäyttötunnelin rakentamismahdollisuudet,
- käsitellä saatuja kokemuksia yhteiskäyttötunneleiden suunnittelussa, rakentamisessa ja käytössä,
- edistää vanhojen tunneleiden lisäkäyttöä,
- käsitellä muita mahdollisia yhteiskäyttötunneleita koskevia asioita.

Kun toimikunnassa tulee esille realistiselta tuntuva yhteiskäyttötunnelihanke, toimikunta laatii siitä kirjallisen ehdotuksen alustavine teknisine tietoineen ja kustannusarvioineen ao. laitoksille, jotta ne voisivat sen pohjalta päättää jatkosuunnittelun käynnistämisestä ja projektiorganisaation perustamisesta.

6.
KUSTANNUKSET

Toimikunnan työskentely ei aiheuttaisi millekään laitokselle muita kustannuksia kuin toimikunnan työskentelyyn osallistuvien henkilöiden palkkakustannukset, joista kukin virasto tai laitos omalta osaltaan huolehtisi. Mahdollisesti myöhemmin suoritettavien lisäselvitysten, mikäli niihin tarvitaan ulkopuolista työpanosta, rahoitus selvitetään tapauskohtaisesti.

YHTEISKÄYTTÖTUNNELEIDEN TEKNIS-TALOUDELLISTA SELVITYSTÄ VALVONEE-
SEEN RYHMÄÄN KUULUIVAT SEURAAVAT HENKILÖT:

	Usko Anttikoski,	Kiinteistövirasto, geotekn.os.
Pj.	Jukka Pöllä,	- "- -"
Siht.	Jarmo Roinisto,	- "- -"
	Yrjö Kähönen,	- "- -"
	Ritva Tolvanen,	Vesilaitos, jakeluos.
	Esko Lahtinen,	Energialaitos, kaukolämpöos.
	Teuvo Karinkanta,	- "- -", uudisrakennusos.
	Ari Laine,	- "- -", kaasuos.
	Esko Hevonoja,	Rakennusvirasto, katurak.os.
	Pentti Hakkarainen,	Kaupunkisuunnitteluvirasto, yleiskaavaos.
	Seppo Turunen,	- "- -", asemakaavaos.
	Raimo Satosuo,	Helsingin Puhelinyhdistys, yleissuunn.os.
	Reijo Ahti,	- "- -" - "- -"
	Harry Smeds,	Posti- ja lennätinhallitus, kiinteistösto
	Mauri Tattari,	- "- -", lennätinos.

MULTI-SERVICE TUNNELS SURVEY IN HELSINKI

ABSTRACT

The bedrock in the Helsinki area is quite near the surface and thus offers good economical and technical opportunities for excavating multi-service tunnels. It is the aim of the Geotechnical Department that main pipes and cables to be installed underground could be accommodated in the same tunnels. A wide range of questions must be dealt with when planning and constructing this kind of tunnels. These are the main reasons why this multi-service tunnels survey has been carried out in the Geotechnical Department in co-operation with district heating, electricity, telephone, water supply, city planning and building authorities.

In Finland the most suitable services to be installed in tunnels are not only district heating pipes, water pipes, electricity cables, telephone cables and pipe sewers, but also in some cases gas pipes, pneumatic conveyors, goods transport and passenger traffic can be provided for by using multiservice tunnels. All these activities can be installed in tunnels but there are many factors that must be noticed in the planning and construction. These factors are partly caused by interaction between different pipes and cables and partly because of special circumstances in the tunnel. During the survey many questions arose and the most important questions proved to be the temperature in the tunnel, the size of the maintenance way, the safety control systems to prevent accidents and damage, the cross-section, and the cost of the tunnel and the distribution of construction costs between authorities. The survey deals widely with these subjects.

It became obvious that there are no technical problems which can prevent the construction of such multi-service tunnels. Tunnels for main pipes and cables are more economical and less problematic than channels for each pipe and cable on the surface. The first step in constructing the multi-service tunnels would be co-operation between the authorities.

